

УДК 621.18.045:662.951.2

Кучин Г.П.<sup>1</sup>, Пикашов В.С.<sup>2</sup>,  
Скрипко В.Я.<sup>1</sup>, Быкорез Е.И.<sup>1</sup><sup>1</sup>Институт технической теплофизики НАН Украины<sup>2</sup>Институт газа НАН Украины

## К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОПОГЛОЩАЮЩЕГО АНТИКОРРОЗИОННОГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЭКРАННЫХ ТРУБ ТОПОК КОТЛОВ

Наведено результати досліджень, спрямованих на інтенсифікацію теплообміну у топках котлів шляхом штучного підвищення поглинальної здатності верхні екранних труб.

Приводятся результаты исследований, направленных на интенсификацию теплообмена в топках котлов путём искусственного повышения поглотательной способности поверхности экранных труб.

In this article, results are presented of our investigations directed to the intensification of heat exchange in boiler furnaces by artificial rising the absorptive power of water-wall tube surface.

$a$  – поглотательная способность;  
 $q$  – плотность теплового потока;  
 $T$  – температура;  
 $\Delta T$  – разность температур;  
 $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи;  
 $\delta$  – толщина;  
 $\varepsilon_{\text{г}}$  – степень черноты газов;  
 $\eta$  – КПД котла;  
 $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;  
 $\sigma_{\text{в}}$  – коэффициент, определяемый степенью черноты газов  $\varepsilon_{\text{г}}$ , поглотательной способностью чистой стальной трубы  $a_{\text{ст}}$  и угловыми коэффициентами между объемом продуктов сгорания, огнеупорными поверхностями и экранными трубами.

### Индексы нижние:

$г$  – газ;  
 $ст$  – стенка стальной трубы;  
 $пок$  – теплопоглощающее покрытие;  
 $р$  – радиационный тепловой поток;  
 $в$  – направление теплового потока от стенки к воде;  
 $эф$  – эффективная температура продуктов сгорания в топке;  
 $н$  – наружная поверхность.

### Индексы верхние:

' – наружная поверхность стенки трубы;  
 '' – внутренняя поверхность стенки трубы.

Основным требованием при конструировании и эксплуатации водогрейных и паровых котлов является минимальные удельные расходы топлива или максимальный КПД. Это достигается хорошей изоляцией котлов, химической и механической полнотой сгорания, снижением температуры уходящих газов. При эффективной изоляции и одинаковой полноте сжигания топлива понижение температуры уходящих газов, а следовательно, и повышение КПД котла связано с развитием поверхностей нагрева топки и конвективной части или с интенсификацией теплообмена между продуктами сгорания и поверхно-

стями нагрева. Второй путь более эффективен, так как снижает металлоёмкость котла и удешевляет капитальные затраты.

Ниже приводятся исследования, направленные на интенсификацию теплообмена в топках котлов путём искусственного повышения поглотательной способности поверхности экранных труб [1].

Как известно, основной вид переноса теплоты в топке котла – радиационный. Теплота передаётся радиацией от высокотемпературных полупрозрачных продуктов сгорания, находящихся в объёме топки, к экранным поверхностям нагре-

ва. Плотность результирующего теплового радиационного потока от продуктов сгорания, усвоенного стальными трубами топочного объёма, определяется из уравнения

$$q = \sigma_{\text{в}} (T_{\text{эф}}^4 - T_{\text{ст}}^4) . \quad (1)$$

Для анализа влияния поглощательной способности поверхности экранных труб на процесс теплообмена в топке выделяем  $a_{\text{ст}}$  из  $\sigma_{\text{в}}$  в уравнении (1). Учитывая также, что  $T_{\text{эф}}^4 \geq T_{\text{ст}}^4$ , уравнение (1) с достаточной для практических целей точностью можно записать:

$$q'_{\text{п}} = \sigma_{\text{г}} T_{\text{эф}}^4 , \quad (2)$$

где  $\sigma_{\text{в}} = a_{\text{ст}} \sigma_{\text{г}}$ .

