

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГАЗОВЫХ КОТЛОВ ИКЗ С МНОГОПОТОЧНОЙ СХЕМОЙ ДВИЖЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

МОШКАРИН А.В., д-р техн. наук, ШЕЛЫГИН Б.Л., канд. техн. наук, ЗАЙЧИКОВ В.Н., инж.

Представлены особенности методики поверочно-конструкторского расчета водогрейных котлов Ижевского котельного завода с многопоточной схемой движения теплоносителя и использованием в качестве топлива природного газа. Оперативно определяются оптимальная компоновка энергоустановки, размеры отдельных элементов поверхностей нагрева, металлозатраты на их изготовление и экономические показатели котла.

*Ключевые слова:* водогрейные котлы, тепловая нагрузка котла, металлозатраты, поверхность нагрева.

## CALCULATION METHOD OF IBP GAS BOILERS WITH MULTICURRENT HEAT-TRANSFER AGENT SCHEME MOVEMENT

A.V. MOSHKARIN, Ph.D., B.L. SHELIGIN, Ph.D., V.N. ZAJCHIKOV, engineer

This paper is devoted to the peculiarities of check-design calculation method of IBP ("Izhevsk Boiler Plant") hot-water boilers with multicurrent heat-transfer agent scheme movement and using natural gas as fuel. The authors have determined optimal power unit arrangement, sizes of heating surface separate elements, steel cost for their production and boiler economic indicators.

*Key words:* hot-water boilers, boiler heat load, steel cost, heating surface.

За период 2000–2005 гг. Ижевским котельным заводом (ИКЗ) проведена разработка и налажен выпуск водогрейных котлов мощностью 0,63–2,03 МВт (0,54–1,75 Гкал/ч), сжигающих в качестве топлива природный газ [1]. Все модификации данных котлов собираются из секций экранов, изготавливаемых из труб диаметром 159×4,5 мм при спиралеобразном движении воды [2].

На основании предварительного анализа и выявленных недостатков [3] рекомендован вариант котла с многопоточной схемой движения теплоносителя [4]. Над топочной камерой горизонтально расположены три экрана с шагом 220 мм. Характер омывания труб данных поверхностей нагрева газами – продольно-поперечный. Последними конвективными поверхностями в газовом тракте котла являются вертикальные экраны, размещенные за топочной камерой в газоходах с подъемно-опускным движением продуктов сгорания. Шаг между задними экранами рекомендовано сократить с 330 до 260 мм [3, 5].

В результате проведенных расчетных исследований [6] установлены особенности наиболее эффективной компоновки предложенной конструкции котла [4] и данное техническое решение может быть рекомендовано на ближайшую перспективу. Поэтому целесообразна разработка методики расчета котла, позволяющей легко и быстро провести поверочно-конструкторский расчет энергоустановки. При этом оперативно, без использования специальных тепловых расчетов, возможно определение значений отдельных поверхностей нагрева, расхода металла на их изготовление, экономических показателей (КПД котла и расход топлива) и текущих значений температур газов. В настоящее время в условиях рыночных отношений обязательно должны приниматься во внимание климатическая обстановка в данном регионе, загруженность оборудования в течение года и стоимость топлива.

Исходными данными для расчета конкретной установки являются:

- тепловая нагрузка котла  $Q_k$ , МВт;
- теплота сгорания природного газа  $Q_n^c$ , МДж/м<sup>3</sup>;

- цена топлива по месту эксплуатации установки  $C_t$ , руб/м<sup>3</sup>;
- цена металла по месту изготовления установки  $C_m$ , руб/м<sup>3</sup>;
- число часов использования максимума тепловой нагрузки  $\tau_{\max}$ , Ч;
- средняя температура наружного воздуха  $t_{\text{нар}}$ , соответствующая использованию максимума тепловой нагрузки, °С.

При номинальных значениях температур сетевой воды на входе и выходе из энергоустановки соответственно 70 и 95 °С расход воды через котел равен, т/ч,  $D = 34,48 Q_k$ .

Как в поперечном, так и в продольном сечении все модификации котла имеют одинаковый профиль и отличаются только габаритами (количеством и длиной труб в каждом экране) в зависимости от номинальной тепловой нагрузки  $Q_k$  (рис. 1).

