

Т. В. ШЕЛЕСЕЙ**МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ГАЗОВІДВІДНИХ ТРАКТІВ КОТЛІВ ТЕС**

АНОТАЦІЯ Ерозійно-корозійні пошкодження елементів енергообладнання є однією з основних причин порушення нормальної експлуатації, а іноді і зупинка теплоенергетичного обладнання. При спалюванні газу конденсат містить розчинені оксиди вуглецю, азоту і оксиди сірки, що призводить до корозії і ерозії внутрішніх поверхонь газоходів котла. Для виконання умови відвернення утворення конденсату необхідно підвищувати температуру внутрішньої поверхні газовідвідного тракту t_n або зменшувати вологість димових газів і таким чином знижувати температуру їхньої точки роси t_p . В даній роботі наведені технологічні напрямки утилізації димових газів без конденсації водяної пари.

Ключові слова: котел, температура точки роси, температура відхідних газів, поверхні нагріву, корозія, ерозія.

T. SHELESHEY**THE METHODS USED TO PROVIDE THE RELIABILITY OF GAS BLEEDING DUCTS FOR EPP BOILERS**

ABSTRACT Erosion and corrosion damage of the elements of electric equipment is one of the main reasons for the normal operation disturbance and sometimes lockup of the thermal power equipment. The metal loss in the elements of power plants due to the erosion and corrosion wear over their entire service life exceeds 8 % of the original mass that results in the efficiency reduction. In addition, erosion and corrosion process products cause the blockage of water-steam circuit which negatively affects a reliable operation of the power equipment. The purpose of this research was to study the influence of the temperature of dew point on the reliability control. The domestic literature describes some relationships used for the definition of sulfuric acid dew point that were obtained using the dust firing technique. This method allows for the computation of temperature differences and the method showed that that temperature of sulfuric acid dew point exceeds that of the dew point of pure vapors ($t_p = 45-54$ °C). To meet a condition of the prevention of condensate formation it is necessary to increase the temperature of the internal surface of gas bleeding circuit t_n and decrease the humidity of furnace gases and thus decrease the temperature of their dew point t_p . The technological areas of the disposal of furnace gases with no water steam condensation include the heat transfer to the water in the additional heating surface; additional heat transfer to the blow air through an increase in the temperature difference due to a decrease in the temperature of entering air, and the additional heat transfer to the feed water in available heating surfaces.

Key words: boiler, dew point temperature, emitted gas temperature, heating surface, corrosion and the erosion.

Вступ

Намагання знизити температуру димових газів для підвищення ККД котлів обмежується впливом $t_{\text{відх}}$ на довговічність поверхні нагріву як конвективної шахти, так і всього газоповітряного тракту (повітропідігрівачі, газоповітропроводи, димова труба). Обмежуючим фактором зниження $t_{\text{відх}}$ являється точка роси, при якій проходить конденсація вологи димових газів. В котлах тепло-ві втрати з фізичною теплотою димових газів являються найбільш суттєвими. Нормативні значення складають 5–12 % при розрахунках по нижчій теплоті згорання палива [1].

Мета роботи

Метою даної роботи є дослідження впливу температури точки роси на забезпечення надійності газовідвідних трактів котлів.

Основний виклад матеріалу

Ерозійно-корозійні пошкодження елементів енергообладнання є однією з основних причин

порушення нормальної експлуатації, а іноді і зупинка теплоенергетичного обладнання [2]. Втрати металу елементів енергетичних установок внаслідок ерозійно-корозійного зносу за весь термін їх служби перевищує 8 % початкової маси, що веде до зниження економічності. Крім того, продукти ерозійно-корозійного процесу є причиною засмічення пароводяного тракту, що негативно позначається на надійності роботи енергетичного обладнання [3].

Визначальним фактором у всіх випадках є вид палива – вміст сірки, зольність, вміст лужних сполук в попелі, частка виносу летючої золи. Саме вони визначають температуру сірчистоокислотної точки роси, і відповідно, максимальну можливу кількість тепла, яке можна передати без конденсації водяної пари. При спалюванні газу конденсат містить розчинені оксиди вуглецю и азоту ($pH = 4-6$); при спалюванні мазуту в конденсаті розчиняються ще і оксиди сірки ($pH < 4$), що призводить до корозії і ерозії внутрішніх поверхонь газоходів котла [4].

