

УДК 621.311.22

АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОТЛА ПК-20-4 ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ГАЗОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

ШЕЛЫГИН Б.Л., канд. техн. наук, МОШКАРИН А.В., д-р техн. наук,
МЕЛЬНИКОВ Ю.В., ГУСЬКОВ В.А., КУЗНЕЦОВ Б.Л., инженеры, ШОМОВ Е.В., студ.

Представлены варианты реконструкции хвостовых поверхностей котла ПК-20-4 в двух вариантах их компоновки. Показано увеличение показателей энергоэффективности котла после реконструкции.

Ключевые слова: хвостовые поверхности нагрева, газовое топливо, экономайзерная поверхность, утилизация теплоты, энергозатраты.

ANALYZING EFFICIENCY INCREASE FOR PK-20-4 BOILER BURNING PRODUCTION GAS

B.L. SHELYGIN, Candidate of Engineering, A.V. MOSHKARIN, Doctor of Engineering,
Yu.V. MELNIKOV, V.A. GUSKOV, B.L. KUZNETSOV, Engineers, E.V. SHOMOV, Student

The authors present reconstruction options of PK-20-4 boiler tail surfaces in two variants of their arrangement. The article shows boiler energy efficiency rates after the reconstruction.

Key words: heat tail surfaces, gas fuel, economizer surface, heat recovery, energy expenses.

Анализ состояния оборудования энергопредприятий, входящих в представительство Центроэнерго РАО «ЕЭС России», показывает, что большинство ТЭЦ, построенных в 60–70-е годы прошлого века, имеют низкие режимные и экономические показатели [1].

Предлагаемое расчетное исследование посвящено разработке предложений вариантов реконструкции хвостовых поверхностей нагрева парового котла марки ПК-20-4 паровоздуховой станции Западно-Сибирского металлургического комбината (ст. №7) в целях повышения их тепловосприятия, утилизации теплоты уходящих газов и увеличения КПД котла. Исследование проводилось кафедрой ТЭС ИГЭУ совместно с ООО НТЦ «Промышленная Энергетика» (г. Иваново) по заказу ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат» (г. Новокузнецк, Кемеровская обл.).

Разработанный Подольским Машиностроительным заводом им. С. Орджоникидзе (ЗиО) котел марки ПК-20-4, предназначенный для сжигания твердого топлива, имеет двухступенчатую компоновку хвостовых поверхностей нагрева (водяного экономайзера и воздухоподогревателя). Такая компоновка поверхностей нагрева была необходима для достижения температуры горячего воздуха выше 380 °С по условию сушки топлива в мельничных устройствах [2].

Котел ст. №7 ПВС с момента пуска в 1985 г. работает исключительно на газовом топливе. Однако при сжигании газовых топлив нет необходимости в высоких температурах окислителя. Поэтому повышение экономичности котла при неизменной высоте опускаемого газохода может быть достигнуто за счет удаления части воздухоподогревательных и соответствующего размещения экономайзерных поверхностей нагрева. Согласно [3], если вы-

сокий подогрев воздуха не требуется, целесообразно устанавливать одноступенчатый воздухоподогреватель.

Предлагаемый расчетный анализ посвящен проработке следующих вопросов:

- определение условий тепловосприятия экономайзерных поверхностей при обеспечении максимального КПД котла без замены существующих тягодутьевых машин;
- предложение конструктивных и геометрических характеристик дополнительной ступени ЭКО;
- размещение дополнительной экономайзерной поверхности в газоходе с учетом существующей компоновки ранее установленных поверхностей нагрева;
- расчет экономии условного топлива от замены ступени ВЗП на дополнительную экономайзерную поверхность;
- расчет увеличения (уменьшения) энергозатрат на собственные нужды котлоагрегата вследствие изменения аэродинамического сопротивления газового и воздушного тракта.