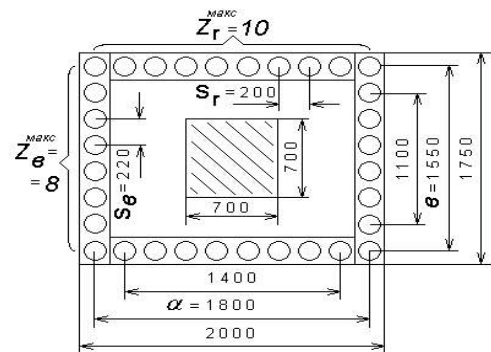


Рис. 1. Профиль поперечного сечения топочной камеры котла при максимальном значении его единичной тепловой мощности ( $Q_k = 2,32$  МВт (2,0 Гкал/ч))

В случае постоянства значений шагов труб горизонтальных и вертикальных экранов ( $S_r = 200$  мм,  $S_b = 220$  мм) при снижении единичной тепловой мощности котла количество труб в горизонтальных экранах  $z_r$  предлагается снижать ступенчато от 10 до 9 и 8 (табл. 1). Тогда количество труб в вертикальных экранах  $z_b = z_r - 2$  (рис. 2).

Ширина и высота горизонтальных и вертикальных экранов, соответственно, равны, м:

$$a = 0,2(z_{\Gamma} - 1); \quad b = 0,22(z_{\text{в}} - 1).$$

При наружном диаметре труб 159 мм площадь поперечного сечения топочной камеры рассчитывается по формуле, м<sup>2</sup>,

$$F_{\Gamma} = a \cdot b - 0,02(z_{\Gamma} + z_{\text{в}}) + 0,06.$$

Для обеспечения нормальных значений теплового напряжения топочного пространства [7] значения глубины топочной камеры предложено принимать в зависимости от номинальной тепловой нагрузки котла (рис. 2), м:

- при  $Q_{\text{к}} < 0,93$  МВт  $l_{\Gamma} = 2 + 0,69(Q_{\text{к}} - 0,63)$ ;
- $0,93 \leq Q_{\text{к}} \leq 1,16$  МВт  $l_{\Gamma} = 2,2$ ;
- $1,44 \leq Q_{\text{к}} \leq 1,74$  МВт  $l_{\Gamma} = 2,4$ ;
- $Q_{\text{к}} > 1,74$  МВт  $l_{\Gamma} = 2,4 + 0,69(Q_{\text{к}} - 1,74)$ .

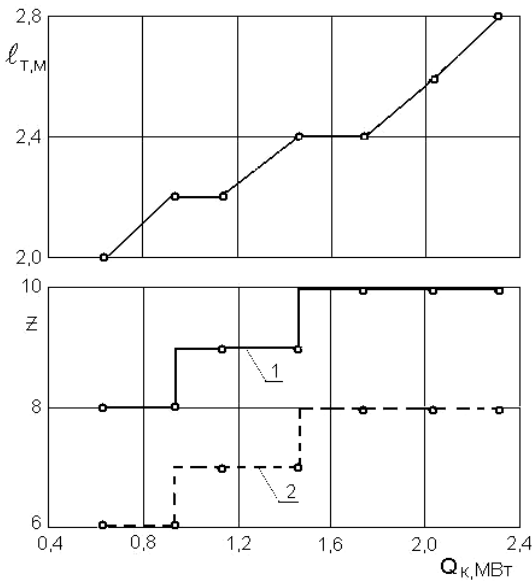


Рис. 2. Изменение глубины топочной камеры и количества труб в экранах в зависимости от номинальной тепловой нагрузки котла: 1 – число труб в горизонтальном экране; 2 – число труб в вертикальном экране

После определения величины  $l_{\Gamma}$  объем топочной камеры равен  $V_{\Gamma} = F_{\Gamma} \cdot l_{\Gamma}$ . Расчетные значения конструктивных характеристик топочных камер различных модификаций котла сведены в табл. 1.

