

# ***Расчет тепловых процессов топки котла***



*Исходные данные к расчету тепловых процессов топки котла для обучающихся очной и заочной форм обучения берутся из таблицы 1 согласно порядковому номеру в журнале*



**Топкой или топочным устройством называется часть котла, предназначенная для сжигания топлива с целью преобразования его химической энергии в тепло**

**Таблица 1– Исходные данные для расчета**

<b>№</b>	<b>Паропродуцентная котельная D, кг/ч</b>	<b>Очная форма обучения</b>			<b>Заочная форма обучения</b>		
		<b>Давление пара <math>p_k</math>, МПа</b>	<b>Вид топлива</b>	<b>Тип топки</b>	<b>Давление пара <math>p_k</math>, МПа</b>	<b>Вид топлива</b>	<b>Тип топки</b>
<b>1</b>	<b>2000</b>	<b>0.8</b>	<b>1</b>	<b>Ручная</b>	<b>1.4</b>	<b>8</b>	<b>Ручная</b>
<b>2</b>	<b>3000</b>	<b>0.8</b>	<b>2</b>	<b>Ручная</b>	<b>1.4</b>	<b>7</b>	<b>Ручная</b>
<b>3</b>	<b>4000</b>	<b>0.9</b>	<b>3</b>	<b>Полумеханическая</b>	<b>1.3</b>	<b>30</b>	<b>Камерная</b>
<b>4</b>	<b>5000</b>	<b>0.9</b>	<b>4</b>	<b>Полумеханическая</b>	<b>1.3</b>	<b>25</b>	<b>Камерная</b>
<b>5</b>	<b>6000</b>	<b>1</b>	<b>31</b>	<b>Камерная</b>	<b>0.8</b>	<b>6</b>	<b>Полумеханическая</b>

**продолжение таблицы**

**1**

<i>№</i>	<i>Паропроизводительность котла D, кг/ч</i>	<i>Очная форма обучения</i>			<i>Заочная форма обучения</i>		
		<i>Давление пара <math>p_{к2}</math> МПа</i>	<i>Вид топлива <math>a</math></i>	<i>Тип топки</i>	<i>Давление пара <math>p_{к2}</math> МПа</i>	<i>Вид топлива</i>	<i>Тип топки</i>
<i>6</i>	<i>7000</i>	<i>1</i>	<i>26</i>	<i>Камерная</i>	<i>0.8</i>	<i>5</i>	<i>Полумеханическая</i>
<i>7</i>	<i>8000</i>	<i>1.1</i>	<i>5</i>	<i>Полумеханическая</i>	<i>0.9</i>	<i>4</i>	<i>Полумеханическая</i>
<i>8</i>	<i>9000</i>	<i>1.1</i>	<i>6</i>	<i>Механическая</i>	<i>0.9</i>	<i>32</i>	<i>Камерная</i>
<i>9</i>	<i>10000</i>	<i>1.2</i>	<i>7</i>	<i>Механическая</i>	<i>1</i>	<i>27</i>	<i>Камерная</i>
<i>10</i>	<i>11000</i>	<i>1.2</i>	<i>33</i>	<i>Камерная</i>	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>Механическая</i>

**продолжение таблицы 1**

<b>№</b>	<b>Паропроизводительность котла D, кг/ч</b>	<b>Очная форма обучения</b>			<b>Заочная форма обучения</b>		
		<b>Давление пара <math>p_k</math>, МПа</b>	<b>Вид топлива</b>	<b>Тип топки</b>	<b>Давление пара <math>p_k</math>, МПа</b>	<b>Вид топлива</b>	<b>Тип топки</b>
<b>11</b>	<b>12000</b>	<b>1.3</b>	<b>28</b>	<b>Камерная</b>	<b>1.1</b>	<b>2</b>	<b>Механическая</b>
<b>12</b>	<b>13000</b>	<b>1.3</b>	<b>8</b>	<b>Механическая</b>	<b>1.1</b>	<b>1</b>	<b>Механическая</b>
<b>13</b>	<b>14000</b>	<b>1.4</b>	<b>9</b>	<b>Механическая</b>	<b>0.8</b>	<b>34</b>	<b>Камерная</b>
<b>14</b>	<b>2000</b>	<b>1.4</b>	<b>10</b>	<b>Ручная</b>	<b>0.8</b>	<b>29</b>	<b>Камерная</b>
<b>15</b>	<b>3000</b>	<b>1.3</b>	<b>35</b>	<b>Камерная</b>	<b>1.1</b>	<b>24</b>	<b>Ручная</b>

**продолжение таблицы 1**

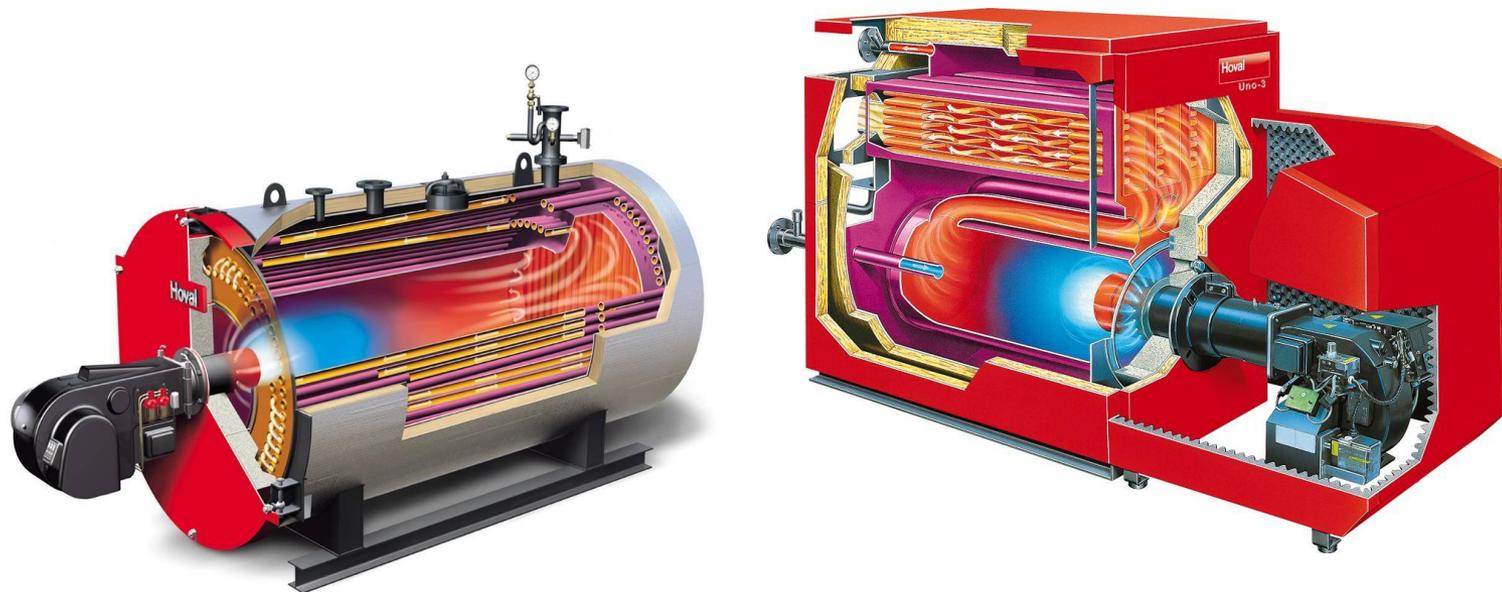
<b>№</b>	<b>Паропроизводительность котла D, кг/ч</b>	<b>Очная форма обучения</b>			<b>Заочная форма обучения</b>		
		<b>Давление пара <math>p_k</math>, МПа</b>	<b>Вид топлива</b>	<b>Тип топки</b>	<b>Давление пара <math>p_k</math>, МПа</b>	<b>Вид топлива</b>	<b>Тип топки</b>
<b>16</b>	<b>4000</b>	<b>1.3</b>	<b>26</b>	<b>Камерная</b>	<b>1.1</b>	<b>23</b>	<b>Полумеханическая</b>
<b>17</b>	<b>5000</b>	<b>1.2</b>	<b>11</b>	<b>Полумеханическая</b>	<b>1</b>	<b>22</b>	<b>Полумеханическая</b>
<b>18</b>	<b>6000</b>	<b>1.2</b>	<b>12</b>	<b>Полумеханическая</b>	<b>1</b>	<b>32</b>	<b>Камерная</b>
<b>19</b>	<b>7000</b>	<b>1.1</b>	<b>13</b>	<b>Полумеханическая</b>	<b>0.9</b>	<b>28</b>	<b>Камерная</b>
<b>20</b>	<b>8000</b>	<b>1.1</b>	<b>30</b>	<b>Камерная</b>	<b>0.9</b>	<b>21</b>	<b>Полумеханическая</b>