В котле ПК-20-4 нагрев воздуха последовательно осуществляется в многоходовом ВЗП-1 и одноходовом ВЗП-2 (рис. 1). При этом размещение дополнительной ступени экономайзера (ЭКО-3) возможно в двух вариантах:

- 1) за счет удаления из газохода верхней части ВЗП-1;
- 2) за счет удаления ВЗП-2.

Полностью удалять ВЗП-1 нельзя, так как при температуре питательной воды 158 °С и температурном напоре за котлом 40–50 °С температура уходящих газов будет, по-прежнему, оставаться неоправданно высокой (195–205 °С).

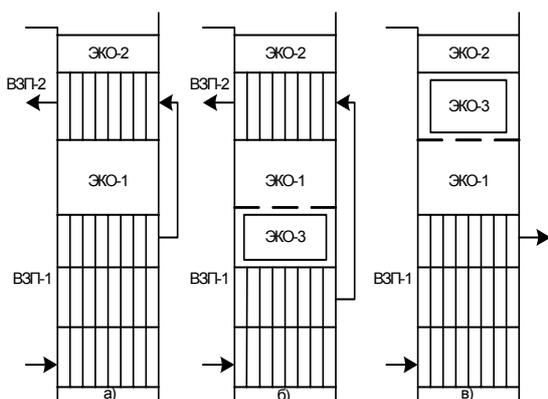


Рис. 1. Варианты реконструкции опускающего газохода котла ПК-20-4: а – исходный; б – вариант №1; в – вариант №2

Выполнен расчетный анализ эффективности вариантов №1 и №2 по сравнению с исходными, базовыми условиями работы котла ПК-20-4. Анализ проводился с использованием математической модели парового котла с последующим исследованием влияния конструктивных характеристик хвостовых поверхностей нагрева на выходные параметры агрегата. Для проведения сравнительного анализа с использованием программы «ТРАКТ» [4, 5] специально разработана математическая модель котла ПК-20-4.

Модель котла включает расчетные схемы газового, водопарового и воздушных трактов. Все рабочие тракты представлены в виде комбинации последовательно расположенных и пронумерованных элементов. Номера присвоены участкам газохода, отдельным поверхностям нагрева, узлам ввода (вывода) материальных и тепловых потоков.

Исходная информация для выполнения расчетов подготавливалась с использованием стандартных методов [4, 5]. Исходные данные формировались на основании описания котлоагрегата, чертежей и технического отчета по испытаниям котла ст. №7 в 2005 г.

Основные рабочие параметры (табл. 1) принимались согласно режимной карте. По результатам испытаний сумма значений присосов холодного воздуха в отдельные участки газохода составляла величину 0,2, а потеря теплоты с химическим недожогом – $q_3 = 0$. Потеря теплоты от наружного охлаждения котла, согласно [3], принята $q_5 = 0,7\%$. Значения перепада давления в элементах водопарового тракта принимались согласно [6].

Для оценки среднегодовых показателей парового котла в расчетах всех режимов температура холодного воздуха принята равной 5°C . Температура воздуха, присасываемого в газоходы котла, принята равной 30°C .

Расчетное исследование выполнено применительно к доменному газу со следующими техническими характеристиками [3]:

$\text{CH}_4 = 0,3\%$; $\text{C}_2\text{H}_5 = 0\%$; $\text{C}_3\text{H}_8 = 0\%$; $\text{C}_5\text{H}_2 = 0\%$; $\text{C}_4\text{H}_{10} = 0\%$; $\text{N}_2 = 55\%$; $\text{CO}_2 = 12,5\%$; $\text{H}_2\text{S} = 0\%$;

$\text{O}_2 = 0,2\%$; $\text{CO} = 27\%$; $\text{H}_2 = 5\%$; $Q_{\text{н}}^{\text{с}} = 903 \text{ ккал/м}^3$. По данным предприятия, температура топлива – 39°C , а его влагосодержание – $64,1 \text{ г/м}^3$.

Тип расчета принят $\text{TP} = 2$ (на заданный расход топлива), тип нагрузки котла $\text{TN} = 2$ (частичная). Признак топлива принят $\text{TTL} = 5$ (газовое) [4]. Во всех режимах постоянно температура перегретого пара достигалось с учетом требуемого количества теплоты в поверхностном пароохладителе и необходимого расхода конденсата на впрыск в рассечку ступеней конвективного пароперегревателя.

