

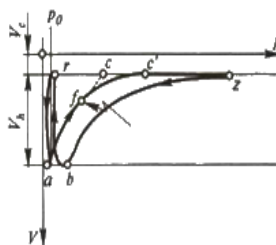
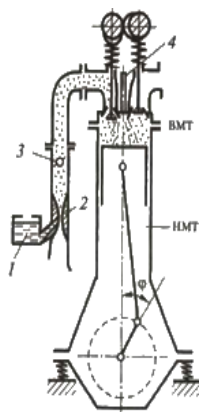
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Автомобили и тракторы»



# ТРАКТОРЫ И АВТОМОБИЛИ

Методические указания  
для практических занятий



Новосибирск 2017

УДК...  
ББК...  
А ...

Составители: канд. техн. наук, доц. ***Е.А. Булаев***  
канд. техн. наук, доц. ***П.И. Федюнин***  
ст. преподаватель ***С.П. Сальников***  
ст. преподаватель ***М.Л. Вертей***  
ст. преподаватель ***В.А. Комлев***  
ст. преподаватель ***В.А. Вальков***  
ст. преподаватель ***С.П. Матяш***

Рецензент: канд. техн. наук, доц. ***А.А. Долгушин***

Тракторы и автомобили: Методические указания  
для практических занятий/ Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т;  
сост.: Е.А. Булаев, П.И. Федюнин, С.П. Сальников, М.Л. Вертей, В.А.  
Комлев, В.А. Вальков, С.П. Матяш –Новосибирск, 2017.– 20 с.

Методические указания для практических занятий содержит задачи, необходимые для практического усвоения курса «Тракторы и автомобили». Кроме задач приведены основные расчетные формулы и пояснения к ним. К задачам даны ответы, а часть наиболее характерных и сложных задач снабжена подробными решениями.

Методические указания предназначены для бакалавров Инженерного института всех форм обучения по направлению подготовки 35.03.06 – Агроинженерия.

Утверждены и рекомендованы к изданию методическим советом Инженерного института НГАУ (протокол № 10 от 30 мая 2017 г.)

© Новосибирский государственный аграрный университет, 2017  
© Инженерный институт, 2017

## **ВВЕДЕНИЕ**

Решение задач по дисциплине «Автомобильные двигатели» является завершающим этапом изучения дисциплины и преследует цель систематизации и глубокого закрепления полученных студентами знаний по автомобильным двигателям и другим смежным специальным и общетехническим дисциплинам.

Основными задачами являются:

- получение практики применения теоретических знаний к решению задач с использованием литературных источников;
- развитие творческих способностей и инициативы при решении инженерных задач в области двигателестроения;
- привитие навыков обоснованного принятия инженерных решений на основании анализа и критической оценки параметров и конструктивных особенностей существующих двигателей.

# 1 ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

## 1.1 Параметры, характеризующие работу двигателя

**Среднее индикаторное давление и индикаторная мощность.** Под средним индикаторным давлением  $p_i$  понимают такое условное постоянное давление, которое, действуя на поршень в течение одного рабочего хода, совершает работу, равную индикаторной работе газов в цилиндре за рабочий цикл.

Согласно определению, среднее индикаторное давление (Па) равно отношению индикаторной работы  $L_i$  газов за цикл к единице рабочего объема  $V_h$  цилиндра, т. е.

$$p_i = L_i / V_h, \quad (1.1)$$

При наличии индикаторной диаграммы, снятой с двигателя, среднее индикаторное давление (рис. 1.1), можно определить по формуле:

$$p_i = (F/\ell)m, \quad (1.2)$$

где  $F$  – полезная площадь индикаторной диаграммы,  $m^2$ ;

$\ell$  – длина индикаторной диаграммы, м;

$m$  – масштаб давления индикаторной диаграммы, Па/м.

Среднее индикаторное давление при полной нагрузке у четырехтактных бензиновых двигателей  $8 \cdot 10^5 \dots 12 \cdot 10^5$  Па, у четырехтактных дизелей –  $7,5 \cdot 10^5 \dots 10 \cdot 10^5$  Па, у двухтактных дизелей –  $6 \cdot 10^5 \dots 9 \cdot 10^5$  Па.

Индикаторной мощностью  $N_i$  (кВт) двигателя называют работу, совершаемую газами в цилиндрах двигателя в единицу времени, т. е.

$$N_i = 2 p_i V_h n_i / (10^3 \tau), \quad (1.3)$$

где  $p_i$  – среднее индикаторное давление, Па;

$V_h$  – рабочий объем цилиндра,  $m^3$ ;

$n$  – частота вращения коленчатого вала, об/с;

$\tau$  – тактность двигателя ( $\tau = 4$  – для четырехтактных двигателей и  $\tau = 2$  – для двухтактных);  $i$  – число цилиндров.

Рабочий объем цилиндра, ( $m^3$ )

$$V_h = \pi D^2 S / 4, \quad (1.4)$$

где  $D$  – диаметр цилиндра, м;

$S$  – ход поршня, м.

Если известны степень сжатия  $\epsilon$  двигателя и объем  $V_c$  камеры сгорания, то рабочий объем  $V_h$  цилиндра может быть определен по формуле

$$V_h = (\epsilon - 1) V_c, \quad (1.5)$$

где  $\epsilon$  – степень сжатия, равная отношению полного объема –  $V_a$  цилиндра

к объему  $V_c$  камеры сгорания, т. е.

$$\varepsilon = V_a/V_c = (V_h + V_c)/V_c = (V_h/V_c) + 1.$$

**Эффективная мощность двигателя и среднее эффективное давление.** Эффективной мощностью  $N_e$  называют мощность, снимаемую с коленчатого вала двигателя для получения полезной работы.

Эффективная мощность меньше индикаторной мощности  $N_i$  на величину мощности  $N_m$  механических потерь, т. е.

$$N_e = N_i - N_m.$$

(1.6)

Механические потери в двигателе оцениваются механическим КПД  $\eta_m$ , который представляет собой отношение эффективной мощности к индикаторной:

$$\begin{aligned} \eta_m &= N_e/N_i = (N_i - N_m)/N_i = \\ &= 1 - (N_m/N_i). \end{aligned}$$

(1.7)

Для современных двигателей механический КПД составляет 0,72...0,9. Зная механический КПД можно определить эффективную мощность

$$N_e = \eta_m N_i. \quad (1.8)$$

Эффективная мощность  $N_e$  (кВт) двигателя аналогично индикаторной мощности может быть выражена через среднее эффективное давление:

$$N_e = 2 p_e V_h n_i / (10^3 \tau). \quad (1.9)$$

Среднее эффективное давление  $p_e$  равно разности между средним индикаторным давлением  $p_i$ , и средним давлением  $p_m$  механических потерь:

$$p_e = p_i - p_m. \quad (1.10)$$

Зная механический КПД, можно определить среднее эффективное давление (Па):

$$p_e = \eta_m p_i. \quad (1.11)$$

Среднее эффективное давление при максимальной мощности у четырехтактных бензиновых двигателей составляет  $6,5 \cdot 10^5 \dots 9,5 \cdot 10^5$  Па, у четырехтактных дизелей –  $6 \cdot 10^5 \dots 8 \cdot 10^5$  Па, у двухтактных дизелей –  $5 \cdot 10^5 \dots 7,5 \cdot 10^5$  Па.

**Литровая мощность двигателя.** Литровой мощностью двигателя  $N_L$

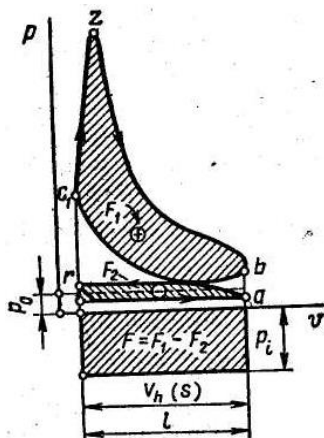


Рисунок 1.1- Индикаторная диаграмма

(кВт/м<sup>3</sup>) называют отношение эффективной мощности  $N_e$  к литражу двигателя  $iV_h$ :

$$N_{л} = N_e / (iV_h). \quad (1.12)$$

***Индикаторный КПД и удельный индикаторный расход топлива.***

Экономичность действительного рабочего цикла двигателя оценивается индикаторным КПД  $\eta_i$  и удельным индикаторным расходом топлива  $b_i$ .

