

Вариант 5

Задача 1. Определить состав горючей массы угля марки Г6, если его элементарный состав рабочей массы: $C^p=25,6\%$; $H^p=2,2\%$; $S_n^p=2,9\%$; $N^p=0,6\%$; $O^p=8,7\%$; $A^p=34\%$; $W^p=26\%$.

Решение

$$C^z = C^p \times \frac{100}{100 - (A^p + W^p)} = 25,6 \times \frac{100}{100 - (26 + 34)} = 64\%$$

$$H^z = H^p \times \frac{100}{100 - (A^p + W^p)} = 2,2 \times \frac{100}{100 - (26 + 34)} = 5,5\%$$

$$S_n^z = S_n^p \times \frac{100}{100 - (A^p + W^p)} = 2,9 \times \frac{100}{100 - (26 + 34)} = 7,25\%$$

$$N^z = N^p \times \frac{100}{100 - (A^p + W^p)} = 0,6 \times \frac{100}{100 - (26 + 34)} = 1,5\%$$

$$O^z = O^p \times \frac{100}{100 - (A^p + W^p)} = 8,7 \times \frac{100}{100 - (26 + 34)} = 21,75\%$$

Задача 2. Определить низшую и высшую теплоту сгорания рабочей массы бурого угля состава: $C^p=25,6\%$; $H^p=2,2\%$; $S_n^p=2,9\%$; $N^p=0,6\%$; $O^p=8,7\%$; $A^p=34\%$; $W^p=26\%$.

Решение

Низшая теплота сгорания равна:

$$Q_n^p = 338 \times C^p + 1025 \times H^p + 108,5 \times (O^p - S_n^p) - 25 \times W^p = 338 \times 25,6 + 1025 \times 2,2 + 108,5 \times (8,7 - 2,9) - 25 \times 26 = 10887,1 \text{ кДж/кг}$$

Высшая теплота сгорания равна:

$$Q_g^p = Q_n^p + 225 \times H^p + 25 \times W^p = 10887,1 + 225 \times 2,2 + 25 \times 26 = 12032,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Задача 3. В топке котельного агрегата паропроизводительностью $D=13,5 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$ сжигается подмосковный уголь состава: $C^p=25,6\%$; $H^p=2,2\%$; $S_n^p=2,9\%$; $N^p=0,6\%$; $O^p=8,7\%$; $A^p=34\%$; $W^p=26\%$. Составить тепловой баланс котельного агрегата, если температура топлива при входе в топку $t_p=20^\circ\text{C}$, натуральный расход топлива $B=4 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$, давление перегретого пара $p_{n.n}=4 \text{ МПа}$, температура перегретого пара $t_{n.n}=450^\circ\text{C}$, температура питательной воды $t_{n.в}=150^\circ\text{C}$, величина непрерывной продувки $P=4\%$, теоретическое количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг топлива $V=2,98 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$, объем уходящих газов на выходе из последнего газохода $V_{г.ух}=4,86 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$, температура уходящих газов на выходе из последнего газохода $t_{г.ух}=160^\circ\text{C}$, средняя объемная теплоемкость газов $c_{г.ух}=1,415 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \times \text{К}}$, коэффициент избытка воздуха за последним газоходом $\alpha_{г.ух}=1,48$, температура воздуха в котельной $t_в=30^\circ\text{C}$, объемная теплоемкость воздуха $c_в=1,297 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \times \text{К}}$, содержание в уходящих газах окиси углерода $CO=0,2\%$ и трехатомных газов $RO_2=16,6\%$ и потери тепла от механической неполноты сгорания $q_4=4\%$. Потерями тепла с физическим теплом шлаков пренебречь.