У вітчизняній літературі є кілька залежностей для визначення сірчистоокислотної точки роси, отриманих при пиловому способі спалювання [5, 6]. У даних залежностях розраховується різниця

© Т.В. Шелесей, 2017

температур, що представляє собою перевищення температури сірчистоокислотної точки роси над температурою точки роси чистих парів ($t_p = 45\text{--}54\text{ }^\circ\text{C}$). Ця різниця температур визначається вмістом сірки і золи в паливі, а так само часткою виносу летючої золи.

Будь-які технології утилізації теплоти вимагають попереднього визначення температури точки роси при експлуатації енергоустановок, оскільки при температурах, близьких до t_p , виникає низькотемпературна корозія конвективних поверхонь нагріву, обумовлена конденсацією димових газів розчину сірчаної кислоти і водяної пари. В окремих роботах розрахована для різних палив температура відзначається на $20\text{--}50\text{ }^\circ\text{C}$ від експериментально визначених [7].

Таким чином, існує проблема розрахункового визначення точних значень. Істотна похибка розрахунку пояснюється тим, що в методиці [8] не враховуються режими горіння палива і зміна парціальних тисків компонентів суміші (при її русі в газоходах котла).

Аналіз роботи ТЕС на сірчистих вугіллях (блоки 300 МВт на вугіллі марок Г, Д з вмістом сірки до 3,5 %), показує, що кардинальним напрямком в завданні зниження втрат q_2 є зниження вмісту сірки в паливі хімічними технологіями для газу і мазуту, а для вугілля технологією магнітної сепарації вугільного пилу [9].

Без зниження вмісту сірки в вугільному пилу вирішення задачі зниження температури димових газів нижче $160\text{--}150\text{ }^\circ\text{C}$ проблематично для котлів з регенеративними підігрівниками (РВП) внаслідок проходів між листами теплообмінного набивання в пакетах РВП. В індустріально розвинутих країнах корозійні втрати становлять близько 3–4 % валового національного продукту [10].

Відома багаторічна практика захисту сталі за допомогою покриттів з портландцементу [11]. Це найбільш доступне покриття для горизонтальних ділянок газоходів. Їх стійкість пояснюється близькістю коефіцієнтів розширення сталі і покриттів.

Корозійний процес в зоні низьких температур є електрохімічним і виникає внаслідок утворення на металевій поверхні нагрівання рідкої плівки, що грає роль електроліту. Відомо, що в димових газах містяться водяні пари, парціальний тиск яких визначається якістю палива (вологістю, вмістом водню) і надлишком повітря. При зіткненні димових газів з поверхнями, що мають температуру нижче температури насичення водяної пари при їх парціальному тиску, відбувається конденсація водяної пари, тобто поява роси.

Як відомо, присутність парів сірчаної в димових газах значно підвищує точку роси. Для сірчистих палив точка роси на $(75\text{--}110)\text{ }^\circ\text{C}$ перевищує температуру конденсації водяної пари.

На точку роси впливають також деякі режимні фактори. Наприклад, експериментально встановлено, що при пилоподібному спалюванні палив точка роси залежить від вмісту горючих в віднесенні: для антрацитового штибу (АШ) при зменшенні $C_{ун}$ з 50 % до 20 % точка роси підвищувалася з 60 до $110\text{ }^\circ\text{C}$.

Охолодження газів завжди супроводжується підвищенням ризику низькотемпературної корозії холодних конвективних поверхонь нагріву котла, тому розрізняють охолодження газів до температури сірчистоокислотної точки роси t_p , $^\circ\text{C}$ і для відвернення утворення конденсату тепловологісний режим газовідвідного тракту повинен задовольняти умові

$$t_{\text{вдх}} > t_p. \quad (1)$$

В роботі [12] проведено аналіз чинників, що впливають на дотримання умови (1).

Температура внутрішньої поверхні газовідвідного тракту $t_{п}$ залежить від багатьох факторів, які в основному визначають процес теплообміну з навколишнім середовищем. Температура точки роси димових газів залежить виключно від їхньої вологості [13, 14]

$$t_p = F(X) = 16,129 \ln \frac{X10^4}{0,847\alpha + 3,67}, \quad (2)$$

де X – вологовміст в димових газах; α – коефіцієнт надлишку повітря.

