УДК 621.577

ТЕПЛОВЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ГАЗООТВОДЯЩИХ ТРАКТОВ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК С ГЛУБОКИМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

Фиалко Н.М., Навродская Р.А., Шевчук С.И., Пресич Г.А., Гнедаш Г.А., Глушак О.Ю.

Институт технической теплофизики НАН Украины, Киев, Украина

АННОТАЦИЯ

Изложены результаты исследований тепловлажностного режима газоотводящих трактов котельных установок в условиях глубокого охлаждения дымовых газов. Выполнен анализ эффективности применения ряда тепловых методов предотвращения конденсатообразования в данных трактах, а именно: частичного байпасирования отходящих газов мимо теплоутилизатора, подмешивания к ним нагретого воздуха, их подсушивания путем нагревания в поверхностных теплообменниках, а также теплоизоляции дымовых труб. Установлены закономерности влияния на тепловлажностное состояние в металлической и кирпичной дымовых трубах таких определяющих параметров, как нагрузка котла, температура отходящих газов в номинальном режиме, начальная температура нагревающейся в теплоутилизаторе воды, коэффициент избытка воздуха, а также теплофизические характеристики материала теплоизоляции. По результатам сравнительного анализа эффективности указанных тепловых методов предотвращения конденсатообразования определены границы рационального применения каждого из них.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из направлений энергосбережения в коммунальной теплоэнергетике является повышение эффективности использования топлива в котлоагрегатах путем глубокого охлаждения отходящих газов и утилизации их теплоты. Важной проблемой, сдерживающей широкое внедрение технологий глубокой утилизации теплоты дымовых газов котельных установок, является выпадение конденсата в их газоотводящем тракте, приводящее к значительному сокращению срока его эксплуатации.

Наиболее негативное влияние конденсата испытывает внутренняя поверхность ствола дымовой трубы – последнего по ходу газов элемента котельной установки. Образованный на внутренней поверхности газоотводящего тракта конденсат из-за наличия в нем растворимых продуктов сгорания топлива имеет кислую реакцию и его водородный показатель pH обычно находится в пределах 4-6. Как следствие этого при конденсатообразовании на внутренней поверхности конструкций отводящих газоходов происходит их коррозионное разрушение. Таким образом, при применении современных технологий производства тепловой энергии в котельных возникает проблема защиты их газоотводящих трактов. К эффективным способам защиты данных трактов при глубоком охлаждении дымовых газов, как известно, принадлежат тепловые методы предотвращения конденсатообразования [1–4]. Среди них особо выделяются методы, связанные с изменением влажности дымовых газов после теплоутилизации (частичное байпасирование отходящих после котла газов мимо теплоутилизатора, подмешивание к этим газам воздуха, нагретого в воздухоподогревателе котла, их подсушивание в специальных теплообменниках-газоподогревателях), а также методы, отвечающие повышению температуры внутренней поверхности отводящих газоходов, например их наружная теплоизоляция.

Однако, применение указанных методов является весьма ограниченным, в большей мере из-за отсутствия специальных исследований относительно их рационального использования и анализа тепловой эффективности.

Целью настоящей работы является теплофизическое обоснование применения тепловых методов предотвращения конденсатообразования в газоотводящих трактах отопительных котлов, оснащенных системами глубокой утилизации теплоты отходящих газов.

© Фиалко Н.М., Навродская Р.А., Шевчук С.И., Пресич Г.А., Гнедаш Г.А., Глушак О.Ю.

ТЕПЛОВЫЕ МЕТОДЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КОНДЕНСАТООБРАЗОВАНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ИЗМЕНЕНИЕМ ВЛАЖНОСТИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ПОСЛЕ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИИ

Для определения эффективности указанных тепловых методов проведены широкие параметрические исследования при нормативных условиях работы отопительных котельных для двух типов дымовых труб: металлических и кирпичных.

Установлены закономерности влияния на тепловлажностный режим в дымовой трубе разных факторов: относительной нагрузки котла ($Q_к/Q_н$ = 30÷100%), температуры отходящих газов в номинальном режиме ($t_{гн}$ = 160÷200 °С); коэффициента избытка воздуха (α = 1,05÷1,6), температуры наружного воздуха в пределах отопительного сезона ($t_{нв}$ = –20÷ +10°С) и др. При этом принималось во внимание, что для предотвращения конденсатообразования темпера-тура внутренней поверхности $t_п$ газоотводящего канала вплоть до устья дымовой трубы должна превышать точку росы $t_р$ дымовых газов, $t_п > t_р$.

