

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВА КОНВЕКТИВНЫХ ЭКРАНОВ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ в ТЭС ИЖЕВСКОГО ЗАВОДА

МОШКАРИН А.В., д-р техн. наук, ШЕЛЫГИН Б.Л., канд. техн. наук, Ивановский государственный энергетический университет; ЗАЙЧИКОВ В.Н., инж., Ижевский котельный завод

Для повышения эффективности использования теплоты уходящих газов предложено в конвективных газоходах водогрейных котлов дополнительно размещать промежуточные экраны. Определена оптимальная величина поверхности нагрева конвективных экранов. Установлены зависимости изменения показателей работы котлов по сравнению с базовым вариантом.

Предприятие «Ижевский котельный завод» производит водогрейные котлы, работающие без накипобразования на низкокачественной воде, не требуя специальной дорогостоящей водоподготовки.

Радиационные и конвективные поверхности нагрева всех модификаций котлов теплопроводностью 0,3÷1,74 МВт представляют собой экраны, выполненные из труб диаметром $\varnothing 159 \times 4,5$ мм (рис. 1). В каждой секции трубы размещены с шагом 200 мм, и для отдельных экранов промежутки между трубами закрыты стальными полосами шириной 60 мм.

Характер потока воды внутри каждой трубы – спиралеобразный. Движение воды в пределах каждого экрана – последовательное (от трубы к трубе) [1].

Отличительной особенностью конструкций данных котлов при одном промежуточном экране в конвективном газоходе является неудовлетворительное тепловосприятие конвективных поверхностей нагрева ввиду:

- низких скоростей газов (2,9÷3,3 м/с);
- большого диаметра труб;
- коридорной компоновки труб в газоходе.

При низких значениях конвективных поверхностей нагрева температуры уходящих газов за котлом, в зависимости от вида сжигаемого топлива, составляют $t_{yx} = 200 \div 300$ °С, а КПД котла брутто находится в пределах $\eta_k = 75 \div 88$ %, что на 4÷6 % ниже нормальных значений (85÷92) % [2].

Поэтому целесообразно установить оптимальное значение площади конвективных поверхностей нагрева, соответствующее максимальной экономичности водогрейных котлов при минимальных капиталовложениях и топливных затратах на эксплуатацию энергоустановки.

В этих целях выполнено расчетное исследование условий работы водогрейных котлов марок КВа-1,74 ГМ и КВр-1,16 К, соответственно сжигающих природный газ и уголь, при изменении значений конвективных поверхностей нагрева. Для этого в используемой универсальной расчетной модели котлов ИКЗ [3] изменение значений конвективных поверхностей нагрева достигалось за счет размещения в газоходах котлов дополнительного количества промежуточных экранов 3 (рис. 1).

В расчетном анализе исходные конструктивные характеристики промежуточных экранов применительно к четырем вариантам исследования представлены в табл. 1. Для модификаций котлов марок КВа-1,74 ГМ и КВр-1,16 К с максимальной теплопроизводительностью соответственно 1,74 и 1,16 МВт изменялось количество промежуточных экранов от одного (существующий вариант) до четырех.

Исследование проводилось с использованием технических характеристик природного газа и каменного угля соответственно с теплотой сгорания 31,0 МДж/м³ и 21,6 МДж/кг [4].

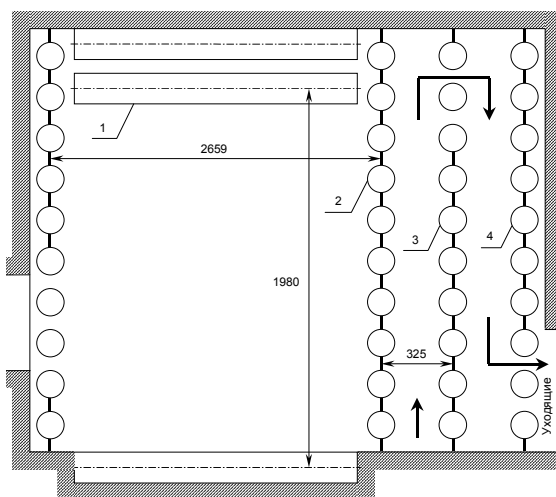


Рис. 1. Размещение поверхностей нагрева в котле КВа-1,74 ГМ: 1,2 – потолочный и задний экраны топочной камеры; 3 – промежуточный экран конвективного газохода; 4 – задний экран конвективного газохода