## окончание таблицы 1

№	Паропроизводительность котла <i>D</i> , кг/ч	Очная форма обучения			Заочная форма обучения		
		Давление пара $p_k$ , МПа	Вид топлива	Тип топки	Давление пара $p_k$ , МПа	Вид топлива	Тип топки
21	9000	1	25	Камерная	0.8	20	Механическая
22	10000	1	14	Механическая	0.8	19	Механическая
23	11000	0.9	15	Механическая	1.3	34	Камерная
24	12000	0.9	16	Механическая	1.3	28	Камерная
25	13000	0.8	31	Камерная	1	18	Механическая
26	14000	0.8	27	Камерная	1	17	Механическая

**По заданному номеру топлива (см. таблицу 1) его состав следует взять из таблицы 2**

**В таблице приведен состав горючей массы твердого и жидкого топлива:  $C^e$ ,  $H^e$ ,  $S^e$ ,  $O^e$ ,  $N^e$  в процентах по массе, содержание золы в сухой массе  $A^c$  и содержание влаги в рабочей массе  $W^p$**



**Таблица 2 - Вид и состав топлив различных месторождений**

<b>№</b>	<b>Наименование</b>	<b>C<sup>г</sup>,%</b>	<b>H<sup>г</sup>,%</b>	<b>S<sup>г</sup>,%</b>	<b>O<sup>г</sup>,%</b>	<b>N<sup>г</sup>,%</b>	<b>A<sup>с</sup>,%</b>	<b>W<sup>p</sup>, %</b>
<b>1</b>	<b>Каменный уголь ГР</b>	<b>82</b>	<b>5,7</b>	<b>0,7</b>	<b>10,6</b>	<b>1</b>	<b>11</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Бурый уголь БЗР*</b>	<b>69,1</b>	<b>5,6</b>	<b>0,6</b>	<b>23,3</b>	<b>1,4</b>	<b>32</b>	<b>24</b>
<b>3</b>	<b>Каменный уголь ГР</b>	<b>84,5</b>	<b>5,1</b>	<b>0,6</b>	<b>8,6</b>	<b>1,2</b>	<b>34</b>	<b>5,5</b>
<b>4</b>	<b>Каменный уголь ДР</b>	<b>77,5</b>	<b>6,2</b>	<b>0,5</b>	<b>14,9</b>	<b>0,9</b>	<b>32</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Каменный уголь ГО</b>	<b>80,9</b>	<b>5,7</b>	<b>0,6</b>	<b>11,5</b>	<b>1</b>	<b>32</b>	<b>7,5</b>
<b>6</b>	<b>Бурый уголь Б2Р</b>	<b>71,0</b>	<b>4,3</b>	<b>0,6</b>	<b>23</b>	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>37,5</b>
<b>7</b>	<b>Каменный уголь ДР</b>	<b>78,8</b>	<b>6,1</b>	<b>0,5</b>	<b>13,8</b>	<b>1,6</b>	<b>23</b>	<b>10</b>

**продолжение таблицы 2**

<b>№</b>	<b>Наименование</b>	<b>C<sup>r</sup>,%</b>	<b>H<sup>r</sup>,%</b>	<b>S<sup>r</sup>,%</b>	<b>O<sup>r</sup>,%</b>	<b>N<sup>r</sup>,%</b>	<b>A<sup>c</sup>,%</b>	<b>W<sup>p</sup>, %</b>
<b>8</b>	<b>Каменный уголь ГР</b>	<b>81</b>	<b>5,9</b>	<b>0,5</b>	<b>10,6</b>	<b>2</b>	<b>20</b>	<b>10</b>
<b>9</b>	<b>Каменный уголь ЖО</b>	<b>86</b>	<b>5,9</b>	<b>0,4</b>	<b>6</b>	<b>1,7</b>	<b>13</b>	<b>6</b>
<b>10</b>	<b>Каменный уголь ССР</b>	<b>85,4</b>	<b>4,4</b>	<b>0,3</b>	<b>9</b>	<b>0,9</b>	<b>18</b>	<b>7</b>
<b>11</b>	<b>Бурый уголь БЗР</b>	<b>74,3</b>	<b>5,7</b>	<b>1</b>	<b>8,2</b>	<b>1,1</b>	<b>17</b>	<b>22</b>
<b>12</b>	<b>Бурый уголь БЗР</b>	<b>75,5</b>	<b>5,2</b>	<b>1,2</b>	<b>17</b>	<b>1,1</b>	<b>22</b>	<b>23</b>
<b>13</b>	<b>Каменный уголь ДР</b>	<b>78,6</b>	<b>5,1</b>	<b>0,5</b>	<b>14</b>	<b>1,4</b>	<b>19,4</b>	<b>6</b>
<b>14</b>	<b>Каменный уголь ДО</b>	<b>76,9</b>	<b>5,4</b>	<b>0,6</b>	<b>16</b>	<b>1,1</b>	<b>23</b>	<b>7,5</b>

**продолжение таблицы 2**

<b>№</b>	<b>Наименование</b>	<b>C<sup>г</sup>,%</b>	<b>H<sup>г</sup>,%</b>	<b>S<sup>г</sup>,%</b>	<b>O<sup>г</sup>,%</b>	<b>N<sup>г</sup>,%</b>	<b>A<sup>с</sup>,%</b>	<b>W<sup>p</sup>, %</b>
<b>15</b>	<b><i>Каменный уголь ДО</i></b>	<b>77</b>	<b>5,6</b>	<b>1,6</b>	<b>14,7</b>	<b>1,1</b>	<b>31</b>	<b>13</b>
<b>16</b>	<b><i>Каменный уголь ДО</i></b>	<b>80</b>	<b>5,2</b>	<b>0,7</b>	<b>11,8</b>	<b>2,3</b>	<b>17</b>	<b>12</b>
<b>17</b>	<b><i>Бурый уголь БЗР</i></b>	<b>74</b>	<b>5,2</b>	<b>0,3</b>	<b>19,7</b>	<b>0,8</b>	<b>8</b>	<b>24</b>
<b>18</b>	<b><i>Каменный уголь ГР</i></b>	<b>78</b>	<b>5,5</b>	<b>0,4</b>	<b>13,7</b>	<b>2,4</b>	<b>12,5</b>	<b>11</b>
<b>19</b>	<b><i>Каменный уголь ССР</i></b>	<b>86</b>	<b>4,5</b>	<b>0,6</b>	<b>6,7</b>	<b>2,2</b>	<b>15</b>	<b>8</b>

**продолжение таблицы 2**

<b>№</b>	<b>Наименование</b>	<b>C<sup>r</sup>,%</b>	<b>H<sup>r</sup>,%</b>	<b>S<sup>r</sup>,%</b>	<b>O<sup>r</sup>,%</b>	<b>N<sup>r</sup>,%</b>	<b>A<sup>c</sup>,%</b>	<b>W<sup>p</sup>, %</b>
<b>20</b>	<b>Каменный уголь ДР</b>	<b>76,5</b>	<b>5</b>	<b>0,4</b>	<b>15,9</b>	<b>2,2</b>	<b>13,5</b>	<b>17,3</b>
<b>21</b>	<b>Каменный уголь ЖК</b>	<b>81,3</b>	<b>5,5</b>	<b>0,5</b>	<b>10,1</b>	<b>2,6</b>	<b>9</b>	<b>8</b>
<b>22</b>	<b>Каменный уголь ГО</b>	<b>81</b>	<b>5,3</b>	<b>0,5</b>	<b>13,2</b>	<b>2,3</b>	<b>12</b>	<b>10,5</b>
<b>23</b>	<b>Антрацит АР</b>	<b>91,8</b>	<b>3,2</b>	<b>0,6</b>	<b>2,6</b>	<b>1,8</b>	<b>13,5</b>	<b>6</b>
<b>24</b>	<b>Антрацит АР</b>	<b>93,5</b>	<b>2,1</b>	<b>0,4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>22,5</b>	<b>8</b>

**продолжение таблицы 2**

	<i>Наименование</i>							
<b>№</b>	<i>Мазут</i>	<b>C<sup>r</sup>,%</b>	<b>H<sup>r</sup>,%</b>	<b>S<sup>r</sup>,%</b>	<b>O<sup>r</sup>,%</b>	<b>N<sup>r</sup>,%</b>	<b>A<sup>c</sup>,%</b>	<b>W<sup>p</sup>, %</b>
<b>25</b>	<i>Мазут М100</i>	<b>85,2</b>	<b>10,2</b>	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>	<b>-</b>	<b>0,3</b>	<b>3</b>
<b>26</b>	<i>Мазут М100</i>	<b>83,1</b>	<b>10</b>	<b>2,9</b>	<b>0,7</b>	<b>-</b>	<b>0,3</b>	<b>3</b>
<b>27</b>	<i>Мазут М100</i>	<b>82,9</b>	<b>10,2</b>	<b>2,9</b>	<b>0,7</b>	<b>-</b>	<b>0,3</b>	<b>3</b>
<b>28</b>	<i>Мазут М100</i>	<b>84,8</b>	<b>10,6</b>	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>	<b>-</b>	<b>0,3</b>	<b>3</b>
<b>29</b>	<i>Мазут М100</i>	<b>86</b>	<b>9,3</b>	<b>0,5</b>	<b>0,9</b>	<b>-</b>	<b>0,3</b>	<b>3</b>

