

5. Кутателадзе С. С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 367 с.
6. Истечение теплоносителя при потере герметичности реакторного контура / В.В. Арсентьев, Ю.А. Калайда, В.В. Фисенко, Б.М. Цизин. – М.: Атомиздат, 1977. – 123 с.
7. Циклаури Г.В., Данилин В.С., Селезнев Л.И. Адиабатные двухфазные течения. – М.: Атомиздат, 1973. – 448 с.
8. Вайсман М.Д., Поляков К.С. К вопросу об адиабатическом истечении испаряющейся жидкости // Инженерно-физический журнал. – 1964. - № 8.
9. Авдеев А.А., Майданик В.Н., Селезнев Л.И., Шанин В.К. Расчет критического расхода при истечении насыщенной и недогретой воды через цилиндрические каналы // Теплоэнергетика, 1977. - № 4. - С. 36 – 38.
10. Авдеев А.А., Майданик В.Н., Шанин В.К. Методика расчета вскипающих адиабатных потоков // Теплоэнергетика. – 1977. - № 8. - С. 67 – 69.
11. Теория тепломассообмена: Учебник для вузов / С.И. Исаев, И.А. Кожин, В.И. Кофанов и др. / Под ред. А.И. Леонтьева. – М.: Высш. школа, 1979. – 495 с.
12. Лабунцов Д. А., Ягов В.В. Механика простых газожидкостных структур. – М.: МЭИ, 1978. – 92 с.
13. Мамедов И. С. Определение пропускной способности сопла при истечении воды, частично меняющей агрегатное состояние // Водоснабжение и санитарная техника. – 1970. - № 2. - С. 32 – 36.

Поступила в редакцию 6 декабря 2005 г.

УДК 621.184.3

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ГАЗОВЫХ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЦЕХА ДВУОКСИ ТИТАНА ОАО «СУМЫХИМПРОМ»

В.Н. Марченко, канд. техн. наук, доц.; К.В. Таранец
Сумский государственный университет

В статье рассмотрена энергосберегающая модернизация перегревателя водяного пара. Предложены методы улучшения эффективности установки и сделаны выводы об экономии топлива и экономическом эффекте в целом.

ВВЕДЕНИЕ

По результатам проведенного на ОАО «Сумыхимпром» энергоаудита и статистической обработки рабочих параметров одного из трех пароперегревателей цеха двуокиси титана подготовлено техническое предложение по повышению энергетической эффективности установки. Эксплуатационные показатели рассмотрены для трех характерных режимов паропроизводительности: $9 \pm 0,25$, $7 \pm 0,25$ и $5 \pm 0,25$ т/ч.

По результатам теплотехнических расчетов топочного процесса [1-3] и теплообмена трубного пучка пароперегревателя [4,5] получены дополнительные данные, необходимые для анализа энергетической эффективности производства перегретого пара.

ОПИСАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СХЕМЫ

Газовый пароперегреватель (рис.1) представляет собой установку, в которую входят камера сгорания, трубный пучок, система подачи топлива, вентилятор для подачи воздуха, дымовая труба, запорная арматура, система трубопроводов.

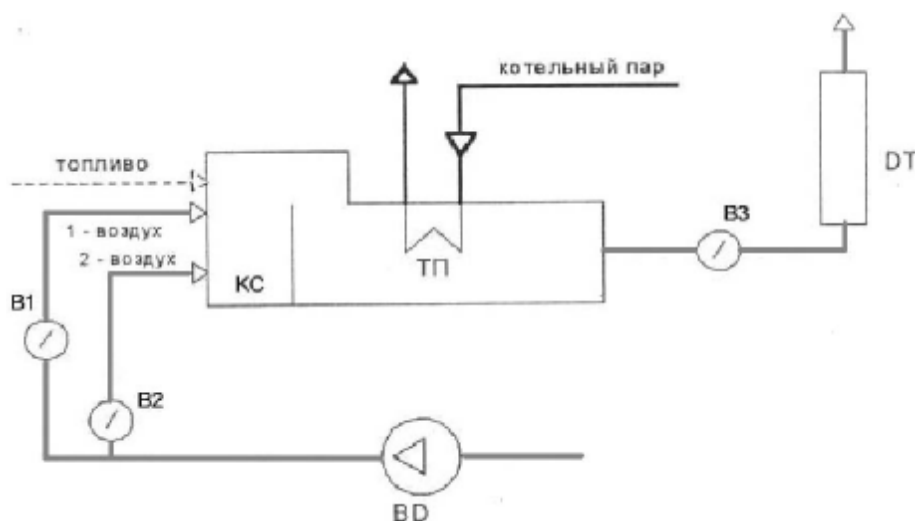


Рисунок 1 - Существующая схема газового пароперегревателя:
 КС – камера сгорания; ТП – трубный пучок; ВД – воздушный вентилятор;
 ДТ – дымовая труба; В1, В2, В3 – шиберы

В камеру сгорания подаются топливо и первичный воздух. Для снижения температуры до пригодного к использованию уровня подается также вторичный воздух. Продукты сгорания, проходя через трубный пучок, нагревают насыщенный котельный пар до требуемых параметров и через дымовую трубу сбрасываются в атмосферу.