Результаты вариантных тепловых расчетов водогрейных котлов при максимальном значении относительной теплопроизводительности $Q / Q_{ном} = 1,0$ и температуре наружного воздуха $t_{нар} = -40$ °С представлены в табл. 2. При этом за счет присосов холодного воздуха коэффициент избытка воздуха в уходящих газах составляет $\alpha_{yx} = 1,15 \div 1,45$.

В случаях предельных тепловых нагрузок с увеличением числа промежуточных экранов (n) температура уходящих газов заметно снижается (рис. 2), достигая нормальных значений (130÷210 °С) для вариантов 3 и 4. Увеличение числа экранов до четырех снижает температуру уходящих газов для котла КВа-1,74 ГМ на 76 °С, а для котла КВр-1,16 К – соответственно на 111 °С согласно зависимостям, °С:

- для котла КВа-1,74 ГМ
 $\Delta t_{yx} = 43,3 (n - 1)^{0,65}$;
- для котла КВр-1,16 К
 $\Delta t_{yx} = 60,3 (n - 1)^{0,61}$.

При переходе от первого к четвертому варианту значения потери теплоты с уходящими газами в зависимости от вида топлива снижаются до 7,3÷10,4 % (табл. 2). В результате этого в зависимости от числа экранов, температур наружного воздуха $t_{нар}$ и марки котла КПД брутто возрастает согласно зависимостям, % (рис. 3):

- для котла КВа-1,74 ГМ
 $\eta_k = 86,5 + 0,0361 (t_{нар} + 40) + 2,33 (n - 1)^{0,49}$;
- для котла КВр-1,16 К
 $\eta_k = 75,12 + 0,0401 (t_{нар} + 40) + 3,6 (n - 1)^{0,53}$.

Таблица 1. Конструктивные характеристики промежуточных экранов, размещаемых в конвективных газоходах водогрейных котлов

Наименование характеристик	Котел КВа-1,74 ГМ				Котел КВр-1,16 К			
	Варианты				Варианты			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Количество промежуточных экранов в газоходе	1	2	3	4	1	2	3	4
Площадь поверхности нагрева экранов, м ²	11,14	22,28	33,42	44,56	9,96	19,92	29,88	39,84
Ширина газохода, м	2,1				2,1			
Высота газохода, м	2,3				2,1			
Глубина газохода, м	0,325	0,65	0,975	1,3	0,325	0,65	0,975	1,3
Наружная поверхность обмуровки газохода, м ²	2,86	5,72	8,58	11,44	2,73	5,46	8,19	10,92

Таблица 2. Результаты вариантных тепловых расчетов водогрейных котлов при максимальном значении относительной тепловой нагрузки $Q/Q_n = 1,0$ и температуре наружного воздуха $t_{нар} = -40$ °С

Наименование характеристик	Котел КВа-1,74 ГМ				Котел КВр-1,16 К			
	Варианты				Варианты			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Расход воды через котел, т/ч	60				40			
Теплота сгорания топлива, МДж/м ³ (МДж/кг)	31,0				21,6			
Температура воды на входе в котел t' , °С	70				70			
Теплопроизводительность котла, МВт	1,74				1,16			
Температура уходящих газов $\vartheta_{ух}$, °С	210	170	142	125	306	253	214	185
Потеря теплоты от наружного охлаждения котла q_5 , %	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Потеря теплоты с уходящими газами q_2 , %	11,4	9,5	8,19	7,3	18,36	15,44	13,3	10,4
КПД котла (брутто) η_k , %	86,5	88,4	89,71	90,6	75,12	78,04	80,18	81,5
Расход топлива, м ³ /с (кг/с)	0,0639	0,0625	0,0614	0,0608	0,07	0,0675	0,0656	0,0650