Расчет конкретного статического режима (исходный вариант, варианты №1 и 2) при заданных граничных параметрах проводился путем одновременного изменения текущих значений:

- расхода топлива;
- съема теплоты в пароохладителе;
- доли впрыска конденсата в паровой тракт;
- доли рециркуляции горячего воздуха.

Критерии окончания расчетных итераций:

- температура насыщения в барабане ($316\text{--}318^\circ\text{C}$);
- температура перегретого пара ($530\text{--}531^\circ\text{C}$);
- температура воздуха на входе в ВЗП-1 ($58\text{--}59^\circ\text{C}$).

В случае удаления из опускаемого газохода верхней половины ВЗП-1 его поверхность снижается до $H_{\text{вп-1}} = 2970 \text{ м}^2$. При этом освобождается пространство высотой 4,4 м для размещения дополнительной экономайзерной поверхности ЭКО-3.

В участке газохода в качестве дополнительной экономайзерной поверхности (ЭКО-3) можно разместить блок змеевиков, аналогичный блоку ЭКО-1, высота которого с учетом расположения входного и выходного коллекторов составляет 3,36 м.

Для интенсификации утилизации теплоты уходящих газов поверхность нагрева ЭКО-3 может быть выполнена в виде блока из двух пакетов труб (по $z_2 = 20$ шт. в каждом). С учетом принятого заводом «ЗиО» расстояния между пакетами 1,28 м и величины 0,6 м для размещения за пределами газохода входного (выходного) коллектора общая высота блока составит 4,0 м. При числе труб в одном ряду пакета $z_1 = 44$ поверхность нагрева одного ряда блока ЭКО-3 равна $31,61 \text{ м}^2$.

Конструктивные характеристики поверхностей нагрева для анализа работы котла при различных значениях поверхности ЭКО-3 в условиях реконструкции опускающего газохода по варианту №1 представлены в табл. 2.

Отдельные результаты теплового расчета котла в условиях его реконструкции по варианту №1 (шифры «P11» и «P12») представлены в табл. 3

Таблица 1. Основные режимные параметры, используемые в качестве исходных данных

Наименование величины	Значение
Паропроизводительность котла, т/ч	105
Давление перегретого пара, ата	98
Температура перегретого пара, °С	530
Температура питательной воды, °С	158
Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки	1,16
Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах	1,36
Процент непрерывной продувки котловой воды, %	1,5
Температура воздуха перед ВЗП-1, °С	57-59

Таблица 2. Конструктивные характеристики поверхностей нагрева в условиях реконструкции котла по варианту №1

Наименование величины	Шифр расчета		
	P	P11	P12
Поверхность нагрева ВЗП-1 $H_{вп-1}$, м ²	5940	2970	2970
Число труб в ряду ЭКО-3 z_1	-	44	44
Число труб в ЭКО-3 по ходу газов z_2	-	24	40
Наружный диаметр труб d_n , м	-	0,032	0,032
Шаги труб дополнительной ступени ЭКО-3:			
-поперечный S_1 , м	-	0,068	0,068
-продольный S_2 , м	-	0,04	0,04
Поверхность нагрева ЭКО-3 $H_{эк-3}$, м ²	-	759	1265

Таблица 3. Результаты теплового расчета котла в условиях его реконструкции по варианту №1

