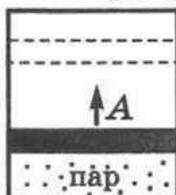


ОК-8.13 ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

§21 §22 §23 §24

Дж. Уатт (англ.) – конец XVII в.

машины, в которых внутренняя энергия топлива превращается в механическую энергию



энергия топлива → энергия газа (или пара) →
газ расширяется → газ совершает A (газ охлаждается) →
часть его внутр. энергии → в $E_{\text{мех}}$



ВИДЫ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

- паровая машина
- двигатель внутреннего сгорания
- паровая, и газовая турбины
- реактивный двигатель

ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ (ДВС)

топливо (бензин, керосин, нефть, горючий газ)
сгорает внутри двигателя – в цилиндре
(в автомобилях, самолетах, теплоходах, тепловозах, тракторах)

Состав ДВС:

1. цилиндр (сгорание горючей смеси – пары бензина и воздуха)
2. поршень → шатун → коленчатый вал → маховик
3. два клапана (периодически откр-ся и закр-ся)
4. горючая смесь через 1 клапан → в цилиндр →
воспламеняется с помощью свечи → через 2 клапан →
выпуск отработанных газов

Цикл работы ДВС:

- 1 такт – впуск (цилиндр заполняется горючей смесью)
- 2 такт – сжатие (сжатие, воспламенение и сгорание горючей смеси)
- 3 такт – рабочий ход (нагретые газы расширяются → движение поршня)
- 4 такт – выпуск (выход продуктов сгорания в атмосферу)

ПАРОВАЯ ТУРБИНА

Принцип действия:

струи пара (из сопел) → давление на лопатки → диск турбины вращается

СХЕМА ТЕПЛООВОГО ДВИГАТЕЛЯ



$$\text{КПД} = \frac{A_n}{Q_n} \cdot 100\%$$

A_n – полезная работа
 Q_n – получено от нагревателя
 Q_x – отдано холодильнику

ДВС ≈ 20–40%, паровой турбины ≈ 30%

Задача № 11. **ЕГЭ** Тепловая машина, работающая по циклу Карно, совершает за один цикл работу $A = 2,94$ кДж и отдаёт за один цикл охладителю количество теплоты $Q_2 = 13,4$ кДж. Найти КПД цикла η .

► Решение. Согласно $\eta = \frac{A}{Q_1} \cdot 100 \%$,

где $Q_1 = Q_2 + A$. Тогда

$$\eta = \frac{A}{Q_2 + A} \cdot 100 \%$$

► Ответ. $\eta = 18 \%$.

Задачи на КПД тепловых двигателей с решениями

Формулы, используемые на уроках «Задачи на КПД тепловых двигателей».

Название величины	Обозначение	Единица измерения	Формула
Масса топлива	m	кг	
Удельная теплота сгорания топлива	q	Дж/кг	
Полезная работа	A_n	Дж	$A_n = \eta Q$
Затраченная энергия	Q	Дж	$Q = qm$
КПД	η	%	$\eta = \frac{A_n}{Q} 100\%$

Относится ли ружьё к тепловым двигателям? Да, так как при выстреле внутренняя энергия топлива превращается в механическую энергию.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача № 1. Определите КПД двигателя автомобиля, которому для выполнения работы 110,4 МДж потребовалось 8 кг бензина.

<i>Дано:</i> $A_n = 110,4 \text{ МДж}$ $q = 4,6 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}$ $m = 8 \text{ кг}$	$110,4 \cdot 10^6 \text{ Дж}$	<i>Решение:</i> $\eta = \frac{A_n}{Q} 100\%$ 1) $Q = qm = 4,6 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг} \cdot 8 \text{ кг}$ $Q = 368 \cdot 10^6 \text{ Дж}$ 2) $\eta = \frac{110,4 \cdot 10^6 \text{ Дж}}{368 \cdot 10^6 \text{ Дж}} 100\% = 30\%$
$\eta - ?$		

Задача № 2. Определите КПД двигателя автомобиля, которому для выполнения работы 220,8 МДж потребовалось 16 кг бензина.