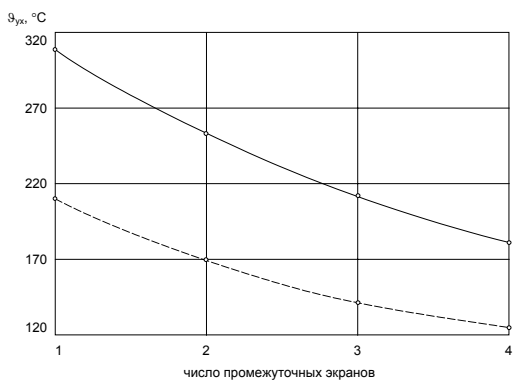


Рис. 2. Изменение температуры уходящих газов в зависимости от количества промежуточных экранов и марки котла: --- КВа-1,74 ГМ; — КВр-1,16 К

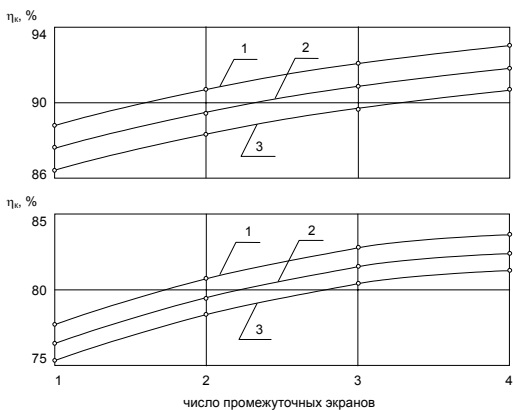


Рис. 3. Изменение КПД котла в зависимости от количества промежуточных экранов и температуры наружного воздуха: 1 - $t_{нар} = +20$ °С; 2 - $t_{нар} = -10$ °С; 3 - $t_{нар} = -40$ °С --- КВа-1,74 ГМ; — КВр-1,16 К

Если количество промежуточных экранов увеличить от 1 до 4, то с повышением температуры наружного воздуха $t_{нар}$ от -40 до $+20$ °С КПД котла η_k при сжигании твердого топлива возрастает на 5,9÷8,5 %, а при сжигании газового топлива – соответственно на 5÷6,5 %.

Таким образом, при переходе от первого варианта к четвертому наблюдается повышение эффективности использования располагаемой теплоты топлива при соответствующей его экономии. Уменьшение расхода сжигаемого топлива с увеличением количества размещаемых экранов (рис. 4) в зависимости от марки котла может достигнуть 4,8÷7,1 % от номинального значения в существующем варианте при $n = 1$.

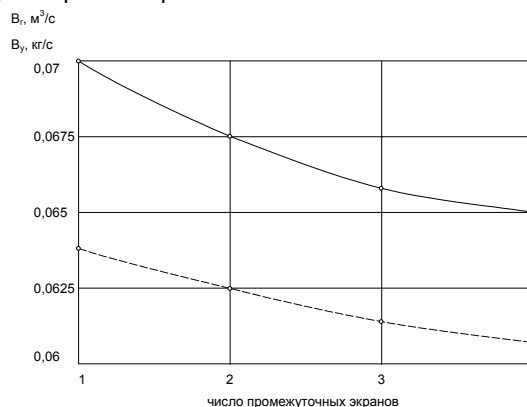


Рис. 4. Изменение расхода топлива в зависимости от количества промежуточных экранов: --- КВа-1,74 ГМ; — КВр-1,16 К

Экономия топлива в зависимости от числа n повышается до 0,0031 м³/с (природный газ) и 0,005 кг/с (каменный уголь) согласно уравнениям:

- для котла КВа-1,74 ГМ $\Delta V_r = 0,0017 (n - 1)^{0,49}$;
- для котла КВр-1,16 К $\Delta V_y = 0,0029 (n - 1)^{0,53}$.