Зная расход воды  $D$ , проверка правильности определения объема топочной камеры оценивается по значениям максимальных расходов топлива с использованием следующих зависимостей, м<sup>3</sup>/с:

Таблица 1. Конструктивные характеристики топочных камер в зависимости от номинальной тепловой нагрузки котлов различных модификаций

Наименование характеристик	Номинальная тепловая мощность $Q_{\text{к}}$ , МВт						
	0,63	0,93	1,16	1,44	1,74	2,03	2,32
Число труб в горизонтальных экранах $z_{\Gamma}$	8		9		10		
Шаг труб в горизонтальных экранах $S_{\Gamma}$ , м	0,2						
Ширина горизонтальных экранов $a$ , м	1,4		1,6		1,8		
Число труб в вертикальных экранах $z_{\text{в}}$	6		7		8		
Шаг труб в вертикальных экранах $S_{\text{в}}$ , м	0,22						
Высота вертикальных экранов $b$ , м	1,1		1,32		1,55		
Ширина и высота амбразур горелок, м	0,5						
Поперечное сечение топочной камеры $F_{\Gamma}$ , м <sup>2</sup>	1,32		1,85		2,49		
Глубина топочной камеры $l_{\Gamma}$ , м	2,0	2,2	2,4		2,6		2,8
Объем топочной камеры $V_{\Gamma}$ , м <sup>3</sup>	2,64	2,9	4,06	4,44	5,99	6,49	6,98

- при  $D \leq 50$  т/ч

$$B_{\text{м}} = \frac{1,69 - 21,0 \cdot 10^{-3} (50 - D)^{1,06}}{Q_{\text{н}}^{\text{с}}};$$

- $D \geq 60$  т/ч

$$B_{\text{м}} = \frac{2,69 - 23,5 \cdot 10^{-3} (80 - D)^{1,06}}{Q_{\text{н}}^{\text{с}}}.$$

Расчетное значение теплового напряжения топочного объема ( $q_v = B_{\text{м}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{с}} / V_{\Gamma}$ ) не должно превышать предельной величины, равной 400 кВт/м<sup>3</sup> [7].

На основании предварительных исследований [8] по условию равномерного распределения продуктов сгорания на выходе из топочной камеры и повышения эффективности тепловосприятия наружной поверхности экранов длина газоотводящих щелей между трубами потолочного экрана принимается согласно зависимостям длины щелей между трубами потолочного экрана от их номера (рис. 3).

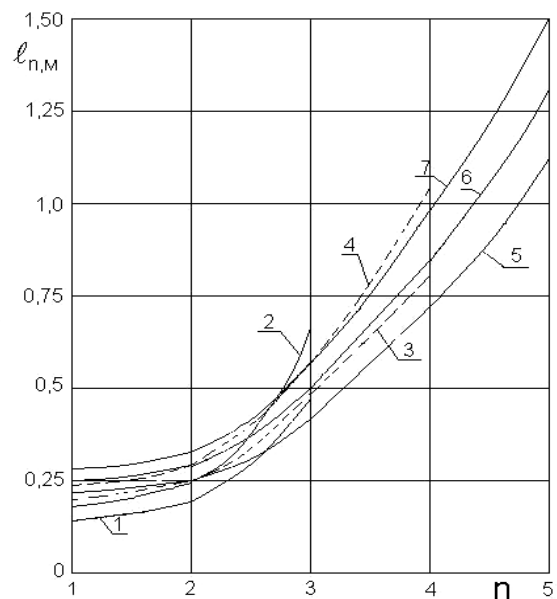


Рис. 3. Изменение длины щелей между трубами потолочного экрана для отвода газов из топочной камеры в зависимости от ее номера по отношению к оси симметрии топки и номинальной нагрузки котла: 1 – 0,63 МВт; 2 – 0,93 МВт; 3 – 1,16 МВт; 4 – 1,44 МВт; 5 – 1,74 МВт; 6 – 2,03 МВт; 7 – 2,32 МВт

Учитывая унифицированный характер поверхностей нагрева всех модификаций котла, соответственно ширины и высоты топочной камеры, принимаются размеры конвективных секций (количество и длина труб), размещаемых в горизонтальных и вертикальных газоходах энергоустановки.

Целесообразность размещения в вертикальном газоходе котла дополнительного конвективного экрана определяется на основании суммарных годовых затрат [9] согласно зависимости, руб·10<sup>-3</sup>,

$$\Delta Z = 13,1 + 0,00311 (C_{пов} - 8750) - 12,4 (C_T - 1,16) - [7,18 + 6,04 (C_T - 1,16)] \cdot 10^{-3} \cdot (\tau_{макс} - 2000),$$

где C<sub>пов</sub> – цена поверхностей нагрева, руб/м<sup>2</sup>; C<sub>T</sub> – цена топлива, руб/м<sup>3</sup>; τ<sub>макс</sub> – число часов использования максимума тепловой нагрузки, ч.

