

УДК 621.181

ГУЛЕЙ А. Б., кандидат технических наук, доцент, alexander.guley@yandex.ru

Ключка Е. П., магистр

Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков

ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ НА ВЫХОДЕ ИЗ ТОПКИ ПАРОВОГО КОТЛА ТП-81 ОТ НЕРАСЧЕТНЫХ ПРИСОСОВ ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ НЕПЛОТНОСТИ В ОГРАЖДЕНИИ ТОПКИ

Статья посвящена исследованию возможности шлакования тепловых экранов на выходе из топки котельной установки (КУ), причиной которого являются нерасчетные присосы внешнего воздуха в топку, существенно превосходящие по объему нормативные.

Исследование выполнено путем математического моделирования на ПЭВМ процесса горения в топке КУ, для чего использована слоевая нелинейная трехмерная модель, в которой задается величина присосов и их локализация по поверхности топки.

Анализируя полученные зависимости температуры газов на выходе из топки КУ от характера присосов, авторы установили, что при локализации нерасчетных присосов под уровнем горелок и по мере их увеличения, температура газов на выходе из топки может существенно вырасти и достичь уровня начала шлакования. При присосах над уровнем горелок, эта температура при увеличении присосов стабильно падает. При локализации нерасчетных присосов в плоскости днища вдоль стенок топки, температура газов на выходе из топки незначительно возрастает (менее 1 % от температуры газов), по сравнению с вариантом присосов в плоскости днища по центру топки.

Авторы показали, что предложенное решение оказалось эффективным для оценки возможности шлакования тепловых экранов на выходе из топки КУ, вызванного нерасчетными присосами внешнего воздуха.

Ключевые слова: котельная установка, топка, температура, газы на выходе из топки, присосы воздуха, ограждения топки, тепловые экраны, шлакование, горение в топке, модель, слой, аппроксимация.

Стаття присвячена дослідженню можливості шлакування теплових екранів на виході з топки котельної установки (КУ), причиною якого є нерозраховані присмокоти зовнішнього повітря в топку, що істотно перевершують за обсягом нормативні.

Дослідження виконано шляхом математичного моделювання на ПЕОМ процесу горіння в топці КУ, для чого використано шарову нелінійну тривимірну модель, у якій задається величина присмокотів і їх локалізація на поверхні топки.

Аналізуючи отримані залежності температури газів на виході з топки КУ від характеру підсмоктування, автори встановили, що при локалізації нерозрахункових присмокотів під рівнем пальників і по мірі їх збільшення, температура газів на виході з топки може істотно зрости і досягнути рівня початку шлакування. При присмокотах над рівнем пальників, ця температура при збільшенні підсмоктування стабільно падає. При локалізації нерозрахункових присмокотів в площині днища уздовж стінок топки, температура газів на виході з топки незначно зростає (менше 1 % від температури газів), порівняно з варіантом підсмоктування в площині днища по центру топки.

Автори показали, що запропоноване рішення виявилось ефективним для оцінки можливості шлакування теплових екранів на виході з топки КУ, викликаного нерозрахунковими присмокотами зовнішнього повітря.

Ключові слова: котельня установка, топка, температура, газы на виході з топки, присоси повітря, огорожі топки, теплові екрани, шлакування, горіння в топці, модель, шар, апроксимація.

1. ПРИСОСЫ ВОЗДУХА В ТОПКУ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ТЕМПЕРАТУРУ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ НА ВЫХОДЕ ИЗ НЕЕ. ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ РАБОТЫ

Энергетические котельные установки (КУ) типа ТП-81 эксплуатируются на ТЭС уже более 50 лет. Столь длительные сроки эксплуатации приводят к разрушению ограждений топок и появлению в них неплотностей, через которые в случае работы топки под разрежением происходит присос внешнего воздуха в объемах, что могут значительно превосходить нормативные (расчетные). Из-за этих нерасчетных присосов суммарная величина коэффициента избытка воздуха α_T в топке возрастает, – например, для котла ТП-100 согласно [1] реальные присосы воздуха в топочную камеру в эксперименте составили величину 0,134 и оказались выше нормативных более чем в 2,5 раза. Из них на узел уплотнения горелок пришлось 54 % присосов; на щели у балок поясов жесткости 21,5 %; на под топки 9 % и на трещины в обмуровке 6,5 %.

Для топок под разрежением коэффициент $\alpha_T = \alpha_{гор} + \Delta\alpha_T$, где $\alpha_{гор}$ соответствует воздуху, который организованно поступает в топку через горелки, а $\Delta\alpha_T$ соответствует присосам холодного воздуха через неплотности в ограждениях.

При расчетах горения в топке согласно Нормативному методу [2] присосы воздуха $\Delta\alpha_T$ в негазоплотные топки (при сжигании твердых топлив) для котлов с паропроизводительностью $D > 320$ т/ч составляют 0,05. Это при условии, что состояние обмуровки и обшивки топки соответствует нормальным эксплуатационным требованиям. Здесь величина $\Delta\alpha_T$ принимается как средняя для всей поверхности топки, т. е. не учитывается реальная локализация источников присосов, хотя там же говорится о том, что большинство присосов локализуется в нижней (НРЧ) части топки.

В практике эксплуатации КУ механизмы разрушения элементов ограждений разнообразны. В любом случае, неизбежное при этом увеличение $\Delta\alpha_T$ изменяет тепловой режим топки КУ.

Величина коэффициента α_T существенно влияет на характеристики процессов горения в топке, в том числе соответственно, и на температуру Θ_T'' дымовых газов на выходе из неё. В свою очередь, Θ_T'' в решающей степени определяет возможность и интенсивность шлакования расположенных на входе в горизонтальный газоход тепловых экранов.

Об этом влиянии говорится, например, в [3], где указывается, что местные присосы в различных частях топочной камеры могут явиться причиной усиленного шлакования. В [4] показано, что увеличение α_T на 0,10 снижает бесшлаковочную мощность котла на 3%. А согласно [1], присосы в топку $\Delta\alpha_T = 0,1 - 0,2$ повышают температуру уходящих газов, соответственно, на 3 – 8 °С.