Индикаторный КПД  $\eta_i$  оценивает степень использования теплоты в действительном цикле с учетом всех тепловых потерь и представляет собой отношение теплоты, эквивалентной полезной индикаторной работе, ко всей затраченной теплоте:

$$\eta_i = N_i / (G Q_n^P). \quad (1.13)$$

где  $N_i$  – индикаторная мощность, кВт;

$G$  – расход топлива, кг/с;

$Q_n^P$  – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг.

Удельный индикаторный расход топлива  $g_i$  1 кг/(кВт·ч) представляет собой отношение расхода топлива  $G$  к индикаторной мощности  $N_i$ :

$$g_i = G \cdot 3600 / N_i. \quad (1.14)$$

Значения  $\eta_i$  и  $b_i$  для двигателей при их работе на номинальном режиме приведены в табл. 1.1.

***Эффективный КПД и удельный эффективный расход топлива.***

Экономичность работы двигателя в целом оценивается эффективным КПД  $\eta_e$  и удельным эффективным расходом топлива  $g_e$ .

Эффективный КПД  $\eta_e$  оценивает степень использования теплоты топлива с учетом всех видов потерь (как тепловых, так и механических) и представляет собой отношение теплоты, эквивалентной полезной эффективной работе, ко всей затраченной теплоте:

$$\eta_e = N_e / (G Q_n^P). \quad (1.15)$$

Если известны индикаторный КПД и механический КПД, то

$$\eta_e = \eta_i \eta_m \quad (1.16)$$

Удельный эффективный расход топлива  $g_e$  1 кг/(кВт · ч) представляет собой отношение расхода топлива  $G$  к эффективной мощности  $N_e$

$$g_e = G \cdot 3600 / N_e. \quad (1.17)$$

Значения  $\eta_e$  и  $g_e$  для двигателей при их работе на номинальном режиме приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Показатели работы двигателя на номинальном режиме

Тип двигателей	Индикаторный КПД $\eta_i$	Эффективные КПД $\eta_e$	Удельный индикаторный расход топлива, г/(кВт·ч) $g_i$	Удельный эффективный расход топлива $g_e$ г/(кВт·ч)
Карбюраторные	0,26...0,38	0,25...0,32	230...300	280...325
Дизельные	0,43...0,52	0,35...0,45	160...200.	190...240

Расход (кг/с) воздуха, проходящего через двигатель:

$$M_B = 2V_h \eta_v n i \rho_B / \tau, \quad (1.18)$$

где  $V_h$  – рабочий объем цилиндра, м<sup>3</sup>;

$\eta_v$  – коэффициент наполнения цилиндров;

$n$  – частота вращения коленчатого вала, об/с;

$i$  – число цилиндров;

$\rho_B$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$\tau$  – тактность двигателя.

**Задача 1.1.** Определить индикаторную и эффективную мощности восьмицилиндрового четырехтактного бензинового двигателя, если среднее индикаторное давление  $P_i = 7,5 \cdot 10^5$  Па, диаметр цилиндра  $D = 0,1$  м, ход поршня  $S = 0,095$  м, частота вращения коленчатого вала  $n = 3000$  об/мин и механический КПД  $\eta_m = 0,8$ .

Ответ:  $N_i = 112,5$  кВт;  $N_e = 90$  кВт.

**Задача 1.2.** Определить эффективную мощность и удельный эффективный расход топлива восьмицилиндрового четырехтактного дизельного двигателя, если среднее индикаторное давление  $P_i = 7,5 \cdot 10^5$  Па, степень сжатия  $\epsilon = 16,5$ , объем камеры сгорания  $V_c = 12 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>, угловая скорость вращения коленчатого вала  $\omega = 220$  рад/с, механический КПД  $\eta_m = 0,8$  и расход топлива  $G = 1,02 \cdot 10^{-2}$  кг/с.

Решение: Среднее эффективное давление определяем по формуле (1.11):

$$p_e = \eta_m P_i = 7,5 \cdot 10^5 \cdot 0,8 = 6 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Рабочий объем цилиндра – по формуле (1.5):

$$V_h = (\epsilon - 1)V_c = (16,5 - 1)12 \cdot 10^{-5} = 18,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

Частота вращения коленчатого вала

$$n = \omega / (2\pi) = 220 / (2 \cdot 3,14) = 35 \text{ об/с.}$$

Эффективную мощность двигателя определяем по формуле (1.9):

$$\begin{aligned} N_e &= 2 p_e V_h n_i / (10^3 \tau) = \\ &= 2 \cdot 6 \cdot 10^5 \cdot 18,6 \cdot 10^{-4} \cdot 35 \cdot 8 / (10^3 \cdot 4) = 156 \text{ кВт.} \end{aligned}$$

Удельный эффективный расход топлива – по формуле (1.17):

$$g_e = G \cdot 3600 / N_e = 1,02 \cdot 10^2 \cdot 3600 / 156 = 0,235 \text{ кг/(кВт-}$$

ч).

**Задача 1.3.** Определить удельный эффективный расход топлива шестицилиндрового четырехтактного дизельного двигателя, если среднее эффективное давление  $p_e = 7,2 \cdot 10^5$  Па, полный объем цилиндра  $V_a = 7,9 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>, объем камеры сгорания  $V_c = 6,9 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>, частота вращения коленчатого вала  $n = 37$  об/с и расход топлива  $G = 3,8 \cdot 10^{-3}$  кг/с.

Ответ:  $g_e = 0,238 \text{ кг/(кВт} \cdot \text{ч)}$ .

**Задача 1.4.** Определить индикаторную мощность и среднее индикаторное давление четырехцилиндрового четырехтактного дизельного двигателя, если эффективная мощность  $N_e = 100$  кВт, угловая скорость вращения коленчатого вала  $\omega = 157$  рад/с, степень сжатия  $\varepsilon = 15$ , объем камеры сгорания  $V_c = 2,5 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>, и механический КПД  $\eta_m = 0,84$ .

Ответ:  $N_i = 119$  кВт;  $p_i = 6,8 \cdot 10^5$  Па.

**Задача 1.5.** Определить индикаторную мощность и удельный индикаторный расход топлива шестицилиндрового четырехтактного дизельного двигателя, если среднее эффективное давление  $p_e = 6,2 \cdot 10^5$  Па, диаметр цилиндра  $D = 0,11$  м, ход поршня  $S = 0,14$  м, средняя скорость поршня  $c_m = 8,4$  м/с, расход топлива  $G = 5,53 \cdot 10^{-3}$  кг/с и механический КПД  $\eta_m = 0,82$ .

Ответ:  $N_i = 90,5$  кВт;  $g_i = 0,220 \text{ кг/(кВт} \cdot \text{ч)}$ .

**Задача 1.6.** Определить диаметр цилиндра и ход поршня четырехцилиндрового четырехтактного дизельного двигателя, если эффективная мощность  $N_e = 80$  кВт, среднее эффективное давление  $p_e = 6 \cdot 10^5$  Па, частота вращения коленчатого вала  $n = 1800$  об/мин и средняя скорость поршня  $c_m = 9,6$  м/с.

Ответ:  $D = 0,135$  м;  $S = 0,16$  м.

**Задача 1.7.** Определить мощность механических потерь восьмицилиндрового четырехтактного бензинового двигателя, если среднее индикаторное давление  $p_i = 7,5 \cdot 10^5$  Па, диаметр цилиндра  $D = 0,1$  м, ход поршня  $S =$



0,095 м, частота вращения коленчатого вала  $n = 50$  об/с и механический КПД  $\eta_m = 0,8$ .

Ответ:  $N_m = 22,4$  кВт.

**Задача 1.8.** Определить индикаторную мощность и мощность механических потерь шестицилиндрового двухтактного дизельного двигателя, если среднее эффективное давление  $p_e = 6,36 \cdot 10^5$  Па, степень сжатия  $\epsilon = 16$ , объем камеры сгорания  $V_c = 7,8 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>, частота вращения коленчатого вала  $n = 35$  об/с и механический КПД  $\eta_m = 0,84$ .

Ответ:  $N_i = 186$  кВт;  $N_m = 29,8$  кВт.