Если величина ΔZ примет отрицательное значение, то с учетом суммарных затрат на топливо и изготовление поверхностей нагрева энергоагрегата экономически целесообразно в вертикальном газоходе установить дополнительный конвективный экран. Ориентировочное значение ΔZ может быть определено с помощью полученных зависимостей (рис. 4).

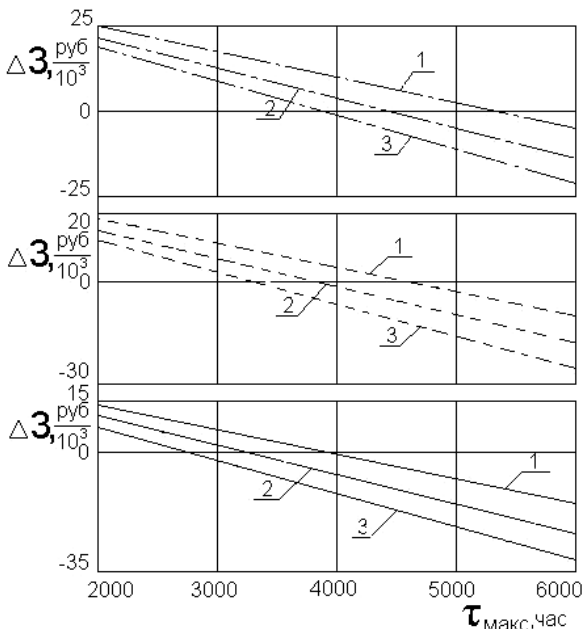


Рис. 4. Изменение годовых затрат в зависимости от числа часов использования максимума тепловой нагрузки, стоимости топлива и поверхностей нагрева: — — — — C<sub>пов</sub> = 8750 руб/м<sup>2</sup>; - - - - C<sub>пов</sub> = 10500 руб/м<sup>2</sup>; — · — · — · — C<sub>пов</sub> = 12250 руб/м<sup>2</sup>; 1 – C<sub>T</sub> = 1,16 руб/м<sup>3</sup>; 2 – C<sub>T</sub> = 1,4 руб/м<sup>3</sup>; 3 – C<sub>T</sub> = 1,6 руб/м<sup>3</sup>

Таблица 2. Расчетные характеристики отдельных элементов котла с многопоточной схемой движения газов

Наименование экранов	Количество элементов			Длина элемента		
	труб	полос	пластин	труб, м	полос, м	пластин, м
Подовый (или верхний)	z <sub>r</sub>	z <sub>r</sub> - 1	2	ℓ <sub>T</sub>	ℓ <sub>T</sub>	0,2z <sub>r</sub>
Потолочный (топки) или горизонтальный (промежуточный)	z <sub>r</sub> - 2	z <sub>r</sub> - 1	2	ℓ <sub>T</sub>	ℓ <sub>T</sub> (ℓ <sub>T</sub> - ℓ <sub>щ<sup>ср</sup></sub> )	0,2(z <sub>r</sub> - 2)
Боковой	z <sub>r</sub> - 1	z <sub>r</sub>	2	ℓ <sub>T</sub>	ℓ <sub>T</sub>	0,22(z <sub>r</sub> - 1)
Задний (топки) или задний (для котла)	z <sub>r</sub> + 1	z <sub>r</sub> - 1	2	0,2z <sub>r</sub>	0,2z <sub>r</sub>	0,22(z <sub>r</sub> + 1)
Промежуточный (вертикальный)	z <sub>r</sub> + 2	z <sub>r</sub> + 1	2	0,2z <sub>r</sub>	0,2z <sub>r</sub>	0,2(z <sub>r</sub> + 2)
Фронтной	z <sub>r</sub> - 6	z <sub>r</sub> - 4	2	0,2(z <sub>r</sub> - 2)	0,2(z <sub>r</sub> - 2)	0,22(z <sub>r</sub> - 4)

Заводом ИКЗ все экраны поверхностей нагрева изготавливаются с использованием труб диаметром 159 × 4,5 мм, стальных полос шириной 40 и 60 мм и стальных пластин шириной 200 мм. Количество и длина отдельных элементов зависят от геометрических особенностей конкретного экрана. Расчетные характеристики отдельных секций экранов представлены в табл. 2.