Плотности тепловых потоков: переданного через стенку трубы (теплопроводностью) к переданному конвекцией от стенки теплоносителю (вода) равны:

$$q'_{\text{в}} = \frac{\lambda_{\text{ст}}}{\delta_{\text{ст}}} (T'_{\text{ст.н}} - T''_{\text{ст}}) , \quad (3)$$

или

$$q'_{\text{в}} = \alpha_{\text{в}} (T''_{\text{ст}} - T_{\text{в}}) ; \quad (4)$$

$$q'_{\text{в}} = \frac{1}{\frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{ст}}}} (T'_{\text{ст.н}} - T_{\text{в}}) . \quad (5)$$

Учитывая, что в реальных условиях  $\frac{\sigma_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} \geq \frac{1}{\alpha_{\text{в}}}$  последним в расчётах можно пренебречь, тогда и формула (5) упростится:

$$q'_{\text{в}} = \frac{1}{\frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}}} (T'_{\text{ст.н}} - T_{\text{в}}) . \quad (6)$$

В случае нанесения на трубы покрытия с высокой поглощательной способностью  $a_{\text{пок}}$  с толщиной  $\delta_{\text{пок}}$  и теплопроводностью  $\lambda_{\text{пок}}$  уравнения (2) и (6) запишутся следующим образом:

$$q'_{\text{п}} = a_{\text{пок}} \sigma_{\text{г}} T_{\text{эф}}^4 , \quad (7)$$

$$q'_{\text{в}} = \frac{1}{\frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_{\text{пок}}}{\lambda_{\text{пок}}}} (T_{\text{пок}} - T_{\text{в}}) . \quad (8)$$

Поскольку тепловой поток, поглощенный трубами от излучения топочных газов, равен потоку, усвоенному водой, то из (2), (6) и (7), (8) получим:

$$q' = q'_{\text{п}} = q'_{\text{в}} = a_{\text{ст}} \sigma_{\text{г}} T_{\text{эф}}^4 = \frac{1}{\frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}}} \Delta T'_{\text{ст}} , \quad (9)$$

$$q'' = q''_{\text{п}} = q''_{\text{в}} = a_{\text{пок}} \sigma_{\text{г}} T_{\text{эф}}^4 = \frac{1}{\frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_{\text{пок}}}{\lambda_{\text{пок}}}} (\Delta T_{\text{пок}} + \Delta T''_{\text{ст}}) , \quad (10)$$

где  $\Delta T'_{\text{ст}} = T'_{\text{ст.пок}} - T_{\text{в}}$ ;  $\Delta T_{\text{пок}} = T_{\text{пок}} - T'_{\text{ст.пок}}$ .

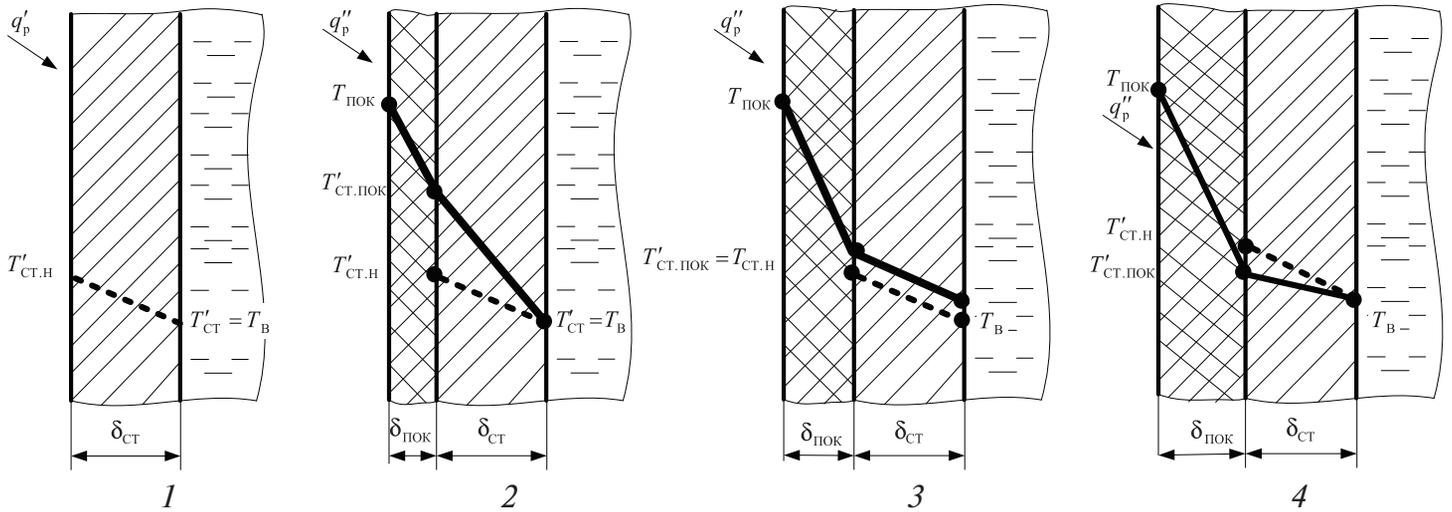
Для того чтобы получить положительный эффект от применения покрытия с высокой поглощательной способностью, необходимо выполнение условия

