УДК 662.613

С.К. ЗИГАНШИНА, к.т.н., доцент, доцент (СамГТУ)
г. Самара

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ ГАЗИФИЦИРОВАННЫХ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ПУТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ НИЖЕ ТОЧКИ РОСЫ

Анализ работы газифицированных котельных установок показывает, что одним из путей существенного улучшения использования топлива является глубокое охлаждение уходящих газов. Для глубокого охлаждения газов на практике используют теплообменные аппараты контактного или поверхностного типа, которые называют конденсационными теплоутилизаторами (КТ). КТ позволяют производить охлаждение уходящих газов ниже точки росы и дополнительно использовать скрытую теплоту конденсации части содержащихся в газах водяных паров. Конденсат водяных паров из газов после дегазации (удаления растворенных в нем CO_2 и O_2) можно использовать в качестве питательной воды котлов и (или) подпиточной воды системы теплоснабжения.

Особенно эффективно применение КТ при утилизации продуктов сгорания природного газа, что объясняется повышенным содержанием в них водяных паров (более 20% по объему при коэффициенте избытка воздуха α=1,0) и высоким качеством выделяющегося из продуктов сгорания конденсата водяных паров (обессоленной воды), который может использоваться в качестве добавочной воды на тепловых электростанциях [1, 2]. Использование получаемого из продуктов сгорания конденсата водяных паров в системе теплоснабжения позволяет существенно сократить производительность химводоочистки, а в отдельных случаях при увлажнении дутьевого воздуха и вообще отказаться от применения водоумягчительной установки [3]. Важным обстоятельством является то, что при глубоком охлаждении продуктов сгорания одновременно с энергоресурсосбережением осуществляется частичная очистка газов от оксидов азота и других примесей [1, 4]. Следует отметить, что создание компактных высокооребренных поверхностей нагрева сделало экономически выгодным применение поверхностных теплообменников для охлаждения продуктов сгорания природного газа ниже точки росы.

На Самарской ТЭЦ ОАО «Волжская ТГК» установлено пять энергетических котлов типа БКЗ-420-140 НГМ, за каждым из которых установлено по два вращающихся регенеративных воздухоподогревателя типа РВП-54. Котлы БКЗ-420-140 НГМ работают под наддувом. Основным топливом является природный газ. Предложено за котлом БКЗ-420-140 НГМ Самарской ТЭЦ установить КТ поверхностного типа для нагрева исходной воды

перед подачей ее на химводоочистку и получения конденсата водяных паров из уходящих газов. Конденсат водяных паров из газов, полученный в КТ, после дегазации целесообразно использовать в качестве подпиточной воды теплосети.

Выполнен тепловой расчет конденсационного поверхностного теплообменника за котлом БКЗ-420-140 НГМ по методике, изложенной в [5, 6].

В качестве теплообменного элемента теплоутилизатора была выбрана биметаллическая трубка калорифера типа КСк, внутренний слой которой стальной, а наружный – алюминиевый с накатанным оребрением.

Исходные данные для выполнения теплового расчета КТ за котлом БКЗ-420-140 НГМ Самарской ТЭЦ: состав газообразного топлива Уренгойского месторождения; расход топлива на котел B=9,0271 м^3/с; паропроизводительность котла $D_{пе}$=420 т/ч; температура газов на входе в КТ $t'_{ух}$=120°С, на выходе из КТ $t''_{ух}$=40°С; коэффициент избытка воздуха в уходящих газах за РВП (перед КТ) $\alpha_{ух}$=1,3; температура нагреваемой воды на входе в КТ $t'_в$=5°С и на выходе из него $t''_в$=35°С; высшая теплота сгорания топлива $Q^с_в$=37,126 МДж/м^3; скорость газов в КТ 5 м/с; скорость воды в рабочих трубках теплообменника 2,5 м/с; доля перепускаемых по байпасу газов δ=0,5 (байпасным является второй газоход после котла).

В результате теплового расчета конденсационного поверхностного теплоутилизатора за энергетическим котлом БКЗ-420-140 НГМ Самарской ТЭЦ были определены объем влажных продуктов сгорания $V_г$=13,57 м^3 пр.сг./м^3 газа; расход газов через КТ $V_{ух}$=220444 м^3/ч; влагосодержание газов на входе в теплоутилизатор $X'_{ух}$=0,11514 кг/кг с.г. и на выходе из него $X''_{ух}$=0,04651 кг/кг с.г.; точка росы газов на входе в КТ $t'_{р.ух}$=54,6°С; теплопроизводительность КТ $Q_{кт}$=17,471 МВт (15022102,74 ккал/ч); расход подогреваемой воды $G_в$=490,722 т/ч; температура, влагосодержание и точка росы уходящих газов, подаваемых в дымовую трубу: $t_{ух}$=80,4°С, $X_{ух}$=0,08083 кг/кг с.г. и $t_{р.ух}$=48,9°С; повышение коэффициента использования топлива котла $\Delta\eta_к$=5,2% за счет установки КТ; расход конденсата водяных паров, выделяющегося из газов в КТ, $G_к$=15,626 т/ч; коэффициент теплопередачи $k_{кт}$=86,15 Вт/(м^2·К), при этом коэффициент теплоотдачи от дымовых газов к наружной поверхности конденсационного теплообменника $\alpha_г$=87,2 Вт/(м^2·К), а коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности трубы к нагреваемой воде $\alpha_в$=8977,12 Вт/(м^2·К); поверхность теплообмена $F_{кт}$=3600 м^2 [5, 6].