Согласно [8] средняя длина газоотводящих щелей потолочного экрана определяется по формуле, м:

$$\ell_{щ}^{ср} = \frac{0,88 + 1,58 (Q_k - 0,63)}{z_r - 1}$$

Количество ребер, устанавливаемых по четыре штуки (двумя парами) по всей длине труб горизонтальных промежуточных экранов с шагом 0,5 м, определяется по формуле 8 · ℓ<sub>T</sub> (z<sub>r</sub> - 2).

С использованием расчетных характеристик суммарная длина отдельных элементов рассчитывается по формулам, м:

- при одном промежуточном экране

$$\ell_{тр} = \ell_T (7 \cdot z_r - 8) + 0,8 \cdot z_r^2 - 0,8 \cdot z_r + 2,4;$$

$$\ell_{пол} = \ell_T (6 \cdot z_r - 4) - 2 \ell_{щ}^{ср} (z_r - 1) + 0,8 z_r^2 - 1,8 z_r + 2,4;$$

$$\ell_{плас} = 4,6 z_r - 3,36;$$

$$\ell_{реб} = 0,32 \cdot \ell_T (z_r - 2).$$

- при двух промежуточных экранах

$$\ell_{тр} = \ell_T (7 \cdot z_r - 8) + z_r^2 - 0,4 \cdot z_r + 2,4;$$

$$\ell_{пол} = \ell_T (6 \cdot z_r - 4) - 2 \cdot \ell_{щ}^{ср} (z_r - 1) + z_r^2 - 1,6 z_r + 2,4;$$

$$\ell_{плас} = 5 \cdot z_r - 2,56;$$

$$\ell_{реб} = 0,32 \cdot \ell_T (z_r - 2),$$

где ℓ<sub>тр</sub> – суммарная длина труб, м; ℓ<sub>пол</sub> – суммарная длина полос, м; ℓ<sub>плас</sub> – суммарная длина пластин, м; ℓ<sub>реб</sub> – суммарная длина ребер, м.

Значения расчетных характеристик отдельных элементов (их длина и масса) модификаций котлов представлены в табл. 3. С учетом общей массы элементов поверхностей нагрева m<sub>пов</sub> масса металлической части отдельных модификаций котла, кг, m<sub>к</sub> = K<sub>m</sub> m<sub>пов</sub>, где K<sub>m</sub> – коэффициент, учитывающий дополнительный расход металла на изготовление водоперепускных элементов. Значение коэффициента K<sub>m</sub> снижается от 1,05 до 1,03 при повышении номинальной нагрузки установки в пределах Q<sub>к</sub> = 0,63–2,32 МВт.

Таблица 3. Значение расчетных характеристик модификаций котла с многопоточной схемой движения газов при различных номинальных нагрузках

Характеристики	Тепловая нагрузка котла Q <sub>к</sub> при одном промежуточном экране, МВт							Тепловая нагрузка котла Q <sub>к</sub> при двух промежуточных экранах, МВт						
	0,63	0,93	1,16	1,44	1,74	2,03	2,32	0,63	0,93	1,16	1,44	1,74	2,03	2,32
l <sub>тр</sub> , м	143,2	152,8	181	192	223,2	235,6	248	159,2	168,8	200,8	211,8	247,2	259,6	272
l <sub>пол</sub> , м	125,4	1331,1	157,6	166,7	193,5	203,8	214,1	139,8	147,6	175,6	182,9	215,5	225,8	236,1
l <sub>плас</sub> , м	33,4	33,4	38,04	38,04	42,6	42,6	42,6	37,4	37,4	38,04	38,04	47,4	47,4	47,4
l <sub>реб</sub> , м	3,84	4,23	4,93	5,4	6,1	6,7	7,1	3,84	4,23	4,93	5,4	6,1	6,7	7,1
m <sub>тр</sub> , кг	2453	2613	3095	3283	3817	4029	4241	2721	2886	3434	3621	4227	4439	4651
m <sub>пол</sub> , кг	197	209	247	261	304	320	336	220	231	276	287	338	355	371
m <sub>плас</sub> , кг	210	210	240	240	268	268	268	236	236	240	240	299	299	299
m <sub>реб</sub> , кг	4,8	5,3	6,21	6,8	7,7	8,4	8,9	4,8	5,3	6,1	6,8	7,7	8,4	8,9
m <sub>нов</sub> , кг	2865	3037	3688	3791	4397	4625	4854	3181	3358	3956	4155	4871	5101	5330
m <sub>к</sub> , кг	3008	3189	3731	3943	4529	4764	5000	3340	3526	4114	4321	5017	5254	5490
m <sub>к</sub> /Q <sub>к</sub> , т/МВт	4,77	3,43	3,21	2,74	2,6	2,35	2,16	5,3	3,79	3,55	3,0	2,88	2,59	2,37