Наименование величины	Шифр расчета		
	P	P11	P12
Поверхность нагрева ЭКО-3 $H_{эк-3}$, м ²	-	759	1265
Поверхность нагрева ЭКО-1 $H_{эк-1}$, м ²	760	760	760
Поверхность нагрева ЭКО-2 $H_{эк-2}$, м ²	478	478	478
Поверхность нагрева ВЗП-1 $H_{вп-1}$, м ²	5940	2970	2970
Температура уходящих газов, °С	202	176	162
Потеря теплоты с уходящими газами q_2 , %	14,73	12,73	11,72
Температура питательной воды $t_{п.в.}$, °С	158	158	158
Температура перегретого пара $t_{п.г.}$, °С	530	530	530
Паропроизводительность котла D, т/ч	105	105	105
Расход топлива B, м ³ /ч	90,75	88,63	87,61
КПД котла (брутто) η_k , %	84,58	86,57	87,58
Относительный расход конденсата на впрыск $D_{впр.}$, %	3,0	3,0	3,0
Съем теплоты в поверхностном пароперегревателе Q, ккал/с	-330	-90	-15
Доля рециркуляции горячего воздуха на вход в ВЗП-1 $\beta_{рец}$	0,14	0,148	0,15

В случае удаления из опускного газохода второй ступени воздухоподогревателя ВЗП-2 в газоходе освобождается пространство высотой 3,8 м для размещения дополнительной экономайзерной поверхности (ЭКО-3).

В данном участке газохода в качестве дополнительной экономайзерной поверхности (ЭКО-3) можно разместить блок элементов, аналогичный блоку ЭКО-1, высота которого с учетом расположения входного и выходного коллекторов составляет 3,36 м.

Для интенсификации утилизации теплоты уходящих газов поверхность нагрева ЭКО-3 может быть предложена в виде блока из двух пакетов труб (по $z'_2 = 16$ шт. и $z''_2 = 20$ шт.) в случае расстояния между пакетами 1,1 м и величины 0,6 м для размещения за пределами газохода входного (выходного) коллектора; общая высота блока составит 3,66 м.

При числе труб в одном ряду пакета $z_1 = 38$ поверхность нагрева одного ряда блока ЭКО-3 равна 27,3 м²

Конструктивные характеристики поверхностей нагрева для анализа работы котла при различных поверхностях ЭКО-3 в условиях реконструкции опускного газохода по варианту №2 представлены в табл. 4.

Отдельные результаты теплового расчета котла в условиях его реконструкции по варианту №2 (шифры «P21» и «P22») представлены в табл. 5.

Результаты сравнительного анализа работы котла ПК-20-4 в условиях его реконструкции представлены в табл. 6.

Расчет аэродинамического сопротивления поверхностей нагрева, участвующих в реконструкции опускного газохода котла, проводился с учетом общепринятых норм [7]. Исходными данными для анализа являлись конструктивные характеристики поверхностей нагрева и результаты теплового расчета вариантов компоновки котла.

Согласно результатам испытаний, встроенный в газовый тракт котла ранее установленный скруббер (для задержания золовых частиц) обладает аэродинамическим сопротивлением 70–150 кг/м². Применительно к режиму работы котла ст.№7 ($D = 105$ т/ч, $v_{yx} = 200$ °С, $\alpha_{yx} = 1,35$), согласно которому разрабатывалась исходная модель варианта (шифр «P») по данным режимной карты, сопротивление скруббера составляет $\Delta h_{скруб} = 70$ кг/м². В случае демонтажа скруббера сопротивление газового тракта снижается на 70 кг/см².

Изменение значений сопротивления участков газового и воздушного трактов для разных вариантов реконструкции опускного газохода котла ПК-20-

4 и оценка изменения энергозатрат на собственные нужды представлены в табл.7 и 8.

Таблица 4. Конструктивные характеристики поверхностей нагрева в условиях реконструкции котла по варианту №2

Наименование величины	Шифр расчета		
	P	P21	P22
Поверхность нагрева ВЗП-1 $H_{вп-1}$, м ²	5940	5940	5940
Поверхность нагрева ВЗП-2 $H_{вп-2}$, м ²	3692	0	0
Число труб в ЭКО-3 по ходу газов z_2	-	24	36
Наружный диаметр труб d_n , м	-	0,032	0,032
Шаги труб дополнительной ступени ЭКО-3:	-	0,08	0,08
-поперечный S_1 , м	-	0,04	0,04
-продольный S_2 , м	-	0,04	0,04
Поверхность нагрева ЭКО-3 $H_{эк-3}$, м ²	-	655	983