Однако утилизация теплоты уходящих газов при соответствующей экономии топлива сопровождается существенным повышением значения конвективной поверхности нагрева, возрастающей по сравнению с исходным вариантом ($n = 1$) на 30÷33 м² (табл. 1), что может заметно увеличить металлоемкость котлов.

Оптимальное количество промежуточных экранов в конвективных газоходах котлов при неизменной теплопроизводительности энергоустановки

может быть определено технико-экономическими расчетами на основании метода годовых затрат.

Известно, что обоснование и выбор предпочтительных решений базируются на двух основных показателях: капитальных вложениях (К) для создания объекта производства и издержках производства тепловой энергии (И) [5]. При этом величина К рассматривается как единовременные, однократные затраты, а И – как ежегодные расходы.

Тогда годовые затраты оцениваются выражением, руб.,

$$З = Р \cdot К + И,$$

где Р – норма дисконта.

В рассматриваемом анализе под величиной К понимаются общие капиталовложения в дополнительные поверхности нагрева с учетом соответствующей обмуровки котла. Издержки производства тепловой энергии (И) определяются топливными расходами и расходами на ремонт.

Норма амортизации при продолжительности реализации отдельного варианта объекта ($m = 15$ лет) оценивалась по формуле

$$H_a = \frac{i}{(1+i)^m - 1} = \frac{0,15}{(1+0,15)^{15} - 1} = 0,021,$$

где $i = 15\%$ – ставка процента (стоимость денег).

С учетом налога на имущество (2%) норма дисконта

$$P = 0,15 + 0,021 + 0,02 = 0,191.$$

По данным ИКЗ относительная стоимость поверхности экрана $C_{пов} = 5000$ руб/м², а минимальные значения цен топлив C_T (в 2004 г.) для природного газа и угля соответственно приняты на уровне 1,1 руб/м³ и 1,2 руб/кг.

Сравнительный анализ выполнен как применительно к ценам 2004 г., так и на перспективу (2007 г.). При этом с учетом ожидаемой инфляции (принято 25%) новые значения отмеченных характеристик увеличены в 1,75 раза и приняты равными: $C_{пов}' = 8750$ руб/м², $C_T' = 1,93$ руб/м³ и $C_T' = 2,1$ руб/кг.

Расчетные исследования проводились при двух значениях числа часов использования максимума тепловой нагрузки котлов $\tau_{макс}$ (3000 и 4000 ч). При этом в зависимости от повышения поверхности нагрева промежуточных экранов (ΔH) определялось изменение расчетных характеристик по сравнению с базовым (исходным) вариантом, когда $n = 1$.

Если изменение значения капитальных вложений в котел составляет, руб.,

$$\Delta K = C_{пов} \Delta H,$$

тогда изменение постоянной части годовых расходов, руб.,

$$\Delta I_{пост} = 0,191 \Delta K.$$

Изменение годовых расходов на топливо оценивалось по формуле, руб.,

$$\Delta I_T = 3600 \tau_{макс} C_T \Delta B,$$

где ΔB – изменение расхода топлива при максимальной тепловой нагрузке котла ($Q / Q_{ном} = 1,0$) и температуре наружного воздуха $t_{нар} = -40$ °С, м³/с или кг/с (табл. 2).