Решение

Низшая теплота сгорания равна:

$$Q_n^p = 338 \times C^p + 1025 \times H^p + 108,5 \times (O^p - S_n^p) - 25 \times W^p = 338 \times 25,6 + 1025 \times 2,2 + 108,5 \times (8,7 - 2,9) - 25 \times 26 = 10887,1 \text{ кДж/кг}$$

Теплоемкость рабочей массы топлива равна:

$$c_m^p = c_m^c \times \frac{100 - W^p}{100} + c_{H_2O} \times \frac{W^p}{100} = 1,088 \times \frac{100 - 26}{100} + 4,19 \times \frac{26}{100} = 1,9 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}}$$

Физическая теплота топлива составляет:

$$Q_{m1} = c_m^p \times t_p = 1,9 \times 20 = 38 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Располагаемая теплота:

$$Q_p^p = Q_n^p + Q_{m1} = 10887,1 + 38 = 10925,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Теплота, полезно использованная в котлоагрегате равна:

$$Q_1 = \frac{D_{ne}}{B} \times \left((i_{n.n} - i_{n.г}) + \frac{P}{100} \times (i_{кг} - i_{n.г}) \right) = \frac{13,5}{4} \times \left((3330 - 632) + \frac{4}{100} \times (1087,5 - 632) \right) = 9167,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Потери теплоты с уходящими газами определяем по соотношению:

$$Q_2 = (V_{z.yx} \times c_{z.yx} \times t_{yx} - \alpha_{yx} \times V \times c_{г} \times t_{г}) \times \frac{100 - q_4}{100} = (4,86 \times 1,415 \times 160 - 1,48 \times 2,98 \times 1,297 \times 30) \times \frac{100 - 8,16}{100}$$

Потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива равны:

$$Q_3 = 237 \times (C^p + 0,375 \times S_l^p) \times \frac{CO}{RO_2 + CO} = 237 \times (25,6 + 0,375 \times 2,9) \times \frac{0,2}{16,6 + 0,2} = 75,3 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива составляют:

$$Q_4 = \frac{q_4 \times Q_p^p}{100} = \frac{4 \times 10925,1}{100} = 437 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Потери теплоты в окружающую среду равны:

$$Q_5 = Q_p^p - (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4) = 10925,1 - (9167,2 + 891,5 + 75,3 + 437) = 354,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Составляющие теплового баланса:

$$q_1 = \frac{Q_1}{Q_p^p} \times 100\% = \frac{9167,2}{10925,1} \times 100\% = 83,91\%$$

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q_p^p} \times 100\% = \frac{891,5}{10925,1} \times 100\% = 8,16\%$$

$$q_3 = \frac{Q_3}{Q_p^p} \times 100\% = \frac{75,3}{10925,1} \times 100\% = 0,69\%$$

$$q_4 = \frac{Q_4}{Q_p^p} \times 100\% = \frac{437}{10925,1} \times 100\% = 4,0\%$$

$$q_5 = \frac{Q_5}{Q_p^p} \times 100\% = \frac{354,1}{10925,1} \times 100\% = 3,24\%$$

Тепловой баланс котельного агрегата:

$$Q_p^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 9167,2 + 891,5 + 75,3 + 437 + 354,1 = 10925,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

или в процентах от предполагаемой величины:

$$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 = 83,91 + 8,16 + 0,69 + 4,0 + 3,24 = 100\%$$

Задача 4. Определить тепло, полезно использованное в котельном агрегате паропроизводительностью $D = 5,5 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$, если натуральный расход топлива $B = 0,61 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$,

давление перегретого пара $p_{n.n}=1,3 \text{ МПа}$, температура перегретого пара $t_{n.n}=275 \text{ }^\circ\text{C}$, температура питательной воды $t_{n.в}=110 \text{ }^\circ\text{C}$ и величина непрерывной продувки $P=3\%$.