**Задача 1.9.** Определить среднее индикаторное давление и среднее давление механических потерь восьмицилиндрового четырехтактного бензинового двигателя, если эффективная мощность  $N_e = 145$  кВт, диаметр цилиндра  $D = 0,1$  м, ход поршня  $S = 0,09$  м, средняя скорость поршня  $c_m = 12,0$  м/с и механический КПД  $\eta_m = 0,8$ .

Ответ  $p_i = 9,6 \cdot 10^5$  Па;  $p_m = 1,92 \cdot 10^5$  Па.

**Задача 1.10.** Определить эффективную мощность и удельный эффективный расход топлива восьмицилиндрового четырехтактного бензинового двигателя, если индикаторная работа газов за цикл  $L_i = 649$  Дж, диаметр цилиндра  $D = 0,1$  м, ход поршня  $S = 0,095$  м, средняя скорость поршня  $c_m = 9,5$  м/с, механический КПД  $\eta_m = 0,85$  и расход топлива  $G = 9,7 \cdot 10^{-3}$  кг/с.

Ответ:  $N_e = 110,5$  кВт;  $g_e = 0,316$  кг/(кВт · ч).

**Задача 1.11.** Определить удельные индикаторный и эффективный расходы топлива четырехцилиндрового четырехтактного дизельного двигателя, если среднее индикаторное давление  $p_i = 6,8 \cdot 10^5$  Па, степень сжатия  $\epsilon = 15$ , полный объем цилиндра  $V_a = 37,5 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>, угловая скорость вращения коленчатого вала  $\omega = 157$  рад/с, механический КПД  $\eta_m = 0,84$  и расход топлива  $G = 5,95 \cdot 10^{-3}$  кг/с.

Ответ:  $g_i = 0,180$  кг/(кВт · ч);  $g_e = 0,214$  кг/(кВт · ч).

**Задача 1.12.** Определить эффективную мощность и мощность механических потерь шестицилиндрового четырехтактного дизельного двигателя, если среднее эффективное давление  $p_e = 5,4 \cdot 10^5$  Па, диаметр цилиндра  $D = 0,108$  м, ход поршня  $S = 0,12$  м, средняя скорость поршня  $c_m = 8,4$  м/с и механический КПД  $\eta_m = 0,78$ .

Ответ:  $N_e = 62,4$  кВт;  $N_m = 17,6$  кВт.

**Задача 1.13.** Определить среднее индикаторное давление и индикаторную мощность шестицилиндрового четырехтактного дизельного двигателя, если диаметр цилиндра  $D = 0,15$  м, ход поршня  $S = 0,18$  м, частота вращения коленчатого вала  $n = 1500$  об/мин. Индицированием двигателя получена индикаторная диаграмма полезной площадью  $F = 1,95 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>, длиной  $\ell = 0,15$  м при масштабе давлений  $m = 0,6 \cdot 10^8$  Па/м.

Ответ:  $p_i = 7,8 \cdot 10^5$  Па,  $N_i = 186$  кВт.

**Задача 1.14.** Определить удельный индикаторный расход топлива шестицилиндрового четырехтактного бензинового двигателя, если диаметр цилиндра  $D = 0,082$  м, ход поршня  $S = 0,11$  м, частота вращения коленчатого вала  $n = 2800$  об/мин, расход топлива  $G = 4,5 \cdot 10^{-3}$  кг/с. Индицированием двигателя получена индикаторная диаграмма полезной площадью  $F = 1,6 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>, длиной  $\ell = 0,2$  м при масштабе давлений  $m = 1 \cdot 10^8$  Па/м.

Решение: Среднее индикаторное давление определяем по формуле (1.2):

$$p_i = (F/\ell)m = 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^8 / 0,2 = 8 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Рабочий объем цилиндра – по формуле (1.4):

$$V_h = \pi D^2 S / 4 = 3,14 \cdot 0,082^2 \cdot 0,11 / 4 = 5,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

Индикаторную мощность двигателя – по формуле (1.3):

$$N_i = 2 p_i V_h n i / (10^3 \tau) = 2 \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot 5,8 \cdot 10^{-4} \cdot 2800 \cdot 6 / (4 \cdot 10^3 \cdot 60) = 65 \text{ кВт.}$$

Удельный индикаторный расход топлива – по формуле (1.14):

$$g_i = G \cdot 3600 / N_i = 4,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3600 / 65 = 0,249 \text{ кг/(кВт·ч).}$$

**Задача 1.15.** Определить индикаторную мощность и мощность механических потерь четырехцилиндрового четырехтактного дизельного двигателя, если степень сжатия  $\epsilon = 17$ , полный объем цилиндра  $V_a = 11,9 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>, угловая скорость вращения коленчатого вала  $\omega = 157$  рад/с и механический КПД  $\eta_m = 0,81$ . Индицированием двигателя получена индикаторная диаграмма полезной площадью  $F = 1,8 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>, длиной  $\ell = 0,2$  м при масштабе давлений  $m = 0,81 \cdot 10^8$  Па/м.

Ответ:  $N_i = 40,3$  кВт;  $N_m = 7,7$  кВт.

**Задача 1.16.** Определить среднее эффективное давление и среднее давление механических потерь двухцилиндрового четырехтактного дизельного двигателя, если эффективная мощность  $N_e = 18$  кВт, диаметр цилиндра  $D = 0,105$  м, ход поршня  $S = 0,12$  м, частота вращения коленчатого вала  $n = 30$  об/с и ме-

ханический КПД  $\eta_m = 0,78$ .

Ответ:  $p_e = 5,77 \cdot 10^5$  Па;  $p_m = 1,63 \cdot 10^5$  Па.

**Задача 1.17.** Определить эффективную мощность и механический КПД шестицилиндрового четырехтактного дизельного двигателя, если среднее эффективное давление  $P_e = 7,2 \cdot 10^5$  Па, полный объем цилиндра  $V_a = 7,9 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>, объем камеры сгорания  $V_c = 6,9 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>, частота вращения коленчатого вала  $n = 37$  об/с и мощность механических потерь  $N_m = 14,4$  кВт.

Ответ:  $N_e = 57,6$  кВт;  $\eta_m = 0,8$ .

**Задача 1.18.** Определить среднюю скорость поршня и степень сжатия четырехцилиндрового четырехтактного бензинового двигателя, если эффективная мощность  $N_e = 51,5$  кВт, среднее эффективное давление  $p_e = 6,45 \cdot 10^5$  Па, ход поршня  $S = 0,092$  м, частота вращения коленчатого вала  $n = 4000$  об/мин и объем камеры сгорания  $V_c = 1 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>.

Ответ:  $c_m = 12,3$  м/с;  $\varepsilon = 7,0$ .

**Задача 1.19.** Определить угловую скорость вращения коленчатого вала и степень сжатия шестицилиндрового четырехтактного бензинового двигателя, если эффективная мощность  $N_e = 66$  кВт, среднее эффективное давление  $p_e = 6,5 \cdot 10^5$  Па, частота вращения коленчатого вала  $n = 60$  об/с и полный объем цилиндра  $V_a = 6,63 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>.

Ответ:  $\omega = 377$  рад/с;  $\varepsilon = 6,7$ .

**Задача 1.20.** Определить индикаторную мощность и механический КПД восьмицилиндрового четырехтактного бензинового двигателя, если среднее индикаторное давление  $p_i = 7,5 \cdot 10^5$  Па, диаметр цилиндра  $D = 0,1$  м, ход поршня  $S = 0,095$  м, средняя скорость поршня  $c_m = 9,5$  м/с и мощность механических потерь  $N_m = 23,5$  кВт.

Ответ:  $N_i = 111,8$  кВт;  $\eta_m = 0,79$ .

**Задача 1.21.** Определить литраж и удельный эффективный расход топлива шестицилиндрового четырехтактного бензинового двигателя, если эффективная мощность  $N_e = 52$  кВт, среднее эффективное давление  $p_e = 6,4 \cdot 10^5$  Па, угловая скорость вращения коленчатого вала  $\omega = 314$  рад/с и расход топлива  $B = 3,8 \cdot 10^{-3}$  кг/с.

Ответ:  $iV_h = 32,5 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>;  $g_e = 0,263$  кг/(кВт • ч).