Изменение годовых расходов на ремонт оценивалось по формуле, руб.,

$$\Delta I_p = 1,1 \frac{1}{m} \Delta K = 0,073 \Delta K.$$

Изменение общих эксплуатационных расходов, включая расход на топливо и ремонт, составляет, руб.,

$$\Delta I_{об} = \Delta I_T + \Delta I_p.$$

С учетом изменения постоянной части годовых расходов ($\Delta I_{пост}$) изменение годовых затрат составляет, руб.,

$$\Delta Z = \Delta I_{пост} + \Delta I_{об}.$$

Исходные данные и результаты проведенного технико-экономического анализа при изменении расчетных характеристик по сравнению с базовым вариантом ($n = 1$), представлены в табл. 3÷6 и на рис. 5 и 6.

Выбор наиболее предпочтительного варианта и определение оптимального количества промежуточных экранов осуществлялись по максимальному изменению годовых затрат (ΔZ) по отношению к базовому варианту ($n = 1$).

Для котла КВа-1,74 независимо от уровня цен при минимальном значении $\tau_{макс} = 3000$ ч оптимальным является второй вариант, когда в газоходе, в дополнение к существующему, целесообразна установка еще одного промежуточного экрана.

В этом случае при снижении температуры уходящих газов до $\vartheta_{yx} = 170$ °С (рис. 2) КПД котла возрастает на 1,9 %, достигая, в зависимости от температуры наружного воздуха значений $\eta_k = 88,4 \div 90,6\%$ (рис. 3). Расход природного газа снижается на 0,0014 м³/с, (соответственно).

При дальнейшем повышении количества экранов ($n = 3$ и 4), несмотря на повышение экономической эффективности котла, из-за повышенной металлоемкости суммарные годовые расходы существенно возрастают, превышая издержки базового варианта на 7÷14 тыс. руб/год (рис. 5).

С увеличением числа часов работы котла на максимальной нагрузке до $\tau_{макс} = 4000$ ч заметно (на 33 %) возрастает изменение топливных затрат ΔI_T (табл. 3 и 4). Тогда, независимо от цен топлива, необходима дополнительная утилизация теплоты уходящих газов с установкой трех промежуточных экранов (рис. 1). Это позволит при снижении температуры уходящих газов до $\vartheta_{yx} = 140$ °С повысить КПД котла до $\eta_k = 89,6 \div 91,9\%$ и, как следствие, сократить топливную составляющую затрат, экономя 9÷16 тыс. руб/год.

Для котла КВр-1,16 К, независимо от стоимости топлива и числа часов использования максимума тепловой нагрузки котла $\tau_{макс}$, самым оптимальным следует признать вариант с тремя промежуточными экранами (рис. 6). Это обусловлено не только повышенной ценой твердого топлива (при пониженной теплоте сгорания угля, по сравнению с природным газом), но и высокой температурой уходящих газов в базовом варианте (300÷305 °С), что в большей мере требует дополнительных конвективных поверхностей нагрева.

Если количество промежуточных экранов увеличится до $n = 3$, то при снижении температуры уходящих газов на 90÷95 °С (рис. 2) и повышении КПД котла до $\eta = 80,3 \div 82,5\%$ (рис. 3) ожидается минимальное значение суммарных годовых затрат.

Дальнейшее повышение количества экранов до четырех неперспективно, т.к. возможная экономия топливных затрат компенсируется затратами на капиталовложения и ремонт.

По результатам исследования (рис. 5 и 6) установлена обобщающая зависимость, позволяющая в случаях размещения в газоходах оптимального количества промежуточных экранов прогнозировать экономическую эффективность котлов при изменении цены топлива (по сравнению с существующей) и

числа часов использования максимальной тепловой нагрузки котла $\tau_{\text{макс}}$

Экономия годовых затрат, по сравнению с базовым вариантом, руб $\cdot 10^{-3}$,

$$\Delta Z = A K_c K_t,$$

где A – величина минимальной экономии затрат для оптимального варианта, руб $\cdot 10^{-3}$ руб.

Таблица 3. Результаты вариантных расчетов для котла КВа-1,74 ГМ и цены топлива в 2004 г.