В [5] обращается внимание на то обстоятельство, что воздух присосов $\Delta\alpha_T$, который засасывается в топку через неплотности ограждений и движется в пристеночной области вблизи экранов в зоне относительно невысоких температур и на удалении от ядра факела, – в горении участвует слабо. Определяющий же вклад в горение вносит воздух $\alpha_{гор}$, поступающий в топку организованно через горелки и проникающий глубоко внутрь топочной камеры в зону факела. Поэтому при работе КУ с постоянной величиной α_T на выходе из топки, при увеличении присосов воздуха приходится, соответственно, уменьшать $\alpha_{гор}$ за счет расхода вторичного воздуха. Как следствие, локальное значение α_T падает, скорость вторичного воздуха на выходе из горелок уменьшается и ухудшается смесеобразование в топке, – все это приводит к росту физического недожога. При этом несгоревшая часть угля выносится из топки, повышая температуру теплоносителя, и

способствуя шлакованию поверхностей тепловых экранов.

На практике возможны ситуации, когда повреждения в ограждениях топки образуются непосредственно во время работы КУ, причем остановки КУ по этой причине не происходит. Тогда за счет появившихся нерасчетных присосов коэффициент α_T (заданный согласно режимным требованиям) возрастает до величины α'_T , и топка продолжает работу уже с $\alpha_T = \alpha'_T$, что изменяет температуру дымовых газов на выходе из нее. В данной ситуации, в отличие от предыдущего примера, не возникает недостатка организованного воздуха в зоне факела и, соответственно, – физического недожога.

Но и в таких случаях нерасчетные присосы могут вызывать рост температуры Θ''_T , и шлакование экранов на выходе из топки. Об этом свидетельствует шлакование ширм котла П-67 синхронно с появлением присосов воздуха через неплотности в гидрозатворе системы золошлакоудаления, что неоднократно наблюдалось на ТЭЦ-2 Эсхар (Харьков).

Следовательно, присосы воздуха через неплотности обмуровки топки могут создавать предпосылки для шлакования экранов на выходе из топки, причем интенсивность этого процесса зависит не только от величины присосов, но и от локализации их по поверхности ограждений топки.

Отсюда, для оценки потенциальной возможности шлакования экранов на выходе из топки в приведенной ситуации, необходимо исследовать влияние на температуру Θ''_T следующих факторов:

- 1) величина нерасчетных присосов воздуха;
- 2) локализация неплотностей по высоте топки (распределение выгорания топлива по высоте факела);
- 3) локализация неплотностей по поду топки или холодной воронке (распределение выгорания топлива по поперечному сечению топки в зоне НРЧ).

Поэтому в данной работе мы рассмотрели влияние факторов (1-3) на оценку величины Θ''_T путем математического моделирования процессов горения топлива в топке КУ. При моделировании технические и технологические характеристики КУ соответствуют котлу ТП-81 в номинальном режиме работы [6].

2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА В ТОПКЕ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ, УЧИТЫВАЮЩАЯ ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛО-МАССООБМЕНА И ЛОКАЛИЗАЦИЮ НЕПЛОТНОСТЕЙ ОГРАЖДЕНИЙ ТОПКИ

Температура Θ''_T дымовых газов на выходе из топки зависит от многих факторов, обусловленных техническими характеристиками оборудования КУ, свойствами топлива и режимными параметрами. Связь этих факторов с температурой Θ''_T описывается, в общем случае, многофакторной, нелинейной, неоднородной и трехмерной математической моделью. Все это делает использование аналитических решений для оценки величины Θ''_T практически невыполнимым.

Для расчета лучистого теплообмена в топке котла мы использовали вариант зонального метода, который разработан и предложен Э. С. Карасиной [7]. Метод дает возможность получить достоверные оценки Θ''_T и использовать их для моделирования на ПЭВМ процессов горения в топке при различной локализации и величине сверхнормативных нерасчетных присосов воздуха в топку.

Исходные положения зонального метода базируются на разделении топочной камеры на объемные и поверхностные зоны, в результате чего действительные непрерывные поля температуры и физических характеристик тел заменяются конечным числом ступенчато-

прерывных однородных участков, в пределах которых температура и все физические характеристики сред в топке могут быть приняты постоянными.

Число зон, в свою очередь, зависит от неоднородности полей температуры, - чем она выше, тем на большее число зон необходимо разбивать топочный объем и ограничивающие его поверхности нагрева.

Для каждой пары зон: объемная – объемная, объемная – поверхностная и поверхностная – поверхностная, вычисляются коэффициенты лучистого переноса. Исходные эмиссионные свойства топочной среды базируются на данных для продуктов сгорания основных энергетических углей СНГ [2, 8].

Для аппроксимации трехмерной пространственной модели топки КУ использован метод конечных элементов, как показано на рис. 2.1. При этом объем топки заменяется замкнутым параллелепипедом примерно такого же размера. Сам параллелепипед разбивается на блоки, соответствующие объемным и поверхностным зонам, как сказано выше. Эти блоки также имеют форму параллелепипедов, причем каждый блок, в свою очередь, разбивается на несколько кубов одинаковых размеров. Это позволяет применить вычисленные согласно [7]. коэффициенты лучистого переноса между парами: куб - куб, квадрат - квадрат, куб - квадрат.

Для каждой объемной и поверхностной зоны записывается уравнение теплового баланса. В уравнение для объемной зоны кроме членов, определяющих ее теплообмен излучением со всеми остальными зонами, входят также члены, учитывающие тепловыделение от сгорания топлива и от изменения энтальпии газов. Результирующая система нелинейных балансовых уравнений, число которых равно сумме объемных и поверхностных зон, решается каким-либо численным итерационным методом.