Пар, вырабатываемый в центральной котельной, имеет следующие параметры: давление 1,15 МПа и температуру 197°С. За счет тепловых потерь в окружающую среду и частичной конденсации в паропроводе, соединяющем котельную с газовым пароперегревателем, пар становится влажным насыщенным (давление 1,10 МПа, температура 184°С). Газовый пароперегреватель обеспечивает требуемый перегрев пара до температуры 300°С для дальнейшего использования в цехе двуокиси титана.

Результаты обработки оперативных материалов эксплуатации газового пароперегревателя представлены ниже в табличной форме.

Из анализа результатов обработки опытных данных следует, что производство перегретого пара по существующей схеме характеризуется низкой энергетической эффективностью: нормативный показатель по расходу условного топлива для рабочей области эксплуатации пароперегревателя составляет 33 - 38 кг у.т./Гкал, что значительно превышает допустимое значение показателя на уровне 20 - 22 кг у.т./Гкал.

Основные причины перерасхода топлива, затрачиваемого на производство перегретого пара, следующие:

- применение неэффективной, высокочрезмерной тепловой схемы газового пароперегревателя, характеризующейся низким коэффициентом теплоиспользования (см. п.12 табл.1);
- высокие тепловые потери в паропроводе между котельной и пароперегревателем, составляющие 50 - 80% от тепловой мощности, необходимой для перегрева котельного пара (см. п.п. 10, 11 табл.1);
- значительная (до 10%) конденсация насыщенного пара в паропроводе между котельной и пароперегревателем (см. п.п. 7, 8 табл.1) и поэтому повышенная тепловая мощность пароперегревателя, затрачиваемая на испарение влаги и её перегрев;
- низкий уровень теплопередачи трубных пучков пароперегревателя (см. п.6 табл.1) и поэтому повышенные значения температуры топочных

газов перед дымовой трубой, а значит, - дополнительные потери с уходящими газами.

Таблица 1 – Расчетные параметры существующей схемы пароперегревателя 1

Пор. номер	Наименование параметра	Единица измерения	Численное значение параметра		
			9	7	5
1	Паропроизводительность	т/ч	9	7	5
2	Расход топлива (природный газ среднего состава: нормальная плотность 0,76 кг/м ³ , теплота сгорания 47,2 МДж/кг)	нм ³ /ч	140	125	90
3	Подача воздуха в топочную камеру	нм ³ /ч	3700	3300	2800
4	Коэффициент избытка воздуха в топочной камере	-	2,76	2,74	3,29
5	Температура топочных газов: – перед трубными пучками; – перед дымовой трубой	°С	875	870	750
		°С	275	270	250
6	Коэффициент теплопередачи трубных пучков	Вт/м ² -К	40	37	33
7	Степень сухости пара на входе в пароперегреватель	-	0,95	0,91	0,92
8	Расходное количество воды в паропроводе перед пароперегревателем	кг/ч	450	590	410
9	Тепловая мощность пароперегревателя	кВт	945	854	592
10	Потребная тепловая мощность для перегрева котельного пара	кВт	600	465	330
11	Тепловые потери в паропроводе между котельной и пароперегревателем	кВт	345	389	262
12	Коэффициент теплоиспользования (к.п.д.) пароперегревателя	-	0,43	0,37	0,37
13	Показатель эффективности производства перегретого пара	кг у.т./Ткал	33,2	38,0	38,3

СПОСОБ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ГАЗОВОГО ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ

Значительное снижение энергетических затрат на производство перегретого пара достигается за счет комплексной модернизации существующей схемы (рис. 2), включающей:

- предельную рециркуляцию топочных газов, замещающих поток вторичного воздуха в существующей схеме;
- сепарацию пара, поступающего по паропроводу из котельной, в выносном циклоне перед пароперегревателем и отвод конденсата в общую оборотную систему;

- подогрев первичного воздуха посредством установки на пути выхлопных газов теплообменного аппарата.