<i>Дано:</i> $A_n = 220,8 \text{ МДж}$ $q = 4,6 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}$ $m = 16 \text{ кг}$	$220,8 \cdot 10^6 \text{ Дж}$	<i>Решение:</i> $\eta = \frac{A_n}{Q} 100\%$ 1) $Q = qm = 4,6 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг} \cdot 16 \text{ кг}$ $Q = 736 \cdot 10^6 \text{ Дж}$ 2) $\eta = \frac{220,8 \cdot 10^6 \text{ Дж}}{736 \cdot 10^6 \text{ Дж}} 100\% = 30\%$
$\eta - ?$		

Тепловое оборудование
в наличии whitegoods.ru

Котел пищеварочный
Пенза p58.ru

Электрические котлы от 5600
рублей! saturnteplo.ru

Задача № 3. Определите КПД двигателя автомобиля, которому для выполнения работы 27,6 МДж потребовалось 2 кг бензина.

Дано:

$$A_n = 27,6 \text{ МДж}$$

$$q = 4,6 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}$$

$$m = 2 \text{ кг}$$

$\eta = ?$

$$27,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

Решение:

$$\eta = \frac{A_n}{Q} 100\%$$

$$1) Q = qm = 4,6 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг} \cdot 2 \text{ кг}$$

$$Q = 92 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

$$2) \eta = \frac{27,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}}{92 \cdot 10^6 \text{ Дж}} 100\% = 30\%$$

Задача № 4. На теплоходе установлен дизельный двигатель мощностью 80 кВт с КПД 30%. На сколько километров пути ему хватит 1 т дизельного топлива при скорости движения 20 км/ч? Удельная теплота сгорания дизельного топлива 43 МДж/кг.

900 км. **Решение.** Так как по определению КПД равен $\eta = \frac{A}{Q}$, где механическая работа $A = N \cdot \tau$, а $Q = mq$ — количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива, то

$$\eta = \frac{N \cdot s}{mq} = \frac{N \cdot s}{m \cdot q \cdot v}. \text{ Откуда } s = \frac{\eta m q v}{N}.$$

$$\text{Проверка единиц измерения: } [s] = \frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{Вт}} = \frac{\text{Дж} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\frac{\text{Дж}}{\text{с}}} = \text{м}.$$

Вычисления:

$$s = \frac{0,3 \cdot 10^3 \cdot 43 \cdot 10^6 \cdot \frac{20}{3,6}}{80 \cdot 10^3} = 0,896 \cdot 10^6 \text{ (м)} = 900 \text{ км}.$$

Задача № 5. Патрон травматического пистолета «Оса» 18×45 мм, содержит резиновую пулю массой 8,4 г. Определите КПД патрона, если пуля при выстреле приобрела скорость 140 м/с. Масса порохового заряда патрона составляет 0,18 г, удельная теплота сгорания пороха $3,8 \cdot 10^6$ Дж/кг.

Дано: $m_n = 8,4 \text{ г}$ $v_n = 140 \text{ м/с}$ $m = 0,18 \text{ г}$ $q = 3,8 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ $\eta = ?$	СИ: $8,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ $1,8 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$	Решение: КПД патрона может быть определён по формуле $\eta = \frac{A_n}{Q_n} \cdot 100\%,$
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------

где A_n — работа, совершённая силами, действующими со стороны пороховых газов на пулю, в результате чего пуля приобрела скорость v_n ; Q_n — количество теплоты, выделившееся при сгорании пороха патрона.

Работа, совершённая пороховыми газами, пошла на увеличение кинетической энергии пули. Поскольку до выстрела пуля покоилась в патроне, то $A_n = E_k$, где E_k — кинетическая энергия пули в момент вылета.

$$E_k = \frac{m_n \cdot v_n^2}{2} \rightarrow A_n = \frac{m_n \cdot v_n^2}{2}.$$

Количество теплоты, выделившееся при сгорании пороха в патроне $Q_n = qm$.