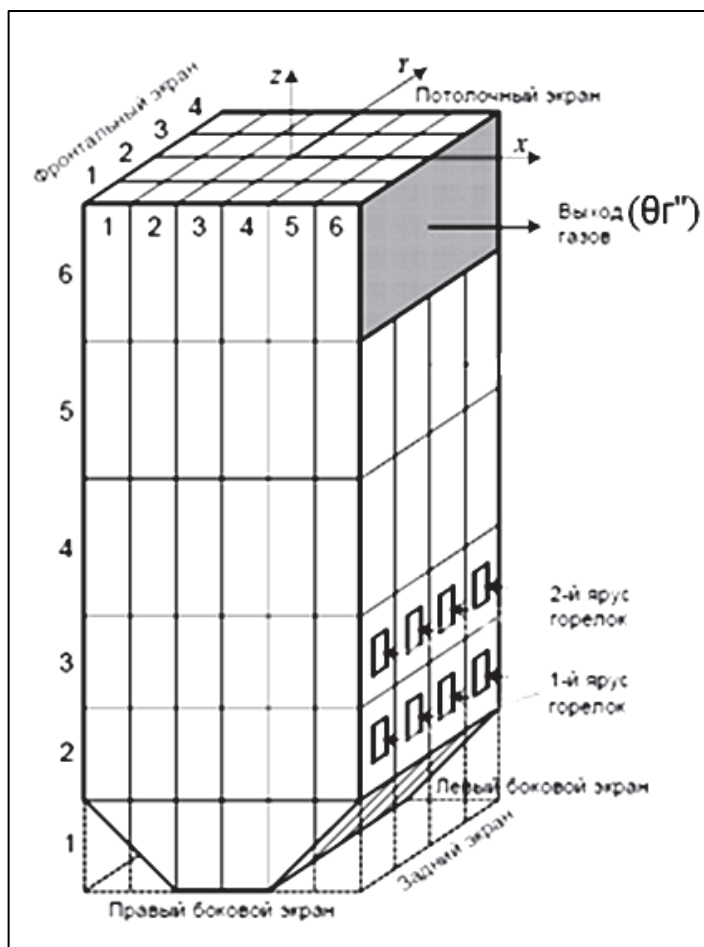


Рис. 2.1. Схема пространственной аппроксимации объема топки (общий случай)

2.1 Конструктивные и технологические характеристики котла ТП-81, необходимые для математического моделирования его работы

Паровой котел ТП-81 – котел с естественной циркуляцией, без промежуточного перегрева пара. Компоновка котла выполнена по П-образной схеме. Топка открытая, призматическая. Горелки вихревые, установлены встречно в один ярус. Топочная камера размещена в восходящем газоходе. Шлакоудаление – твердое.

Топливо – Назаровский бурый уголь марки Т. Температура $t_{2\text{шл}} = 1220$ °С.

Расчет теплового баланса котла выполнен согласно Нормативному методу [2]. Исходные данные для расчета топки имеют следующие значения: паропроизводительность котла 105 кг/с (378 т/ч); давление первичного пара 13,8 МПа; температура первичного пара 565 °С; температура питательной воды 230 °С; температура горячего воздуха 400 °С; коэффициент избытка воздуха на выходе из топки $\alpha_T = 1,15$; коэффициент полезного действия (брутто) 91 %; расчетный расход топлива 25,1 кг/с. Низшая теплота сгорания $Q_n^p = 12450$ кДж/кг.

3. ПРОГРАММА ТРЕХМЕРНОГО ЗОНАЛЬНОГО РАСЧЕТА ТЕПЛООБМЕНА В ТОПКАХ ПЫЛЕУГОЛЬНЫХ КОТЛОВ. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Зональный метод лучистого теплообмена в топках КУ реализован в вычислительной программе Е. А. Бойко «Furnace» [9], которая предназначена для использования при конструировании, наладке и эксплуатации топок котельных агрегатов. Программа позволяет выполнить расчет температур продуктов сгорания по зонам, включая зону газового окна, температура которого и равна искомой Θ''_T .

В программе применена методика серо-селективной аппроксимации эмиссионных свойств продуктов сгорания [7, 8]. По известному элементарному составу топлива, задаваемому коэффициенту избытка воздуха α_T и рекомендуемым значениям технологических параметров, программа вычисляет величины коэффициентов лучистого переноса и поглощения, которые вводятся в дальнейший расчет.

Разбивка геометрической модели топки на блоки производится с учетом размещения горелок и соотношения габаритных размеров. Размер ребра куба вычисляется из условия равенства поверхности стен модели и истинной поверхности нагрева топки.

Результирующая система нелинейных балансовых уравнений, число которых равно сумме объемных и поверхностных зон, решается методом Ньютона–Рафсона и требует трех - шести итераций.

В программе используется также «изотермическая проверка»: сравнение степени черноты объема, полученной суммированием тепла излучения от всех объемных зон при одинаковой температуре в них, со степенью черноты, рассчитанной по эффективной толщине газового слоя. Расхождение не должно быть более 10 %, но обычно оно не превышает 5 %.

Для горелок предусмотрены удобные формы ввода исходных данных: по распределению подаваемого в топку воздуха, выгоранию топлива и движению газов. Эти распределения при встречном расположении горелок приняты двумерными (Y×Z): по глубине и высоте топки. Распределение воздуха задается пользователем.

При отсутствии у пользователя надежных данных по выгоранию и аэродинамике в инструкции к программе [9] даются указания по их выбору. Рекомендации по распределению выгорания основаны на обобщении имеющихся опытных данных и на результатах расчетов выгорания, выполненных во ВТИ для ряда топок. Они задаются в известных пределах.

Рекомендации по распределению аксиальных массовых скоростей в каждом горизонтальном слое основаны на обобщении имеющихся опытных данных и даются в

известных пределах. Расчет горизонтального движения газов в области горелок заложен в программу.