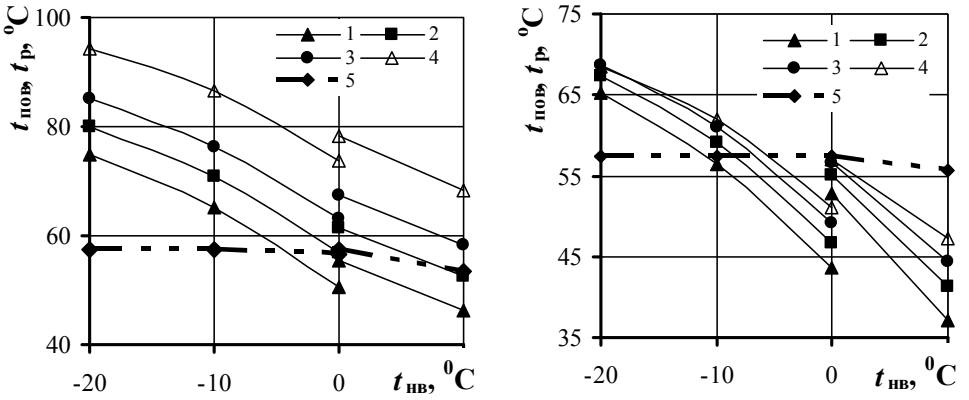
Для оценки эффективности применения методов, связанных с изменением влажности дымовых газов и требующих затрат энергии на их реализацию, использовался коэффициент γ, представляющий собой отношение тепловой мощности $Q_{зат}$, необходимой для осуществления метода, к теплопроизводительности утилизационного оборудования $Q_{ут}$

$$\gamma = Q_{зат}/Q_{ут}\cdot 100, \%. \qquad (1)$$

Рассмотрим полученные результаты исследований, касающиеся применения метода частичного байпасирования. Данный метод характеризуется повышением температуры смеси дымовых газов перед поступлением ее в газоотводящий тракт и, как следствие, величины $t_п$. При этом может происходить также и увеличение точки росы $t_р$ газовой смеси за счет смешивания дымовых газов после котла с влагосодержанием $W_к$=0,15-0,11кг/(кг сухих газов) и газов после теплоутилизатора, влагосодержание которых в определенных режимах меньше указанной величины ($W_{ту} \le W_к$). Для соблюдения условия $t_п > t_р$ необходимо, как очевидно, преимущественное возрастание температуры $t_п$ над точкой росы $t_р$.

На рис.1 (а, б) в качестве примера приведены результаты расчетов температур поверхности $t_{пов}$ в устье дымовой трубы и точки росы $t_р$ в разных режимах работы котла на протяжении отопительного периода, которые отвечают различным температурам $t_{нв}$ наружного воздуха и долям байпасирования χ для двух указанных типов дымовых труб.

Как показали полученные результаты, для предотвращения выпадения конденсата в кирпичной дымовой трубе достаточно пропускать мимо теплоутилизатора до 8,5% дымовых газов при $t_{гн}$ = 200 °С и до 11,5% газов при $t_{гн}$ = 160 °С, что соответствует значению коэффициента относительных расходов $\gamma_{байп}$ на реализацию метода байпасирования 4,1 и 6,4%. При этом значения $\gamma_{байп}$ тем больше, чем ниже температура $t_{гн}$, меньше относительная нагрузка котла $Q_к/Q_н$ и больше величина избытка воздуха α.



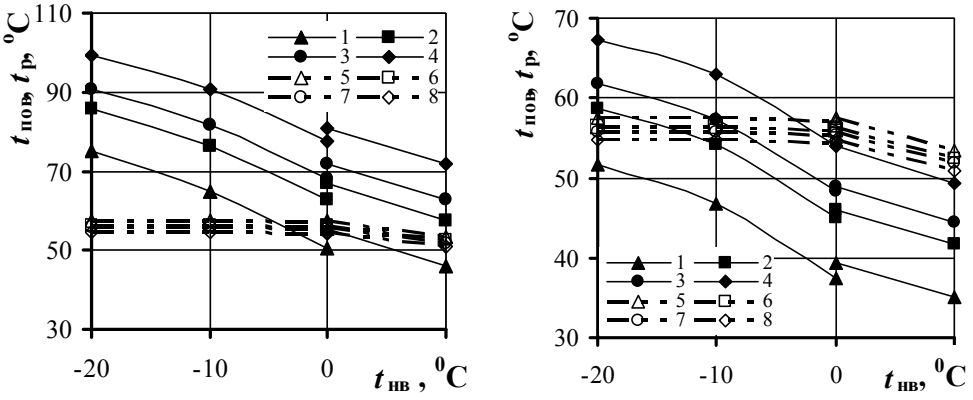
а) б)