Очевидно, що для виконання умови (1) необхідно підвищувати температуру внутрішньої поверхні газовідвідного тракту $t_{п}$ або, як видно з (2), зменшувати вологість димових газів і таким чином знижувати температуру їхньої точки роси t_p .

При спалюванні вугілля за методикою [8] температуру точки роси визначають за формулою

$$t_p = t_p^{\text{H}_2\text{O}} + \frac{\beta \sqrt{S_{\text{np}}^{\text{p}} \frac{\text{SO}_2^{\text{ф}}}{\text{SO}_2^{\text{max}}}}}{1,05^{\alpha_{\text{ун}} A_{\text{п}}^{\text{p}}}}, \quad (3)$$

де $\alpha_{\text{ун}}$ – вихід зольного виносу; β – емпіричний коефіцієнт; $\text{SO}_2^{\text{ф}}$ і SO_2^{max} – фактично виміряний і максимально розрахований вміст діоксиду сірки в димових газах, мг/м^3 .

Значення складно розрахувати по стехіометричному співвідношенню за умови переходу всієї сірки палива в діоксид сірки. Значення отримані за формулою (3) і термодинамічних розрахунків, виявилися близькими. Надалі, у міру накопичення експериментального матеріалу, ця формула може бути уточнена шляхом зміни значень коефіцієнта.

Зниження концентрації газоподібних сірчистих сполук у вихідних газах притаманне в більшій чи меншій мірі будь-якої технології спалю-

вання вугілля. Найбільшою мірою воно характерно для котлів з низькотемпературним спалюванням, наприклад з киплячим шаром або обладнаних млинами-вентиляторами з газової сушінням палива і прямим вдуванням пилу. При зазначених умовах експлуатації викиди змінюються від 0 до 200 мг/м³ в залежності від навантаження [15].

Можна виділити три технологічних напрямки утилізації димових газів без конденсації водяної пари: передача теплоти воді в додатковій поверхні нагрівання; передача додаткової теплоти дутьовому повітрю в наявних поверхнях нагріву шляхом підвищення температурного напору за рахунок зниження температури поступаючого в них повітря; передача додаткової теплоти живильній воді [1].

Висновки

1 Визначальним фактором у всіх випадках є вид палива. При спалюванні газу конденсат містить розчинені оксиди вуглецю і азоту ($pH = 4-6$); при спалюванні мазуту в конденсаті розчиняються ще і оксиди сірки ($pH < 4$), що призводить до корозії і ерозії внутрішніх поверхонь газоходів котла.

2 Охолодження газів завжди супроводжується підвищенням ризику низькотемпературної корозії холодних конвективних поверхонь нагріву котла, тому розрізняють охолодження газів до температури сірчистокислотної точки роси t_p , °C.

3 Для виконання умови відвернення утворення конденсату необхідно підвищувати температуру внутрішньої поверхні газовідвідного тракту $t_{п}$ або зменшувати вологість димових газів і таким чином знижувати температуру їхньої точки роси t_p .

4 Технологічні напрямки утилізації димових газів без конденсації водяної пари є: передача теплоти воді в додатковій поверхні нагрівання; передача додаткової теплоти дутьовому повітрю шляхом підвищення температурного напору за рахунок зниження температури поступаючого в них повітря; передача додаткової теплоти живильній воді в наявних поверхнях нагріву.

Список літератури

- 1 **Елсуков, В. К.** Оценка возможности утилизации теплоты уходящих газов котлов на примере сжигания канско-ачинских углей / **В. К. Елсуков** // Промышленная энергетика. – 2007. – № 11. – С. 21–27.
- 2 **Хворенков, Д. А.** К вопросу о конденсатообразовании в дымовых трубах котельных установок [Электронный ресурс] / **Д. А. Хворенков, О. И. Варфоломеева** // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. – 2005. – № 8. – Режим доступа: или URb: <http://www.c-o-k.ru>. – 03.02.2017.