Следует также отметить, что в модернизированной схеме дополнительно на вытяжной линии устанавливается газодувка ГД2. Она даст возможность создать давление, необходимое для преодоления топочными газами гидравлического сопротивления рециперативного воздушного теплообменника ВТ.

Эксплуатация пароперегревателя после модернизации возможна по двум схемам (рис.2): существующей (шибер В4 закрыт, шибер В2 открыт, шибер В5 открыт, газодувки ГД1 и ГД2 отключены) и предлагаемой (шибер В2 закрыт, шибер В5 закрыт, шибер В4 открыт, газодувки ГД1 и ГД2 включены).

При работе установки по модернизированной схеме предусматривается частичное возвращение в камеру сгорания топочных газов посредством газодувки ГД1. Вторичный воздух в базовом варианте использовался для понижения температуры от уровня адиабатного горения ($t_{Ad} \sim 2100$ °С) до реально используемого в теплообменнике уровня ($t = 750 - 875$ °С в зависимости от режима нагрузки пароперегревателя). В модернизированной схеме поток вторичного воздуха не нужен, так как снижение температуры произойдет за счет смешения топочных газов, образующихся в результате горения с рециркулированными газами, что даёт возможность поддерживать необходимую температуру газов перед трубными пучками при меньшем, по сравнению с базовой схемой, расходе топлива. Обеспечение необходимой степени рециркуляции и требуемого разрежения в камере сгорания обеспечиваются за счет регулирования газодувок ГД1 и ГД2.

Кроме того, рециркуляция даёт возможность уменьшать количество окислов азота, что является важным средством борьбы с токсичностью дымовых газов.

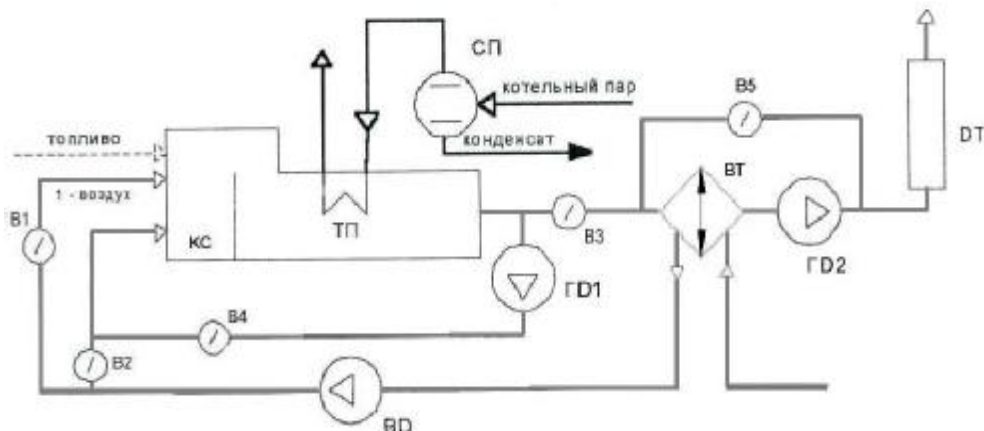


Рисунок 2 - Модернизированная схема пароперегревателя:
ПП - пароперегреватель; ВД - воздушный вентилятор; ДТ - дымовая труба;
ГД1, ГД2 - газодувки; СП - сепаратор пара; В1..В5 - шиберы; ВТ - воздушный теплообменник

Несмотря на то, что при использовании рециркуляции к.п.д. достигает более высоких значений, температура газов перед дымовой трубой остается на довольно высоком уровне (порядка 250 - 280 °С). Установка перед дымовой трубой рециперативного теплообменника позволяет использовать эту теплоту. Топочные газы, проходя через теплообменный аппарат, нагревают первичный воздух, который, в свою очередь, подается воздушным вентилятором. Таким образом, воздух поступает в камеру сгорания уже подогретым, что снижает затраты топлива. Коэффициент теплоиспользования пароперегревателя при этом возрастает до 95 - 97%.

Следует особо подчеркнуть, что реконструкция тепловой изоляции паропровода и установка сепаратора с конденсатоотводчиком на входе в пароперегреватель не являются взаимоисключающими предложениями. Качественная (до влажности менее 0,05%) очистка пара в сепараторе необходима и при улучшении тепловой изоляции паропровода, т.к. даже незначительное содержание мелкодисперсной влаги в котельном паре (обычно в виде водных растворов солей и других примесей) приводит к заметному перерасходу топлива, накипеобразованию на поверхностях нагрева, снижению теплопередачи трубного пучка и росту температуры топочных газов перед дымовой трубой.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Сопоставление существующей и модернизированной технологий производства перегретого пара в одном пароперегревателе осуществляется для базового рабочего режима по паропроизводительности $9 \pm 0,25$ т/ч при повышенной до 320°C температуре перегрева пара, загрузке пароперегревателя 7200 ч/год. Закупочная цена природного газа принимается на уровне 380 грн/тыс. м^3 .