Решение

Теплота, полезно использованная в котлоагрегате равна:

$$Q_1 = \frac{D_{ne}}{B} \times \left((i_{n.n} - i_{n.в}) + \frac{P}{100} \times (i_{кв} - i_{n.в}) \right) = \frac{5,5}{0,61} \times \left((2988 - 564) + \frac{3}{100} \times (971 - 564) \right) = 21965,83 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Задача 5. В топке котельного агрегата паропроизводительностью $D=7,22 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$ сжигается высокосернистый мазут состава: $C^p=85,6\%$; $H^p=5,8\%$; $S^p=2,9\%$;

$N^p=0,6\%$; $O^p=1\%$; $A^p=0,1\%$; $W^p=4\%$. Определить располагаемое тепло в $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ и полезно использованное в котлоагрегате тепло в процентах, если известны температура подогрева мазута $t_m=90^\circ\text{C}$, натуральный расход топлива $B=0,527\frac{\text{кг}}{\text{с}}$, давление перегретого пара $p_{n.n}=1,3\text{ МПа}$, температура перегретого пара $t_{n.n}=250^\circ\text{C}$, температура питательной воды $t_{n.в}=100^\circ\text{C}$ и величина непрерывной продувки $P=4\%$.

Решение

Низшая теплота сгорания равна:

$$Q_n^p = 338 \times C^p + 1025 \times H^p + 108,5 \times (O^p - S_n^p) - 25 \times W^p = 338 \times 85,6 + 1025 \times 5,8 + 108,5 \times (1 - 2,9) - 25 \times 4 = 34571,65 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Теплоемкость рабочей массы топлива равна:

$$c_m^p = c_m^c \times \frac{100 - W^p}{100} + c_{H_2O} \times \frac{W^p}{100} = 1,088 \times \frac{100 - 4}{100} + 4,19 \times \frac{4}{100} = 1,21 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{K}}$$

Физическая теплота топлива составляет:

$$Q_{ml} = c_m^p \times t_p = 1,21 \times 90 = 108,9 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Располагаемая теплота:

$$Q_p^p = Q_n^p + Q_{ml} = 34571,65 + 108,9 = 34680,55 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Теплота, полезно использованная в котлоагрегате равна:

$$Q_1 = \frac{D_{ne}}{B} \times \left((i_{n.n} - i_{n.в}) + \frac{P}{100} \times (i_{кв} - i_{n.в}) \right) = \frac{7,22}{0,527} \times \left((2931 - 552) + \frac{4}{100} \times (952 - 552) \right) = 32811,95 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Задача 6. Определить площадь колосниковой решетки, которую требуется установить под вертикально-водотрубным котлом паропроизводительностью $D=6,1\frac{\text{кг}}{\text{с}}$, работающем на подмосковном буром угле состава: $C^p=25,6\%$; $H^p=2,2\%$; $S_n^p=2,9\%$; $N^p=0,6\%$;

$O^p=8,7\%$; $A^p=34\%$; $W^p=26\%$, если температура топлива при входе в топку $t_T=20^\circ C$, давление перегретого пара $p_{n.n}=4 МПа$, температура перегретого пара $t_{n.n}=420^\circ C$, температура питательной воды $t_{n.в}=180^\circ C$, к.п.д. брутто котлоагрегата $\eta_{к.а}^{бp}=87\%$, величина непрерывной продувки $P=4\%$ и тепловое напряжение площади колосниковой решетки $\frac{Q}{R}=1170 \frac{кВт}{м^2}$.

Решение

Низшая теплота сгорания равна:

$$Q_n^p = 338 \times C^p + 1025 \times H^p + 108,5 \times (O^p - S_n^p) - 25 \times W^p = 338 \times 85,6 + 1025 \times 5,8 + 108,5 \times (1 - 2,9) - 25 \times 26 = 34571,65 \text{ кДж/кг}$$

Теплоемкость рабочей массы топлива равна:

$$c_m^p = c_m^c \times \frac{100 - W^p}{100} + c_{H_2O} \times \frac{W^p}{100} = 1,088 \times \frac{100 - 26}{100} + 4,19 \times \frac{26}{100} = 1,9 \frac{кДж}{кг \times K}$$