Теплопроизводительность КТ определялась по приближенной формуле И.З. Аронова [7]. Величины $X'_{ух}$ и $X''_{ух}$ определялись по приближенным формулам Л.Г. Семенюка [8].

Основой выполненных расчетов являются результаты обследований энергокотлов БКЗ-420-140 НГМ Самарской ТЭЦ и натурных испытаний конденсационного теплоутилизатора поверхностного типа, выполненного

на базе биметаллического калорифера КСк-4-11 и установленного за котлом ДЕ-10-14 ГМ ст. № 2 Ульяновской ТЭЦ-3 [9]. Произведена математическая обработка результатов натурных испытаний теплоутилизатора, получено критериальное уравнение теплообмена в условиях конденсации водяных паров из продуктов сгорания. Уравнение содержит критерий орошения, что позволяет устанавливать зависимость коэффициента теплоотдачи от плотности орошения поверхности теплообменника конденсатом водяных паров из продуктов сгорания, связанной со степенью охлаждения газов в КТ [1].

Анализ работы котла ДЕ-10-14 ГМ Ульяновской ТЭЦ-3 [9] показывает, что при номинальной паровой нагрузке 10 т/ч расход природного газа составляет 725 м^3/ч. Внедрение конденсационного поверхностного теплоутилизатора на паровом котле ст. № 2 Ульяновской ТЭЦ-3 позволило повысить коэффициент использования топлива котла в среднем на 7 – 8% и одновременно снизить содержание оксидов азота в уходящих газах на 27 – 29%. Абсолютное количество конденсата водяных паров из уходящих продуктов сгорания составило 0,462 м^3/ч (при δ=0,2) [1, 9]. Снижение содержания оксидов азота в уходящих продуктах сгорания произошло за счет их растворения в конденсате водяных паров, выделившемся из продуктов сгорания при их охлаждении ниже точки росы, равной 55,3ºС при $\alpha_{ух}$=1,25. Таким образом, конденсационный теплоутилизатор является не только теплообменником, но и в определенной степени газоуловителем. При этом степень очистки продуктов сгорания от оксидов азота повышается с увеличением количества конденсата водяных паров, выделяющегося из уходящих газов.

Произведен расчет экономической эффективности за счет установки КТ за паровым котлом БКЗ-420-140 НГМ Самарской ТЭЦ. При определении экономической эффективности учитывалась экономия тепловой энергии и химически очищенной воды (конденсата водяных паров из продуктов сгорания).

Количество теплоты при использовании конденсата водяных паров из дымовых газов в системе теплоснабжения ТЭЦ

$$Q_к = 15626 \cdot (40 - 5) \cdot 4{,}187 \cdot 0{,}278 \cdot 10^{-6} = 0{,}637 \text{ МВт.}$$

Суммарное количество утилизируемой теплоты

$$Q_с = Q_{кт} + Q_к = 17{,}471 + 0{,}637 = 18{,}108 \text{ МВт.}$$

Стоимость сэкономленной тепловой энергии

$$Э_т = Q_с e_т = 18{,}108 \cdot 608{,}71/1{,}163 = 9477{,}7 \text{ руб/ч,}$$

где $e_т$=608,71 руб/Гкал – себестоимость 1 Гкал теплоты.

Стоимость сэкономленной химически очищенной воды

$$Э_{х.в} = G_к e_{х.в} = 15{,}626 \cdot 32 = 500{,}032 \text{ руб/ч},$$

где $e_{х.в}$=32 руб/т – себестоимость 1 т химически очищенной воды.

Значения $e_т$ и $e_{х.в}$ приняты по данным ОАО «Волжская ТГК».

Экономическая эффективность за счет работы конденсационного теплоутилизатора при числе часов работы котла БКЗ-420-140 НГМ 5000 ч/год

$$Э_{кт}^{год} = (9477{,}7 + 500{,}032) \cdot 5000 \cdot 10^{-6} = 49{,}889 \text{ млн.руб/год}.$$

Результаты теплового расчета КТ и расчета экономической эффективности обобщены для котлов разной тепловой мощности ТЭС и систем теплоснабжения и представлены в таблице 1 при доле перепускаемых по байпасному газоходу уходящих продуктов сгорания δ=0,2; 0,3; 0,5.