**Задача 1.22.** Определить расход топлива четырехцилиндрового четырехтактного дизельного двигателя, если среднее индикаторное давление  $p_i =$

$= 6,8 \cdot 10^5$  Па, частота вращения коленчатого вала  $n = 25$  об/с, степень сжатия  $\varepsilon = 15$ , объем камеры сгорания  $V_c = 2,5 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>, механический КПД  $\eta_m = 0,84$  и удельный эффективный расход топлива  $g_e = 0,180$  кг/(кВт · ч).

Ответ:  $G = 5 \cdot 10^{-3}$  кг/с.

**Задача 1.23.** Определить расход топлива шестицилиндрового четырехтактного бензинового двигателя, если среднее индикаторное давление  $p_i = 8 \cdot 10^5$  Па, диаметр цилиндра  $D = 0,082$  м, ход поршня  $S = 0,11$  м, средняя скорость поршня  $c_m = 9,9$  м/с, механический КПД  $\eta_m = 0,85$  и удельный эффективный расход топлива  $g_e = 0,276$  кг/(кВт · ч).

Ответ:  $G = 4,08 \cdot 10^{-3}$  кг/с.

**Задача 1.24.** Определить литровую мощность и удельный индикаторный расход топлива восьмицилиндрового четырехтактного бензинового двигателя, если среднее индикаторное давление  $p_i = 8 \cdot 10^5$  Па, диаметр цилиндра  $D = 0,12$  м, ход поршня  $S = 0,1$  м, угловая скорость вращения коленчатого вала  $\omega = 377$  рад/с, механический КПД  $\eta_m = 0,8$  и расход топлива  $G = 16 \cdot 10^{-3}$  кг/с.

Решение: Рабочий объем цилиндра определяем по формуле (1.4):

$$V_h = \pi D^2 S / 4 = 3,14 \cdot 0,12^2 \cdot 0,1 / 4 = 11,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

Частота вращения коленчатого вала

$$n = \omega / (2\pi) = 377 / (2 \cdot 3,14) = 60 \text{ об/с}.$$

Индикаторную мощность двигателя находим по формуле (1.3):

$$N_i = 2 p_i V_h n i / (10^3 \tau) = 2 \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot 11,3 \cdot 10^{-4} \cdot 60 \cdot 8 / (10^3 \cdot 4) = 217 \text{ кВт}.$$

Эффективную мощность двигателя – по формуле (1.8):

$$N_e = \eta_m N_i = 217 \cdot 0,8 = 173,6 \text{ кВт}.$$

Литровую мощность двигателя – по формуле (1.12)

$$N_{л} = N_e / (i V_h) = 173,6 / (8 \cdot 11,3 \cdot 10^{-4}) = 19\,200 \text{ кВт/м}^3$$

Удельный индикаторный расход топлива – по формуле (1.14):

$$g_i = G \cdot 3600 / N_i = 16 \cdot 10^{-3} \cdot 3600 / 217 = 0,265 \text{ кг/(кВт·ч)}.$$

**Задача 1.25.** Определить литровую мощность шестицилиндрового четырехтактного дизельного двигателя, если среднее эффективное давление  $p_e = 7 \cdot 10^5$  Па, частота вращения коленчатого вала  $n = 35$  об/с, степень сжатия  $\varepsilon = 14,5$  и объем камеры сгорания  $V_c = 22 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>.

Ответ:  $N_{л} = 12\,250$  кВт/м<sup>3</sup>.

**Задача 1.26.** Определить индикаторную мощность и расход топлива

восьмицилиндрового бензинового двигателя, если среднее эффективное давление  $p_e = 6,56 \cdot 10^5$  Па, диаметр цилиндра  $D = 0,12$  м, ход поршня  $S = 0,1$  м, частота вращения коленчатого вала  $n = 70$  об/с, механический КПД  $\eta_m = 0,82$  и удельный индикаторный расход топлива  $g_i = 0,265$  кг/(кВт · ч).

Ответ:  $N_i = 253$  кВт;  $G = 18,6 \cdot 10^{-2}$  кг/с.

**Задача 1.27.** Определить частоту вращения коленчатого вала и удельный эффективный расход топлива четырехцилиндрового четырехтактного дизельного двигателя, если эффективная мощность  $N_e = 109$  кВт, среднее эффективное давление  $p_e = 5,6 \cdot 10^5$  Па, степень сжатия  $\varepsilon = 14$ , объем камеры сгорания  $V_c = 2,5 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup> и расход топлива  $G = 6,5 \cdot 10^{-3}$  кг/с.

Ответ:  $n = 30$  об/с;  $g_e = 0,215$  кг/(кВт · ч).

**Задача 1.28.** Определить эффективный КПД шестицилиндрового четырехтактного бензинового двигателя, если среднее эффективное давление  $p_e = 6,2 \cdot 10^5$  Па, низшая теплота сгорания топлива  $Q_{н}^p = 44\,000$  кДж/кг, диаметр цилиндра  $D = 0,092$  м, ход поршня  $S = 0,082$  м, средняя скорость поршня  $c_m = 8,2$  м/с и расход топлива  $G = 4,4 \cdot 10^{-3}$  кг/с.

Решение: Рабочий объем цилиндра определяем по формуле (1.4):

$$V_h = \pi D^2 S / 4 = 3,14 \cdot 0,092^2 \cdot 0,082 / 4 = 5,45 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

Частота вращения коленчатого вала

$$n = c_m (2S) = 8,2 / (2 \cdot 0,082) = 50 \text{ об/с}.$$

Эффективную мощность двигателя находим по формуле (1.9):

$$N_e = 2 p_e V_h n i / (10^3 \tau) = 2 \cdot 6,2 \cdot 10^5 \cdot 5,45 \cdot 10^{-4} \cdot 50 \cdot 6 / (10^3 \cdot 4) = 50,7 \text{ кВт}.$$

Эффективный КПД – по формуле (1.15):

$$\eta_e = N_e / (G Q_{н}^p) = 50,7 / (4,4 \cdot 10^{-3} \cdot 44\,000) = 0,26.$$

**Задача 1.29.** Определить индикаторный и механический КПД четырехцилиндрового четырехтактного дизельного двигателя, если среднее индикаторное давление  $p_i = 6,8 \cdot 10^5$  Па, низшая теплота сгорания топлива  $Q_{н}^p = 41\,800$  кДж/кг, угловая скорость вращения коленчатого вала  $\omega = 157$  рад/с, степень сжатия  $\varepsilon = 15$ , объем камеры сгорания  $V_c = 2,5 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>, расход топлива  $G = 6 \cdot 10^{-3}$  кг/с и эффективный КПД  $\eta_e = 0,4$ .

Ответ:  $\eta_i = 0,476$ ;  $\eta_m = 0,84$ .

**Задача 1.30.** Определить индикаторный КПД шестицилиндрового двухтактного дизельного двигателя, если среднее эффективное давление  $p_e = 6,36 \cdot 10^5$  Па, низшая теплота сгорания топлива  $Q_{н}^p = 42\,000$  кДж/кг,

степень сжатия  $\varepsilon = 16$ , объем камеры сгорания  $V_c = 7,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ , частота вращения коленчатого вала  $n = 2100 \text{ об/мин}$ , расход топлива  $G = 1,03 \cdot 10^{-2} \text{ кг/с}$  и мощность механических потерь  $N_m = 29,8 \text{ кВт}$ .

Ответ:  $\eta_i = 0,43$ .

**Задача 1.31.** Определить индикаторный и эффективный КПД четырехцилиндрового четырехтактного дизельного двигателя, если степень сжатия  $\varepsilon = 17$ , полный объем цилиндра  $V_d = 11,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ , угловая скорость вращения коленчатого вала  $\omega = 157 \text{ рад/с}$ , низшая теплота сгорания топлива  $Q_n^p = 42\,000 \text{ кДж/кг}$ , расход топлива  $G = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$  и механический КПД  $\eta_m = 0,81$ . Индицированием двигателя получена индикаторная диаграмма полезной площадью  $F = 1,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ , длиной  $\ell = 0,19 \text{ м}$  при масштабе давлений  $m = 0,72 \cdot 10^8 \text{ Па/м}$ .

Ответ:  $\eta_i = 0,43$ ;  $\eta_e = 0,35$ .