$$q'' > q' , \quad (11)$$

или, как следует из формул (9), (10) и (11),

$$a_{\text{пок}} / a_{\text{ст}} > \frac{\Delta T_{\text{пок}} + \Delta T'_{\text{ст}}}{\Delta T''_{\text{ст}} \left( 1 + \frac{\delta_{\text{пок}}}{\lambda_{\text{пок}}} \right) / \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}}} . \quad (12)$$

Из анализа формул (9), (10) и (11) видно, что нанесенное покрытие с большей поглощательной способностью, чем у исходной поверхности, по разному может влиять на радиационный тепловой поток. Слой покрытия на стальной поверхности увеличивает суммарное термическое сопротивление и тем самым снижает эффект от увеличения поглощательной способности, причём, чем больше толщина покрытия и меньше коэффициент теплопроводности, тем сильнее снижение эффективности. При определенных соотношениях параметров нанесенное покрытие может уменьшить воспринятый тепловой поток по сравнению с исходной поверхностью, поэтому при разработке покрытия необходимо стремиться к тому, чтобы оно имело максимальную поглощательную способность и минимальное термическое сопротивление, т.е. максимальный



**Рис. 1. Распределение температур в стенке экранной трубы при различном соотношении параметров  $a_{ст}, a_{пок}, \delta_{пок}, \lambda_{пок}$  (1 – без покрытия; 2,3,4 – с покрытием)**  
 ————— — перепад температур по толщине стенки и покрытия;  
 - - - - - — начальный перепад температур.

коэффициент теплопроводности и минимальную рабочую толщину.

На рис. 1 представлена графическая интерпретация распределения температур по толщине стенки при различных вариантах, которые могут встретиться на практике. Если соблюдается условие (12), то в случае использования покрытия перепад температур по толщине стальной стенки под покрытием  $\Delta T_{ст}$  будет выше, чем у такой же стенки без покрытия, т.е.

$$T_{ст.пок} - T_B > T'_{ст.н} - T_B \quad (13)$$

Для случая, когда  $\Delta T_{ст}$  не изменяется при нанесении покрытия,

$$T_{ст.пок} - T_B = T'_{ст.н} - T_B \quad (14)$$

и обе части в формуле (12) равны, усвоенный тепловой поток не изменится (нулевой эффект), рис. 1. При знаке неравенства в (12) в противоположную сторону – эффект будет отрицательным и  $\Delta T_{ст}$  понизится по сравнению с первоначальным значением, т.е.

$$T_{ст.пок} - T_B < T'_{ст.н} - T_B \quad (15)$$

На рис. 2 приведена расчетная зависимость величины КПД котла от толщины покрытия экранных труб. При проведении расчетов прини-

малось, что поглощательная способность покрытия  $a_{пок} = 0,98$ . Как видно из рис. 2, с увеличением толщины покрытия от 0 до 0,38 мм КПД котла возрастает от 0,82 до 0,847, а затем при дальнейшем увеличении толщины покрытия до 2 мм составляет 0,838.