Наименование характеристик	Варианты			
	1	2	3	4
Изменение величины конвективной поверхности нагрева ΔH_c , м ²	–	11,14	22,28	33,42
Изменение значения капиталовложений в котел ΔK , руб $\cdot 10^{-3}$	–	55,7	113,4	167,1
Изменение постоянной части эксплуатационных расходов $\Delta I_{\text{пост}}$, руб $\cdot 10^{-3}$	–	10,64	21,7	31,91
Изменение расходов на ремонт ΔI_p , руб $\cdot 10^{-3}$	–	4,07	8,28	12,2
Изменение расхода топлива ΔB , м ³ $\cdot 10^3$ /с	–	- 1,4	- 2,5	- 3,05
Число часов использования максимума тепловой нагрузки котла $\tau_{\text{макс}}$, ч	3000			
Изменение топливных расходов ΔI_t , руб $\cdot 10^{-3}$	–	- 16,5	- 29,6	- 36,18
Изменение годовых затрат ΔZ , руб $\cdot 10^{-3}$	–	- 1,79	+ 0,38	+ 7,93
Число часов использования максимума тепловой нагрузки котла $\tau_{\text{макс}}$, ч	4000			
Изменение топливных расходов ΔI_t , руб $\cdot 10^{-3}$	–	- 22,0	- 39,5	- 48,23
Изменение годовых затрат ΔZ , руб $\cdot 10^{-3}$	–	- 7,28	- 9,48	- 4,0

Таблица 4. Результаты вариантных расчетов для котла КВа-1,74 ГМ и цены топлива, ожидаемой в 2007 г.

Наименование характеристик	Варианты			
	1	2	3	4
Изменение величины конвективной поверхности нагрева ΔH_c , м ²	–	11,14	22,28	33,42
Изменение значения капиталовложений в котел ΔK , руб $\cdot 10^{-3}$	–	97,5	198,5	292,4
Изменение постоянной части эксплуатационных расходов $\Delta I_{\text{пост}}$, руб $\cdot 10^{-3}$	–	18,61	37,9	55,86
Изменение расходов на ремонт ΔI_p , руб $\cdot 10^{-3}$	–	7,11	14,49	21,35
Изменение расхода топлива ΔB , м ³ $\cdot 10^3$ /с	–	- 1,4	- 2,5	- 3,05
Число часов использования максимума тепловой нагрузки котла $\tau_{\text{макс}}$, ч	3000			
Изменение топливных расходов ΔI_t , руб $\cdot 10^{-3}$	–	- 28,9	- 51,8	- 63,31
Изменение годовых затрат ΔZ , руб $\cdot 10^{-3}$	–	- 3,18	+ 0,59	+ 13,9
Число часов использования максимума тепловой нагрузки котла $\tau_{\text{макс}}$, ч	4000			
Изменение топливных расходов ΔI_t , руб $\cdot 10^{-3}$	–	- 38,83	- 69,05	- 84,39
Изменение годовых затрат ΔZ , руб $\cdot 10^{-3}$	–	- 12,75	- 16,7	- 7,18

Таблица 5. Результаты вариантных расчетов для котла КВр-1,16 К и цены топлива в 2004 г.

Наименование характеристик	Варианты			
	1	2	3	4
Изменение величины конвективной поверхности нагрева ΔH_c , м ²	–	9,96	19,92	29,88
Изменение значения капиталовложений в котел ΔK , руб $\cdot 10^{-3}$	–	49,8	99,6	149,3
Изменение постоянной части эксплуатационных расходов $\Delta I_{\text{пост}}$, руб $\cdot 10^{-3}$	–	9,51	19,01	28,51
Изменение расходов на ремонт ΔI_p , руб $\cdot 10^{-3}$	–	3,64	7,27	10,9
Изменение расхода топлива ΔB , м ³ $\cdot 10^3$ /с	–	- 2,5	- 4,4	- 5,28
Число часов использования максимума тепловой нагрузки котла $\tau_{\text{макс}}$, ч	3000			
Изменение топливных расходов ΔI_t , руб $\cdot 10^{-3}$	–	- 32,4	- 57,61	- 68,42
Изменение годовых затрат ΔZ , руб $\cdot 10^{-3}$	–	- 19,25	- 31,33	- 29,01
Число часов использования максимума тепловой нагрузки котла $\tau_{\text{макс}}$, ч	4000			
Изменение топливных расходов ΔI_t , руб $\cdot 10^{-3}$	–	- 41,2	- 76,81	- 91,2
Изменение годовых затрат ΔZ , руб $\cdot 10^{-3}$	–	- 28,0	- 50,5	- 51,79