Исходные данные, необходимые для моделирования влияния нерасчетных присосов на величину Θ''_{Γ} , для нашего случая приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Исходные данные, необходимые для расчета варианта программы «FURNACE»

1	Фракционный состав золы, мкм	16,6	4	Распределение выгорания топлива по высоте	$Z = 3, \phi = 0,9;$ $Z = 4, \phi = 0,07;$ $Z = 5, \phi = 0,02;$ $Z = 6, \phi = 0,01$
2	Поглощательная способность стен топки	0,75	5	Степень загрязнения поверхностей нагрева	3,5
3	Распределение вводимого в топку воздуха	0,2; 0,4; 0,4	6	Количество блоков и кубов в объеме топки $X \times Y \times Z$	$6 \times 6 \times 12$ (432) $6 \times 1 \times 6 \times 2 \times 12 \times 2$ (1728)

Координаты нерасчетных присосов в продольном сечении задаются по высоте топки значениями величины Z . В этом случае, как показано на рис. 3.1, предполагается, что нерасчетные присосы попадают в топку через полосу шириной, равной ребру куба и длиной, равной периметру поперечного сечения топки. Через поверхность этой полосы и происходит присос воздуха, который задает суммарную величину α_T .

В поперечном сечении координаты нерасчетных присосов задаются значениями X и Y (при $Z = 1$), как показано на рис. 3.1. Предполагается, что нерасчетные присосы попадают в топку через полосу шириной, равной двум ребрам куба и длиной, равной ширине топки.

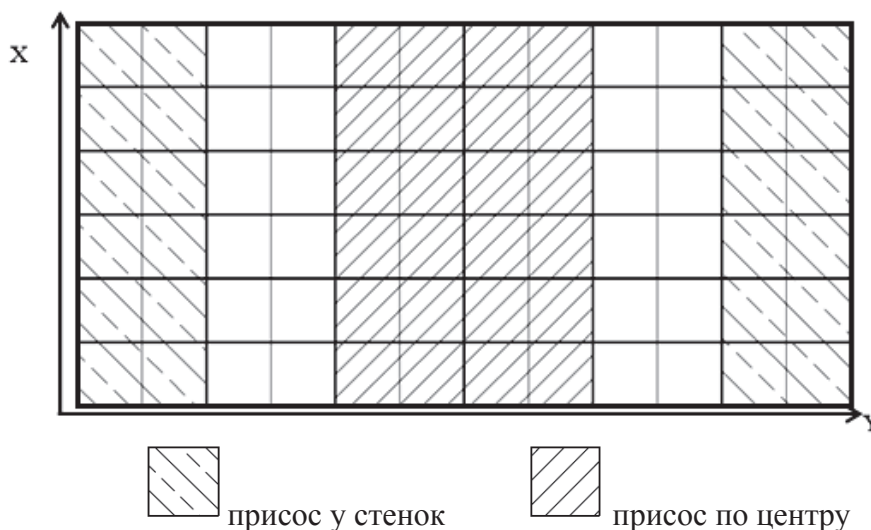


Рис. 3.1. Локализация неплотностей в поперечном сечении топки, через которые в топку могут поступать нерасчетные присосы

Программа «FURNACE» использована нами для решения поставленной задачи на примере котла ТП-81. Сама программа взята из Internet, где она находится в свободном доступе. Работоспособность программы оценена путем решения тестовых задач.

4. ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРЫ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ НА ВЫХОДЕ ИЗ ТОПКИ КОТЛА ТП-81 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЛОКАЛИЗАЦИИ НЕПЛОТНОСТЕЙ

ОБМУРОВКИ И ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ВЕЛИЧИНЕ НЕРАСЧЕТНЫХ ПРИСОСОВ ВОЗДУХА

Локализация нерасчетных присосов (неплотностей в обмуровке топки) задана для двух вариантов исследования номерами блоков по высоте топки – слои $Z = 1$ и $Z = 7$. Вариант $Z = 1$ соответствует локализации присосов под уровнем горелок, $Z = 7$ соответствует локализации присосов над уровнем горелок (над факелом).

Газовое окно включает блоки на уровне слоев $Z = 11$ и $Z = 12$, расположенные по всей ширине топки ($Y = 1-6$). Температуры газов в этих блоках соответствуют локальным температурам дымовых газов на выходе из топки.

Локализация неплотностей в поперечном сечении $X \times Y$ (слой $Z = 1$) задается через распределение нерасчетных присосов воздуха в сечении (рис. 4.1) для двух вариантов: 100% присоса вдоль стенок топки ($X = 1,6$; $Y = 1 - 6$) или 100 % присоса по центру топки ($X = 3, 4$; $Y = 1 - 6$).

Присосы на уровне $Z = 7$ и выше, в плоскости $X \times Y$ локализованы вдоль стен топки (100 %).

Структура факела задана распределением степени выгорания ϕ топлива по его длине (номер Z блока) согласно рекомендациям [10]:

$$Z = 3 (\phi = 0,9); Z = 4 (\phi = 0,07); Z = 5 (\phi = 0,02); Z = 6 (\phi = 0,01).$$

В исследовании принято, что α_T изменяется за счет нерасчетных присосов и принимает ряд следующих значений:

$$\alpha_T = 1,15; \alpha_T = 1,20; \alpha_T = 1,25; \alpha_T = 1,30; \alpha_T = 1,35; \alpha_T = 1,40; \alpha_T = 1,45.$$

4.1 Результаты оценки температур дымовых газов на выходе из топки и факела горящего топлива для заданных режимов работы и вариантов локализации неплотностей топки котла ТП-81

Результаты оценки температур Θ''_T для всех вариантов распределения нерасчетных присосов воздуха и принятых величин α_T , приведены в таблицах 4.1 – 4.3 и на рис. 4.1 – 4.4. Эти результаты соответствуют максимальной локальной температуре газа в газовом окне и средней температуре газа по всему газовому окну.