Следовательно,

$$\eta = \frac{m_n \cdot v_n^2}{2 \cdot qm} \cdot 100\%.$$

Установим наименование полученной величины:

$$[\eta] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2}{\text{Дж/кг} \cdot \text{кг}} = \frac{\text{Дж}}{\text{Дж}} = 1.$$

КПД является безразмерной величиной.

Подставив числовые значения, получим

$$\eta = \frac{8,4 \cdot 10^{-3} \cdot (140)^2}{2 \cdot 3,8 \cdot 10^6 \cdot 1,8 \cdot 10^{-4}} \cdot 100\% \approx 12\%.$$

Ответ: $\approx 12\%$.

Задача № 6. Первый гусеничный трактор конструкции А. Ф. Блинова, 1888 г., имел два паровых двигателя. За 1 ч он расходовал 5 кг топлива, у которого удельная теплота сгорания равна $30 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$. Вычислите КПД трактора, если мощность двигателя его была равна около 1,5 кВт.

Дано: $t = 1 \text{ ч} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ с}$ $m = 5 \text{ кг}$ $q = 30 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ $N = 1,5 \text{ кВт} = 1,5 \cdot 10^3 \text{ Вт}$ $\eta = ?$	Решение: $\eta = \frac{A_n}{A_z} \cdot 100\%. \quad A_n = N \cdot t; \quad A_z = Q = m q.$ $\eta = \frac{Nt}{mq} \cdot 100\% = \frac{1,5 \cdot 10^3 \text{ Вт} \cdot 3,6 \cdot 10^3 \text{ с}}{5 \text{ кг} \cdot 30 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}} \cdot 100\% = 3,6\%.$
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Задача № 7. Двигатель внутреннего сгорания совершил полезную работу, равную $2,3 \cdot 10^4 \text{ кДж}$, и при этом израсходовал бензин массой 2 кг. Вычислите КПД этого двигателя.

<u>Дано:</u> $A_n = 2,3 \cdot 10^4 \text{ кДж} =$ $= 2,3 \cdot 10^7 \text{ Дж}$ $m = 2 \text{ кг}$ $q = 46 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ <hr/> $\eta - ?$	<u>Решение:</u> $\eta = \frac{A_n}{A_3} \cdot 100\%. \quad A_3 = Q = m q.$ $\eta = \frac{A_n}{m q} \cdot 100\% = \frac{2,3 \cdot 10^7 \text{ Дж}}{2 \text{ кг} \cdot 46 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}} \cdot 100\% = 25\%.$
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Задача № 7. Двигатель внутреннего сгорания совершил полезную работу, равную $2,3 \cdot 10^4$ кДж, и при этом израсходовал бензин массой 2 кг. Вычислите КПД этого двигателя.

<u>Дано:</u> $A_n = 2,3 \cdot 10^4 \text{ кДж} =$ $= 2,3 \cdot 10^7 \text{ Дж}$ $m = 2 \text{ кг}$ $q = 46 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ <hr/> $\eta - ?$	<u>Решение:</u> $\eta = \frac{A_n}{A_3} \cdot 100\%. \quad A_3 = Q = m q.$ $\eta = \frac{A_n}{m q} \cdot 100\% = \frac{2,3 \cdot 10^7 \text{ Дж}}{2 \text{ кг} \cdot 46 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}} \cdot 100\% = 25\%.$
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Задача № 8. За 3 ч пробега автомобиль, КПД которого равен 25%, израсходовал 24 кг бензина. Какую среднюю мощность развивал двигатель автомобиля при этом пробеге?

<u>Дано:</u> $t = 3 \text{ ч} = 10,8 \cdot 10^3 \text{ с}$ $\eta = 25\% = 0,25$ $m = 24 \text{ кг}$ $q = 46 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ <hr/> $N - ?$	<u>Решение:</u> $\eta = \frac{A_n}{A_3}; \quad A_n = N \cdot t; \quad A_3 = Q = m q.$ $\eta = \frac{N t}{m q} \Rightarrow N = \frac{\eta m q}{t}.$ $N = \frac{0,25 \cdot 46 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг} \cdot 24 \text{ кг}}{10,8 \cdot 10^3 \text{ с}}$ $= 25,555 \cdot 10^3 \text{ Вт} = 25,6 \text{ кВт}.$
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Задача № 9. Двигатель внутреннего сгорания мощностью 36 кВт за 1 ч работы израсходовал 14 кг бензина. Определите КПД двигателя.