Таблица 6. Результаты вариантных расчетов для котла КВр-1,16 К и цены топлива, ожидаемой в 2007 г.

Наименование характеристик	Варианты			
	1	2	3	4
Изменение величины конвективной поверхности нагрева ΔH_c , м ²	–	9,96	19,92	29,88
Изменение значения капиталовложений в котел ΔK , руб $\cdot 10^{-3}$	–	87,15	174,3	261,3
Изменение постоянной части эксплуатационных расходов $\Delta I_{\text{пост}}$, руб $\cdot 10^{-3}$	–	16,65	33,3	49,9
Изменение расходов на ремонт ΔI_p , руб $\cdot 10^{-3}$	–	6,37	12,71	19,1
Изменение расхода топлива ΔB , м ³ $\cdot 10^3$ /с	–	- 2,5	- 4,4	- 5,28
Число часов использования максимума тепловой нагрузки котла $\tau_{\text{макс}}$, ч	3000			
Изменение топливных расходов ΔI_t , руб $\cdot 10^{-3}$	–	- 56,7	- 100,8	- 119,7
Изменение годовых затрат ΔZ , руб $\cdot 10^{-3}$	–	- 33,7	- 54,8	- 50,7
Число часов использования максимума тепловой нагрузки котла $\tau_{\text{макс}}$, ч	4000			
Изменение топливных расходов ΔI_t , руб $\cdot 10^{-3}$	–	- 75,6	- 134,4	- 159,6
Изменение годовых затрат ΔZ , руб $\cdot 10^{-3}$	–	- 52,6	- 88,4	- 90,56

Таблица 7. Значения постоянных коэффициентов для оценки экономической эффективности котлов по сравнению с базовым вариантом

Наименование характеристик	Котел КВа-1,74 ГМ		Котел КВр-1,16 К
	2	3	3
Оптимальное количество промежуточных экранов			
Величина минимальной экономии затрат A , руб $\cdot 10^{-3}$	1,79	0,28	31,33
Константа кратности изменения цены топлива L	0,91	0,91	0,833
Константа кратности изменения числа часов использования максимальной нагрузки котлов M	0,003	0,031	0,00061

Кратность повышения цены топлива, по сравнению с уровнем цен 2004 г.:

- для котла КВа-1,74 ГМ

$$K_{ц} = 1 + L (Ц_{т} - 1,1);$$
- для котла КВр-1,16 К

$$K_{ц} = 1 + L (Ц_{т} - 1,2).$$

Кратность повышения числа часов использования максимальной нагрузки котла по сравнению с $\tau_{\max} = 3000$ ч:

$$K_{\tau} = 1 + M (\tau_{\max} - 3000).$$

Значения констант А, L и М в зависимости от марки котла и оптимального количества промежуточных экранов представлены в табл. 7.