**окончание таблицы 2**

	<i>Наименование</i>						
<b>№</b>	<i>Газ</i>	<b>CH<sub>4</sub>, %</b>	<b>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, %</b>	<b>C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, %</b>	<b>C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, %</b>	<b>C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>, %</b>	<b>N<sub>2</sub>,%</b>
<b>30</b>	<i>Шебелинский</i>	<b>89,9</b>	<b>3,1</b>	<b>0,9</b>	<b>0,4</b>	<b>1</b>	<b>4,7</b>
<b>31</b>	<i>Ставропольский</i>	<b>98</b>	<b>0,4</b>	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	<b>-</b>	<b>1</b>
<b>32</b>	<i>Ухтинский</i>	<b>88</b>	<b>1,9</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>1,5</b>	<b>8,1</b>
<b>33</b>	<i>Газлинский</i>	<b>94,2</b>	<b>1,6</b>	<b>0,1</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>2,4</b>
<b>34</b>	<i>Сахалинский</i>	<b>95</b>	<b>2,2</b>	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>1,2</b>
<b>35</b>	<i>Саратовский</i>	<b>84,5</b>	<b>3,8</b>	<b>1,9</b>	<b>0,9</b>	<b>1,1</b>	<b>7,8</b>

## **Расчет необходимого объема воздуха и объема продуктов сгорания топлива**

**Расчет процесса горения топлива осуществляется по отношению к рабочей массе топлива, которая характеризует состав топлива, поступающего в топочную камеру.**

**Рабочая масса топлива состоит из элементов, входящих в горючую массу, и плюс к ним добавляется зольность  $A^P$ , и влажность  $W^P$**

**Состав газа в процентах по объему пересчета не требуют**

$$C^P + H^P + O^P + N^P + S^P + A^P + W^P = 100 \%$$

## Расчет необходимого объема воздуха и объема продуктов сгорания топлива

Рабочая масса углей находится по следующим отношениям, %

$$C^P = C^Г \cdot \frac{100 - W^P - A^P}{100}$$

$$H^P = H^Г \cdot \frac{100 - W^P - A^P}{100}$$

$$S^P = S^Г \cdot \frac{100 - W^P - A^P}{100}$$

$$A^P = A^c \cdot \frac{100 - W^P}{100}$$

$$O^P = O^Г \cdot \frac{100 - W^P - A^P}{100}$$

$$N^P = N^Г \cdot \frac{100 - W^P - A^P}{100}$$

$$C^P + H^P + O^P + N^P + S^P + A^P + W^P = 100 \%$$

*Теплота сгорания топлива  $Q_H^P$  определяется по зависимостям:*

*– для углей и мазута, кДж/кг*

$$Q_H^P = 339,15 C^P + 1256 H^P - 108,86 (O^P - S^P) - 25,1 (9H^P + W^P)$$

*– для газа, кДж/м<sup>3</sup>*

$$Q_H^P = 4,19 (30,2 CO + 25,8 H_2 + 85,5 CH_4 + 151,26 C_2H_6 + 218C_3H_8 + 283 C_4H_{10} + 349 C_5H_{12})$$

*Теоретический объем воздуха, необходимый для сжигания одного килограмма угля или мазута, или одного кубического метра газа определяется по уравнениям*

*– для углей и мазута, м<sup>3</sup>/кг*

$$V_o = 0,089 C^p + 0,265 H^p + 0,033 (S^p - O^p)$$

*– для газа, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>*

$$V_o = 0,0476 (0,5 CO + 2 CH_4 + 3,5 C_2H_6 + 5 C_3H_8 + 6,5 C_4H_{10} + 7,5 C_5H_{10} - O_2)$$

*Коэффициент избытка воздуха в топке  $\alpha_m$  находят по таблицам 3,4,5, ориентируясь на заданный тип топки и вид угля*

*Для камерных топок:*

*при сжигании **мазута**  $\alpha_m = 1,1$ ,  
при сжигании **газа**  $\alpha_m = 1,1 \dots 1,15$*

*Действительный расход воздуха,  $\text{м}^3/\text{кг}$  или  $\text{м}^3/\text{м}^3$*

$$V_{\partial} = V_o \alpha_m$$

*Избыточный объем воздуха,  $\text{м}^3/\text{кг}$  или  $\text{м}^3/\text{м}^3$*

$$\Delta V = V_{\partial} - V_o$$

**Таблица 3– Расчетные характеристики ручной топки с поворотными колосниками**

<i>Вид углей</i>	<i>Бурые</i>	<i>Каменные</i>	<i>Антрациты</i>
<i>Тепловое напряжение зеркала горения <math>q_R \cdot 10^{-6}</math>, кДж/м<sup>2</sup>·ч</i>	<i>2,9</i>	<i>3,3</i>	<i>3,1</i>
<i>Коэффициент избытка воздуха, <math>\alpha_m</math></i>	<i>1,45</i>	<i>1,45</i>	<i>1,45</i>
<i>Потери от механической неполноты сгорания <math>q_4</math>, %</i>	<i>9</i>	<i>7</i>	<i>12</i>

**Таблица 4– Расчетные характеристики полумеханических топок с поворотными колосниками**

<i>Вид углей</i>	<i>Бурые</i>	<i>Каменн ые</i>	<i>Антраци ты</i>
<i>Тепловое напряжение зеркала горения <math>q_R \cdot 10^{-6}</math>, кДж/м<sup>2</sup>·ч</i>	<i>3,3...3,7</i>	<i>3,3...7,7</i>	<i>3,3...3,7</i>
<i>Коэффициент избытка воздуха, <math>\alpha_m</math></i>	<i>1,4</i>	<i>1,4</i>	<i>1,6</i>
<i>Потери теплоты от механической неполноты сгорания <math>q_p</math> %</i>	<i>10</i>	<i>7</i>	<i>12.18</i>

**Таблица 5– Расчетные характеристики механических топок с цепной решеткой**

<b>Вид углей</b>	<b>Бурые</b>	<b>Каменн ые</b>	<b>Антраци ты</b>
<b>Тепловое напряжение зеркала горения <math>q_R \cdot 10^{-6}</math>, кДж/м<sup>2</sup>·ч</b>	<b>3,7...4,6</b>	<b>4,2...5,8</b>	<b>2,9...4,2</b>
<b>Коэффициент избытка воздуха, <math>\alpha_T</math></b>	<b>1,3</b>	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>
<b>Потери теплоты от механической неполноты сгорания <math>q_4</math>, %</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>7</b>

*Объем сухих трехатомных газов, образующихся при сгорании топлива*

*– для углей и мазута, м<sup>3</sup>/кг*

$$V_{R02} = (V_{CO2} + V_{SO2}) = \frac{3,67 \cdot C^P}{Y_{CO2} \cdot 100} + \frac{2S^P}{Y_{SO2} \cdot 100}$$

*где*

*$Y_i = \mu_i / 22,4$  – удельная масса газа при нормальных условиях, кг/м<sup>3</sup>;*

*$\mu_i$  – молекулярная масса  $CO_2$  и  $SO_2$*

*– для газа, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>*

$$V_{R02} = 0,01(CO_2 + CH_4 + 2C_2H_6 + 3C_3H_8 + 4C_4H_{10} + 5C_5H_{12})$$

## Объем двухатомных газов (азота):

– для угля и мазута,  $\text{м}^3/\text{кг}$

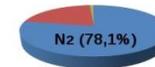
$$V_{R2} = 0,79 V_o + 0,008 N^p$$



### Азот - простое вещество



- Азот - газ, без цвета, без запаха, легче воздуха, плохо растворим в воде.
- $t_{\text{кип.}} = -196 \text{ C}$ ;  $t_{\text{пл.}} = -210 \text{ C}$ .
- Входит в состав воздуха.