Таблица 4. 1

Температуры газов на выходе из топки и максимальные температуры факела при локализация нерасчетных присосов в слое $Z = 7$ (выше горелок)

α_T	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45
$\Theta''_{T \max}, ^\circ\text{C}$	1204	1192	1181	1168	1155	1142	1125
$\Theta''_{T \text{ средн}}, ^\circ\text{C}$	1116	1108	1100	1091	1082	1072	1062
$t_{\phi \max}, ^\circ\text{C}$	1669	1654	1648	1643	1638	1635	1631

Таблица 4.2

Температуры газов на выходе из топки и максимальные температуры факела при локализация нерасчетных присосов в слое $Z = 1$ (ниже горелок). В плоскости $X \times Y$ локализация нерасчетных присосов по центру холодной воронки (100 %).

α_T	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45
$\Theta''_{T \max}, ^\circ\text{C}$	1204	1212	1219	1225	1231	1236	1241
$\Theta''_{T \text{ средн}}, ^\circ\text{C}$	1116	1125	1133	1141	1148	1154	1160
$t_{\phi \max}, ^\circ\text{C}$	1669	1649	1637	1627	1616	1607	1596

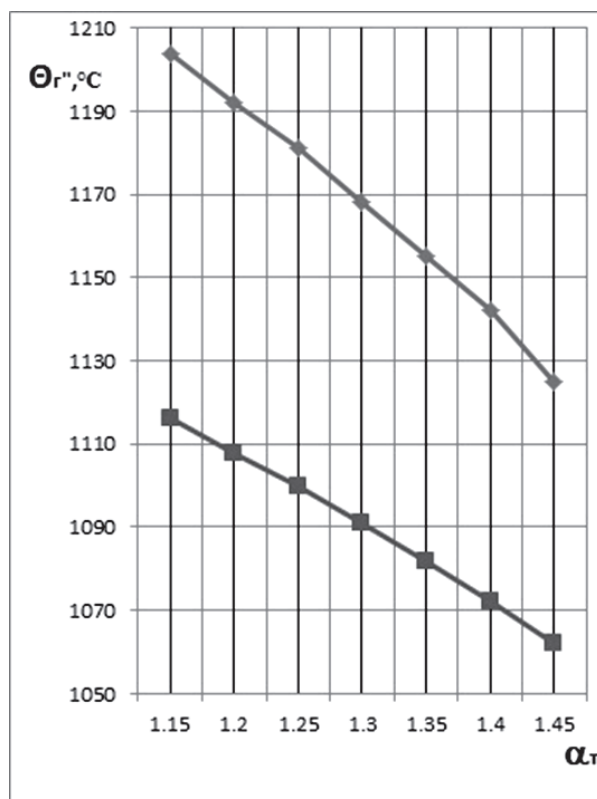


Рис. 4.1 Температуры газов на выходе из топки при локализация нерасчетных присосов в слое $Z = 7$ (выше горелок): \blacksquare Θ_{Γ}'' средняя; \blacklozenge Θ_{Γ}'' максимальная

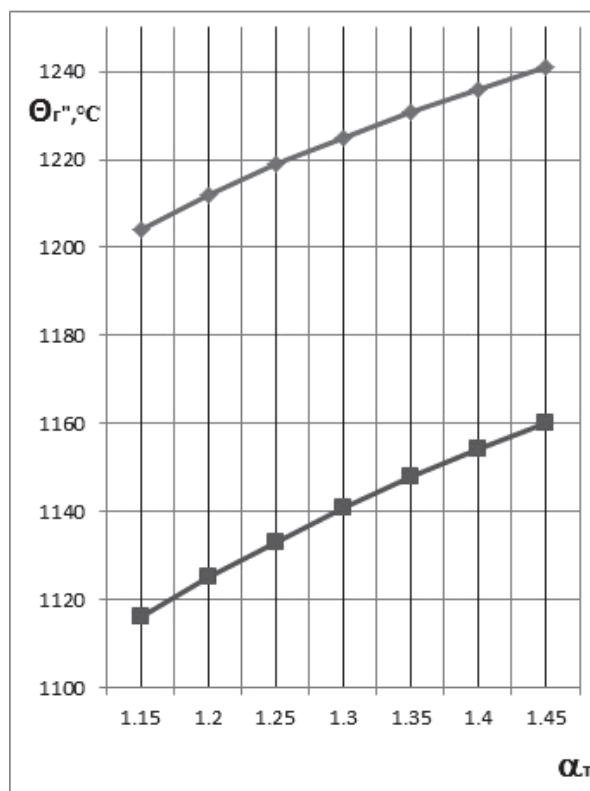


Рис. 4.2 Температуры газов на выходе из топки при локализация нерасчетных присосов в слое $Z = 1$ (ниже горелок). В плоскости $X \times Y$ локализация нерасчетных присосов по центру холодной воронки (100 %). \blacksquare Θ_{Γ}'' средняя; \blacklozenge Θ_{Γ}'' максимальная

Таблица 4.3

Температуры газов на выходе из топки (слой $Z = 11$) при локализация нерасчетных присосов ниже горелок в слое $Z = 1$ по центру холодной воронки (100 %) или вдоль стен топки (100 %).

α_T	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45
$\Theta''_{Г \max}$ центр, °C	1204	1212	1219	1225	1231	1236	1241
$\Theta''_{Г \max}$ стенка, °C	1204	1213	1221	1229	1236	1241	1246

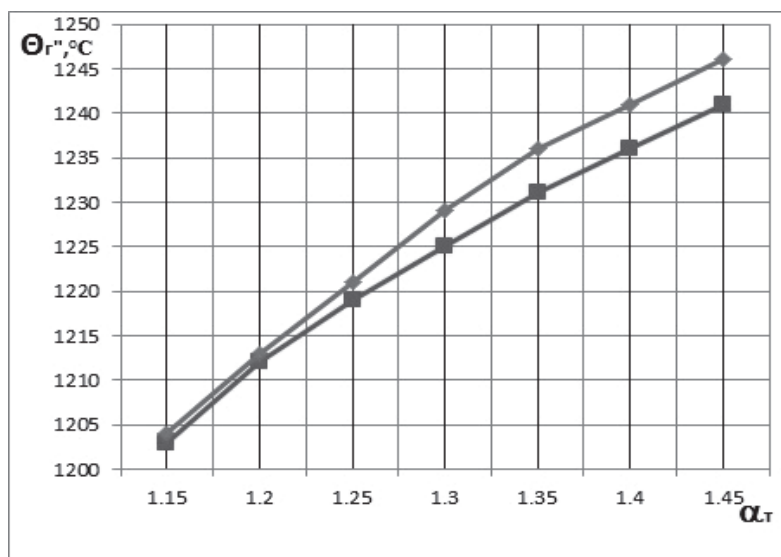


Рис. 4.3 Температуры газов на выходе из топки при локализации нерасчетных присосов по центру холодной воронки (100%) или вдоль стен топки (100%).