Результаты сравнения показателей представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Исходные технико-экономические показатели

Наименование показателя	Единица измерения	Сравнительные варианты	
		Существующая технология	Модернизированная технология
1 Тепловая мощность газового пароперегревателя	КВт	1070	800
2 Расход топлива	$\text{м}^3/\text{ч}$	162	77
3 Показатель эффективности производства перегретого пара	кг у.т./Гкал	29	14
4 Коэффициент теплоиспользования (к.п.д.)	-	0,45	0,95
5 Экономия топлива на один пароперегреватель	тыс. $\text{м}^3/\text{год}$	-	600
6 Денежные затраты по топливу	тыс. грн/год	450	215
7 Снижение денежных затрат по топливу	тыс. грн/год		235
8 Денежные затраты на модернизацию	тыс.грн		300

Видно, что за счет сепарации пара и рециркуляции топочных газов можно повысить эффективность пароперегревателя до 95%. Затраты по топливу при этом снижаются в 2 раза.

Оценка экономической эффективности реализации проекта модернизации технологии производства перегретого пара предполагает расчет следующих показателей:

- стоимости проекта (величины инвестиций);
- дополнительных текущих расходов, связанных с реализацией проекта;

- экономии денежных средств в связи со снижением затрат на топливо;

- периода окупаемости инвестиций (периода возврата капитала).

Стоимость проекта модернизации технологии производства перегретого пара (величина необходимых инвестиций) включает сумму расходов на научно-технические, проектно-конструкторские разработки, изготовление (закупки) оборудования, осуществление строительномонтажных работ, предпусковых испытаний и составляет 300 тыс. грн.

Дополнительные производственные текущие расходы, связанные с внедрением проекта, включают:

- расходы на электроэнергию;

- расходы на обслуживание и ремонт оборудования;

- амортизационные расходы.

Период окупаемости инвестиций (с учетом всех вышеперечисленных расходов и налога на прибыль) составляет 2-3 года.

ВЫВОДЫ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ПРЕДЛОЖЕНИЮ

1 Представленные результаты анализа технического предложения свидетельствуют об экономической эффективности комплексной энергосберегающей модернизации пароперегревателей для цеха двуокиси титана на существующей базе. Предлагаемая модернизация обеспечивает ненарушаемость технологического процесса производства перегретого пара и незначительные затраты на ее осуществление.

2 В схеме с предельной рециркуляцией топочных газов, сепарацией поступающего в пароперегреватель пара и подогревом первичного воздуха при сохранении неизменного температурного уровня топочных газов перед трубными пучками (850 - 900°C) коэффициент теплоиспользования возрастает до 95-97 %

3 Проведение совместно с предлагаемой модернизацией реконструкции тепловой изоляции паропровода между котельной и пароперегревателями позволяет дополнительно снизить расход топлива в котельной на производство перегретого пара для цеха двуокиси титана.

4 Предлагаемая модернизация улучшает экологические характеристики, т.к. позволяет заметно снизить выброс вредных веществ с дымовыми газами, во-первых, за счет уменьшения их количества, а, во-вторых, за счет повышения полноты сгорания топлива и снижения эмиссии CO и NO_x в продуктах сгорания. Это обеспечивает более высокую экологическую чистоту производства перегретого пара.

SUMMARY

This article deals with the energy saving modernization of the water steam superheater. The methods of the boiler-plant efficiency increasing are suggested and therefore the appropriate conclusions concerning fuel economy and economic effect of modernization in general can be drawn.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хзмалян Д.М., Каган Я.А. Теория горения и топочные устройства. - М.: Энергия, 1976. - 488с.
2. Тепловые и атомные электрические станции: Справ очник /Под общ. ред. В.А. Григорьева, В.М.Зорина. - М.: Энергоиздат, 1982. - 624с.
3. Промышленные тепломассообменные процессы и установки /А.М. Бакластов, В.А. Горбенко, О.Л. Данилов и др. - М.: Энергоиздат, 1986 - 328с.
4. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. - М.: Наука, 1982. - 472с.
5. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: Справочное пособие. - М.:Энергоатомиздат, 1990. - 367с.

Поступила в редакцию 6 декабря 2006 г.