- Газ, легко сжижающийся.
- Из сжиженного воздуха  
 $NH_4NO_2 = N_2 + 2H_2O$

– для газа,  $\text{м}^3/\text{м}^3$

$$V_{R2} = 0,79 V_o + 0,01 N_2$$

*Объем водяных паров:*

*– для угля и мазута, м<sup>3</sup>/кг*

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,0124 (9\text{H}^{\text{p}} + \text{W}^{\text{p}}) + 0,02 V_0 \alpha_{\text{T}}$$

*где 0,02 – объемная доля водяных паров в воздухе*

*– для газа, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>*

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,01 (2 \text{C}\text{H}_4 + 3 \text{C}_2\text{H}_6 + 4 \text{C}_3\text{H}_8 + 5 \text{C}_4\text{H}_{10} + \\ + 6 \text{C}_5\text{H}_{12}) + 0,02 V_0 \alpha_{\text{T}}$$

*Полный объем дымовых газов, м<sup>3</sup>/кг или м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>*

$$\Sigma V = V_{\text{RO}_2} + V_{\text{R}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} + \Delta V$$

*Объемная доля сухих трехатомных газов*

$$r_{\text{RO}_2} = V_{\text{RO}_2} / \Sigma V$$

*Объемная доля водяных паров*

$$r_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}} / \Sigma V .$$

*Общая объемная доля трехатомных газов*

$$r_{\text{п}} = r_{\text{RO}_2} + r_{\text{H}_2\text{O}} .$$

## **Составление теплового баланса котла**

*Тепловой баланс котла имеет вид, %*

$$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 = 100$$

*Полезно использованная теплота  $q_1$ , %*

$$q_1 = \eta_k$$

*где  $\eta_k$  – кпд котла, %*

*Для всех котлов, работающих на мазуте и газе  $\eta_k = 89\%$ , для **угольных** при производительности 2000...5000 кг/ч  $\eta_k = 78\%$ , при 6000...7000 кг/ч  $\eta_k = 80\%$ , при большей производительности  $\eta_k = 82\%$*

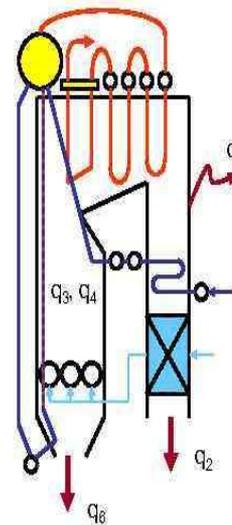
# Потеря теплоты с уходящими в атмосферу дымовыми газами $q_2$ , %

$$q_2 = \frac{1,15 \cdot (\Sigma V) C_{\Gamma} \cdot t_{\Gamma}}{Q_{\text{p}}^{\text{H}}} \cdot 100$$

Где  $t_{\Gamma} = 120 \dots 140$  –  
температура  
газов за  
экономайзером, °C

$C_{\Gamma} = 1,3$  – объемная  
теплоемкость газов при  
 $120 \dots 140$  °C, кДж/м<sup>3</sup>·K

Тепловой баланс котла



$q_2$  – потери с уходящими газами;  
 $q_3$  – потери от химической неполноты сгорания;  
 $q_4$  – механический недожог;  
 $q_5$  – потери в окружающую среду;  
 $q_6$  – потери с теплотой шлака

$$\eta_{\text{котла}} = 1 - \sum q_i = 100 - q_2 - q_3 - q_4 - q_5 - q_6$$

$$\eta_{\text{котла}} = 0,89 \dots 0,93$$

**Потеря теплоты от химической неполноты сгорания  $q_3\%$ , определяется по таблице 6**

**Таблица 6– Числовые значения  $q_3$**

<b>Вид топки</b>	<b>Ручная</b>	<b>Полумеханическая</b>	<b>Механическая</b>	<b>Камерная</b>	
				<b>мазут</b>	<b>газ</b>
<b><math>q_3\%</math></b>	<b>2...3</b>	<b>1</b>	<b>0,5 ...1</b>	<b>2</b>	<b>1...1,5</b>

**Потеря теплоты от механической неполноты сгорания  $q_4$ , % зависит от типа топки и марки угля и определяется по таблице 2,3,4 приложения. Для газа и мазута  $q_4 = 0$**   
**Потеря теплоты с горячим шлаком  $q_6$ , %**

$$q_6 = \frac{419 \cdot A^p}{Q_p^H}$$

**Для мазута и газа  $q_6 = 0$**

**Потеря теплоты на внешнее охлаждение поверхностей  $q_5$ , %**

$$q_5 = 100 - (q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_6)$$

*Тепловая производительность котла  $Q_k$ , кДж/ч*

$$Q_k = D (h^{II} - h_{п.в}) + D_{пр} (h^I - h_{п.в})$$

*где*

*$h^{II}$  – энтальпия (теплосодержание) сухого насыщенного пара при давлении в котле  $p_k$ , кДж/кг;*

*$h^I = 4,19 \cdot t$  – энтальпия кипящей в котле воды, кДж/кг;*

*$h_{п.в} = 4,19 \cdot t_{п.в}$  – энтальпия питательной воды, кДж/кг*

*Значения  $h^{II}$  и  $t^I$  берут из таблицы 7 по заданному давлению в котле  $p_k$ . Температуру питательной воды  $t_{п.в}$  принимают равной  $100^\circ\text{C}$*

*$D_{пр} = D \cdot i / 100$  – количество воды, удаляемой из котла при продувках, кг/ч.*

***Процент продувки  $i$  для всех котлов взять равным 3***

**Таблица 7 – Параметры сухого насыщенного пара**

<b>Давление в котле <math>p_k</math>, МПа</b>	<b>Температура кипения воды <math>t'</math>, ° С</b>	<b>Энтальпия пара <math>h''</math>, кДж/кг</b>
<b>0,8</b>	<b>169,6</b>	<b>2770</b>
<b>0,9</b>	<b>174,5</b>	<b>2775</b>
<b>1,0</b>	<b>179</b>	<b>2779</b>
<b>1,1</b>	<b>183,2</b>	<b>2782</b>
<b>1,2</b>	<b>187,1</b>	<b>2786</b>
<b>1,3</b>	<b>190,7</b>	<b>2789</b>
<b>1,4</b>	<b>194,1</b>	<b>2791</b>

*Часовой расход топлива, кг/ч, или м<sup>3</sup>/ч*



$$B_{\text{ч}} = 100 * Q_{\text{к}} / (Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{к}})$$

# Определение температуры газов в зоне горения топлива

*Расчет энтальпии топочных газов, кДж/кг  
или кДж/м<sup>3</sup>, производится по формуле*

$$H = (V_{\text{RO}_2} * C'_{\text{RO}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} * C'_{\text{H}_2\text{O}} + \Delta V * C'_{\text{BB}}) t_{\text{T}}$$

где  $C'_i$  – средняя объемная изобарная теплоемкость  $i$ -го компонента продуктов сгорания, кДж/м<sup>3</sup>·К (таблица 8). **Расчет энтальпии  $H$  проводится дважды: при температуре топочных газов  $t_m = 900$  °С и  $t_m = 2000$  °С**

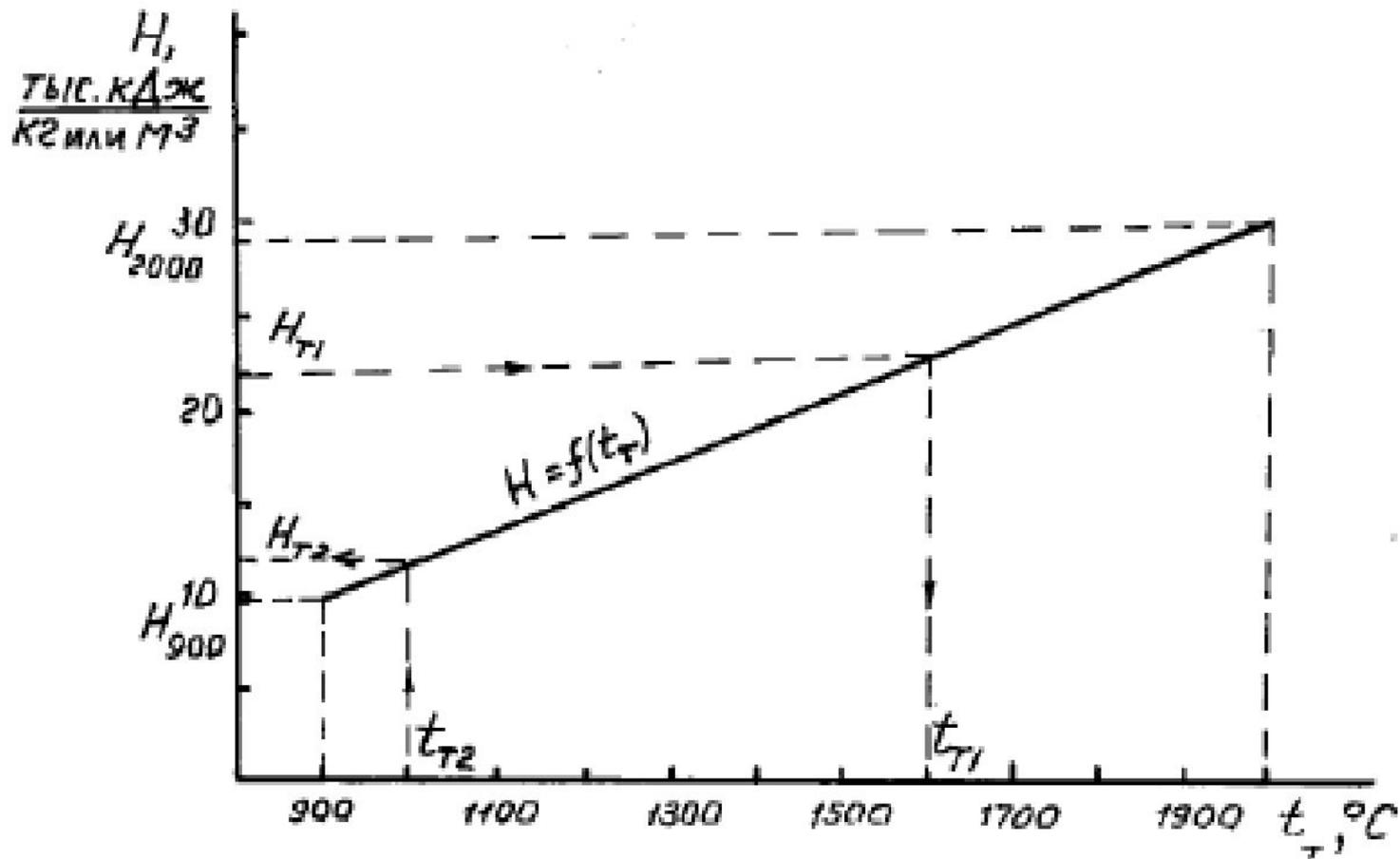
**Таблица 8– Средние объемные изобарные  
теплоемкости**