Физическая теплота топлива составляет:

$$Q_{ml} = c_m^p \times t_p = 1,9 \times 20 = 38 \frac{кДж}{кг}$$

Располагаемая теплота:

$$Q_p^p = Q_n^p + Q_{ml} = 34571,65 + 38 = 34609,65 \frac{кДж}{кг}$$

Натуральный расход топлива равен

$$B = \frac{D_{ne} \times \left((i_{n.n} - i_{n.в}) + \frac{P}{100} \times (i_{кв} - i_{n.в}) \right)}{Q_p^p \times \eta_{к.а}^{бp}} = \frac{6,1 \times \left((3261 - 764) + \frac{4}{100} \times (1181 - 764) \right)}{34609,65 \times 0,87} = 0,51 \frac{кг}{с}$$

Площадь колосниковой решетки составляет

$$R = \frac{B \times Q_p^p}{\frac{Q}{R}} = \frac{0,51 \times 34609,65}{1170} = 15,08 \text{ м}^2$$

Задача 7. В топке котельного агрегата паропроизводительностью $D=7,05 \frac{кг}{с}$ сжигается природный газ состава: $CO_2=0,3\%$; $CH_4=93,9\%$; $C_2H_6=0,5\%$; $C_3H_8=4\%$; $C_4H_{10}=0,1\%$; $N_2=1,2\%$. Определить объем топочного пространства и коэффициент полезного действия топки, если давление перегретого пара $p_{n.n}=1,4 МПа$, температура перегретого пара $t_{n.n}=290^\circ C$, температура питательной воды $t_{n.в}=100^\circ C$, к.п.д. брутто

котлоагрегата $\eta_{к.а}^{бр} = 91,2\%$, тепловое напряжение топочного объема $\frac{Q}{V_T} = 310 \frac{кВт}{м^3}$, потери тепла от химической неполноты сгорания $q_3 = 1,2\%$ и от механической неполноты сгорания $q_4 = 1\%$.

Решение

Низшая температура сгорания равна:

$$Q_n^p = 338 \times CH_4 + 636 \times C_2H_6 + 913 \times C_3H_8 + 1185 \times C_4H_{10} = 338 \times 93,9 + 636 \times 0,5 + 913 \times 4 + 1185 \times 0,$$

Натуральный расход топлива равен

$$B = \frac{D_{не} \times \left((i_{н.н} - i_{н.г}) + \frac{P}{100} \times (i_{кв} - i_{н.г}) \right)}{Q_n^p \times \eta_{к.а}^{бр}} = \frac{7,05 \times \left((2982 - 793) + \frac{4}{100} \times (1265 - 793) \right)}{35826,7 \times 0,912} = 0,476 \frac{кг}{с}$$

Объем топочного пространства определяем из уравнения:

$$\frac{Q}{V_m} = \frac{B \times Q_n^p}{V_m}$$

Откуда

$$V_m = \frac{B \times Q_n^p}{\frac{Q}{V_m}} = \frac{0,476 \times 35826,7}{310} = 55,01 м^3$$

КПД топки составляет:

$$\eta_m = 100 - q_3 - q_4 = 100 - 1,2 - 1 = 97,8\%$$

Задача 8. Определить температуру газов на выходе из топки котельного агрегата паропроизводительностью $D = 13,9 кг/с$, работающего на подмосковном угле состава: $C^p = 25,6\%$; $H^p = 2,2\%$; $S_n^p = 2,9\%$; $N^p = 0,6\%$; $O^p = 8,7\%$; $A^p = 34\%$; $W^p = 26\%$ если температура топлива при входе в топку $t_T = 20^\circ C$, давление перегретого пара $p_{н.н} = 4 МПа$, температура перегретого пара $t_{н.н} = 450^\circ C$, температура питательной воды $t_{н.г} = 150^\circ C$, величина непрерывной продувки $P = 4\%$, теплоемкость рабочей массы топлива $c_T^p = 2,1 \frac{кДж}{кг \times K}$, к.п.д. котлоагрегата брутто $\eta_{к.а}^{бр} = 91,2\%$, теоретическая температура