<u>Дано:</u> $N = 36 \text{ кВт} =$ $= 36 \cdot 10^3 \text{ Вт}$ $t = 1 \text{ ч} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ с}$ $m = 14 \text{ кг}$ $q = 46 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ <hr/> $\eta - ?$	<u>Решение:</u> $\eta = \frac{A_n}{A_3}; \quad A_n = N \cdot t; \quad A_3 = Q = m q.$ $\eta = \frac{N t}{m q} \cdot 100\% = \frac{36 \cdot 10^3 \text{ Вт} \cdot 3,6 \cdot 10^3 \text{ с}}{46 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг} \cdot 14 \text{ кг}} \cdot 100\% =$ $\approx 20,1\%.$
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Задача № 10. **ОГЭ** Идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно, 80 % теплоты, полученной от нагревания, передаёт охладителю. Количество теплоты, получаемое рабочим телом за один цикл от нагревателя, $Q_1 = 6,3$ Дж. Найти КПД цикла η и работу A , совершаемую за один цикл.

► Решение. КПД тепловой машины $\eta = \frac{A}{Q_1} \cdot 100 \%$, (1)

где

$$A = Q_1 - Q_2 \quad (2)$$

— работа, совершаемая за один цикл.

По условию задачи, $Q_2 = 0,8Q_1$. Подставив в (1) и (2), получим

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100 \%, \quad A = 0,2Q_1.$$

► Ответ. $\eta = 20 \%$, $A = 1,26$ Дж.

< Пред

СОДЕРЖАНИЕ

[ОРИГИНАЛ](#)

След >

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС И КПД КОТЛОАГРЕГАТА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА

Теплота, выделяющаяся при сгорании топлива, не может быть полностью использована для производства пара или горячей воды, часть теплоты неизбежно теряется, рассеиваясь в окружающей среде. Тепловой баланс котлоагрегата представляет собой специфическую формулировку закона сохранения энергии, утверждающего равенство количества теплоты, вносимой в котельный агрегат, и теплоты, затраченной на производство пара или горячей воды с учетом потерь. В соответствии с «Нормативным методом» [15] все величины, входящие в тепловой баланс, рассчитываются на 1 кг сгоревшего топлива. Приходная часть теплового баланса называется *располагаемой теплотой*:

$$Q_p = Q_i^r + c_T t_T + Q_B + Q_{II}, \quad (22.2)$$

где Q_i^r — низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг; $c_T t_T$ — физическая теплота топлива (c_T — теплоемкость топлива, /т — температура топлива), кДж/кг; Q_B — теплота воздуха, поступающего в топку при подогреве его вне агрегата, кДж/кг; Q_{II} — теплота, вносимая в котельный агрегат с паром, используемым для распыливания мазута, наружной обдувки поверхностей нагрева или подачи под решетку при слоевом сжигании, кДж/кг.

При использовании газообразного топлива расчет выполняется относительно 1 м³ сухого газа при нормальных условиях.

Физическая теплота топлива играет существенную роль только при предварительном подогреве топлива вне котлоагрегата. Например, мазут перед подачей к горелкам подогревают, поскольку он имеет большую вязкость при низкой температуре.

Теплота воздуха, кДж/(кг топл.):

$$Q_B = \alpha_T V_0^H c_B (t_B - t_{х.в}), \quad (22.3)$$

где α_T — коэффициент избытка воздуха в топке; V_0^H — теоретически необходимое количество воздуха, н.м³/кг; c_B — изобарная теплоемкость воздуха, кДж/(н.м³ К); $t_{х.в}$ — температура холодного воздуха, °С; t_B — температура воздуха на входе в топку, °С.