В случае увеличения номинальной нагрузки котла от 0,63 до 1,74 МВт (в 2,76 раза) металлозатраты возрастают в 1,5 раза. Значения l<sub>тр</sub> и l<sub>пол</sub> изменяются ступенчато (рис. 5) с учетом изменения количества труб в горизонтальных и вертикальных экранах (табл. 1). Для интервала 1,74–2,32 МВт с увеличением Q<sub>к</sub> на 34 % металлозатраты возрастают лишь на 10 %. Значения массы металлической части отдельных модификаций котла m<sub>к</sub> (рис. 6) пропорциональны общей длине элементов и с увеличением нагрузки энергоустановки в пределах Q<sub>к</sub> = 0,63–2,32 МВт возрастают от 3000 до 5400 кг. Пользуясь этими зависимостями, можно оперативно определить затраты металла на изготовление поверхностей нагрева конкретной модификации котла. Металлоемкость котла m = m<sub>к</sub>/Q<sub>к</sub> с увеличением нагрузки в пределах Q<sub>к</sub> = 0,63–2,32 МВт снижается от 5,21 до 2,05 т/МВт (рис. 7). Более точное определение расчетных характеристик может быть выполнено с использованием следующих зависимостей:

$$l_{тр} = E + K_1 (Q_k - Q_0);$$

$$l_{пол} = F + K_2 (Q_k - Q_0);$$

$$m_k = L + K_3 (Q_k - Q_0);$$

$$m = M - K_4 (Q_k - Q_0)^{0,95},$$

где Q<sub>0</sub> – начальное значение тепловой мощности для отдельной серии модификаций котла, МВт; значения констант E, F, L, M, K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub>, K<sub>4</sub> зависят от теплопроизводительности установки (табл. 4).

Для выполнения аэродинамического расчета газового тракта, анализа температурного режима газохода за котлом необходимы значения температур за топочной камерой и уходящих газов, а так же расхода сжигаемого топлива.

В результате анализа расчетных данных установлено, что при снижении номинальной тепловой мощности котлов Q<sub>к</sub> расход топлива В изменяется в большей мере (в 1,17–1,4 раза) по сравнению с уменьшением радиационной поверхности нагрева F<sub>ст</sub> (в 1,06–1,12 раза). Для диапазона Q<sub>к</sub> = 0,63–2,32 МВт при теплоте сгорания топлива Q<sub>н</sub><sup>с</sup> = 31 МДж/м<sup>3</sup> отношение F<sub>ст</sub>/В возрастает от 29 до 57с·м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>, что снижает температуру газов на выходе из топки θ<sub>т</sub>'' [7].

В случае установки дополнительного экрана и изменения температуры наружного воздуха в пределах –40±0 °С отклонение величины θ<sub>т</sub>'' от средних значений составляет 5–10 °С (0,5–1,0 %). Поэтому для инженерных расчетов на стадии проектирования агрегатов температура газов на выходе из топки может определяться согласно зависимости, °С,  
 $\theta_{т}'' = 984 - 77,1 (2,32 - Q_k)^{1,11}$ .

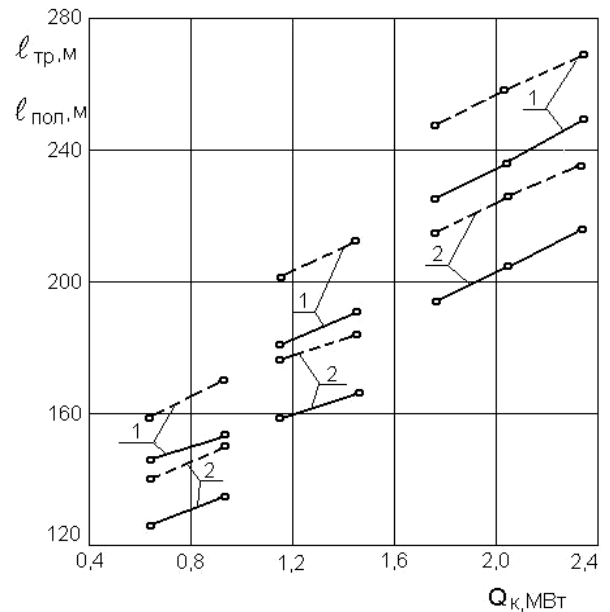


Рис. 5. Изменение суммарной длины труб и стальных полос в зависимости от номинальной тепловой нагрузки котла: 1 – длина труб; 2 – длина полос; ———— – при одном промежуточном экране; - - - - - – при двух промежуточных экранах