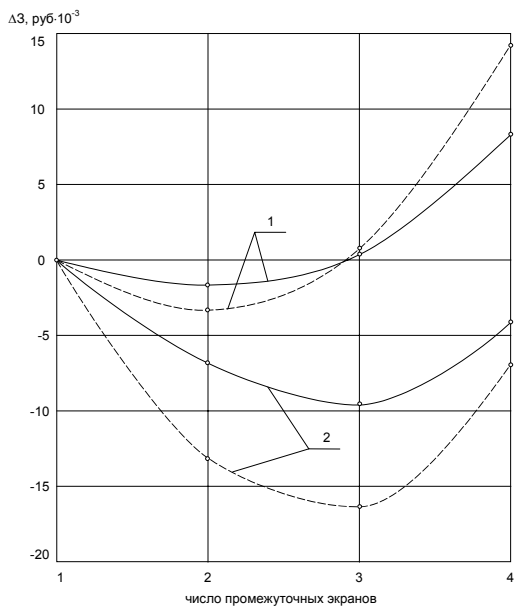


Рис. 5. Изменение годовых затрат для котла КВа-1,74 ГМ в зависимости от количества промежуточных экранов и цены топлива:
 1 – $\tau_{\max} = 3000$ ч; 2 – $\tau_{\max} = 4000$ ч;
 — $Ц_{т} = 1,1$ руб/м³; - - - $Ц_{т}' = 1,81$ руб/м³

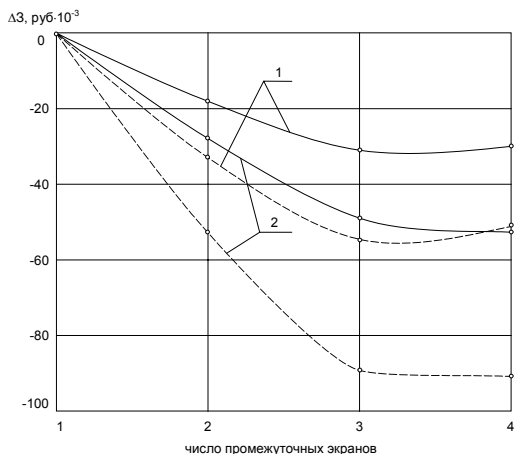


Рис. 6. Изменение годовых затрат для котла КВр-1,16 К в зависимости от количества промежуточных экранов и цены топлива:
 1 – $\tau_{\max} = 3000$ ч; 2 – $\tau_{\max} = 4000$ ч;
 — $Ц_{т} = 1,2$ руб/кг; - - - $Ц_{т}' = 2,1$ руб/кг

ВЫВОДЫ

1. Для повышения тепловой эффективности котлов ИКЗ марок КВа-1,74ГМ и КВр-1,16К предложено увеличить число промежуточных экранов конвективных поверхностей нагрева соответственно до двух и трех.

2. По результатам серии вариантных тепловых расчетов котлов установлены изменения значений температур уходящих газов, КПД котлов и расходов топлива и получены обобщающие математические зависимости.

3. На основании технико-экономических расчетов определены оптимальные компоновки котлов КВа-1,74ГМ и КВр-1,16К, в зависимости от интенсивности загрузки энергоустановок и перспективно повышения цен на топливо.

Список литературы

1. Патент 2228805 РФ. Способ очистки внутренней поверхности трубных полостей / Р.И. Рогачев; Бюл. № 14, 2004.
2. Котлы малой и средней мощности и топочные устройства: Отраслевой каталог 15-83 / НИИЭИНФОРМ-ЭНЕРГОМАШ. – М., 1983.
3. Тепловой поверочный расчет котлов на ЭВМ ЕС: Метод. указ. / ИЭИ; Сост. В.Л. Гудзюк, А.С. Ривкин, Б.Л. Шельгин. – Иваново, 1989. – 36 с.
4. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / Под ред. Н.В. Кузнецова, В.В. Митора, И.Е. Дубовского, Э.С. Карасиной. – М.: Энергия, 1973.
5. Мисриханов М.Ш., Мозгалев К.В., Неклепаев Б.Н., Шунтов А.В. О технико-экономическом сравнении вариантов электроустановок при проектировании // Электрические станции. – 2004. – № 2. – С. 2–8.