<b>t, °C</b>	<b>C' <sub>RO2</sub> кДж/м<sup>3</sup>·К</b>	<b>C' <sub>N2</sub> кДж/м<sup>3</sup>·К</b>	<b>C' <sub>H2O</sub> кДж/м<sup>3</sup>·К</b>	<b>C' <sub>mpBB</sub> кДж/м<sup>3</sup>·К</b>
<b>800</b>	<b>2,0411</b>	<b>1,3716</b>	<b>1,6680</b>	<b>1,3842</b>
<b>900</b>	<b>2,1805</b>	<b>1,3845</b>	<b>1,6967</b>	<b>1,3976</b>
<b>1000</b>	<b>2,2156</b>	<b>1,3942</b>	<b>1,7242</b>	<b>1,4097</b>
<b>1100</b>	<b>2,2471</b>	<b>1,4089</b>	<b>1,7514</b>	<b>1,4214</b>
<b>1200</b>	<b>2,2764</b>	<b>1,4202</b>	<b>1,7782</b>	<b>1,4327</b>
<b>1300</b>	<b>2,3024</b>	<b>1,4306</b>	<b>1,8042</b>	<b>1,4432</b>

## Окончание таблицы 8

$t, ^\circ\text{C}$	$C'_{RO2}$ кДж/м <sup>3</sup> ·К	$C'_{RO2}$ кДж/м <sup>3</sup> ·К	$C'_{RO2}$ кДж/м <sup>3</sup> ·К	$C'_{mpBB}$ кДж/м <sup>3</sup> ·К
1400	2,3267	1,4407	1,8280	1,4528
1500	2,3489	1,4499	1,8527	1,4620
1600	2,3694	1,4587	1,8761	1,4708
1700	2,3887	1,4671	1,8996	1,4788
1800	2,4067	1,4746	1,9213	1,4867
1900	2,4230	1,4821	1,9423	1,4939
2000	2,4385	1,4888	1,9628	1,5010

Построение диаграммы  $H - t$  топочных газов производится  
по  $H_{900}$  и  $H_{2000}$



*Тепловыделение в топке на один килограмм твердого топлива, кДж/кг, определяется по формуле:*

$$H_{T1} = Q_p^H \left( \frac{100 - q_3 - q_4}{100} \right) + Q_B + q + Q_\Phi$$

*где*

$Q_B = \alpha_T V_0 C_{BV}^I t_B$  – *теплота, внесенная в топку влажным воздухом, кДж/кг или кДж/м<sup>3</sup>;*

$C_{BV}^I = 1,32$  – *объемная теплоемкость воздуха, кДж/м<sup>3</sup> · К;*

$t_B = 30$  – *температура дутьевого воздуха, °С;*

$q = C_m t$  – *теплота внесенная в топку топливом, кДж/кг или кДж/м<sup>3</sup>;*

$C_m$  – *теплоемкость топлива. Для угля  $C_m = 1,05$  кДж/кг · К, для мазута  $C_m = 2,1$  кДж/кг · К, для газа  $C_m = 1,672$  кДж/м<sup>3</sup> · К;*

$t$  – *температура топлива, °С. Для угля и газа можно принять  $t = 20$  °С, для мазута  $t = 100$  °С;*

$Q_{\phi} = W_{\phi} h^{\parallel}$  – теплота, вносимая в топку паром, кДж/кг.  
Имеет место при сжигании мазута. Расход пара  $W_{\phi}$  принимается для паромеханических форсунок равным 0,02...0,03 кг на один килограмм мазута. Энтальпия пара  $h^{\parallel} = 2580$  кДж/кг при давлении перед форсункой 0,15...0,2 МПа

**Температура горения  $t_{TP}$ , °С**, определяется по значению  $N_{T1}$  по графику рисунка (см. слайд 36). Порядок определения  $t_{TP}$  показан стрелками



## ТЕМПЕРАТУРА ГОРЕНИЯ

- Это максимальная температура в зоне горения, до которой нагреваются продукты горения. В зависимости от условий, в которых протекает процесс горения различают:
- 1) калориметрическую
  - 2) теоретическую
  - 3) адиабатическую
  - 4) действительную температуры горения.

# **Расчет геометрических параметров топки**

*Часовая теплота, кДж/ч, внесенная в топку*

$$Q_{\text{ч}} = H_{\text{T1}} B_{\text{ч}}$$

**Площадь колосниковой решетки для  
угольных топок, м<sup>2</sup>**

$$R' = Q_{\text{ч}} / q_{\text{R}}$$

*где  $q_{\text{R}}$  – удельный теплосъем с квадратного метра  
колосниковой решетки, кДж/м<sup>2</sup>\* ч. Значение  $q_{\text{R}}$   
берется из таблиц 3, 4, 5 (по заданному **типу  
топки и виду угля**)*

**Высота топки  $h_m$ , м, принимается равной 2,5 ... 3 м для котлов производительностью 2000 ... 9000 кг/ч и 4 ... 4,5 м для котлов большей производительности.**

**Ширина топки  $b$ , м, и её длина  $L$ , м, для ручных и полумеханических топок определяется по **таблице 9**. При этом  $R'$ , найденную по формуле (см. слайд 39), следует округлить до ближнего табличного значения  $R$ .**

**Ширина топки  $b$ , м, для механической топки определяется по **таблице 10**. При этом  $R'$  также округляют до ближнего табличного значения  $R$ .**

**Таблица 9 – Основные размеры колосниковых решеток ручных и полумеханических топок**

<i>Типоразмер решетки</i>	<i>Размеры</i>		<i>Площадь зеркала горения R, м<sup>2</sup></i>	<i>Число забрасывателей угля</i>
	<i>b, м</i>	<i>L, м</i>		
<i>ПМЗ-0-1800/1000</i>	<i>1,8</i>	<i>1,0</i>	<i>1,8</i>	<i>-</i>
<i>ПМЗ-2-1800/1525</i>	<i>1,8</i>	<i>1,525</i>	<i>2,74</i>	<i>2</i>
<i>ПМЗ-2-2200/1525</i>	<i>2,2</i>	<i>1,525</i>	<i>3,36</i>	<i>2</i>
<i>МПЗ-2-1800/2136</i>	<i>1,8</i>	<i>2,136</i>	<i>3,84</i>	<i>2</i>
<i>ПМЗ-2-2200/2135</i>	<i>2,2</i>	<i>2,135</i>	<i>4,7</i>	<i>2</i>

**окончание таблицы 9**

<b>Типоразмер решетки</b>	<b>Размеры</b>		<b>Площадь зеркала горения R, м<sup>2</sup></b>	<b>Число забрасывателей угля</b>
	<b>b, м</b>	<b>L, м</b>		
<b>ПМЗ-3-2600/2135</b>	<b>2,6</b>	<b>2,135</b>	<b>5,5</b>	<b>3</b>
<b>ПМЗ-2-2200/2745</b>	<b>2,2</b>	<b>2,745</b>	<b>6,05</b>	<b>2</b>
<b>ПМЗ-2-2200/3050</b>	<b>2,2</b>	<b>3,05</b>	<b>6,71</b>	<b>2</b>
<b>ПМЗ-3-3300/2135</b>	<b>3,3</b>	<b>2,135</b>	<b>7,0</b>	<b>3</b>
<b>ПМЗ-3-2600/3050</b>	<b>2,6</b>	<b>3,05</b>	<b>7,93</b>	<b>3</b>
<b>ПМЗ-3-2600/3660</b>	<b>2,6</b>	<b>3,66</b>	<b>9,52</b>	<b>3</b>