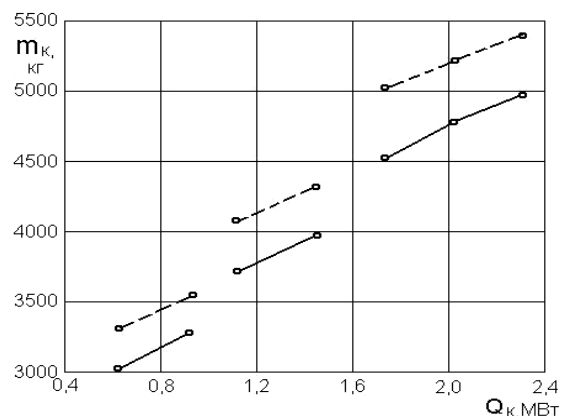


Рис. 6. Изменение массы металла для изготовления поверхностей нагрева котлов в зависимости от номинальной тепловой нагрузки котла: ———— – при одном промежуточном экране; - - - - - – при двух промежуточных экранах

Таблица 4. Значения констант, входящих в зависимости для определения металлозатрат на изготовление отдельных модификаций котла

Наименование характеристик	Тепловая нагрузка котла Q <sub>к</sub> при одном промежуточном экране, МВт			Тепловая нагрузка котла Q <sub>к</sub> при двух промежуточных экранах, МВт		
	0,63±0,93	1,16±1,44	1,74±2,32	0,63±0,93	1,16±1,44	1,74±2,32
Константа E для расчета длины труб	143	181	223	159	201	247
Константа F для расчета длины стальных полос	125	158	194	140	176	216
Константа L для расчета металла на изготовление поверхностей нагрева	3008	3731	4529	3340	4114	5017
Константа M для расчета металлоемкости котла	4,8	3,1	2,6	5,3	3,6	2,88
Начальные значение тепловой мощности отдельных серий модификации Q <sub>0</sub>	0,63	1,16	1,74	0,63	1,16	1,74
Коэффициенты пропорциональности изменения нагрузки:						
K <sub>1</sub>	42,8			42,8		
K <sub>2</sub>	35,5			35,5		
K <sub>3</sub>	811			811		
K <sub>4</sub>	4,4	1,83	0,86	4,4	1,83	0,86

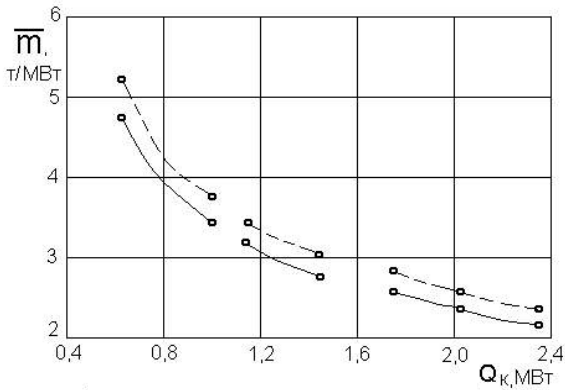


Рис. 7. Изменение металлоемкости котла в зависимости от тепловой нагрузки отдельных модификаций: — при одном промежуточном экране; - - - - - при двух промежуточных экранах

При снижении тепловой мощности отдельных модификаций котлов за счет пониженных расходов газов и температурных напоров в газоходах за топкой ухудшается тепловосприятие конвективных поверхностей нагрева. Поэтому снижение величины температуры уходящих газов в 3–4 раза меньше, чем снижение значений  $\vartheta_T$ .

Температура уходящих газов может быть рассчитана согласно зависимостей, °С:

- при одном промежуточном экране  $\vartheta_{yx} = 187 - 13,6 (2,32 - Q_k)$ ;
- при двух промежуточных экранах  $\vartheta_{yx} = 148 - 13,6 (2,32 - Q_k)$ .