Рис. 1. Зависимость температуры внутренней поверхности $t_{пов}$ в устье дымовой трубы (*1-4*) и точки росы $t_р$ (*5*) от температуры наружного воздуха $t_{нв}$ при применении метода частичного байпасирования дымовых газов для различных значений χ: *1* – χ = 0%; *2* – 10%; *3* – 20%; *4* – 40%; а) - кирпичная дымовая труба при $t_{гн}$ = 160°С; б) - металлическая дымовая труба при $t_{гн}$ = 200°С.

Что касается металлической дымовой трубы, то байпасирование дает положительные результаты лишь при относительно больших нагрузках котла ($Q_к/Q_н$>0,7) и высоких температурах отходящих газов в номинальном режиме ($t_{гн}$>180°С).

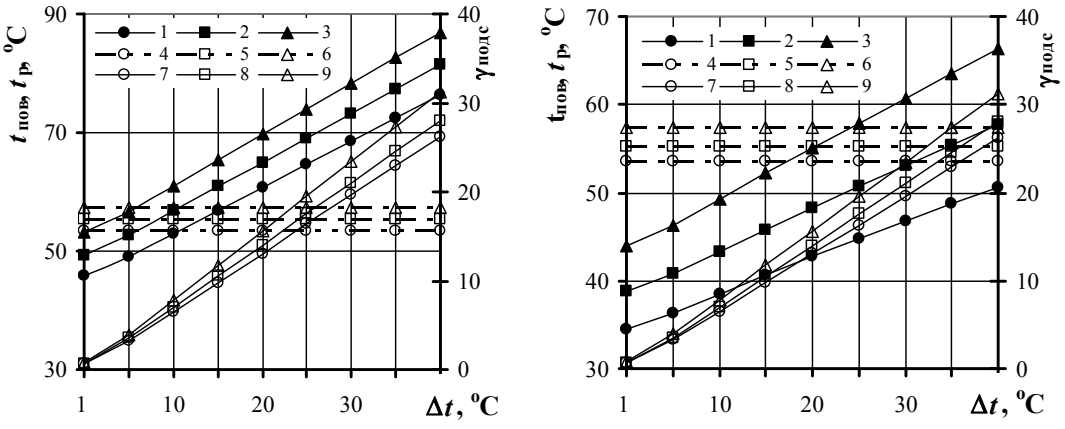
При исследовании эффективности воздушного метода проводился анализ тепловлажностного режима газоотводящего тракта при разных значениях температур подмешиваемого нагретого воздуха ($t_{гв}$ = 150 ÷ 250°С) и его доли σ в общем расходе дымовых газов. Применение данного метода, в отличие от метода байпасирования, обеспечивает не только повышение $t_п$, но и снижение точки росы газовоздушной смеси $t_р$ за счет сравнительно низких значений влагосодержания подмешиваемого воздуха ($W_в$≈0,01кг/(кг сухого воздуха).

На рис. 2 приведены характерные результаты выполненных исследований, касающиеся особенностей применения воздушного метода. Полученные данные свидетельствуют, что при $t_{гв}$ = 250ºС доля подмешиваемого воздуха не превышает 23%, а коэффициент относительных расходов $\gamma_{подм}$ на реализацию метода достигает для кирпичной дымовой трубы 7,3% и металлической – 36,1%.



а) б)

Рис. 2. Зависимость температур внутренней поверхности $t_{пов}$ в устье дымовой трубы (*1-4*) и точки росы $t_р$ (*5-8*) от температуры наружного воздуха $t_{нв}$ при $t_{гв}$ = 250 °С, $t_{гн}$ = 160 °С для воздушного метода при разных долях подмешиваемого воздуха σ: *1,5* – σ = 0%; *2,6* – 8%; *3,7* – 12%; *4,8* – 20%; а) - кирпичная; б) - металлическая дымовые трубы.