**Задача 1.32.** Определить расход топлива для восьмицилиндрового четырехтактного бензинового двигателя, если среднее эффективное давление  $p_e = 7 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , полный объем цилиндра  $V_a = 7,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ , объем камеры сгорания  $V_c = 7,0 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ , частота вращения коленчатого вала  $n = 53 \text{ об/с}$ , низшая теплота сгорания топлива  $Q_n^p = 46\,000 \text{ кДж/кг}$  и эффективный КПД  $\eta_e = 0,28$ .

Ответ:  $G = 8,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$ .

**Задача 1.33.** Определить расход топлива для шестицилиндрового четырехтактного дизельного двигателя, если среднее индикаторное давление  $p_i = 9 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , полный объем цилиндра  $V_a = 7,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ , объем камеры сгорания  $V_c = 6,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ , частота вращения коленчатого вала  $n = 2220 \text{ об/мин}$ , низшая теплота сгорания топлива  $Q_n^p = 42\,800 \text{ кДж/кг}$ , эффективный КПД  $\eta_e = 0,35$  и механический КПД  $\eta_m = 0,84$ .

Решение: Рабочий объем цилиндра

$$V_h = V_a - V_c = 7,9 \cdot 10^{-4} - 6,9 \cdot 10^{-5} = 7,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

Индикаторный КПД определяем из формулы (1.16):

$$\dot{\eta}_e = \dot{\eta}_i \dot{\eta}_m = 0,35/0,84 = 0,44.$$

Индикаторную мощность двигателя – по формуле (1.3):

$$N_i = 2 p_i V_h n i / (10^3 \tau) = 2 \cdot 9 \cdot 10^5 \cdot 7,2 \cdot 10^{-4} \cdot 2220 \cdot 6/10^5 \cdot 4 \cdot 60 = 72 \text{ кВт}.$$

Расход топлива – из формулы (1.13):

$$\dot{\eta}_i = N_i / (G Q_n^p) = 72 / (0,44 \cdot 42\,800) = 3,82 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}.$$

**Задача 1.34.** Определить экономию топлива в процентах, которую дает замена бензинового двигателя дизельным при средней индикаторной мощности  $N_i = 148$  кВт, если индикаторный КПД карбюраторного двигателя  $\eta_{i1} = 0,34$ , дизельного  $\eta_{i2} = 0,45$ . Низшая теплота сгорания бензина  $Q_{н1}^p = 43\,500$  кДж/кг, дизельного топлива  $Q_{н2}^p = 42\,600$  кДж/кг.

Ответ:  $\Delta B = 23 \%$ .

**Задача 1.35.** Определить экономию топлива в процентах, которую дает замена восьмицилиндрового четырехтактного бензинового двигателя дизельным, при одинаковой эффективной мощности, если у карбюраторного двигателя эффективное давление  $p_e = 6,4 \cdot 10^5$  Па, рабочий объем цилиндра  $V_h = 11,3 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>, частота вращения коленчатого вала  $n = 60$  об/с, эффективный КПД  $\eta_{e1} = 0,31$ , а у дизельного двигателя эффективный КПД  $\eta_{e2} = 0,38$ . Низшая теплота сгорания бензина  $Q_{н1}^p = 43000$  кДж/кг, а дизельного топлива  $Q_{н2}^p = 42\,500$  кДж/кг.

Решение: Эффективную мощность бензинового двигателя определяем по формуле (1.9):

$$N_e = 2 p_e V_h n_i / (10^3 \tau) = 2 \cdot 6,4 \cdot 10^5 \cdot 11,3 \cdot 10^{-4} \cdot 60 \cdot 8 / (10^3 \cdot 4) = 173,6 \text{ кВт.}$$

Расход топлива находим из формулы (1.15):

для бензинового двигателя

$$B_1 = N_e / (\eta_{e1} Q_{н1}^p) = 173,6 / (0,31 \cdot 43000) = 0,013 \text{ кг/с;}$$

для дизельного двигателя

$$B_2 = N_e / (\eta_{e2} Q_{н2}^p) = 173,6 / (0,38 \cdot 42500) = 0,0108 \text{ кг/с.}$$

Экономия топлива

$$\Delta B = (B_1 - B_2) 100 / B_1 = (0,013 - 0,0108) 100 / 0,013 = 16,9\%.$$

**Задача 1.36.** Определить расход воздуха, проходящего через шестицилиндровый четырехтактный дизельный двигатель, если диаметр цилиндра  $D = 0,15$  м, ход поршня  $S = 0,18$  м, средняя скорость поршня  $c_m = 9$  м/с, коэффициент наполнения цилиндров  $\eta_v = 0,825$  и плотность воздуха  $\rho_v = 1,224$  кг/м<sup>3</sup>.

Решение: Рабочий объем цилиндра определяем по формуле (1.4):

$$V_h = (\pi D^2 / 4) S = (3,14 \cdot 0,15^2 / 4) 0,18 = 31,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

Частота вращения коленчатого вала

$$n = c_m / 2S = 9 / (2 \cdot 0,18) = 25 \text{ об/с.}$$

Расход воздуха находим по формуле (5.18):

$$M_B = 2V_h \eta_v i n \rho_B / \tau = 2 \cdot 31,8 \cdot 10^{-4} \cdot 0,825 \cdot 6 \cdot \\ \cdot 25 \cdot 1,224 / 4 = 0,241 \text{ кг/с.}$$

**Задача 1.37.** Определить расход воздуха, проходящего через восьмицилиндровый четырехтактный бензиновый двигатель, если полный объем цилиндра двигателя  $V_a = 7,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ , объем камеры сгорания  $V_c = 7,0 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ , частота вращения, коленчатого вала  $n = 53 \text{ об/с}$ , коэффициент наполнения цилиндров  $\eta_v = 0,83$  и плотность воздуха  $\rho_B = 1,224 \text{ кг/м}^3$ .

Ответ:  $M_B = 0,155 \text{ кг/с}$ .



## 2. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ДВИГАТЕЛЯ

Распределение теплоты, полученной при сгорании вводимого в цилиндр топлива, называют тепловым балансом, который обычно определяется экспериментальным путем.

Уравнение теплового баланса имеет вид

$$Q = Q_e + Q_{\text{охл}} + Q_{\text{Г}} + Q_{\text{н.с}} + Q_{\text{ост}} \quad (2.1)$$

где  $Q$  – теплота топлива, введенная в двигатель;

$Q_e$  – теплота, превращенная в полезную работу;

$Q_{\text{охл}}$  – теплота, потерянная с охлаждающей жидкости;

$Q_{\text{Г}}$  – теплота, потерянная с отработавшими газами;

$Q_{\text{н.с}}$  – теплота, теряемая вследствие неполного сгорания топлива;

$Q_{\text{ост}}$  – остаточный член баланса, который равен сумме всех неучтенных потерь.

Тепловой баланс можно составить в процентах от всего количества введенной теплоты:

$$q_e + q_{\text{охл}} + q_{\text{Г}} + q_{\text{н.с}} + q_{\text{ост}} = 100 \quad (2.2)$$

где  $q_e = (Q_e / Q) 100$ ;

$q_{\text{охл}} = (Q_{\text{охл}} / Q) 100$ ;

$q_{\text{Г}} = (Q_{\text{Г}} / Q) 100$  и.д.

Количество располагаемой (введенной) теплоты в течение секунды (кДж/с)

$$Q = G Q_{\text{н}}^{\text{P}}, \quad (2.3)$$

где  $G$  – расход топлива, кг/с;

$Q_{\text{н}}^{\text{P}}$  – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг.

Теплота, превращенная в полезную работу (кДж/с):

$$Q_e = N_e, \quad (2.4)$$

где  $N_e$  – эффективная мощность двигателя, кВт.

Теплота, потерянная с охлаждающей жидкостью (кДж/с):

$$Q_{\text{охл}} = G_{\text{в}} c_{\text{в}} (t_2 - t_1), \quad (2.5)$$

где  $G_{\text{в}}$  – расход воды, проходящей через систему, кг/с;

$c_{\text{в}}$  – теплоемкость воды, кДж/ (кгК),  $c_{\text{в}} = 4,19$  кДж/(кгК);

$t_2$  и  $t_1$  – температура жидкости на входе в систему и выходе из нее, °С.