Несмотря на снижение потери теплоты с уходящими газами  $q_2$  на 0,8–1,1 %, за счет роста потери теплоты от наружного охлаждения котла  $q_5$  на 3,5–4,0 % при снижении  $Q_k$  от 2,32 до 0,63 МВт значения КПД котла (брутто) изменяются согласно зависимостям, %:

- при одном промежуточном экране  $\eta_k = 88,15 - 1,54 (2,32 - Q_k)^{1,23} + 0,04 (40 + t_{нар})$ ;
- при двух промежуточных экранах  $\eta_k = 90,1 - 1,54 (2,32 - Q_k)^{1,23} + 0,04 (40 + t_{нар})$ .

Зная теплоту сгорания природного газа  $Q_n^c$ , с использованием полученного значения  $\eta_k$  требуемый расход сжигаемого топлива можно определить по формуле, м<sup>3</sup>/с,

$$V = 100 \cdot Q_k / (Q_n^c \cdot \eta_k).$$

Предложенная методика позволяет достаточно просто и быстро провести поверочно-конструкторский расчет отдельных модификаций газовых котлов ИКЗ с многопоточной схемой движения теплоносителя [4]. Оперативно, без специальных тепловых расчетов, зная характеристики природного газа и степень загруженности агрегата в течение года, возможно определить оптимальную компоновку энергоустановки, размеры отдельных элементов поверхностей нагрева и металлозатраты на их изготовление.

**Список литературы**

1. **Зайчиков В.Н.** Совершенствование конструкций водогрейных котлов Ижевского котельного завода / Повышение эффективности теплоэнергетического оборудования: Мат-лы IV Рос. науч.-практ. конф. 18–19 нояб. 2005 г.; Под ред. А.В. Мошкарин. – Иваново, 2005. – С. 89–93.
2. **Рогачев Р.И.** Способ очистки внутренней поверхности трубных полостей. Патент РФ на изобретение №222 88 05. Бюлл. №14, 2004 г.
3. **Мошкарин А.В., Шельгин Б.Л., Зайчиков В.Н.** Анализ режимов работы водогрейных котлов Ижевского котельного завода // Энергосбережение и водоподготовка. – 2004. – №5. – С. 33–37.
4. **Зайчиков В.Н.** Водогрейный котел. Патент РФ на полезную модель №43344. 2005 г. Приоритет от 27.09.04.
5. **Зайчиков В.Н.** Применение расчетной модели для анализа переменных режимов работы водогрейных котлов ИКЗ / Повышение эффективности работы энергооборудования ТЭС: Тр. ИГЭУ. Вып. 7. – М.: Энергоатомиздат, 2004. С. 10–19.
6. **Мошкарин А.В., Шельгин Б.Л., Зайчиков В.Н.** Повышение экономичности модификаций газомазутных водогрейных котлов ПКЗ третьего поколения / Повышение эффективности теплоэнергетического оборудования: Мат-лы IV Рос. науч.-практ. конф. 18–19 нояб. 2005 г.; Под ред. А.В. Мошкарин. – Иваново, 2005. – С. 94–97.
7. **Тепловой** расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / Под ред. Н.В. Кузнецова, В.В. Митора, И.Е. Дубовского, Э.С. Карасиной. – М.: Энергия, 1973.
8. **Мошкарин А.В., Шельгин Б.Л., Зайчиков В.Н.** Определение оптимальной длины газоотводящих щелей топочных экранов газомазутных водогрейных котлов ИКЗ / Энергосбережение и водоподготовка. – 2006. – № 1. – С. 39–42.
9. **Мошкарин А.В., Шельгин Б.Л., Зайчиков В.Н.** Обоснование оптимальной компоновки конвективных поверхностей нагрева водогрейных котлов Ижевского завода // Энергосбережение и водоподготовка. – 2005. – № 4. – С. 45–48.

*Мошкарин Андрей Васильевич,*  
 ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
 доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой тепловых электрических станций,  
 телефон (4932) 41-60-56,  
 e-mail: admin@tes.ispu.ru

*Шельгин Борис Леонидович*,  
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
кандидат технических наук, профессор кафедры тепловых электрических станций,  
телефон (4932) 26-99-13,  
e-mail: admin@tes.ispu.ru

*Зайчиков Виктор Николаевич*,  
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
инженер кафедры тепловых электрических станций,  
телефон (4932) 26-99-13,  
e-mail: admin@tes.ispu.ru