

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПОВЕРХНОСТИ, ПОГРУЖЕННОЙ В ВИБРОКИПАЩИЙ СЛОЙ

Е. Д. ЗАЙЦЕВ

Слой сыпучего материала, ожижаемый наложением вибрации, представляется перспективным для сушки [1, 2, 3], проведения химических реакций, протекающих с высоким тепловыделением [4], термической обработки металла [5].

Вопросам теплообмена в виброкипящем слое посвящены работы [6, 7, 8], в которых получена зависимость теплообмена от многих параметров: вибрации, давления, состава газовой атмосферы, размеров частиц и аппарата. Надежных обобщающих результатов по расчету теплообмена поверхностей с виброслоем в литературе нет, поэтому нами проведены опыты по экспериментальному определению коэффициента теплообмена для корунда и кварцевого песка в зависимости от параметров вибрации, влажности, размеров частиц, высоты слоя дисперсного материала.

Экспериментальная установка состояла из колонны высотой 500 мм, диаметром 100 мм, изготовленной из стали, и вибростенда ВУС 70/200. Амплитуда колебаний изменялась в опытах от 0,25 до 1 мм, а частота от 20 до 80 герц.

В опытах использовались корунд белый со средним размером частиц 10 микрон, кварцевый песок со средним размером — 1,2 мм и кварцевый песок полифракционного состава: (—0,05)—6%; (+0,05—0,125)—33%; (+0,125—0,2)—41,4%; (+0,2—0,4)—13,4%; (+0,4—0,63)—5,95%.

Описываемые опыты проводились без поддува газа в слой и свободном сообщении объема колонны с атмосферой через штуцера. Высота слоя контролировалась перед опытом измерительной линейкой. Теплообмен между виброкипящим слоем и поверхностью теплообмена измерялся датчиком-нагревателем. Датчик жестко крепился к верхнему фланцу колонны и погружался полностью в слой на глубину 10 мм от дна аппарата. Датчик имел цилиндрическую форму диаметром 20 мм и высотой 30 мм и устанавливался по оси колонны. Электрическая мощность, рассеиваемая датчиком, измерялась с помощью мостовой схемы, сбалансированной при 70°C [9]. Одновременно двумя термопарами, находящимися в середине на расстоянии 15 мм от нагревателя, измерялась температура материала. По данным измерений вычислялся коэффициент теплообмена между поверхностью и виброкипящим слоем.

На рис. 1 и 2 представлена зависимость коэффициента теплообмена от частоты для сухих и влажных материалов при различных амплитудах

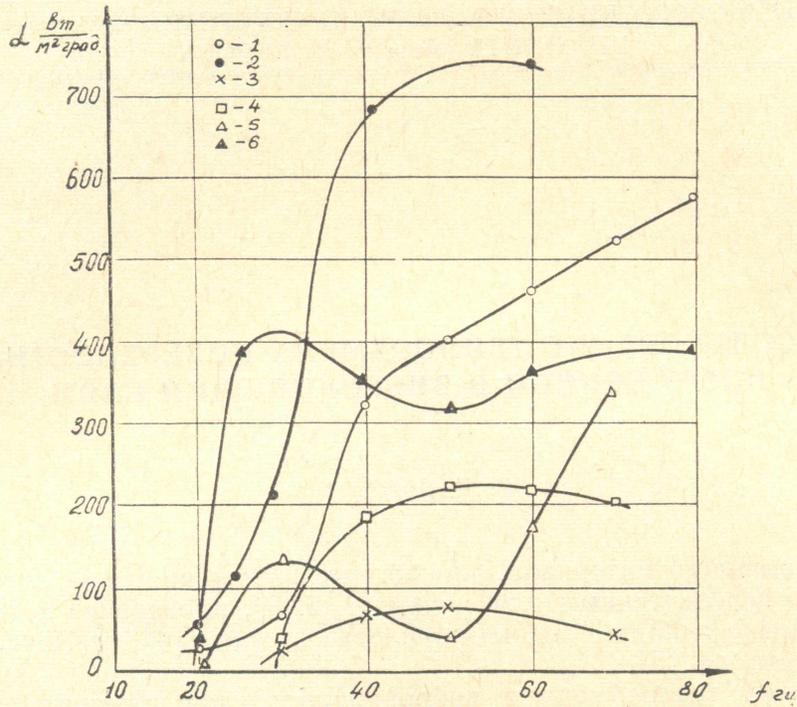


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплообмена α от частоты вибрации колонны для корунда $d = 10 \text{ мк}$.
 1 — сухой, $H = 55 \text{ мм}$, $a = 0,86 \text{ мм}$; 2 — влажный, $H = 55 \text{ мм}$, $a = 0,86 \text{ мм}$; 3 — сухой, $H = 110 \text{ мм}$, $a = 0,5 \text{ мм}$; 4 — влажный, $H = 110 \text{ мм}$, $a = 0,5 \text{ мм}$; 5 — сухой, $H = 110 \text{ мм}$, $a = 0,86 \text{ мм}$; 6 — влажный, $H = 110 \text{ мм}$, $a = 0,86 \text{ мм}$