Необходимо отметить, что в существующих котлах обычные стальные трубы не защищены от коррозии. Можно предположить, что стальные трубы, покрытые слоем окалины или ржавчины, хотя и имеют поглощательную способность более высокую, чем у неокисленной стальной поверхности, однако при определенной толщине этого слоя возникает отрицательный эффект, который может сильнее сказываться со временем при увеличении толщины слоя ржавчины. К тому же из-за коррозии уменьшается срок службы котла. Поэтому покрытие должно защищать трубы котла от коррозии, быть достаточно теплостойким при температурах работы труб котла, иметь хорошую адгезию, влагостойкость, механическую прочность.

Эффективность использования теплопоглощающего покрытия проверена на действующих котлах ПТВМ-30 и НИИСТУ-5. Покрытия изготавливались на основе пентофталиевого лака или кремнесернистого лака. В состав пигментов покрытия входили газовая канальная сажа КТО-250, окись железа с размером частиц 10...63 мкм, алю-

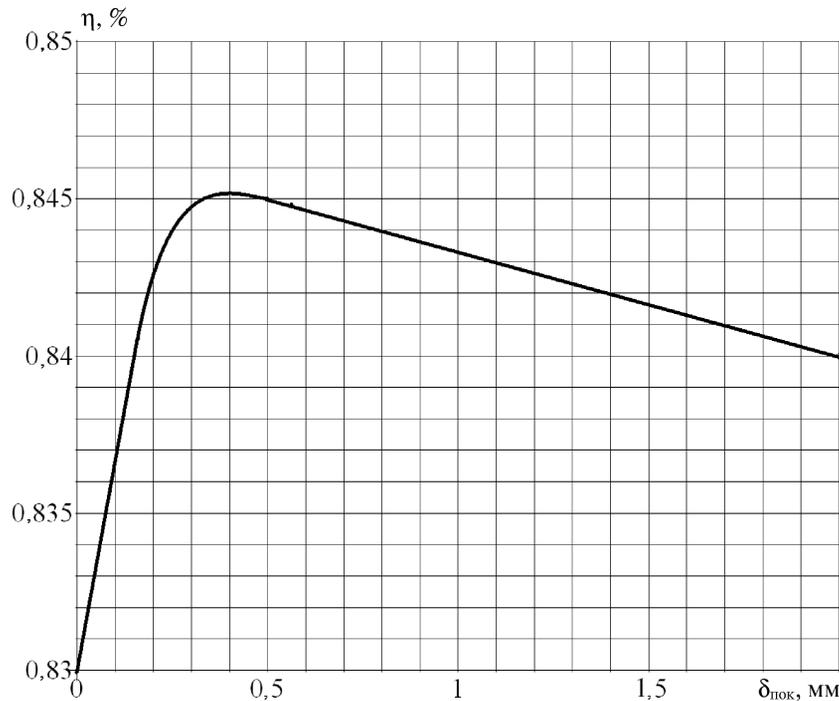


Рис. 2. Зависимость  $\eta$  котла НИИСТУ-5 от толщины покрытия  $\delta_{\text{пок}}$  стальных труб при  $a_{\text{пок}} = 0,98$ .

миниевая пудра марки ПАП-1. Пигменты и связующие смешивались до получения однородной массы и наносились на экранную поверхность труб котла. Через 24 часа покрытие было готово к эксплуатации.

### Выводы

1. Проведен анализ оптимальности геометрии и состава поглощающего покрытия в условиях высокотемпературного прогрева экранных труб топок котлов, что позволило применить и испытать в эксплуатации трубы с

покрытием в действующих котлах ПТВМ-30 и НИИСТУ-5.

2. Испытания показали увеличение КПД котлов от применения покрытия на 1 и 1,8% соответственно.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Власюк А.В. Підвищення ефективності використання палива в опалюваль-них котлах малої теплопродуктивності та бітумних агрегатах: Дис. канд.техн.наук: – К.: – 2002. – 172 с.

Получено 07.07.2008 г.