- 3 **Бухаркин, Е. Н.** К вопросу обеспечения надежных условий использования экономичных котлов с конденсационными теплоутилизаторами / **Е. Н. Бухаркин** // Промышленная энергетика. – 1995. – № 7. – С. 31–34.
- 4 **Афанасьев, Ю. О.** Исследование конденсации пара из паровоздушной смеси / **Ю. О. Афанасьев, П. Т. Петрик, Н. В. Тиунова, А. С. Калмыков** // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2002. – № 3. – С. 49–52.
- 5 **Кутателадзе, С. С.** Теплопередача при конденсации и кипении / **С. С. Кутателадзе**. – Москва : Машгиз, 1952. – 233 с.
- 6 **Фиалко, Н. М.** Эффективность применения конденсационных теплоутилизаторов в системах теплоснабжения / **Н. М. Фиалко, И. З. Аронов, Р. А. Навродская, Г. А. Пресич** // Промышленная теплотехника. – 2003. – Т. 25, № 3. – С. 36–41.
- 7 **Гут, П. О.** Захист від корозії зовнішніх поверхонь нагрівання під час простоювання котлів у резерві / **П. О. Гут, М. Т. Крук, Й. С. Мисак** // Вісник Державного університету «Львівська політехніка». – 1999. – № 365. – С. 47–55.
- 8 МУ 34-70-118-84. Методические указания по предупреждению низкотемпературной коррозии поверхностей нагрева и газоходов котла. – Москва, 1986. – 12 с.
- 9 Липов Ю.М., Третьяков Ю.М. Котельные установки и парогенераторы. – Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика»; Институт компьютерных исследований, 2006. – 592 с.
- 10 Способ защиты воздухоподогревателя от коррозии : а.с. SU180284 : СССР / **Б. И. Александров, В. М. Биман, А. А. Ларичева, А. У. Липец, А. И. Прохорова** (СССР). – № 100365 ; заявл. 26.04.1965 ; опубл. 01.01.1966, Бюл. № 7.
- 11 **Fenimore, C.** Formation of nitric oxide in premixed hydrocarbon flames / **C. Fenimore** // Combustion and Flames. – 1972. – Vol. 19, No. 2. – P. 289–296.
- 12 **Сазанов, Б. В.** Теплоэнергетические системы промышленных предприятий : учеб. пособие для вузов / **Б. В. Сазанов, В. И. Ситас**. – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 304 с.
- 13 **Смирнов, И. А.** Основные направления повышения эффективности ТЭЦ в условиях рыночных отношений / **И. А. Смирнов, Л. С. Хрилев** // Теплоэнергетика. – 2004. – № 4. – С. 50–57.
- 14 **Жидович, О. В.** Охлаждение газов в дымовых трубах / **О. В. Жидович, В. Н. Альшевский, Ф. П. Дужих** // Теплоэнергетика. – 1977. – № 9. – С. 44–47.
- 15 **Безлюдный, П. П.** Определение температуры точки росы продуктов сгорания природного газа / **П. П. Безлюдный, Л. Г. Семенюк, В. Н. Николаев, М. И. Пересичный** // Известия вузов СССР. Энергетика. – 1986. – № 12. – С. 89–91.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Yelsukov, V. K.** (2007), "Evaluation of the possibility of utilization of exhaust gases heat the boilers at the example of burning Kansk-Achinsk coals", *Promyshlennaya Energetika*, No. 11, pp. 21–27.

