

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 541.182

С.В. Звягин
(S.V. Zviagin)
(УГЛТУ, Екатеринбург)
(USFEU, Yekaterinburg)

ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ КИПЯЩИМ СЛОЕМ И ТРУБНЫМ ПУЧКОМ (STUDYING OF HEAT EXCHANGE BETWEEN THE FLUIDIZED BED AND PIPE BUNCH)

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 exchange 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 heating water.

Топки с кипящим слоем, в котором размещены трубные пучки, используются в котельных установках при сжигании древесных отходов, опилок, коры, торфа. Частицы топлива при этом находятся во взвешенном (кипящем) состоянии. Масса сжигаемого топлива обычно составляет небольшую долю от общей массы слоя. Основная масса слоя – инертный материал или зола [1]. Интенсивное перемешивание в кипящем слое обеспечивает постоянство температуры по всему объёму топки [2], что улучшает интенсивность теплообмена по сравнению со слоевой топкой, сжигающей древесные отходы [3].

Для нахождения локальных по окружности цилиндра коэффициентов теплообмена α_β использовался метод, разработанный Г.Н. Кружилиным, по которому экспериментально определяются температурные условия на границе тела. Из решения уравнения Лапласа, находится температурное поле внутри тела.

В общем случае стационарного теплообмена коэффициент теплоотдачи от стенки к кипящему слою:

$$\alpha = \frac{\lambda}{t_c - t_{\text{кк}}} \left(\frac{dT}{dn} \right)_n, \quad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности стенки, по поверхности которой определяется α ; $\left(\frac{dT}{dn} \right)_n$ – температурный градиент по нормали к внешней поверхности; t_c , $t_{\text{кк}}$ – температура поверхности и температура кипящего слоя, соответственно.

Таким образом, определение коэффициента теплоотдачи (1) сводится к определению температурного поля и замеру температуры стенки t_c в данной точке поверхности.

Температурное поле определяется из уравнения Лапласа, которое для цилиндрической стенки имеет вид:

$$\frac{d^2T}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dT}{dr} = 0. \quad (2)$$

Уравнение (2) рассчитывается для цилиндрического калориметра с внутренним радиусом r_1 , наружным r_2 и постоянным коэффициентом теплопроводности λ .

Исследования теплообмена в кипящем слое с пучком горизонтальных труб проводилось на установке прямоугольного сечения размером 280×340×850 мм, выполненной из оргстекла. Воздух с температурой 25...35 °С подавался снизу через перфорированную решетку. Расход воздуха на установку измерялся расходомером. Материалом слоя служили частицы угля размером (1...6) мм, а также корунд размером 0,5 мм. Высота плотного слоя над решеткой (288...300) мм. В слой помещался пучок горизонтальных труб диаметром 32 мм, расположенных в шахматном порядке. Датчик-калориметр служил одной из труб решетки и мог помещаться в различные зоны пучка. Элементы насадки могли образовывать как коридорный, так и шахматный пучки. Общая величина теплового потока калориметра, а, следовательно, и уровень температур могли регулироваться изменением величины тока встроенного в калориметр нагревателя.

Температура наружной и внутренней поверхностей датчика-калориметра и температура кипящего слоя измерялась хромоалюминиевыми термомпарами.

Труба, помещенная в кипящий слой, создает около себя гидродинамическую обстановку, отличную от обстановки в объеме слоя, поэтому распределение локальных коэффициентов теплоотдачи по поверхности трубы оказывается неравномерным.

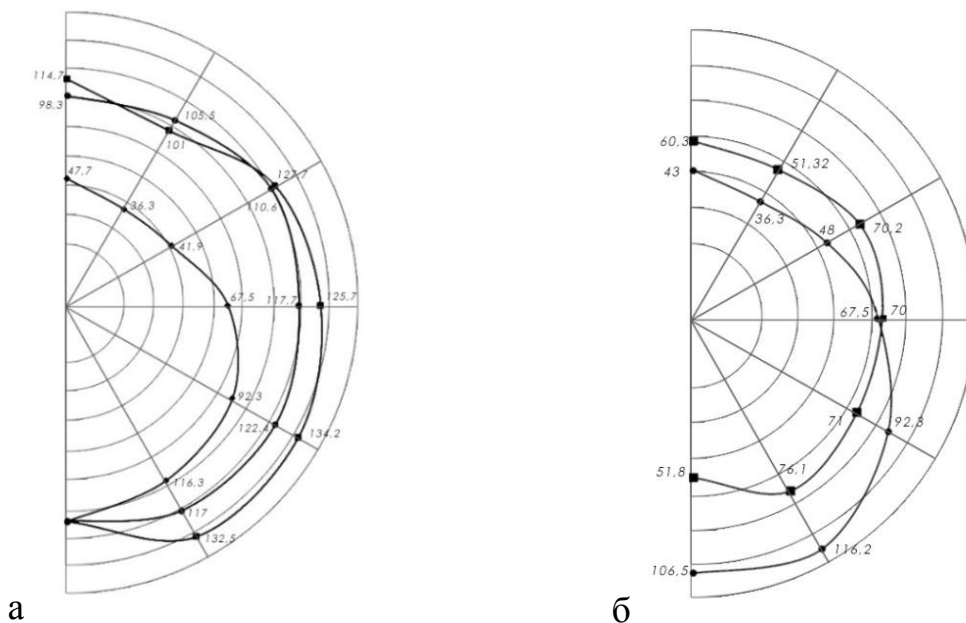
С ростом скорости псевдоожижения ω повышаются средние по периметру цилиндра коэффициенты теплоотдачи (рисунок, а).