горения топлива в топке $\vartheta_T = 1631^\circ\text{C}$, условный коэффициент загрязнения $\xi = 0,7$, степень черноты топки $a_m = 0,607$, лучевоспринимающая поверхность нагрева $H_n = 239\text{ м}^2$, средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания топлива в интервале температур $\vartheta_T - \vartheta_T''$ $V_{cp} = 8,34 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}}$, расчетный коэффициент, зависящий от относительного местоположения максимума температуры в топке $M = 0,45$, потери тепла от механической неполноты сгорания $q_4 = 2\%$ и потери тепла в окружающую среду $q_5 = 0,9\%$.

Решение

Низшую теплоту сгорания рабочей массы топлива определяем по формуле

$$Q_n^p = 338 \times C^p + 1025 \times H^p + 108,5 \times (O^p - S_n^p) - 25 \times W^p = 338 \times 25,6 + 1025 \times 2,2 + 108,5 \times (8,7 - 2,9)$$

Физическое тепло топлива равно:

$$Q_{ml} = c_T^p \times t_T = 2,1 \times 20 = 42 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Располагаемое тепло равно

$$Q_p^p = Q_n^p + Q_{ml} = 10887,1 + 42 = 10929,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Натуральный расход топлива равен:

$$B = \frac{D_{ne} \times \left((i_{n.n} - i_{n.г}) + \frac{P}{100} \times (i_{кв} - i_{n.г}) \right)}{Q_p^p \times \eta_{к.а}^{op}} = \frac{13,9 \times \left((3330 - 628) + \frac{4}{100} \times (1087,5 - 628) \right)}{10929,1 \times 0,912} = 3,79 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Расчетный расход топлива составляет:

$$B_p = B \times \left(1 - \frac{q_4}{100} \right) = 3,79 \times \left(1 - \frac{2}{100} \right) = 3,71 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Коэффициент сохранения тепла равен:

$$\varphi = 1 - \frac{q_5}{100} = 1 - \frac{0,9}{100} = 0,991$$

Температура газов на выходе из топки равна:

$$\vartheta_m'' = \frac{\vartheta_T}{M \times \left(\frac{5,1 \times 10^{-11} \times \xi \times H_n \times a_m \times \vartheta_T^3}{\varphi \times B_p \times V_{cp}} \right)^{0,6} + 1} - 273 = \frac{1904}{0,45 \times \left(\frac{5,1 \times 10^{-11} \times 0,7 \times 239 \times 0,607 \times 1904^3}{0,991 \times 3,71 \times 8,34} \right)^{0,6} + 1} - 273$$

Задача 9. Определить количество теплоты, воспринятой паром в пароперегревателе котельного агрегата паропроизводительностью $D = 10,5 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$, работающего на подмосковном угле марки Б2 с низшей теплотой сгорания $Q_n^p = 12300 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$, если известны температура топлива при входе в топку $t_T = 20^\circ \text{C}$, теплоемкость рабочей массы топлива $c_T^p = 2,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{K}}$, давление насыщенного пара $p_{n.n} = 4,5 \text{ МПа}$, давление перегретого пара $p_{n.n} = 4 \text{ МПа}$, температура перегретого пара $t_{n.n} = 450^\circ \text{C}$, Температура питательной воды $t_{n.в} = 150^\circ \text{C}$, величина непрерывной продувки $P = 3\%$, к.п.д. котлоагрегата (брутто) $\eta_{к.а}^{\text{бр}} = 88\%$ и потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива $q_4 = 4\%$.