- 2 **Hvorenkov, D. A. and Varfolomeeva, A. S.** (2005), "To the question of kondensatormii in chimneys of boilers", *Plumbing. Heating. Conditioning*, No. 8, available at: <http://www.c-o-k.ru> (accessed 3 January 2017).
- 3 **Bukharkin, E. N.** (1995), "The issue of providing safe conditions of use of fuel-efficient boilers with condensing heat exchanger", *Promyshlennaya Energetika*, No. 7, pp. 31–34.
- 4 **Afanasev, Y. A., Petrik, P. T., Tiunova, N. In. and Kalmykov, A. S.** (2002), "Study of steam condensation from steam-air mixtures", *Bulletin of the Kuzbass state technical University*, No. 3, pp. 49–52.
- 5 **Kutateladze, S. S.** (1952), *Heat transfer during condensation and boiling*, Mashgiz, Moscow, Russian.
- 6 **Fialko, N. M., Aronov, I. S., Navrotsky, R. A. and Presic, G. A.** (2003), "The efficacy of the condensing heat exchanger in heat supply systems", *Industrial heat engineering*, Vol. 25, No. 3, pp. 36–41.
- 7 **Guth, P. A., Kruk, M. T. and Misak, I. S.** (1999), "Corrosion Protection of external surfaces during idle boilers in reserve", *Bulletin of State University "Lviv Polytechnic"*, No. 365, pp. 47–55.
- 8 (1986), *MV 34-70-118-84. Guidelines for the prevention of low temperature corrosion of the heating surfaces and flues of the boiler*. Moscow, Russian.
- 9 **Lipov Y.M., Tretiyakov Y.M.** *Boiler plants and steam generators* (2006) Moscow, Izhevsk, Institute of Computer Studies.
- 10 **Aleksandrov, B., Beeman, V. M., Laricheva, A. A., Lipiec, A. U. and Prokhorova, A. I.** (1965), "Way to protect vazduhoplov-greates from corrosion", SU180284 (USSR). No. 100365, Appl. 26.04.1965, publ. 01.01.1966, bull. No. 7.
- 11 **Fenimore, C.** (1972), Formation of nitric oxide from fuel nitrogen in ethyltnt", *Combustion and Flames*, Vol. 19, No. 2, pp. 289–296.
- 12 **Sazanov, B. V. and Sitas, V. I.** (1990), *Heat power engineering systems of industrial enterprises*, Energoatomizdat, Moscow, Russian.
- 13 **Smirnov, I. A. and Khrilev, L. S.** (2004), "The Main directions of improving the efficiency of CHP in the conditions of market relations", *Thermal Engineering*, No. 4, pp. 50–57.
- 14 **Zhydovich, O. V., Alshevsky, V. N. and Dugih, F. P.** (1977), "Cooling of gases in chimneys", *Teplenergetika*, No. 9, pp. 44–47.
- 15 **Besludniy, P. P., Semeniuk, L. G., Nikolaev, V. N. and Peresichna, M. I.** (1986), "Determination of the dew point temperature of the combustion products of natural gas", *Izvestiya vuzov of the USSR. Energy*, No. 12, pp. 89–91.

Відомості про авторів (About authors)

Шелешей Тетяна Вікторівна – асистент кафедри теплоенергетичних установок теплових і атомних електростанцій, Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут»; м. Київ, Україна; e-mail: sheleshey_tanya@ukr.net.

Sheleshey Tanya – assistant, Head of the Department of Cogeneration Installations of Thermal and Nuclear Power Plants, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kiev, Ukraine.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Шелешей, Т. В. Методи забезпечення надійності газовідвідних трактив котлів ТЕС / **Т. В. Шелешей** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 11(1233). – С. 45–48. – Бібліогр.: 15 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2017.11.07.

Please cite this article as:

Sheleshey, T. (2017), "The Methods Used to Provide the Reliability of Gas Bleeding Ducts for EPP Boilers", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, No. 11(1233), pp. 45–48, ISSN 2078-774X, doi: 10.20998/2078-774X.2017.11.07.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Шелешей, Т. В. Методы обеспечения надежности газоотводящих трактов котлов ТЭС / **Т. В. Шелешей** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 11(1233). – С. 45–48. – Бібліогр.: 15 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2017.11.07.

АННОТАЦИЯ Одним из эффективных методов малозатратной модернизации ТЭС является снижение температуры отходящих газов котлов ($t_{\text{вдх}}$). Попытки снизить температуру отходящих газов для повышения КПД котлов ограничивается влиянием $t_{\text{вдх}}$ на долговечность поверхностей нагрева как конвективной шахты, так и всего газовоздушного тракта с учетом точки росы (t_p). На базе анализа эксплуатационных показателей паровых котлов типа ТГМП-314А составлено уравнение регрессии. Результаты исследований подтверждают, что наибольшее влияние на температуру дымовых газов во всем диапазоне изменения электрической нагрузки блока имеет температура питательной воды.

Ключевые слова: котел, переменный режим эксплуатации, температура отходящих газов, электрическая мощность, тепловая нагрузка, температура и расход питательной воды.

Надійшла (received) 13.02.2017