Таблица 1. Результаты расчета экономической эффективности за счет установки КТ за котлом при его работе 5000 ч/год и доле перепускаемых по байпасному газоходу уходящих продуктов сгорания δ=0,2; 0,3; 0,5

B, м^3/с	$Q_{кт}$, МВт	$G_в$, т/ч	$G_к$, т/ч	$Q_к$, МВт	$Q_с$, МВт	$Э_т^{год}$	$Э_{х.в}^{год}$	$Э_{кт}^{год}$
						млн.руб/год		
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
δ=0,2								
0,5	1,54831	43,489	1,368	0,05573	1,60404	4,19775	0,2189	4,41665
1	3,09662	86,979	2,772	0,11293	3,20955	8,39935	0,4435	8,84285
3	9,28987	260,936	8,316	0,33879	9,62866	25,19805	1,33055	26,5286
5	15,48312	434,894	13,86	0,56465	16,04777	41,9967	2,2176	44,2143
7	21,67636	608,852	19,404	0,79051	22,46687	58,7954	3,10465	61,90005
8	24,77298	695,831	22,14	0,90197	25,67495	67,1909	3,5424	70,7333
9	27,86961	782,809	24,912	1,0149	28,88451	75,59025	3,9859	79,57615
δ=0,3								
0,5	1,35477	38,053	1,224	0,04987	1,40464	3,6759	0,19585	3,87175
1	2,70955	76,107	2,412	0,09826	2,80781	7,348	0,3859	7,7339
3	8,12864	228,319	7,272	0,29626	8,4249	22,0478	1,1635	23,2113
5	13,54773	380,532	12,132	0,49425	14,04198	36,7476	1,9411	38,6887
7	18,96682	532,745	16,956	0,69078	19,6576	51,4436	2,71295	54,15655
8	21,67636	608,852	19,404	0,79051	22,46687	58,7954	3,10465	61,90005
9	24,38591	684,958	21,816	0,88877	25,27468	66,1434	3,49055	69,63395
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
δ=0,5								
0,5	0,96769	27,181	0,864	0,0352	1,00289	2,62455	0,13825	2,7628

1	1,93539	54,362	1,728	0,0704	2,00579	5,2491	0,2765	5,5256
3	5,80617	163,085	5,184	0,21119	6,01736	15,7473	0,82945	16,57675
5	9,67695	271,809	8,64	0,35199	10,02894	26,24555	1,3824	27,62795
7	13,54773	380,532	12,132	0,49425	14,04198	36,7476	1,9411	38,6887
8	15,48312	434,894	13,86	0,56465	16,04777	41,9967	2,2176	44,2143
9	17,4185	489,256	15,588	0,63505	18,05355	47,2458	2,4941	49,7399

Анализ результатов выполненных расчетов показал, что срок окупаемости внедрения конденсационного теплоутилизатора поверхностного типа за котлом БКЗ-420-140 НГМ на Самарской ТЭЦ составляет менее 1 года [5, 6].

Список литературы:

1. Кудинов, А.А. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях [Текст]: монография / А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина. – М.: Машиностроение, 2011. – 374 с.

2. Бухонов, Д.Ю. Получение конденсата из уходящих дымовых газов при сжигании газового топлива [Текст] / Д.Ю. Бухонов, Ю.В. Борисов // Новое в российской энергетике, 2005. – № 1. – С. 42–45.

3. Кудинов, А.А. Охлаждение продуктов сгорания природного газа в конденсационных теплоутилизаторах [Текст] / А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина // Промышленная энергетика, 2010. – № 4. – С. 39–43.

4. Внуков, А.К. Повышение эффективности использования природного газа в водогрейных котлах [Текст] / А.К. Внуков, Ф.А. Розанова // Энергетик, 2013. – № 4. – С. 75–78.

5. Зиганшина, С.К. О возможности модернизации котла БКЗ-420-140 НГМ Самарской ТЭЦ [Текст] / С.К. Зиганшина // Энергетик, 2014. – № 1. – С. 60–62.

6. Зиганшина, С.К. Повышение эффективности котла БКЗ-420-140 НГМ путем охлаждения газов ниже температуры точки росы [Текст] / С.К. Зиганшина, А.А. Кудинов // Промышленная энергетика, 2014. – № 6. – С. 20–23.

7. Аронов, И.З. Контактный нагрев воды продуктами сгорания природного газа [Текст] / И.З. Аронов. – Л.: Недра, 1990. – 280 с.

8. Семенюк, Л.Г. Получение конденсата при глубоком охлаждении продуктов сгорания [Текст] / Л.Г. Семенюк // Промышленная энергетика, 1987. – № 8. – С. 47–50.

9. Кудинов, А.А. Энергосбережение в газифицированных котельных установках путем глубокого охлаждения продуктов сгорания [Текст] / А.А. Кудинов, В.А. Антонов, Ю.Н. Алексеев // Теплоэнергетика, 2000. – № 1. – С. 59–61.