Теплота, вносимая с паром, кДж/кгтопл.):

$$Q_{II} = G_{II} (i_{II} - 2750), \quad (22.4)$$

где G_{II} — удельный расход дутьевого пара (на распыливание мазута расходуется примерно 0,3 кг пара на 1 кг мазута); $i_{II} = 2750$ кДж/кг — примерная величина энтальпии водяного пара при температуре уходящих из котлоагрегата продуктов сгорания (около 130 °С).

В приближенных расчетах принимают $Q_p \sim Q_i^r$ ввиду малости других составляющих уравнения (22.2).

Расходная часть теплового баланса состоит из полезно использованной теплоты (получение пара или горячей воды) суммы потерь, кДж/кгтопл.):

$$\sum_2^n Q_i^{\text{пот}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \quad (22.5)$$

где Q_2 — потери теплоты с уходящими из котельного агрегата газами;

- Q_3 — потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива;
- Q_4 — потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива;
- Q_5 — потери теплоты через обмуровку в окружающую среду; Q_6 — потери с физической теплотой шлака, удаляемого из котельного агрегата.

Уравнение теплового баланса записывается в виде

$$Q_p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6. \quad (22.6)$$

В процентах от располагаемой теплоты уравнение (22.6) можно записать:

$$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 = 100\%. \quad (22.7)$$

Полезно использованная теплота в паровом котле с непрерывной продувкой верхнего барабана определяется по уравнению, $\kappa\text{Дж}/\text{кг}\text{топл.}$):

$$Q_1 = \frac{[D(i_{\text{п}} - i_{\text{п.в}}) + D_{\text{пр}}(i_{\text{к.в}} - i_{\text{п.в}})]}{B}, \quad (22.8)$$

где D — паропроизводительность котла, $\text{кг}/\text{с}$; $D_{\text{пр}}$ — расход продувочной воды $\text{кг}/\text{с}$; B — расход топлива, $\text{кг}/\text{с}$; $i_{\text{п}}$, $i_{\text{п.в}}$, $i_{\text{к.в}}$ — энтальпия пара, питательной и котловой воды при давлении в котле соответственно, $\kappa\text{Дж}/\text{кг}$.

ADVERTISEMENT

Потери теплоты с уходящими газами, $\kappa\text{Дж}/(\text{кг}\text{топл.})$:

$$Q_2 = \left[(c_{\text{г}} \vartheta_{\text{ух.г}}) V_0^{\text{г}} + \alpha_{\text{ух}} c_{\text{в}} V_0 (\vartheta_{\text{ух.г}} - \vartheta_{\text{х.в}}) \right] \frac{(100 - q_4)}{100}, \quad (22.9)$$

где $c_{\text{г}}$ и $c_{\text{в}}$ — изобарная теплоемкость продуктов сгорания и воздуха, $\kappa\text{Дж}/(\text{н.м}^3 \text{К})$; τ — температура уходящих газов, $^{\circ}\text{C}$; $\alpha_{\text{ух}}$ — коэффициент избытка воздуха на выходе газов из котлоагрегата; $V_0^{\text{г}}$ и V_0 — теоретический объем продуктов сгорания и теоретически необходимое количество воздуха, $\text{н.м}^3/(\text{кг}\text{топл.})$.

В газоходах котлоагрегата поддерживается разрежение, объемы газов при их движении по газовому тракту котла возрастают из-за присосов воздуха через неплотности в обмуровке котла. Поэтому действительный коэффициент избытка воздуха на выходе из котлоагрегата $\alpha_{\text{ух}}$ больше коэффициента избытка воздуха в топке α . Он определяется суммированием коэффициента избытка воздуха в топке и присосов воздуха во всех газоходах. В практике эксплуатации котельных установок необходимо стремиться к уменьшению присосов воздуха в газоходах как к

одному из наиболее эффективных средств борьбы с потерями теплоты.

Таким образом, величина потери Q_2 определяется температурой уходящих газов и величиной коэффициента избытка воздуха $a_{у\kappa}$. В современных котлах температура газов за котлом не опускается ниже $110\text{ }^\circ\text{C}$. Дальнейшее уменьшение температуры приводит к конн денсации содержащихся в газах паров воды и образованию при сжигании серосодержащего топлива серной кислоты, что ускоряет коррозию металлических поверхностей газового тракта. Минимальные потери с уходящими газами составляют $q_2 \sim 6\text{--}7\%$.