Теплота, потерянная с отработавшими газами (кДж/с):

$$Q_{\text{Г}} = G (V_{\text{Г}} c_{\text{рГ}} t_{\text{Г}} - V_{\text{в}} c_{\text{рв}} t_{\text{в}}), \quad (2.6)$$

где  $G$  – расход топлива, кг/с;

$V_{\Gamma}$  и  $V_{\text{в}}$  – расходы газов и воздуха,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ;

$c_{p\Gamma}$  и  $c_{p\text{в}}$  – средние объемные теплоемкости газов и воздуха при постоянном давлении,  $\text{кДж} (\text{м}^3 \cdot \text{К})$ ;

$t_{\Gamma}$  и  $t_{\text{в}}$  – температура отработавших газов и воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ .

Теплота, теряемая вследствие неполного сгорания топлива ( $\text{кДж/с}$ ), определяется опытным путем.

Остаточный член теплового баланса ( $\text{кДж/с}$ )

$$Q_{\text{ост}} = Q - (Q_{\text{е}} + Q_{\text{охл}} + Q_{\Gamma} + Q_{\text{н.с}}) \quad (2.7)$$

**Задача 2.1.** Определить количество теплоты, введенной в четырехцилиндровый четырехтактный дизельный двигатель, если среднее эффективное давление  $p_{\text{е}} = 7,25 \cdot 10^5$  Па, диаметр цилиндра  $D = 0,12$  м, ход поршня  $S = 0,12$  м, средняя скорость поршня  $c_{\text{м}} = 8$  м/с, низшая теплота сгорания топлива  $Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 42\,300$   $\text{кДж/кг}$  и удельный эффективный расход топлива  $b_{\text{е}} = 0,252$   $\text{кг}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$ .

Решение: Рабочий объем цилиндра определяем по формуле (1.4):

$$V_{\text{h}} = (\pi D^2/4) S = (3,14 \cdot 0,12^2/4) 0,12 = 13,56 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

Частота вращения коленчатого вала

$$n = c_{\text{м}} (2S) = 8/(2 \cdot 0,12) = 33 \text{ об/с}.$$

Эффективную мощность двигателя находим по (1.9)

$$\begin{aligned} N_{\text{е}} &= (2/\pi 10^3) p_{\text{е}} V_{\text{h}} n = (2/4 \cdot 10^3) 7,25 \cdot 10^5 \cdot \\ &\cdot 13,56 \cdot 10^{-4} \cdot 33 \cdot 4 = 64,9 \text{ кВт} \end{aligned}$$

Расход топлива – из формулы (1.17):

$$B = g_{\text{е}} N_{\text{е}} / 3600 = 0,252 \cdot 64,9 / 3600 = 4,54 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}.$$

Количество теплоты, введенной в двигатель, – по формуле (2.3):

$$Q = G Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 4,54 \cdot 10^{-3} \cdot 42\,300 = 192 \text{ кДж/с}.$$

**Задача 2.2.** Определить количество теплоты, введенной в шестицилиндровый четырехтактный дизельный двигатель, если среднее эффективное давление  $p_{\text{е}} = 6,8 \cdot 10^5$  Па, степень сжатия  $\varepsilon = 16,5$ , объем камеры сгорания  $V_{\text{с}} = 12 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ , угловая скорость вращения коленчатого вала  $\omega = 220$  рад/с, низшая теплота сгорания топлива  $Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 44\,000$   $\text{кДж/кг}$  и удельный эффективный расход топлива  $g_{\text{е}} = 0,25$   $\text{кг}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$ .

Ответ:  $Q = 405,8$   $\text{кДж/с}$ .

**Задача 2.3.** Определить количество теплоты, введенной в восьмицилиндровый четырехтактный бензиновый двигатель, если среднее индикаторное давление  $p_{\text{е}} = 9,6 \cdot 10^5$  Па, диаметр цилиндра  $D = 0,1$  м, ход поршня  $S = 0,09$  м, средняя скорость поршня  $c_{\text{м}} = 12,0$  м/с, механический КПД  $\eta_{\text{м}} =$

$= 0,8$ , низшая теплота сгорания топлива  $Q_n^p = 44\,400$  кДж/кг и удельный эффективный расход топлива  $g_e = 0,31$  кг/(кВт • ч).

Ответ:  $Q = 554,4$  кДж/с.

**Задача 2.4.** Восьмицилиндровый четырехтактный дизельный двигатель эффективной мощностью  $N_e = 176$  кВт работает на топливе с низшей теплотой сгорания  $Q_n^p = 42\,600$  кДж/кг при эффективном КПД  $\eta_e = 0,38$ . Определить в процентах теплоту, превращенную в полезную работу, потери теплоты с охлаждающей жидкостью и потери теплоты с отработанными газами, если расход охлаждающей воды через двигатель  $G_b = 2$  кг/с, разность температур выходящей из двигателя и входящей жидкостью  $\Delta t = 10$  °С, объем газов, получаемый при сгорании 1 кг топлива,  $V_r = 16,4$  м<sup>3</sup>/кг, объем воздуха, необходимый для сгорания 1кг топлива,  $V_b = 15,5$  м<sup>3</sup>/кг, температура отработавших газов  $t_r = 550$  °С, средняя объемная теплоемкость газов  $c_{rg} = 1,44$  кДж/(м<sup>3</sup> • К) и температура воздуха  $t_b = 20$  °С.

Решение: Теплота, превращенная в полезную работу, согласно формуле (1.22)

$$Q = N_e = 176 \text{ кДж/с.}$$

Расход топлива двигателем находим из формулы (1.15):,

$$G = N_e / (\eta_e Q_n^p) = 176 / (0,38 \cdot 42\,600) = 10,9 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с.}$$

Теплота, превращенная в полезную работу (%):

$$q_e = (Q_e / (GQ_n^p))100 = ((176 / (10,9 \cdot 10^{-3} \cdot 42\,600))100 = 38\%.$$

Потери теплоты с охлаждающей жидкостью – по формуле (2.5):

$$Q_{охл} = G_b c_b (t_2 - t_1) = 2 \cdot 4,19 \cdot 10 = 83,8 \text{ кДж/с,}$$

или в процентах

$$q_{охл} = (Q_{охл} / (GQ_n^p)) = (83,8 / (10,9 \cdot 10^{-3} \cdot 42\,600))100 = 18 \%.$$

Потери теплоты с отработавшими газами – по формуле (2.6):

$$Q_r = G (V_r c_{rg} t_r - V_b c_{pb} t_b) = 10,9 \cdot 10^{-3} (16,4 \cdot 1,44 \cdot 550 - 15,5 \cdot 1,3 \cdot 20) = 137,2 \text{ кДж/с,}$$

или в процентах

$$q_r = (Q_r / (GQ_n^p))100 = (137,2 / (10,9 \cdot 10^{-3} \cdot 42\,600)) \cdot 100 = 29,5 \%$$

**Задача 2.5.** Определить потери теплоты в процентах с отработавшими газами в шестицилиндровом четырехтактном бензиновом двигателе, если среднее эффективное давление  $p_e = 6,1 \cdot 10^5$  Па, литраж двигателя  $iV_h = 32,6 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>, уг-

ловая скорость вращения коленчатого вала  $\omega = 314$  рад/с, низшая теплота сгорания топлива  $Q_n^p = 43\,900$  кДж/кг, удельный эффективный расход топлива  $g_e = 0,292$  кг/(кВт • ч) и количество теплоты, потерянной с отработавшими газами,  $Q_r = 70$  кДж/с.

Ответ:  $q_r = 40$  %.

**Задача 2.6.** Четырехцилиндровый четырехтактный дизельный двигатель индикаторной мощностью  $N_i = 50,4$  кВт работает на топливе с низшей теплотой сгорания  $Q_n^p = 42\,000$  кДж/кг при индикаторном КПД  $\eta_i = 0,4$ . Определить потери теплоты с отработавшими газами в кДж/с и процентах, если объем газов, получаемых при сгорании 1 кг топлива,  $V_r = 15,9$  м<sup>3</sup>/кг, объем воздуха, необходимый для сгорания 1 кг топлива,  $V_b = 15$  м<sup>3</sup>/кг, температура отработавших газов  $t_r = 600$  °С, средняя объемная теплоемкость газов  $c_{pr} = 1,45$  кДж/(м<sup>3</sup> • К) и температура воздуха  $t_b = 20$  °С.