Все данные для слоя $Z = 1$ (ниже горелок). %). \blacksquare $\Theta''_{Г \max}$ максимальная, присосы по центру; \blacktriangle $\Theta''_{Г \max}$ максимальная, присосы вдоль стен

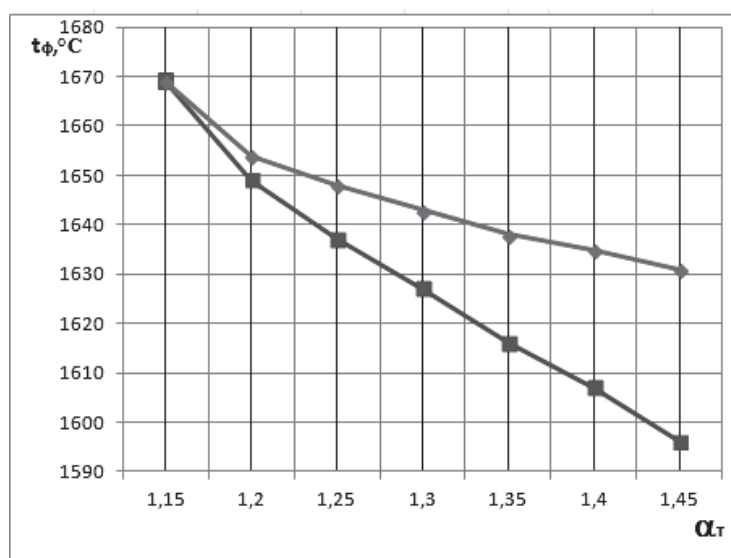


Рис. 4.4 Температура факела горящего топлива при локализация нерасчетных присосов в слое $Z = 1$ (ниже горелок) или в слое $Z = 7$ (выше горелок). \blacksquare t_{\max} факела, присосы выше горелок; \blacktriangle t_{\max} факела, присосы ниже горелок

На рис. 4.5 показаны температуры газов в блоках, образующих газовое окно (плоскость $Z \times Y$) в слоях $Z = 11$ и 12 для случая $\alpha_T = 1,20$ и при локализации непредусмотренных присосов в слое $Z = 1$.

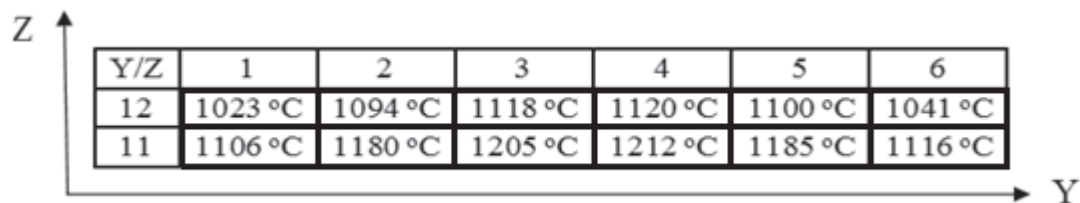


Рис 4.5. Распределение температур газов в блоках газового окна (слои $Z = 11$ и 12) при $\alpha_T = 1,20$ и при локализации непредусмотренных присосов в слое $Z = 1$ (ниже горелок)

Из полученных результатов следует, что температура Θ_G'' газов на выходе из топки существенно зависит как от локализации нерасчетных присосов по высоте топки, так и от величины самих присосов.

Прежде всего, здесь следует отметить противоположный характер изменения Θ_G'' в зависимости от локализации присосов по отношению к уровню горелок. В случае изменения α_T от 1,15 до 1,45 при локализации присосов выше уровня факела, температура Θ_G'' падает на 54 °C. Для этих же условий, но при локализации присосов под уровнем горелок, температура Θ_G'' возрастает на 44 °C (при локализации присосов в плоскости $X \times Y$ - по центру холодной воронки).

Разность температур между максимальной и минимальной температурами блоков газового окна составляет 189 °C (на уровне $\Theta_{G \max}'' = 1210$ °C).

Для вариантов локализация нерасчетных присосов в плоскости $X \times Y$ ($Z=1$) при изменении α_T от 1,15 до 1,45, температура Θ_G'' в случае присосов вдоль стенок топки (передней и задней) незначительно возрастает (до 5 °C) по сравнению с величиной этой температуры в случае присосов по центру топки.

При изменении α_T от 1,15 до 1,45 максимальная температура $t_{\phi \max}$ факела горящего топлива при локализации нерасчетных присосов над уровнем факела падает на 38 °C. При локализации присосов ниже уровня горелок температура $t_{\phi \max}$ падает на 73 °C.

Для всех приведенных вариантов локализации присосов и значений α_T характер изменения Θ_G'' и $t_{\phi \max}$ для средних и максимальных их значений практически одинаков.

Выводы

В работе исследовано влияние нерасчетных присосов воздуха в топку КУ на характеристики горения в топке: температуру факела и температуру газов на выходе из топки. Исследование выполнено путем моделирования на ПЭВМ процесса горения бурого угля марки Т в топке котла ТП-81. Математическая модель горения основана на варианте зонального метода, который разработан для расчета лучистого теплообмена в топке котла.