Таблица 5. Результаты теплового расчета котла в условиях его реконструкции по варианту №2

Наименование величины	Шифр расчета		
	P	P21	P22
Поверхность нагрева ЭКО-3 $H_{эк-3}$, м ²	-	655	983
Поверхность нагрева ЭКО-1 $H_{эк-1}$, м ²	760	760	760
Поверхность нагрева ЭКО-2 $H_{эк-2}$, м ²	478	478	478
Температура уходящих газов, °C	202	169	157
Потеря теплоты с уходящими газами q_2 , %	14,73	12,25	11,33
Температура питательной воды $t_{п.в.}$, °C	158	158	158
Температура перегретого пара $t_{п.е.}$, °C	530	530	530
Паропроизводительность котла D ,	105	105	105
Расход топлива B , нм ³ /ч	90,75	88,13	87,25
КПД котла брутто η_k , %	84,58	87,05	87,97
Относительный расход конденсата на впрыск $D_{впр}$, %	3,0	0	0
Съем теплоты в поверхностном пароперегревателе Q , ккал/с	-330	0	0
Доля рециркуляции горячего воздуха на вход в ВЗП-1 $\beta_{рец}$	0,14	0,295	0,34

Таблица 6. Изменения показателей работы котла ПК-20-4 в различных условиях его реконструкции (по сравнению с исходным, базовым вариантом)

Наименование величины	Шифр расчета			
	P11	P12	P21	P22
Уменьшение поверхностей нагрева ступеней воздухоподогревателя, м ²	-2970	-2970	-3692	-3692
Увеличение экономайзерных поверхностей нагрева, м ²	+759	+1265	+655	+983
Снижение температуры уходящих газов, °C	-26	-40	-33	-45
Повышение КПД котла брутто, %	+1,99	+3,0	+2,47	+3,39
Снижение удельного расхода топлива, кг.т/Гкал	-3,9	-5,8	-4,8	-6,5

Таблица 7. Оценка изменения энергозатрат применительно к реконструкции по варианту №1

Наименование величины	Шифр расчета		
	P	P11	P12
Расход газов при $t = 0$ °C $V_{г.расч}$, нм ³ /с	50,37	49,19	48,63
Средняя температура газов в ВЗП-1 $V_{г.ср}$, °C	247	205	188
Расход газов в ВЗП-1 $V_{г.вп-1}$, м ³ /с	95,94	86,1	82,1
Сопротивление ВЗП-1 по газам $\Delta h_{г.вп-1}$, кг/м ²	60,6	28,3	26,1
КПД дымососа η_d , %	80	80	80
Мощность, расходуемая на преодоление сопротивления ВЗП-1 по газам, $N_{г.вп-1}$, кВт	71,1	30,0	26,4
Средняя температура газов в газоходе ЭКО-1 и ЭКО-3 $V_{г.ср}$, °C	351	307	294
Сопротивление ЭКО-1 и ЭКО-3 по газам $\Delta h_{г.эк}$, кг/м ²	22,1	41,3	54,7
Расход газов в газоходе ЭКО-1 и ЭКО-3 $V_{г.эк-1,3}$, м ³ /с	115,1	104,5	101,0
Мощность, расходуемая на преодоление сопротивления ЭКО-1 и ЭКО-3, $N_{г.эк-1,3}$, кВт	31,3	53,1	68,0
Расход газов при $t = 0$ °C $V_{в.расч}$, нм ³ /с	20,5	19,98	19,75
Средняя температура воздуха ВЗП-1 $t_{в.ср}$, °C	169	129	121
Доля рециркуляции воздуха $\beta_{рец}$	0,14	0,148	0,15
Расход воздуха ВЗП-1 $V_{г.вп-1}$, м ³ /с	37,84	33,8	32,8
КПД вентилятора $\eta_{в}$, %	70	70	70
Сопротивление ВЗП-1 по воздуху $\Delta h_{в.вп-1}$, кг/м ²	50,3	29,8	28,9
Мощность, расходуемая на преодоление сопротивления ВЗП-1 (по воздуху), $N_{в.вп-1}$, кВт	26,65	14,1	13,3
Суммарная мощность, расходуемая на преодоление сопротивления ЭКО-3 и ВЗП-1 (по газам и воздуху), $\sum N$, кВт	129,1	97,2	107,7
Мощность, расходуемая на преодоление сопротивление скруббера, $N_{скрубб}$, кВт	74,7	-	-
Мощность, расходуемая на собственные нужды, с учетом аэродинамического сопротивления скруббера, $\sum N + N_{скрубб}$, кВт	203,8	97,2	107,7