Таблица 10 – Основные размеры цепных решеток механических  
ТОПОК

<i>Размеры</i>		<i>Площадь зеркала горения R, м<sup>2</sup></i>	<i>Скорость движения решетки, м/ч</i>	<i>Мощность электродвига теля, кВт</i>
<i>Ширина b, м</i>	<i>длина L', м</i>			
<i>1,26</i>	<i>5,5</i>	<i>5,5</i>	<i>2,9...21,7</i>	<i>2</i>
<i>1,63</i>	<i>5,5</i>	<i>7,0</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
<i>2,00</i>	<i>5,5</i>	<i>8,5</i>	<i>-</i>	<i>3</i>
<i>2,37</i>	<i>5,5</i>	<i>10,5</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
<i>2,37</i>	<i>6,5</i>	<i>13</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
<i>3,11</i>	<i>5,5</i>	<i>14</i>	<i>2,7...20,9</i>	<i>-</i>
<i>3,11</i>	<i>6,5</i>	<i>17</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
<i>3,85</i>	<i>6,5</i>	<i>21</i>	<i>-</i>	<i>4,5</i>
<i>3,85</i>	<i>7,9</i>	<i>25,3</i>	<i>-</i>	<i>-</i>

*Длина механической топки, м*

$$L = R / b$$

*Объем угольной топки, м<sup>3</sup>*

$$V_y = R$$

$h_T$

*Объем топки, м<sup>3</sup>, для котлов с мазутным или газовым отоплением находят как*

$$V_{\Gamma} = Q_{\text{ч}} / q_v \quad V_{\text{М}} = Q_{\text{ч}} / q_v$$

*где  $q_v = 10^6$  (для всех **камерных** топок) – тепловое напряжение топочног ообъема, кДж/м<sup>3</sup>·ч*

*Расчетная площадь пода камерной топки, м<sup>2</sup>*

$$R'_{\Gamma} = V_{\Gamma} / h_{\Gamma}, \quad R'_{\text{м}} = V_{\text{м}} / h_{\Gamma},$$

*где*

*$H_{\text{м}} = 2,5 \dots 3$  м для котлов производительностью 2000 ... 9000 кг/ч*

*$H_{\text{м}} = 4 \dots 4,5$  м для котлов большей производительности. Рекомендуется принимать значения  $h_{\text{м}}$ , дающие площади  $R_2$  или  $R_{\text{м}}$  следующего пункта*

*Ширина камерной топки “b”, м, берется из таблицы 9 (см. слайд 9), если  $R_2$  или  $R_{\text{м}}$  меньше или равна 9,52 м<sup>2</sup>, и из таблицы 10 (см. слайд 43), если больше 9,52 м<sup>2</sup>*

*Здесь  $R_2$  и  $R_{\text{м}}$  округленные в ближнюю сторону  $R'_{\Gamma}$  или  $R'_{\text{м}}$*

## ***Длина камерной топки, м***

$$L = R_{\Gamma} / b, \quad L = R_{\text{М}} / b$$

*Длина камеры догорания топок  $L_{\text{к}} = 0,3\text{ м}$  – для котлов производительностью 2000 ... 6000 кг/ч и  $L_{\text{к}} = 0,745\text{ м}$  – для других котлов.*

*Ширина камеры догорания  $b_{\text{к}}$ , м, равна ширине топки “b”*

## ***Площади поверхностей топки и камеры догорания***

***Площадь боковых стен топки и камеры догорания, м<sup>2</sup>***

$$F_{\text{БС}} = 2 h_{\text{Т}} L + 2 h_{\text{К}}$$

***где  $h_{\text{К}} = 1,6$  – средняя высота камеры догорания для всех котлов, м***

***Площадь передней и задней стенок топки с учетом передней и задней поверхностей камеры догорания, м<sup>2</sup>***

$$F_{\text{ПЗ}} = 2 h_{\text{Т}} b + 2 h_{\text{К}} b_{\text{К}}$$

***Площадь потолка топки с учетом потолка камеры догорания, м***

$$F_{\text{ПТ}} = R + b_{\text{К}} L_{\text{К}}$$

**Общая поверхность топки, воспринимающая тепловое излучение, м<sup>2</sup>**

$$F_T = F_{BC} + F_{ПЗ} + F_{ПТ} +$$

где  $F_{П}$  – для угольных топок опускается

**Число труб одного бокового экрана топки**

$$n = L / S_1$$

где  $S_1 = 0,08$  – шаг труб бокового экрана (расстояние между осями труб), м. **Число труб следует округлить до целого числа**

**Площадь поверхности труб обоих боковых экранов, м<sup>2</sup>**

$$F_{ЭБ} = 2 n \pi$$

где  $d_1 = 0,051$  – диаметр труб экранов, м

*Число экранных труб на обеих боковых стенках камеры догорания*

$$n_k = 2 L_k / S_1$$

**Число труб округлить до целого числа, кратного двум**

*Площадь экранных труб камеры догорания*

$$F_{ЭК} = n_k \pi d_1 h_k$$

*Общая площадь экранных труб топки, м<sup>2</sup>*

$$F_{ЭТ} = F_{ЭБ} + F_{Э}$$

*Число труб первого ряда кипяtilьных труб на задней стенке камеры догорания*

$$n_{\text{КК}} = b_{\text{К}} / S_2$$

*где  $S_2 = 0,11$  – поперечный шаг труб первого ряда кипяtilьного пучка, м*

*Поверхность труб первого ряда кипяtilьных труб, м<sup>2</sup>*

$$F_{\text{КК}} = n_{\text{КК}} \pi d_1$$

*Общая площадь поверхности труб топки, м<sup>2</sup>*

$$F_{\text{Э}} = F_{\text{ЭТ}} +$$

*Поверхность труб топки, воспринимающая тепловое излучение, м<sup>2</sup>*

$$F_{\text{Л}} = F_{\text{ЭТ}} x +$$

*где  $x = 0,78$  – угловой коэффициент экрана*

# **Расчет температуры газов на выходе из топки**

*Коэффициент загрязнения поверхностей  $\zeta = 0,8$  – при сжигании газа и  $\zeta = 0,6 \dots 0,7$  – при сжигании мазута и угля.  
Коэффициент сохранения теплоты в топке*

$$\Phi = 1 - 0,005 q_5$$

*Степень экранирования поверхностей топки*

$$\Psi = F_{\text{л}} / F_{\text{т}}$$

*Отношение площади зеркала горения топки к лучевоспринимающей поверхности топки*

$$Y = R /$$

*где  $Y$  – при сжигании мазута или газа в дальнейшем не требуется и из расчета исключается*

## **Абсолютная температура топочных газов, К**

$$T_{T_1} = t_{T_1} + 273, \quad T_{T_2} = t_{T_2} + 273,$$

*где  $t_{T_2}$  – предварительно задается равной 1000 °С и представляет температуру газов на выходе из камеры догорания*

*Средняя теплоемкость всего объема топочных газов, кДж/К*

$$(V_C)_m = \left( \sum \left( V C'_{mp2} \right) t_{T1} - \sum \left( V C'_{mp2} \right) t_{T2} \right) / (t_{T1} - t_{T2})$$

*где  $\sum (V C'_{mp1}) t_{T1}$  и  $\sum (V C'_{mp2}) t_{T2}$  – определяются по уравнению **(см. слайд 34)***