Максимальное значение локального коэффициента теплоотдачи находится в области интенсивного опускного движения материала.

Увеличение размера частиц слоя с 0,5 мм до 1,0 мм приводит к уменьшению локального коэффициента теплоотдачи. Равномерность теплоотдачи по периметру цилиндрической трубы улучшается (рисунок, б).

Из приведенного анализа видно, что основным фактором улучшения равномерности теплообмена по периметру цилиндра является увеличение скорости псевдооживления. Для этого следует интенсифицировать теплообмен в лобовой и, особенно, в кормовой областях цилиндра. С увеличением скорости псевдооживления возрастает уровень средних по периметру коэффициентов теплоотдачи, но равномерность теплообмена улучшается слабо. В слое частиц большего размера равномерность выше, но при этом понижается уровень средних значений коэффициентов теплоотдачи.

С уменьшением диаметра погружаемого в слой горизонтального цилиндра уменьшается разница между максимальными значениями коэффициентов теплоотдачи, наблюдающимися в боковой области, и величиной коэффициентов теплоотдачи в лобовой и, особенно, в кормовой областях цилиндра.



Распределение коэффициента теплоотдачи по периметру цилиндрической трубы:

$$\begin{aligned} \text{а) } 1 - \omega = 0,37 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad \alpha_{\text{ср}} = 76 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}; \quad 2 - \omega = 0,44 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \\ \alpha_{\text{ср}} = 123 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}; \quad 3 - \omega = 0,52 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad \alpha_{\text{ср}} = 133 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}; \end{aligned}$$

б) число псевдооживления ■ – $w = 1,5$; корунд 1,0 мм; ● – $w = 1,5$; корунд 0,5 мм.

Библиографический список

1. Лесная биоэнергетика: учеб. пособие / под ред. Ю.П. Семенова. М.: ГОУ ВПО МГУЛ. 2010.
2. Теплотехника. Учеб. для вузов. / Под ред. А.П. Баскакова. М.: Энергоиздат 1991.
3. Брдлик П.М. Теплотехника и теплоснабжение предприятий лесной и деревообрабатывающей промышленности. М.: Лесн. пром-сть, 1998.

УДК 532.546

А.И. Сафронов
(A.I. Safronov)
(УГЛТУ, Екатеринбург)
(USFEU, Yekaterinburg)
В.Н. Королев, А.В. Островская
(V.N. Korolev, A.V. Ostrovskaya)
(Уральский Федеральный университет имени первого президента России
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург)
(Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
Yekaterinburg)

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ
(EFFECTIVENESS OF HEAT-TRANSFER AGENTS)

Проведена оценка эффективности воздуха и дисперсной среды как промежуточных теплоносителей в теплообменных аппаратах по интенсивности теплообмена, затратам энергии на перемещение теплоносителей и экологическим проблемам.

In this paper we evaluated the effectiveness of the air and the disperse medium as the intermediate heat transfer agents in heat exchangers according to the intensity of heat exchange, the energy consumption for moving the heat transfer agents and environmental problems.

Когда говорят об эффективности теплоносителей, в качестве которых используются вода, воздух, дисперсная среда, то чаще всего их анализируют по интенсивности процесса теплоотдачи и, реже, – по затратам мощности на их прокачку по контуру аппаратов и экологическим проблемам.

Основным недостатком воздуха как промежуточного теплоносителя является низкий коэффициент теплопроводности и, как следствие этого, невысокая интенсивность процесса теплоотдачи. Если в поток газа добавить твердые частицы, например песок, корунд или частицы других материалов, а скорость газа при этом будет превышать скорость витания частицы, тогда эта дисперсная среда будет называться псевдооживленным слоем.