Решение

Физическую теплоту топлива определяем по формуле:

$$Q_{ml} = c_T^p \times t_T = 2,1 \times 20 = 42 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Располагаемую теплоту находим по формуле:

$$Q_p^p = Q_n^p + Q_{ml} = 12300 + 42 = 12342 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Натуральный расход топлива определяем по формуле:

$$B = \frac{D_{ne} \times \left((i_{n.n} - i_{n.с}) + \frac{P}{100} \times (i_{кв} - i_{n.с}) \right)}{Q_p^p \times \eta_{к.а}^{бр}} = \frac{10,5 \times \left((3324 - 625) + \frac{3}{100} \times (1085 - 625) \right)}{12342 \times 0,88} = 2,62 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Расчетный расход топлива находим по формуле:

$$B_p = B \times \left(1 - \frac{q_4}{100} \right) = 2,62 \times \left(1 - \frac{4}{100} \right) = 2,52 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Количество теплоты, воспринятой паром в пароперегревателе, определяем по формуле:

$$Q_{ne} = \frac{D_{ne}}{B_p} \times (i_{n.n} - i_{n.н}) = \frac{10,5}{2,52} \times (3324 - 2848,6) = 1980,8 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$$

Задача 10. Определить энтальпию продуктов сгорания на выходе из пароперегревателя котельного агрегата паропроизводительностью $D = 6,5 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$, работающего на природном газе с низшей теплотой сгорания $Q_n^c = 33500 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$, если известны давление насыщенного пара $p_{н.а} = 1,5 \text{ МПа}$, давление перегретого пара $p_{н.н} = 4 \text{ МПа}$, температура перегретого пара $t_{н.н} = 350^\circ \text{C}$, температура питательной воды $t_{н.с} = 100^\circ \text{C}$ величина непрерывной продувки $P = 4\%$, к.п.д. котлоагрегата (брутто) $\eta_{к.а}^{бр} = 92\%$, энтальпия продуктов сгорания на входе в пароперегреватель $h'_{не} = 17220 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$, теоретический объем воздуха, необходимый для сгорания топлива $V^0 = 9,52 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$, присос воздуха в газоходе

пароперегревателя $\Delta\alpha_{ng}=0,05$, температура воздуха в котельной $t_n=30^\circ\text{C}$ и потери теплоты в окружающую среду $q_5=1\%$.

Решение

Расчетный расход топлива определяем по формуле:

$$B_p = \frac{D_{ne} \times \left((h_{n.n} - h_{n.e}) + \frac{P}{100} \times (i_{кв} - i_{n.e}) \right)}{Q_p^p \times \eta_{к.а}^{op}} = \frac{6,5 \times \left((3093 - 581) + \frac{4}{100} \times (1008 - 581) \right)}{33500 \times 0,92} = 0,53 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Количество теплоты, воспринятой паром в пароперегревателе, находим по формуле:

$$Q_{ng} = \frac{D_{ne}}{B_p} \times (h_{n.n} - h_{n.e}) = \frac{6,5}{0,53} \times (3093 - 2597,8) = 6073 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$$

Находим энтальпию насыщенного пара при давлении $p_{н.а}=1,5 \text{ МПа}$: $i_{н.а}=2791,8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$

Расход пара через пароперегреватель D_{ne} равен паропроизводительности котлоагрегата D , так как отсутствует отбор насыщенного пара.

Коэффициент сохранения теплоты определяем по формуле:

$$\varphi = 1 - \frac{q_5}{100} = 1 - \frac{1}{100} = 0,99$$

Энтальпию продуктов сгорания на выходе из пароперегревателя находим из формулы:

$$h''_{ng} = h'_{ng} - \frac{Q_{ng}}{\varphi} + \Delta\alpha_{ng} \times V^0 \times (cv)_{x.e} = 17220 - \frac{6073}{0,99} + 0,05 \times 9,52 \times 40 = 11104,7 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$$