а) б)

Рис. 3. Зависимость температур внутренней поверхности $t_{пов}$ в устье дымовой трубы (*1-3*), точки росы $t_р$ (*4-6*) и также коэффициента затрат теплоты $\gamma_{подс}$ (*7-9*) от величины Δt при $t_{нв}$ =10 °С для разных значений температуры $t_{гн}$: *1,4,7* – $t_{гн}$ = 160 °С; *2,5,8* – 180 °С; *3,6,9* – 200 °С; а) - кирпичная; б) - металлическая дымовые трубы.

Проведены также исследования эффективности метода подсушивания дымовых газов, при реализации которого с целью предотвращения конденсатообразования в отводящем газоходе устанавливаются дополнительные поверхности нагрева для повышения температуры газов после теплоутилизатора на определенную величину Δt^*. При этом, за счет увеличения температуры дымовых газов повышается температура $t_п$ при постоянном значении величины $t_р$. На рис. 3 для примера приведены зависимости температуры $t_{пов}$ и $t_р$, а также коэффициента $\gamma_{подс}$ от величины Δt.

Согласно полученным данным необходимые для предотвращения конденсатообразования значения Δt^* возрастают с уменьшением температуры дымовых газов в номинальном режиме и снижением нагрузки котла. При этом для металлических дымовых труб величина Δt^* существенно больше, чем для соответствующих кирпичных дымовых труб, а величина $\gamma_{подс}$ не превышает для кирпичной дымовой трубы 6,3 % и для металлической дымовой трубы 31,1%.

Сравнительный анализ трех тепловых методов, связанных с изменением влажности газов после теплоутилизации показал, что в случае кирпичной дымовой трубы наименьшими и близкими по значениям относительными затратами теплоты γ характеризуются методы подсушивания дымовых газов и их частичного байпасирования. Для металлической дымовой трубы по величине γ наиболее эффективным является метод подсушивания, несколько меньшей эффективности отвечает воздушный метод, а реализация метода байпасирования требует слишком больших затрат теплоты, превышающих в некоторых режимах 50% утилизированной теплоты.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА МЕТОДОВ ДЛЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ДЫМОВОЙ ТРУБЫ

Для уменьшения относительных затрат теплоты на защиту металлических дымовых труб предлагается применение комплекса тепловых методов, например, подсушивания дымовых газов и наружной теплоизоляции корпуса трубы. Результаты исследований тепловлажностного режима в такой трубе при применении указанного комплекса методов представлены на рис. 4.

Анализ полученных результатов свидетельствует, что для металлической дымовой трубы применение двух указанных защитных методов может обеспечить нормативный режим работы трубы (без конденсатообразования на внутренней поверхности) при разных уровнях подогрева дымовых газов Δt^*.

Величина Δt^* зависит от температур отходящих газов $t_{гн}$, наружного воздуха $t_{нв}$, а также коэффициента теплопроводности λ используемой теплоизоляции. При этом наивысший уровень подогрева Δt_{max} = 12 °С отвечает самому теплому периоду отопительного сезона ($t_{нв} \approx 10$ °С), наименьшей из рассмотренных температур и типу изоляции с наихудшими теплоизоляционными свойствами (плиты PAROC Fire Slab 90 AluCoat, $\lambda = 0{,}065$ Вт/(м·К).

В случае применения теплоизоляционного материала – плит минераловатных Термолайф Техизол 75, $\lambda = 0{,}037$ Вт/(м·К) - для тех же условий величина Δt_{max} составляет 5 °С. При более низких температурах окружающей среды ($t_{нв} < 5$ °С) для данного типа теплоизоляции в подогреве дымовых газов вообще нет необходимости.

Применение предлагаемых тепловых методов предотвращения конденсатообразования позволит повысить ресурс эксплуатации газоотводящих трактов не менее чем на 20%.

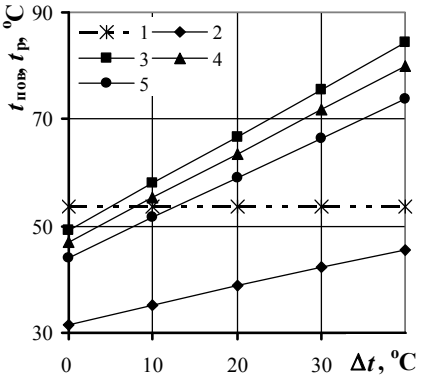


Рис. 4. Зависимость температуры внутренней поверхности $t_{пов}$ в устье металлической дымовой трубы (*2-5*) и точки росы $t_р$ (*1*) от величины Δt при температуре воздуха $t_{нв}$ = 10 °С для разных типов теплоизоляции (*3-5*) и без нее (*2*) для $t_{гн}$ = 160 °С: *3* – $\lambda = 0{,}037$ Вт/(м·К); *4* – 0,049; *5* – 0,065.