Таблица 8. Оценка изменения энергозатрат применительно к реконструкции по варианту №2

Наименование величины	Шифр расчета		
	P	P21	P22
Расход газов при $t = 0^{\circ}\text{C}$ $V_{\Gamma}^{\text{расч}}$, $\text{м}^3/\text{с}$	50,1	-	-
Средняя температура газов в ВЗП-2 $V_{\Gamma}^{\text{ср}}$, $^{\circ}\text{C}$	354	-	-
Расход газов в ВЗП-2 $V_{\Gamma}^{\text{вп-2}}$, $\text{м}^3/\text{с}$	115,1	-	-
Сопrotивление ВЗП-2 по газам $\Delta h_{\Gamma}^{\text{вп-2}}$, $\text{кг}/\text{м}^2$	33,15	-	-
КПД дымососа $\eta_{\text{д}}$, %	80	80	80
Мощность, расходуемая на преодоление сопротивления ВЗП-2 по газам, $N_{\Gamma}^{\text{вп-2}}$, кВт	48,65	-	-
Средняя температура газов в газоходе ЭКО-2 и ЭКО-3 $V_{\Gamma}^{\text{ср}}$, $^{\circ}\text{C}$	540	473	453
Сопrotивление ЭКО-2 и ЭКО-3 по газам $\Delta h_{\text{эк}}$, $\text{кг}/\text{м}^2$	23,8	44,6	53,6
Расход газов в газоходе ЭКО-2 и ЭКО-3 $V_{\text{в}}^{\text{эк-2,3}}$, $\text{м}^3/\text{с}$	149,1	131,4	127,7
Мощность, расходуемая на преодоление сопротивления ЭКО-2 и ЭКО-3, $N_{\Gamma}^{\text{эк-2,3}}$, кВт	43,5	71,8	83,8
Расход газов при $t = 0^{\circ}\text{C}$ $V_{\text{в}}^{\text{расч}}$, $\text{м}^3/\text{с}$	20,5	19,9	19,7
Средняя температура воздуха ВЗП-2 $t_{\text{ср}}^{\text{в}}$, $^{\circ}\text{C}$	293	-	-
Доля рециркуляции воздуха $\beta_{\text{рец}}$	0,14	-	-
Расход воздуха ВЗП-2 $V_{\Gamma}^{\text{вп-2}}$, $\text{м}^3/\text{с}$	48,5	-	-
КПД вентилятора $\eta_{\text{в}}$, %	70	-	-
Сопrotивление ВЗП-2 по воздуху $\Delta h_{\text{вп-2}}^{\text{в}}$, $\text{кг}/\text{м}^2$	33,15	-	-
Мощность, расходуемая на преодоление сопротивления ВЗП-2 (по воздуху), $N_{\text{вп-2}}^{\text{в}}$, кВт	22,5	-	-
Суммарная мощность, расходуемая на преодоление сопротивления ЭКО-3 и ВЗП-2 (по газам и воздуху), $\sum N$, кВт	66,0	71,8	83,8
Мощность, расходуемая на преодоление сопротивления скруббера, $N_{\text{скруб}}$, кВт	74,7	-	-
Мощность, расходуемая на собственные нужды, с учетом аэродинамического сопротивления скруббера, $\sum N + N_{\text{скруб}}$, кВт	140,7	71,8	83,8

Итоговые результаты расчетного исследования возможных вариантов реконструкции опускного газохода парового котла ст. №7 ПВС ЗСМК марки ПК-20-4 с размещением дополнительной ступени водяного экономайзера (ЭКО-3) представлены в табл. 9.