Потери от химической и механической неполноты сгорания являются характеристиками топочных устройств (см. п. 21.1). Их величина зависит от вида топлива и способа сжигания, а также от совершенства организации процесса горения. Потери от химической неполноты сгорания в современных топках составляют $q_3 = 0,5\text{--}5\%$, от механической — $q_4 = 0\text{--}13,5\%$.

Потери теплоты в окружающую среду q_5 зависят от мощности котла. Чем выше мощность, тем меньше относительная величина потери q_5 . Так, при паропроизводительности котлоагрегата $D = 1\text{ кг/с}$ потерь составляют $2,8\%$, при $D = 10\text{ кг/с}$ $q_5 \sim 1\%$.

Потери теплоты с физической теплотой шлака q_6 невелики и обычно учитываются при составлении точного теплового баланса, %:

$$q_6 = a_{\text{шл}} (ct)_{\text{шл}} \frac{A^r}{Q_p}, \quad (22.10)$$

где $a_{\text{шл}} = 1 - a_{\text{ун}}$; $a_{\text{ун}}$ — доля золы в дымовых газах; $c_{\text{шл}}$ и $t_{\text{шл}}$ — теплоемкость и температура шлака; A^r — зольность рабочего состояния топлива.

Коэффициентом полезного действия (КПД) котлоагрегата называют отношение полезно использованной теплоты сгорания 1 кг топлива на получение пара в паровых котлах или горячей воды в водогрейных к располагаемой теплоте.

КПД котлоагрегата, %:

$$\eta_{\text{ка}} = \left(\frac{Q_1}{Q_p} \right) \cdot 100 = q_1, \quad (22.11)$$

или

$$\eta_{\text{ка}} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6). \quad (22.12)$$

КПД котлоагрегатов существенно зависит от вида топлива, способа сжигания, температуры уходящих газов и мощности. Паровые котлы, работающие на жидком или газообразном топливе, имеют КПД $90\text{--}92\%$. При слоевом сжигании твердого топлива КПД равняется $70\text{--}85\%$. Необходимо отметить, что КПД котлоагрегатов существенно зависит от качества эксплуатации, особенно от организации топочного процесса. Работа котлоагрегата с давлением пара и производительностью меньше номинальных снижает КПД. В процессе эксплуатации

котлов периодически должны проводиться теплотехнические испытания с целью определения потерь и действительного КПД котла, что позволяет внести необходимые коррективы в режим его работы.

Расход топлива для парового котла (кг/с — для твердого и жидкого топлива; н.м³/с — газообразного)

$$B = \frac{D \left[(i_{\text{п}} - i_{\text{п.в}}) + \left(\frac{\Pi}{100} \right) (i_{\text{к.в}} - i_{\text{п.в}}) \right]}{Q_p \cdot \eta_{\text{ка}}}, \quad (22.13)$$

где D — паропроизводительность котлоагрегата, кг/с; $i_{\text{п}}$, $i_{\text{п.в}}$, $i_{\text{к.в}}$ — энтальпия пара, питательной и котловой воды соответственно, кДж/кг; Q_p — располагаемая теплота, кДж/(кг топл.) — для твердого и жидкого топлива, кДж/(н.м³) — для газообразного топлива (часто в расчетах принимают $Q_p \sim Q$ ввиду их незначительного различия); Π — величина непрерывной продувки, % от паропроизводительности; $\eta_{\text{ка}}$ — КПД котлоагрегата, доли.

Расход топлива для водогрейного котла (кг/с; н.м³/с):

$$B = \frac{G_{\text{в}} (i_2 - i_1)}{Q_i' \cdot \eta_{\text{ка}}}, \quad (22.14)$$

где $G_{\text{в}}$ — расход воды, кг/с; i_1 , i_2 — начальная и конечная энтальпии воды в котле, кДж/кг.