ВЫВОДЫ

- Проведен анализ эффективности применения тепловых методов предотвращения конденсатообразования в газоотводящих трактах водогрейных котлов коммунальной теплоэнергетики при использовании теплоутилизационных технологий.
- Получены данные об эффективности метода байпасирования дымовых газов в широком практиче-

ском диапазоне изменения основных определяющих параметров. Показано, что этот метод является результативным при кирпичной дымовой трубе. Для металлических дымовых труб байпасирование оказывается эффективным только при высоких уровнях температуры уходящих газов за котлом tгн в номинальном режиме ($t_{гн}$> 180 ºС) и сравнительно больших значениях нагрузки котла ($Q_к/Q_н$ > 0,7).

- Для воздушного метода выявлены закономерности изменения тепловлажностного режима в газоотводящем канале котельной в зависимости от температуры нагретого подмешиваемого воздуха и его доли в общем расходе дымовых газов. Показано, что относительные потери тепла γподм на реализацию этого метода достигают в случае кирпичной дымовой трубы 7,3%, а металлической - 36,1%
- Относительно метода подсушивания дымовых газов установлены зависимости необходимых для предотвращения конденсатообразования уровней их подогрева Δt* от режимных параметров котлов и типа дымовых труб. Определено, что максимальные относительные затраты тепла $\gamma_{подс}$ на осуществление данного метода составляют 6,3% и 31,1% соответственно для кирпичной и металлической дымовой трубы.
- Предложено и обосновано применение для металлической дымовой трубы комплекса тепловых методов, в частности, подсушивания дымовых газов и наружной теплоизоляции корпуса трубы. Установлены закономерности изменения уровня подогрева дымовых газов Δt^* от температур отходящих газов $t_{гн}$, наружного воздуха $t_{нв}$, а также типа используемой теплоизоляции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Путрик С.Б. Расчет температурно-влажностного режима газоотводящего тракта с учетом уноса из теплоутилизаторов / С.Б. Путрик, А.П. Баскаков // Промышленная энергетика. - 2006. - № 9. - С. 36-39.

   Putrik, S.B. and Baskakov, A.P. (2006), "Calculation of temperature and humidity gas exhaust ducts taking into account emission from the heat-utilizer", Promyshlennaya energetika, no.9, pp. 36-39.

2. Зайцев С.И. Реконструкция дымовых труб - гарантия надежной работы электростанций / С.И. Зайцев, С.В. Пайков, В.А. Вайсеров // Электрические станции.- 2002.- № 5. - С.60-61.

   Zaitsev, S.I., Paykov, S.V. and Vayserov, V.A. (2002), "Reconstruction of chimneys - guarantee reliable operation of power plants", Elektricheskie stantsii, no.5, pp. 60-61.

3. Фиалко Н.М. Анализ эффективности теплообменного оборудования для обеспечения отсутствия конденсатообразования в газо-отводящих трактах котельных / Фиалко Н.М., Навродская Р.А., Пресич Г.А. // Тезисы V междунар. конференции "Проблемы промышленной теплотехники". - К.: 2007. - С.171-172.

   Fialko, N.M., Navrodskaya, R.A. and Presich, G.A. (2007), "Analysis of the efficiency of heat transfer equipment to ensure that no condensation in the gas exhaust ducts of boiler plants", Problems of Industrial Heat Engineering, Proceedings of the 5th International Conference, Kyiv, 2007, pp. 171-172.

4. Шевчук С.І. Підвищення ефективності застосування теплових методів захисту газовідвідних трактів котельних установок з конденсаційними теплоутилізаторами: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.14.06 "Технічна теплофізика і промислова теплоенергетика" / С. І. Шевчук. - Київ, 2011. - 20 с

   Shevchuk S.I. (2011), "Increase of heat methods efficiency of the gas-escape paths protection at the boiler plants with condensation heat utilizers", Abstract of Cand. Sci. (Tech.) dissertation, Engineering Thermophysics and Industrial Heat Power Engineering, Kyiv, Ukraine.

© Фиалко Н.М., Навродская Р.А., Шевчук С.И., Пресич Г.А., Гнедаш Г.А., Глушак О.Ю.