Применительно ко всем предлагаемым вариантам реконструкции конвективных поверхностей нагрева опускного газохода котла ПК-20-4 по условию экономии топлива, снижения металлозатрат и энергозатрат на собственные нужды все новые технические предложения являются предпочтительнее по сравнению с существующим (исходным) вариантом. Наилучшими являются показатели вариантов №1 и №2 при максимально возможных изменениях значений дополнительной экономайзерной поверхности (ЭКО-3), соответственно составляющих 1265 и 983 м^2 . Таким образом, по сравнению с вариантом №1, экономия экономайзерных поверхностей нагрева применительно к варианту №2 составляет 282 м^2 . При этом дополнительно на 722 м^2 снижается поверхность нагрева ступеней воздухоподогревателя. В результате реконструкции температура уходящих газов может быть снижена на 26–45 $^{\circ}\text{C}$ при соответствующем

повышении КПД котла брутто на 2,0–3,4 % и снижении удельного расхода условного топлива на 3,9–6,5 кг у.т./Гкал . По данным показателям лучшим следует признать вариант №2 при максимально возможной поверхности нагрева дополнительной ступени экономайзера ($N_{\text{эк-3}} = 983 \text{ м}^2$), когда снижение сопротивления газового тракта составляет 55,1 $\text{кг}/\text{м}^2$, снижение сопротивления воздушного тракта составляет 33,15 $\text{кг}/\text{м}^2$, а снижение мощности, расходуемой на собственные нужды, не превышает 57,0 кВт.

По сравнению с вариантом №1, перерасход энергозатрат на собственные нужды для варианта №2 составляет лишь 39,2 кВт. Однако при этом в случае варианта №2 за счет снижения температуры уходящих газов повышается КПД котла брутто на 0,39 %. При снижении удельного расхода топлива на 0,7 кг у.т./Гкал и общем снижении металлозатрат на 440 м^2 самым перспективным в условиях реконструкции опускного газохода котла ПК-20-4 является вариант №2.

Таблица 9. Итоговые результаты анализа по сравнению с исходным (существующим) вариантом

Наименование величины	Шифр расчета			
	P11	P12	P21	P22
Уменьшение поверхностей нагрева ступеней воздухоподогревателя, м^2	2970	2970	3692	3692
Увеличение величины поверхностей нагрева, ступеней водяного экономайзера, м^2	759	1265	655	983
Снижение температуры уходящих газов, $^{\circ}\text{C}$	26	40	33	45
Повышение КПД котла брутто, %	1,99	3,0	2,47	3,39
Снижение удельного расхода топлива, кг у.т./Гкал	3,9	5,8	4,8	6,5
Снижение сопротивления газового тракта, $\text{кг}/\text{м}^2$	82,5	71,3	64,1	55,1
Снижение сопротивления воздушного тракта, $\text{кг}/\text{м}^2$	20,5	21,4	33,15	33,15
Снижение мощности, расходуемой на собственные нужды котла, $\text{кг}/\text{м}^2$	106,6	96,1	68,9	56,9

Общая компоновка поверхностей нагрева в опускном газоходе котла по варианту реконструкции №2 представлена на рис. 2. Конструктивные особенности блока дополнительной ступени водяного экономайзера ЭКО-3 представлены на рис. 3.

