

УДК 541.182

С.В. Звягин  
(S.V. Zvyagin)  
УГЛТУ, Екатеринбург  
(USFEU, Ekaterinburg)

**ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ТОПКЕ С КИПЯЩИМ СЛОЕМ  
(THE STUDY OF HEAT TRANSFER IN THE FURNACE  
OF THE FLUIDIZED BED)**

*Изучался теплообмен в кипящем слое с трубным пучком. Исследования позволяют оптимизировать расположение труб в топках котельных установок с кипящим слоем и улучшить теплообмен между кипящим слоем и трубным пучком для нагрева воды.*

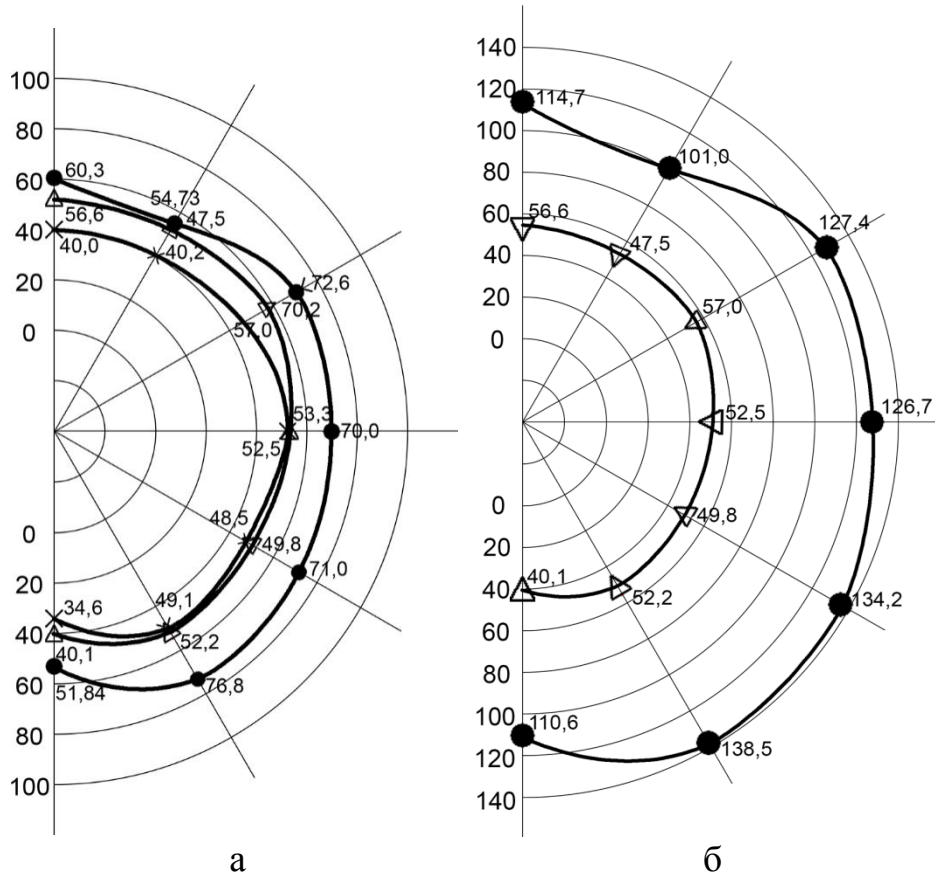
*Heat transfer in a fluidized bed with pipe bundle studied. Studies allow to optimize location of pipes in furnace boiled installations with fluidized bed and improve the heat exchange between the fluidized bed and pipe bundle for water heating.*

Теплообмен между кипящим слоем и пучком горизонтальных труб исследовался на установке прямоугольного сечения размером 280x340x850 мм. Воздух подавался снизу через перфорированную решетку. Расход воздуха на установку измерялся расходомером. Высота плотного слоя над решеткой составляла 300 мм. Пучок горизонтальных труб диаметром 32 мм располагался в слое в шахматном порядке. Относительный горизонтальный шаг пучка – 1–6 и вертикальный шаг – 2–4. Датчик-калориметр заменял одну из труб решетки и мог помещаться в различные зоны пучка. Тепловой поток калориметра регулировался изменением величины тока встроенного в калориметр нагревателя. Температуры кипящего слоя и поверхности калориметра измерялись термопарами.