В результате можно сделать следующие выводы:

1) Зависимость температуры Θ_G'' от величины нерасчетных присосов воздуха в топку и их локализации существенна. При этом характер зависимости определяется локализацией присосов по высоте топки относительно уровня горелок: при присосах ниже уровня горелок Θ_G'' растет (при увеличении α_T от 1,15 до 1,45 этот рост равен 44 °C). В случае локализации

присосов выше уровня горелок Θ_{Γ}'' падает (при увеличении α_{Γ} от 1,15 до 1,45 это падение равно 54 °С).

2) При изменения локализации присосов воздуха в плоскости пода топки, происходит сравнительно небольшое изменение роста Θ_{Γ}'' . В случае присосов вдоль стен топки прирост Θ_{Γ}'' по сравнению со случаем присосов по центру топки не превышает 5 °С на общем уровне прироста 44 °С (при увеличении α_{Γ} от 1,15 до 1,45).

3) В случае локализации присосов воздуха ниже или выше уровня горелок (при увеличении α_{Γ} от 1,15 до 1,45) происходит охлаждение зоны ядра факела. При этом при локализации присосов ниже уровня горелок снижение температуры факела существенно больше (73 °С), чем при локализации присосов выше этого уровня (38 °С).

4) В случае возникновения неподвижных неплотностей в ограждениях топки КУ и при попадании через них в нижнюю радиационную часть (НРЧ) топки дополнительного холодного воздуха присосов, происходит балластирование этим воздухом зоны ядра факела. В результате снижается температура факела, что приводит к перераспределению выгорания топлива в зоне горелок, догорание топлива происходит в зоне, расположенной дальше от ядра факела и выше уровня горелок. При этом длина факела возрастает, и он распространяется в верхнюю часть топки ближе к газовому окну. В свою очередь, за счет снижения средней температуры факела уменьшается его радиационный теплообмен с экранами топки.

Также в соответствии с данными [10], при высокой степени неизотермичности в поперечном сечении топочной камеры на уровне горелок, более холодные пристеночные слои топочных газов, имеющие повышенную поглощательную способность, могут при определенных условиях экранировать излучение центральных, более горячих зон факела. Абсолютная величина этого эффекта зависит от ряда факторов (в основном от размеров топки), и может меняться в относительно широких пределах. В результате уменьшается плотность потока излучения, падающего на экраны, что снижает интенсивность теплообмена в топке.

Суммарное действие всех этих процессов приводит к увеличению температуры Θ_{Γ}'' , в том числе, и к повышению ее до уровня температуры «начала размягчения золы» $t_{2\text{шл}}$.

5) Для нашего варианта расчета характерна высокая неравномерность температуры газа в газовом окне, максимальный градиент которой достигает 190 °С при $\alpha_{\Gamma} = 1,3$ (при локализации присосов в слое $Z = 1$), причем средняя величина Θ_{Γ}'' равна 1140 °С. Для центральных блоков, расположенных в слое $Z = 11$, максимальная температура газа Θ_{Γ}'' при этом достигает величины 1225 °С (при $t_{2\text{шл}} = 1220$ °С), что приведет к шлакованию поверхностей теплообмена, расположенных в горизонтальном газоходе на выходе из топки.

6) Из полученных результатов следует, что в число мероприятий по предупреждению шлакования поверхностей теплообмена, расположенных в горизонтальном газоходе на выходе из топки, следует включить контроль состояния ограждений топки в НРЧ с целью недопущения образования неплотностей в них.

Список литературы

1. Влияние неплотности ограждения на работу котла. Ограждения паровых котлов [Электронный ресурс] / Режим доступа к журн.: // <http://msd.com.ua/.../vliyanie-neplotnosti-ograzhdeniya-na-rabotu-kotla>.

2. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). Издание 3-е, переработанное и дополненное. Издательство НПО ЦКТИ, СПб, 1998.

3. Пособие для изучения правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. Раздел 4 Тепломеханическое оборудование электростанций и тепловых сетей Часть 1 / М. издание ЦПТИ ОРГРЭС 2004.
4. Голубцов В. А. Эксплуатация котельных установок электростанций. Учеб. пособие для энергетич. вузов. / В. А. Голубцов, П. П. Елизаров. М. – Л.: Госэнергоиздат, 1950. – 612 с.
5. Соколов Б. А. Котельные установки и их эксплуатация: учебник для нач. проф. образования /Б. А. Соколов. – 2-е изд., испр. – М.: Издательский центр "Академия". 2007. – 432 с.
6. Современные котельные агрегаты ТКЗ. / М. В. Мейкляр. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1978. – 223 с.
7. Карасина Э. С. Алгоритм и программа зонального расчета теплообмена в топочных камерах паровых котлов/ Э. С. Карасина, З. Х. Шраго, Т. С. Александрова, С. Е. Боревский // Теплоэнергетика. М., 1982. – № 7. – С. 42–50.
8. Карасина Э. С. Коэффициент поглощения лучей пылевоздушным потоком / Э. С. Карасина, А. Ю. Антонов, А. А. Абрютин // Теплоэнергетика, 1987. – № 1. – С. 25–30.
9. Бойко Е. А. Программа трехмерного зонального метода расчета теплообмена в топочных камерах паровых котлов. Руководство пользователя. [Электронный ресурс]/ Е. А. Бойко//Режим доступа к журн.:// <http://enek.ru>.
10. Блох А. Г. Теплообмен в топках паровых котлов / А. Г. Блох. Л. Энергоатомиздат. Ленингр. отделение. – 1984. – 240 с.

ASSESSMENT OF DEPENDENCE OF TEMPERATURE OF EXIT COMBUSTION GASES OF THE TP-81 STEAM BOILER FURNACE ON NON-NOMINAL AIR INFLOW THROUGH LEAKY FURNACE CAGE

GULEI A. B., Candidate of Engineering, Associate Professor,
alexander.guley@yandex.ru
 KLYUCHKA E. P., The master

The paper investigates the possibility of heat shields slagging at the outlet of the furnace of the boiler plant (BP) caused by off-design inflows of external air into the furnace that are significantly greater in volume than those provided by the design.