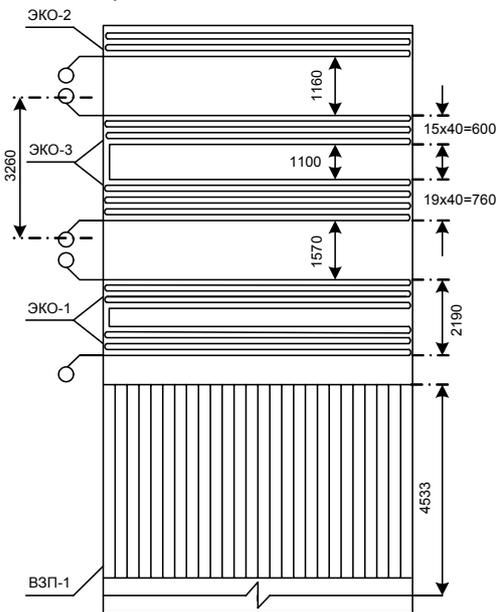


Рис. 2. Компоновка поверхностей нагрева в опускном газоходе котла по варианту реконструкции №2 (поперечный разрез)

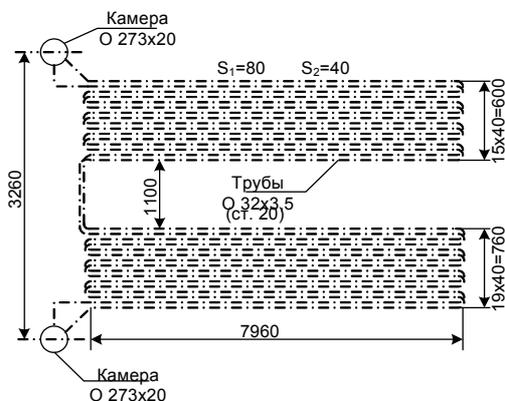


Рис. 3. Блок дополнительной ступени водяного экономайзера ЭКО-3 (продольный разрез)

Заключение

Выполнен расчетный анализ вариантов реконструкции поверхностей нагрева опускного газохода котла ПК-20-4 при установке вместо части воздухоподогревательных поверхностей дополнительных экономайзерных поверхностей нагрева. По условию максимального повышения КПД котла брутто при минимальных металлозатратах и энергозатратах на собственные нужды наиболее эффективным является вариант удаления из газохода ВЗП-2 с последующим размещением третьей ступени водяного экономайзера.

Список литературы

1. Анализ перспектив развития отечественной теплоэнергетики / А.В. Мошкарин, М.А. Девичкин, Б.Л. Шельгин и др; Под ред. А.В. Мошкарин / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2002.
2. Резников М.И., Липов Ю.М. Паровые котлы тепловых электростанций. – М.: Энергоиздат, 1981.
3. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / Под ред. Н.В. Кузнецова, В.В. Митора, И.Е. Дубовитского, Э.С. Карасиной. – М.: Энергия, 1973.
4. Гудзюк В.Л., Ривкин А.С., Шельгин Б.Л. Тепловой поверочный расчет паровых котлов на ЭВМ ЕС: Метод. указания / Иван. энерг. ин-т. – Иваново, 1986.
5. Ривкин А.С., Шельгин Б.Л. Тепловой расчет парового котла с естественной циркуляцией на ЭВМ-ЕС: Метод. указания / Иван. энерг. ин-т. – Иваново, 1989.
6. Гидравлический расчет котельных агрегатов (Нормативный метод) / Под ред. С.И. Мочана. – Л.: Энергия, 1977.
7. Аэродинамический расчет котельных установок (Нормативный метод) / Под ред. С.И. Мочана. – Л.: Энергия, 1977.

Шельгин Борис Леонидович,
 ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
 кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций,
 admin@tes.ispu.ru

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,
 admin@tes.ispu.ru

Мельников Юрий Викторович,
 ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
 инженер кафедры тепловых электрических станций,
 admin@tes.ispu.ru

Гуськов Владимир Аверьянович,
ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»,
начальник специализированной энергетической лаборатории,
адрес: Кемеровская обл., г. Новокузнецк, шоссе Космическое, д. 16.

Кузнецов Борис Львович,
ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»,
главный инженер паровоздуховной станции,
адрес: Кемеровская обл., г. Новокузнецк, шоссе Космическое, д. 16.

Шомов Евгений Владимирович,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
студент кафедры тепловых электрических станций,
admin@tes.ispu.ru