Ответ:  $Q_r = 40,33$  кДж/с;  $q_r = 32$  %.

**Задача 2.7.** Определить в кДж/с и процентах теплоту, превращенную в полезную работу в шестицилиндровом четырехтактном бензиновом двигателе, если литровая мощность  $N_l = 14000$  кВт/м<sup>3</sup>, рабочий объем цилиндра  $V_h = 11,3 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>, низшая теплота сгорания топлива  $Q_n^p = 39300$  кДж/кг, удельный индикаторный расход топлива  $g_i = 0,264$  кг/(кВт • ч) и механический КПД  $\eta_m = 0,81$ .

Ответ:  $Q_e = 94,9$  кДж/с;  $q_e = 28,1$  %.

**Задача 2.8.** Определить в кДж/с и процентах теплоту, превращенную в полезную работу в восьмицилиндровом четырехтактном бензиновом двигателе, если среднее эффективное давление  $p_e = 6 \cdot 10^5$  Па, диаметр цилиндра  $D = 0,1$  м, ход поршня  $S = 0,095$  м, угловая скорость вращения коленчатого вала  $\omega = 314$  рад/с, низшая теплота сгорания топлива  $Q_n^p = 44000$  кДж/кг и удельный эффективный расход топлива  $g_e = 0,29$  кг/(кВт • ч).

Ответ:  $Q_e = 89,5$  кДж/с;  $q_e = 28,2$  %.

**Задача 2.9.** Определить в процентах теплоту, превращенную в полезную работу в восьмицилиндровом четырехтактном дизельном двигателе, если среднее индикаторное давление  $p_i = 7,5 \cdot 10^5$  Па, степень сжатия  $\varepsilon = 16,5$ , полный объем цилиндра  $V_a = 19,8 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>, частота вращения коленчатого вала  $n = 2100$  об/мин, механический КПД  $\eta_m = 0,8$ , низшая теплота сгорания топлива  $Q_n^p = 42\,800$  кДж/кг и удельный эффективный расход топлива  $g_e = 0,255$  кг/(кВт • ч).

Ответ:  $q_e = 33 \%$ .

**Задача 2.10.** Четырехцилиндровый четырехтактный бензиновый двигатель эффективной мощностью  $N_e = 58$  кВт работает на топливе с низшей теплотой сгорания  $Q_n^p = 44\,000$  кДж/кг при эффективном КПД  $\eta_e = 0,29$ . Определить потери теплоты в кДж/с и процентах с охлаждающей жидкостью, если расход охлаждающей жидкости через двигатель составляет  $G_b = 0,96$  кг/с и разность температур выходящей из двигателя и входящей жидкостью  $\Delta t = 12$  °С.

Ответ:  $Q_{охл} = 48,27$  кДж/с;  $q_{охл} = 24,1 \%$ .

**Задача 2.11.** Четырехцилиндровый четырехтактный дизельный двигатель литровой мощностью  $N_l = 10\,000$  кВт/м<sup>3</sup> работает на топливе с низшей теплотой сгорания  $Q_n^p = 42\,900$  кДж/кг при эффективном КПД  $\eta_e = 0,34$ . Определить потери теплоты с охлаждающей жидкостью в процентах, если диаметр цилиндра  $D = 0,12$  м, ход поршня  $S = 0,14$  м, расход охлаждающей жидкости через двигатель  $G_b = 0,94$  кг/с и разность температур выходящей из двигателя и входящей жидкости  $\Delta t = 11$  °С.

Ответ:  $q_{охл} = 23,4 \%$ .

**Задача 2.12.** Определить в кДж/с и процентах потери теплоты с охлаждающей жидкостью в четырехцилиндровом четырехтактном дизельном двигателе, если среднее индикаторное давление  $p_i = 7,6 \cdot 10^5$ , диаметр цилиндра  $D = 0,11$  м, ход поршня  $S = 0,125$  м, частота вращения коленчатого вала  $n = 2200$  об/мин, механический КПД  $\eta_m = 0,83$ , низшая теплота сгорания топлива  $Q_n^p = 42\,600$  кДж/кг, удельный эффективный расход топлива  $g_e = 0,248$  кг/(кВт · ч), расход охлаждающей жидкости через двигатель составляет  $G_b = 0,92$  кг/с и разность температур выходящей из двигателя и входящей жидкостью  $\Delta t = 10$  °С.

Ответ:  $Q_{охл} = 38,55$  кДж/с;  $q_{охл} = 23,9 \%$ .

**Задача 2.13.** Шестицилиндровый четырехтактный дизельный двигатель индикаторной мощностью  $N_i = 100$  кВт работает на топливе с низшей теплотой сгорания  $Q_n^p = 42\,900$  кДж/кг при индикаторном КПД  $\eta_i = 0,45$ . Определить расход охлаждающей жидкости, если потери теплоты с охлаждающей жидкостью  $q_{охл} = 22 \%$  и разность температур выходящей из двигателя и входящей жидкости  $\Delta t = 9$  °С.

Ответ:  $G_b = 1,3$  кг/с

**Задача 2.14.** Определить расход охлаждающей жидкости и воздуха

для восьмицилиндрового четырехтактного бензинового двигателя, если количество теплоты, потерянной в охлаждающую среду,  $Q_{\text{охл}} = 85 \text{ кДж/с}$ , разность температур выходящей из двигателя и входящей жидкости  $\Delta t = 11^\circ\text{C}$ , литраж двигателя  $iV_h = 59,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ , частота вращения коленчатого вала  $n = 53 \text{ об/с}$ , коэффициент наполнения цилиндров  $\eta_v = 0,8$  и плотность воздуха  $\rho_v = 1,224 \text{ кг/м}^3$ .

Ответ:  $G_B = 1,84 \text{ кг/с}$ ;  $M_B = 0,155 \text{ кг/с}$ .

**Задача 2.15.** Определить расход топлива и охлаждающей жидкости для четырехцилиндрового четырехтактного дизельного двигателя, если среднее эффективное давление  $p_e = 6 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , диаметр цилиндра  $D = 0,135 \text{ м}$ , ход поршня  $S = 0,16 \text{ м}$ , средняя скорость поршня  $c_m = 9,6 \text{ м/с}$ , низшая теплота сгорания топлива  $Q_n^P = 42\,300 \text{ кДж/кг}$ , эффективный КПД  $\eta_e = 0,34$ , количество теплоты, потерянной с охлаждающей жидкостью,  $Q_{\text{охл}} = 42 \text{ кДж/с}$  и разность температур выходящей из двигателя и входящей жидкости  $\Delta t = 10^\circ\text{C}$

Ответ:  $G = 5,56 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$ ;  $G_B = 1 \text{ кг/с}$ .

**Задача 2.16.** Определить потери теплоты в процентах от неполного сгорания топлива в шестицилиндровом четырехтактном дизельном двигателе, если среднее эффективное давление  $p_e = 7,2 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , полный объем цилиндра  $V_a = 8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ , объем камеры сгорания  $V_c = 7,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ , частота вращения коленчатого вала  $n = 37 \text{ об/с}$ , низшая теплота сгорания топлива  $Q_n^P = 42\,700 \text{ кДж/кг}$ , удельный эффективный расход топлива  $g_e = 0,250 \text{ кг/(кВт} \cdot \text{ч)}$  и количество теплоты, потерянной от неполного сгорания топлива,  $Q_n^P = 6,8 \text{ кДж/с}$ .

Ответ:  $q_{\text{н.с}} = 4 \%$ .

**Задача 2.17.** Определить потери теплоты в процентах от неполного сгорания топлива в восьмицилиндровом четырехтактном бензиновом двигателе, если среднее индикаторное давление  $p_i = 9,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , диаметр цилиндра  $D = 0,092 \text{ м}$ , ход поршня  $S = 0,08 \text{ м}$ , угловая скорость вращения коленчатого вала  $\omega = 314 \text{ рад/с}$ , механический КПД  $\eta_m = 0,82$ , низшая теплота сгорания топлива  $Q_n^P = 44\,000 \text{ кДж/кг}$ , удельный эффективный расход топлива  $g_e = 0,31 \text{ кг/(кВт} \cdot \text{ч)}$  и потери теплоты от неполного сгорания топлива  $Q_n^P = 47,2 \text{ кДж/с}$ .