*Эффективная толщина излучающего  
слоя, м*

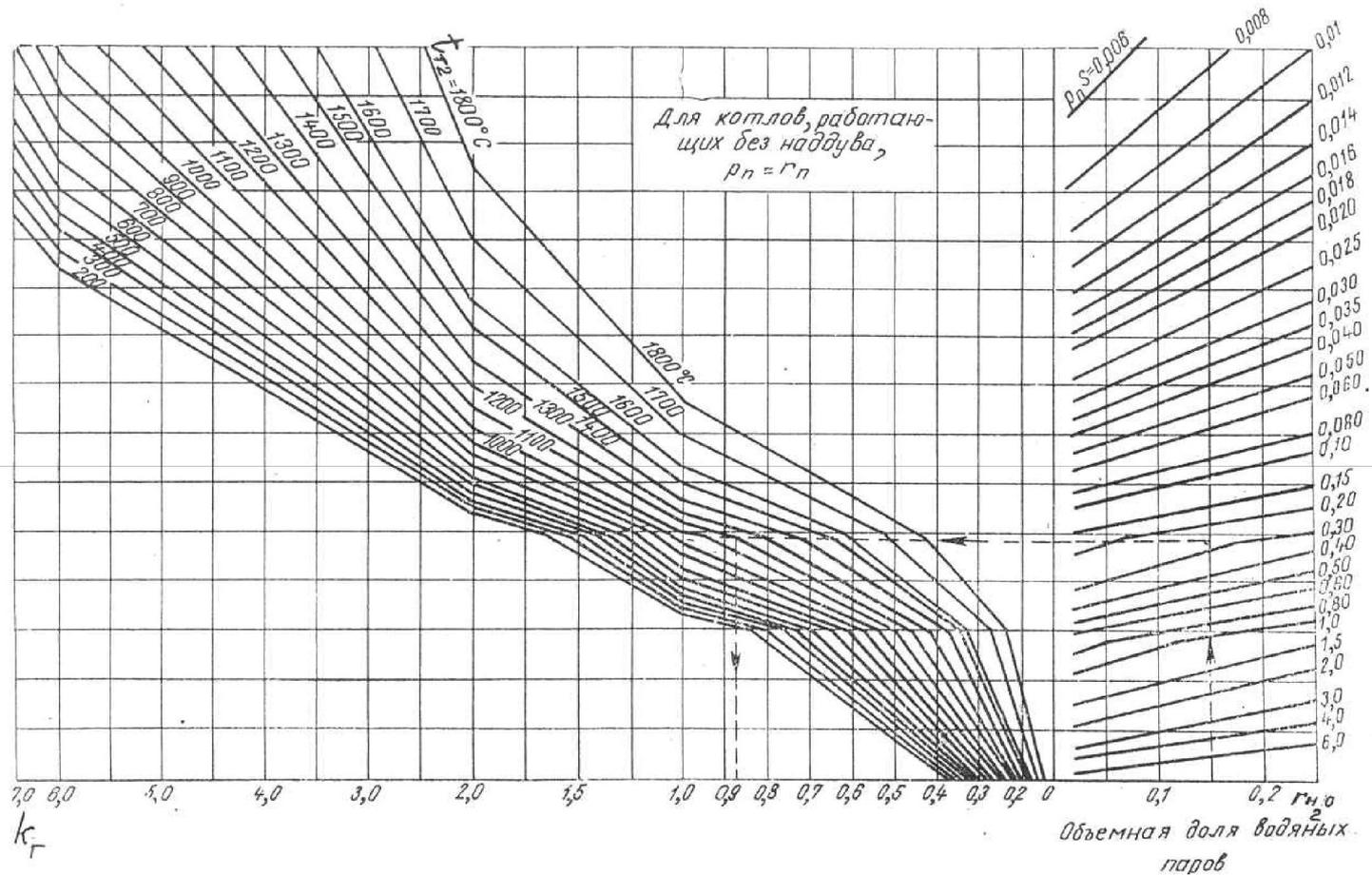
$$S = 3,6 \frac{V_{\Gamma}}{F_{\Gamma}}, \quad S = 3,6 \frac{V_y}{F_{\Gamma}}, \quad S = 3,6 \frac{V_M}{F_{\Gamma}}.$$

*Произведение  $r_n$  на  $S$  равно*

$$P_n S = S r_n$$

*Коэффициент ослабления лучей  
трехатомными газами  $k_2$ . Он определяется по  
номограмме (см. слайд 55) по входной величине  $r_{H_2O}$ ,  
значению  $r_n S$  и температуре  $t_{T_2} = 1000^{\circ}\text{C}$ . Схема  
определения  $k_2$  показана стрелками*

# Номограмма для определения значения коэффициента ослабления лучей трехатомными газами



**Коэффициент ослабления лучей  
светящимся пламенем**

$$k_{\text{н.св}} = k_{\text{п}}$$

**Коэффициент ослабления лучей несветящимся  
пламенем**

$$K_{\text{св}} = 1,6 \frac{T_{\text{T}_2}}{1000} - 0,5.$$

**Степень черноты светящихся компонентов  
пламени**

$$a_{\text{св}} = 1 - e^{-k_{\text{св}} r_{\text{п}} S}$$

**где  $e = 2,718$  – основание натуральных  
логарифмов**

*Степень черноты несветящихся компонентов  
пламени*

$$a_{\text{н.св}} = 1 - e^{-k_{\text{н.св}} r_{\text{п}} S}$$

**Степень черноты факела**

$$a_{\text{ф}} = a_{\text{св}} m + a_{\text{н.св}} (1 - m)$$

**Где**

$m = 0,4 \dots 0,6$  – для **угля и мазута** и  $m = 0$  –  
для **газа**

**Степень черноты слоевых (угольных)**

$$a_{\text{т}} = \frac{a_{\text{ф}} + (1 - a_{\text{ф}}) Y \psi}{1 - (1 - Y \psi) (1 - Y \psi) (1 - a_{\text{ф}})}$$

**Степень черноты камерных (мазутных и газовых топок)**

$$a_T = \frac{a_\phi}{a_\phi + (1 - a_\phi)\psi\zeta}$$

**Коэффициент X находится по формуле**

$$X = h_1 / h_2$$

где

$X = 0$  – для **углей**;  $h_1 = 1$  – расстояние между подом топки и осью мазутной или газовой форсунки, м;  $h_2$  – расстояние от пода топки до середины входного окна из топки в камеру догорания, м.

Для котлов паропроизводительностью 2000...9000 кг/ч  $h_2 = 1,2...2,2$  м, пропорционально принятой ранее высоте топки. Для котлов большей производительности  $h_2 = 3,2...3,7$  м, также пропорционально высоте топки

*Расчетный коэффициент  $M$  определяется по формуле*

$$M = A + Bx$$

где  $A = 0,52$ ,  $B = 0,3$  для всех видов

*топок*  
Расчетная температура топочных газов на выходе из топки,  $^{\circ}\text{C}$

$$t_{T_2} = \frac{T_{T_1}}{M \left( \frac{4,9 \cdot 10^{-8} \cdot \zeta_{\text{ЛТ}} \cdot F_{\text{аТ}} \cdot T_{T_1}^3}{\varphi B_{\text{ч}} \cdot (V_{\text{с}})_{\text{м}}} \right)^{0,6} + 1} - 273.$$

*Если значение  $t_{T2}$ , определенное по формуле (см. слайд 59), будет отличаться более чем на  $50^{\circ}\text{C}$  от ранее принятого значения  $t_{T2} = 900^{\circ}\text{C}$ , то задаются новым значением  $t_{T2}$  большим или меньшим ранее принятого  $t_{T2} = 900^{\circ}\text{C}$ . Затем проводят новые расчеты по формулам (см. слайд 53), определяют  $k_2$  (см. слайды 56 – 58). В отчет включают окончательный расчет. Энтальпия дымовых газов на выходе из топки  $H_{m2}$ , кДж/кг или кДж/м<sup>3</sup>, определяется по диаграмме (см. слайд 37) по уточненному значению  $t_{m2}$ .*

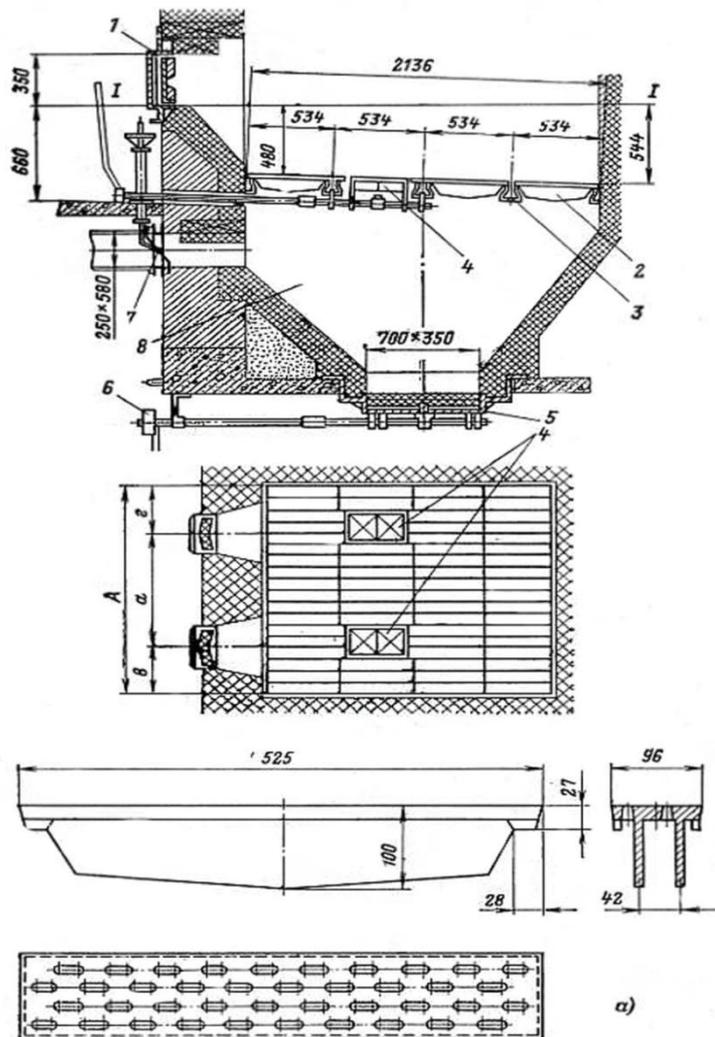
*Теплота, переданная экранным трубам топки и трубам камеры догорания тепловыми лучами, кДж/кг или кДж/м<sup>3</sup>*