The study was performed by means of mathematical computer modeling of combustion process in the BP furnace, for which purpose the layered nonlinear three-dimensional model that sets the amount of inflow and their localization on the surface of the furnace was used.

When analyzing the dependence of the gas temperature at the outlet of the BP furnace on the character of air inflows, the authors found that the localization non-nominal air inflows below the level of burners and as they grow bigger, the gas temperature at the outlet of the furnace can grow significantly and reach the level of the beginning of slagging. When air inflows occur on the level above burners, with the increase of these air inflows the temperature declines steadily. When air inflows are located in the bottom plane along the walls of the furnace, the gas temperature at the furnace outlet increases slightly (less than 1% of the gas temperature) as compared with the situation of air inflows in the bottom plane at the center of the furnace.

The authors showed that the proposed solution has proven to be effective for assessment of the possibility of heat shields slagging at the outlet of the BP furnace caused by non-nominal external air inflows.

Key words: boiler plant, furnace, temperature, exit gases, air inflow, furnace cage, heat shield, slagging, combustion in the furnace, model, layer, approximation.

1. "Influence of leaky cage on boiler operation. Steam boiler cages" ["Vliyanie neplotnosti ograzhdeniya na rabotu kotla. Ograzhdeniya parovykh kotlov], available at: <http://msd.com.ua/.../vliyanie-neplochnosti-ograzhdeniya-na-rabotu-kotla>.

2. Boiler thermal design (Normative method). 3-rd edition, revised and enlarged. [Teplovoy

raschet kotlov (Normativny metod). Izdanie 3-e, pererabotannoe i dopolnennoe] (1998), NPO TsKTI, St. Petersburg.

3. "Thermal and mechanical equipment of power stations and heating networks. Part 1", *Russian Federation electric stations operating and maintenance rules textbook. Section 4.* ["Teplomekhanicheskoe oborudovanie elektrostantsiy i teplovykh setey. Chast 1", Posoboie dlya izucheniya pravil tekhnicheskoy ekspluatatsii elektricheskikh stantsiy i setey Rossiyskoy Federatsii. Razdel 4.] (1998), TsPTI ORGRES, Moscow.

4. Golubtsov, V.A., Elizrov, P.P. (1950), Operation of boiler plants of electric power stations. Textbook for energy colleges [Ekspluatatsiya kotelnykh ustanovok elektrostantsiy. Uchebnoye posobie dlya energeticheskikh vuzov], Gosenergoizdat, Moscow - Leningrad, 612 p.

5. Sokolov, B. A. (2007), Boiler plants and their operation. Text book for elementary vocational education. 3-rd edition, corrected [Kotelnye ustanovki i ikh ekspluatatsiya. Uchebnik dlya nach. prof. obrazovaniya. 2-e izd., ispr.], Publishing Center "Akademiya", Moscow, 432 p.

6. Meykyar, M. V. (1978), Modern boiler units TKZ. 3-rd edition, revised and enlarged [Sovremennye kotelnye agregaty TKZ. 3-e izd., pererab. i dop.], Energiya, Moscow, 223 p.

7. Karasina, E. S., Shrago, Z. Kh., Aleksandrova, T. S., Borevskiy, S. E. (1982), "Algorithm and program of zonal calculation of heat exchange in chambers of steam boilers" ["Algoritm i programma rascheta teploobmena v topochnykh kamerakh parovykh kotlov"], *Teploenergetika*, Moscow, No. 7, P. 42–50

8. Karasina, E. S., Antonov, A. Yu., Abryutin, A. A. (1987), "Dust and air flow ray absorption index" ["Koeffitsient pogloshcheniya luchey pylevozdushnym potokom"], *Teploenergetika*, No. 1, P. 25–30.

9. Boyko, E. A, "Program of three-dimensional zonal method of calculation of heat exchange in furnace chambers of steam boilers. User's Manual" ["Programma trekhmernogo zonalnogo metoda rascheta teploobmena v topochnykh kamerakh parovykh kotlov. Rukovodstvo polzovatelya], available at: <http://enek.ru>.

10. Blokh A.G. (1984), Heat exchange in steam boilers [Teploobmen v topkakh parovykh kotlov], Energoatomizdat (Leningrad Branch), Leningrad, 240 p.

Поступила в редакцию 19.02 2014 г.

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «ЕНЕРГОІНВЕСТПРОЕКТ»

НАДАЄ НАСТУПНІ ПОСЛУГИ ПРИ ВИКОНАННІ БУДІВЕЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ
ЗГІДНО ЛІЦЕНЗІЇ АВ № 195710, ВИДАНОЇ МІНІСТЕРСТВОМ БУДІВНИЦТВА,
АРХІТЕКТУРИ ТА ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ,
НАКАЗ № 53-Л:

ПРОЕКТНІ РОБОТИ:

- АРХІТЕКТУРНЕ ТА БУДІВЕЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ.
- ПРОЕКТУВАННЯ ВНУТРІШНІХ ТА ЗОВНІШНІХ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ,
СИСТЕМ І СПОРУД
- РОЗРОБЛЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ РОЗДІЛІВ ПРОЕКТІВ.

ЗВЕДЕННЯ НЕСУЧИХ ТА ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД, БУДІВНИЦТВО ТА МОНТАЖ ІНЖЕНЕРНИХ І ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ:

- МОНТАЖ ЗОВНІШНІХ ТА ВНУТРІШНІХ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ, ПРИЛАДІВ ТА
СИСТЕМ.
- ЗАХИСТ КОНСТРУКЦІЙ, УСТАТКУВАННЯ ТА МЕРЕЖ.

ЗАПРОШУЄМО ДО СПІВПРАЦІ З НАМИ!

НАША АДРЕСА:

вул. Сумська, 17, кв. 11, м. Харків, 61057, Україна,
тел./факс +38 (057)750-51-96, E-mail: energoipro@rambler.ru