Пучок труб, помещенных в кипящий слой, создает около себя гидродинамическую обстановку, отличающуюся от обстановки в объеме слоя. Поэтому теплообмен зависит от размеров трубного пучка и расположения трубы в слое.

Рассмотрим изменение коэффициента теплоотдачи по периметру цилиндрической трубы, полученное экспериментально для частиц корунда 1 мм при различных скоростях псевдооживления (рисунок, а).

С ростом скорости псевдооживления повышаются средние по периметру цилиндра коэффициенты теплоотдачи. В любой области цилиндра из-за значительного времени контакта поверхности с чисто газовой фазой слоя уровни коэффициентов теплоотдачи получаются ниже средних по периметру цилиндра. Рост скорости на теплообмен в лобовой области практически не влияет.



Распределение коэффициента теплоотдачи по периметру цилиндрической трубы:  
 а —  $\bullet$  —  $\omega = 0,89$  м/с,  $\alpha_{cp} = 71$  Вт/м<sup>2</sup>·К;  $\Delta$  —  $\omega = 0,80$  м/с,  $\alpha_{cp} = 56$  Вт/м<sup>2</sup>·К;  
 $\times$  —  $\omega = 0,73$  м/с,  $\alpha_{cp} = 53$  Вт/м<sup>2</sup>·К; б — число псевдооживления  $W = 2$ ,  
 размер частиц  $\bullet$  — корунд 0,5 мм;  $\Delta$  — корунд 1,0 мм

В боковой области цилиндрической трубы интенсивность теплоотдачи возрастает и продолжает повышаться по мере увеличения скорости псевдооживления. Этому способствуют вырывающиеся из-под цилиндрической трубы пузыри, обеспечивающие хорошее перемешивание материала. Но при развитом режиме кипения в области экватора цилиндрической трубы возрастает порозность слоя, что сдерживает дальнейший рост коэффициента теплоотдачи.

Максимальное значение локального коэффициента теплоотдачи всегда находится в области интенсивного опускного движения материала по поверхности цилиндрической трубы, поступающего на место материала, вытесненного пузырями. С ростом скорости псевдооживления перемешивание материала в кормовой области улучшается за счет увеличившихся в размерах пузырей. Это способствует увеличению теплоотдачи от кормы цилиндра и улучшает равномерность теплообмена по периметру трубы.

Увеличение размера частиц слоя с 0,5 до 1,0 мм приводит к понижению уровня локального коэффициента теплоотдачи. Это происходит за счет уменьшения вклада кондуктивной составляющей. Диаметр пузырей в слое стал больше, это привело к улучшению перемешивания материала и

интенсификации теплообмена в кормовой области цилиндра. Существенно улучшается равномерность теплоотдачи по периметру трубы (рисунок, б).

Основным фактором улучшения равномерности теплообмена по периметру цилиндра является увеличение скорости псевдооживления. Улучшения равномерности можно добиться, изменяя гидродинамику омывания цилиндра слоем таким образом, чтобы обеспечить сбрасывание «шапки» материала в кормовой и разрушение газовой полости в лобовых областях цилиндра.

Исследование показало, что увеличение скорости псевдооживления, слабо влияя на коэффициент теплоотдачи в лобовой и боковой областях, ведет к значительной интенсификации теплообмена в кормовой области цилиндра. Разница между максимальным и минимальным значениями локального коэффициента теплоотдачи уменьшается за счет увеличения минимального значения коэффициента теплоотдачи.

С уменьшением диаметра погружаемого в слой горизонтального цилиндра чаще сбрасывается с него «шапка» малоподвижного материала, а газовая полость под цилиндром меньше по времени соприкасается с поверхностью. В результате уменьшается разница между максимальными значениями коэффициентов теплоотдачи, наблюдающимися в боковой области, и величиной коэффициентов теплоотдачи в лобовой и особенно в кормовой областях цилиндра.

Полученные экспериментальные данные локального теплообмена между кипящем слоем и нагреваемой трубой позволяют выбрать оптимальное расположение трубных пучков в топках котельных установок для сжигания древесного топлива к кипящему слою.