$$q_{\text{л}} = a_{\text{T}} (H_{\text{T1}} - H_{\text{T2}})$$

*Теплота, полученная трубами теплоотдачей от горячих газов, кДж/кг или кДж/м<sup>3</sup>*

$$q_{\text{а}} = (H_{\text{T1}} - H_{\text{T2}}) - q_{\text{л}}$$

# Ручная топка котла



# Полумеханическая топка котла

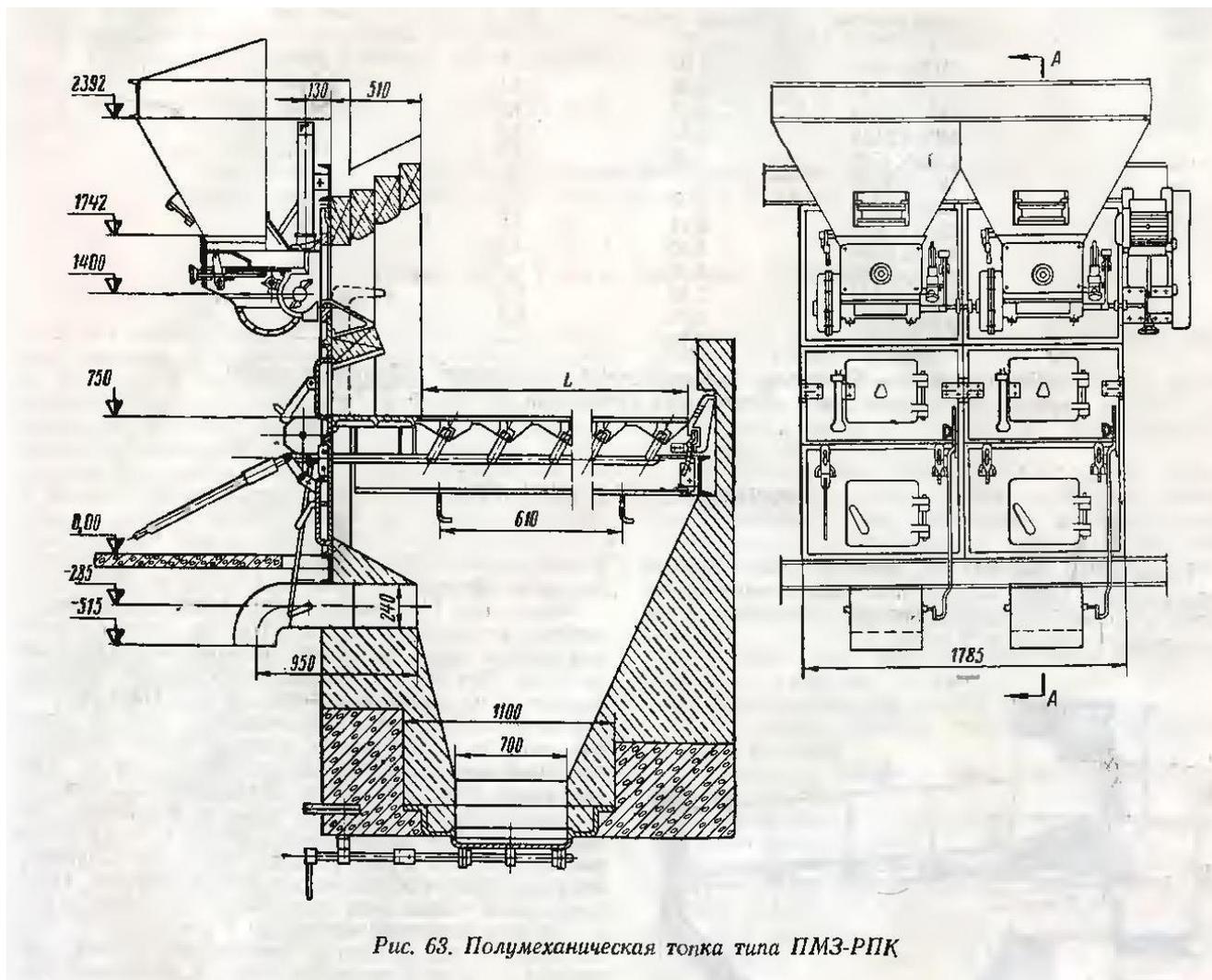


Рис. 63. Полумеханическая топка типа ПМЗ-РПК

# Механическая топка котла

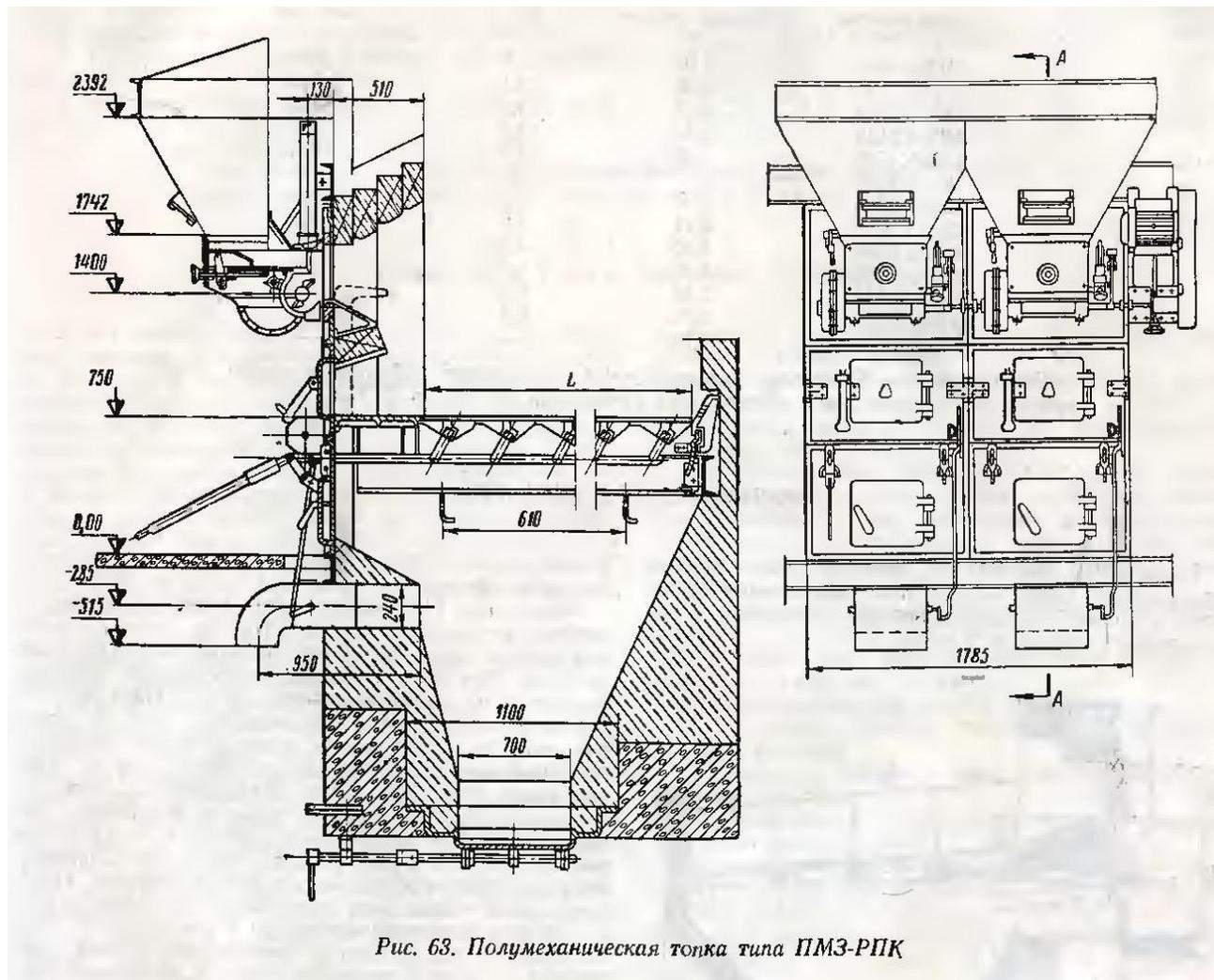


Рис. 63. Полумеханическая топка типа ПМЗ-РПК

**Спасибо за внимание !**