Ответ:  $q_{\text{н.с}} = 15 \%$ .

**Задача 2.18.** Определить составляющие в процентах теплового балан-

са четырехцилиндрового четырехтактного бензинового двигателя, если среднее эффективное давление  $p_e = 6,45 \cdot 10^5$  Па, степень сжатия,  $\varepsilon = 7,0$ , объем камеры сгорания  $V_c = 1 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>, ход поршня  $S = 0,092$  м, частота вращения коленчатого вала  $n = 4000$  об/мин, низшая теплота сгорания топлива  $Q_n^p = 43800$  кДж/кг, удельный эффективный расход топлива  $g_e = 0,34$  кг/(кВт · ч), потери теплоты с охлаждающей жидкостью  $Q_{охл} = 46$  кДж/с, потери теплоты с отработавшими газами  $Q_r = 56$  кДж/с, потери теплоты от неполного сгорания топлива  $Q_{н.с} = 39,6$  кДж/с и неучтенные потери  $Q_{ост} = 19,8$  кДж/с.

Решение: Рабочий объем цилиндра

$$V_h = (\varepsilon - 1) V_c = (7 - 1) 1 \cdot 10^{-4} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

Эффективную мощность двигателя определяем по формуле (1.9):

$$N_e = 2 p_e V_h n_i / (10^3 \tau) = 2 \cdot 6,45 \cdot 10^5 \cdot 6 \cdot 10^{-4} \cdot 4000 \cdot 4 / (4 \cdot 10^{-3} \cdot 60) = 51,6 \text{ кВт},$$

Теплоту, превращенную в полезную работу, находим по формуле (2.4):

$$Q_e = N_e \cdot \tau = 51,6 \text{ кДж/с}.$$

Расход топлива – из формулы (1.15):

$$B = g_e N_e / 3600 = 0,34 \cdot 51,6 / 3600 = 4,87 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}.$$

Теплота (%), превращенная в полезную работу:

$$q_e = (Q_e / (G Q_n^p)) 100 = (51,6 / (4,87 \cdot 10^{-3} \cdot 43800)) \cdot 100 = 24,2 \%$$

Потери теплоты (%) с охлаждающей жидкостью

$$q_{охл} = (Q_{охл} / (G Q_n^p)) 100 = (46 / (4,87 \cdot 10^{-3} \cdot 43800)) \cdot 100 = 21,6 \%$$

Потери теплоты (%) с отработавшими газами

$$q_r = (Q_r / (G Q_n^p)) 100 = (56 / (4,87 \cdot 10^{-3} \cdot 43800)) \cdot 100 = 26,3 \%$$

Потери теплоты (%) от неполного сгорания топлива

$$q_{н.с} = (Q_{н.с} / (G Q_n^p)) 100 = (39,6 / (4,87 \cdot 10^{-3} \cdot 43800)) \cdot 100 = 18,6 \%$$

Неучтенные потери (%)

$$q_{ост} = (Q_{ост} / (G Q_n^p)) 100 = (19,8 / (4,87 \cdot 10^{-3} \cdot 43800)) \cdot 100 = 9,3 \%$$

Для проверки точности вычислений составим тепловой баланс в процентах от всего количества введенной теплоты согласно уравнению (2.2):

$$q_e + q_{\text{охл}} + q_r + q_{\text{н.с}} + q_{\text{ост}} = 24,2 + 21,6 + 26,3 + 18,6 + 9,3 = 100 \, \%.$$

**Задача 2.19.** Четырехцилиндровый четырехтактный дизельный двигатель эффективной мощностью  $N_e = 40$  кВт работает на топливе с низшей теплотой сгорания  $Q_n^p = 42\,400$  кДж/кг при эффективном КПД  $\eta_e = 0,35$ . Определить составляющие теплового баланса в кДж/с, если потери теплоты с охлаждающей жидкостью  $q_{\text{охл}} = 26 \, \%$ , потери теплоты с отработавшими газами  $q_r = 30 \, \%$  и потери теплоты от неполного сгорания топлива  $q_{\text{н.с}} = 5 \, \%$ .

Ответ:  $Q_e = 40$  кДж/с,  $Q_{\text{охл}} = 29,7$  кДж/с,  $Q_r = 34,3$  кДж/с,  $Q_{\text{н.с}} = 5,7$  кДж/с,  $Q_{\text{ост}} = 4,6$  кДж/с.

**Задача 2.20.** Определить неучтенные потери в процентах в шестицилиндровом четырехтактном дизельном двигателе, если среднее эффективное давление  $p_e = 6,2 \cdot 10^5$  Па, диаметр цилиндра  $D = 0,11$  м, ход поршня  $S = 0,14$  м, средняя скорость поршня  $c_m = 8,4$  м/с, низшая теплота сгорания топлива  $Q_n^p = 42\,600$  кДж/кг, удельный эффективный расход топлива  $g_e = 0,244$  кг/(кВт · ч) и неучтенные потери  $Q_{\text{ост}} = 10$  кДж/с.

Ответ:  $q_{\text{ост}} = 4,7 \, \%$ .

**Задача 2.21.** Двенадцатицилиндровый двухтактный дизельный двигатель эффективной мощностью  $N_e = 300$  кВт работает на топливе с низшей теплотой сгорания  $Q_n^p = 42\,500$  кДж/кг при эффективном КПД  $\eta_e = 0,35$ . Определить неучтенные потери в кДж/с, если потери теплоты с охлаждающей жидкостью  $Q_{\text{охл}} = 190$  кДж/с, потери теплоты с отработавшими газами  $Q_r = 284$  кДж/с и потери теплоты от неполного сгорания топлива  $Q_{\text{н.с}} = 42$  кДж/с.

Ответ:  $Q_{\text{ост}} = 34$  кДж/с.

**Задача 2.22.** Определить теплоту, превращенную в полезную работу, и неучтенные потери в процентах в восьмицилиндровом четырехтактном дизельном двигателе, если среднее эффективное давление  $p_e = 7,14 \cdot 10^5$  Па, диаметр цилиндра  $D = 0,13$  м, отношение  $S/D = 1,08$ , угловая скорость вращения коленчатого вала  $\omega = 178$  рад/с, низшая теплота сгорания топлива  $Q_n^p = 43\,000$  кДж/кг, удельный эффективный расход топлива  $g_e = 0,240$  кг/(кВт · ч) и неучтенные потери  $Q_{\text{ост}} = 8,6$  кДж/с.

Ответ:  $q_e = 34,9 \, \%$ ;  $q_{\text{ост}} = 2 \, \%$ .

**Задача 2.23.** Шестицилиндровый четырехтактный бензиновый двига-



тель эффективной мощностью  $N_e = 50,7$  кВт работает на топливе с низшей теплотой сгорания  $Q_{н}^p = 44\,000$  кДж/кг при эффективном КПД  $\eta_e = 0,26$ . Определить удельный эффективный расход топлива и расход охлаждающей жидкостью, если количество теплоты, потерянной с охлаждающей жидкостью,  $Q_{охл} = 62$  кДж/с и разность температур выходящей из двигателя и входящей жидкости  $\Delta t = 12$  °С.

Ответ:  $g_e = 0,31$  кг/(кВт • ч);  $G_b = 1,23$  кг/с.

Составители: **Булаев Евгений Александрович**  
**Федюнин Павел Иванович**  
**Сальников Сергей Петрович**  
**Вертей Михаил Леванович**  
**Комлев Виталий Анатольевич**  
**Вальков Валерий Анатольевич**  
**Матяш Сергей Петрович**

# **ТРАКТОРЫ И АВТОМОБИЛИ**

Методические указания  
для практических занятий

---

Подписано в печать 30 мая 2017 г..      Формат 60×84<sup>1/16</sup>.  
Объем 1,2 уч.-изд. л.      Изд. № \_\_\_\_\_.      Заказ № \_\_\_\_  
Тираж 100 экз.

Отпечатано в мини-типографии Инженерного института НГАУ  
630039, Новосибирск, ул. Никитина, 147