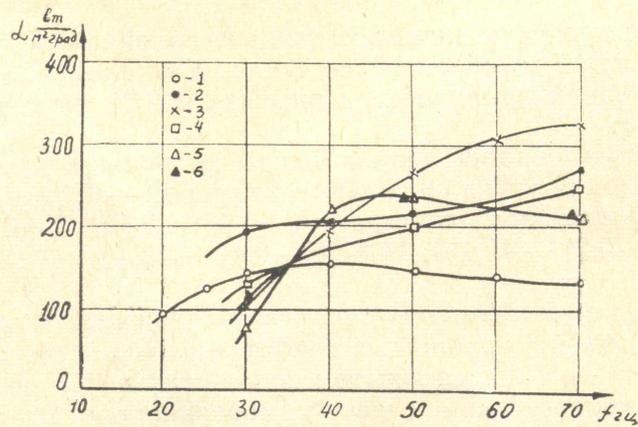


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплообмена α от частоты вибрации колонны для кварцевого песка.
 1 — сухой, $H = 50 \text{ мм}$, $a = 0,82 \text{ мм}$, $d = 1,2 \text{ мм}$;
 2 — влажный, $H = 50 \text{ мм}$, $a = 0,82 \text{ мм}$, $d = 1,2 \text{ мм}$;
 3 — сухой, $H = 50 \text{ мм}$, $a = 0,82 \text{ мм}$ полидисперсный;
 4 — влажный, $H = 50 \text{ мм}$, $d = 0,82 \text{ мм}$ полидисперсный;
 5 — сухой, $H = 85 \text{ мм}$, $a = 0,82 \text{ мм}$ полидисперсный;
 6 — влажный, $H = 85 \text{ мм}$, $a = 0,82 \text{ мм}$ полидисперсный

и высотах слоя. На рис. 3 показана зависимость коэффициента теплообмена от амплитуды при различных частотах. Наблюдается быстрый, почти линейный рост теплообмена от амплитуды. Более сложный вид имеет зависимость теплообмена от частоты. При частотах 20—40 герц наблюдается быстрый рост теплообмена, а далее замедление роста у мелких частиц или достижение максимума у крупных.

Установлено, что у влажного корунда (влажность 20%) коэффициент теплообмена выше почти в 2 раза и достигает больших значений при меньших частотах. Этот факт может быть объяснен влиянием массообмена на теплообмен [10] и агрегацией частиц мелкого корунда в сторону оптимальных размеров, которые, как установлено в [7], находятся в области 60—100 мк.

В случае влажного полидисперсного песка (влажность 10%) не наблюдалось увеличения теплообмена по сравнению с сухим. По всей вероятности, увеличение теплообмена, вызванное массообменом, ликвидируется за счет агрегации. Тем более для влажного кварцевого песка со средним размером 1,2 мм наблюдается увеличение теплообмена по сравнению с сухим. Во всех случаях наблюдалось уменьшение коэффициента теплообмена с увеличением высоты слоя.

Данное исследование позволило выявить влияние влажности материала и высоты слоя на теплообмен в виброкипящем слое и подтвердить влияние размера частиц, параметров вибрации, полученное в работах [6, 7].

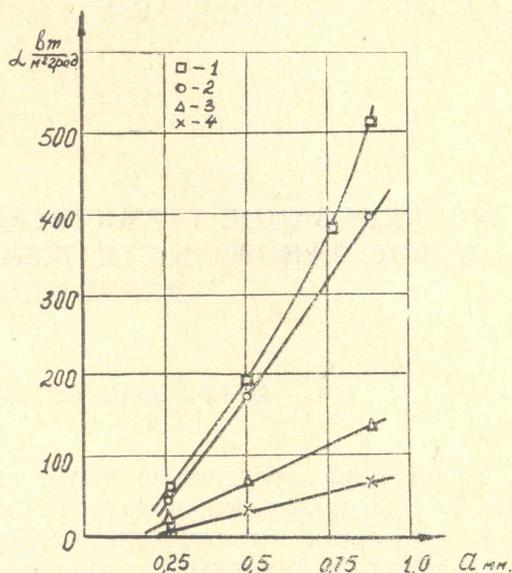


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплообмена α от амплитуды для сухого корунда $d = 10$ микрон.
1 — 70 герц, $H = 55$ мм; 2 — 50 герц, $H = 55$ мм; 3 — 30 герц, $H = 110$ мм; 4 — 30 герц, $H = 55$ мм

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Членов, Н. В. Михайлов. Сушка песка кондуктивным методом в виброкипящем слое. «Строительные материалы», № 11, 1964.
2. А. П. Рысин, С. А. Мачихин. Исследование процессов сушки и охлаждения кунжута. «Хлебопекарная и кондитерская промышленность», № 3, 1963.
3. В. И. Сыроедов. Исследование процесса сушки сахара-песка. Канд. диссертация МТИПП, 1966.
4. О. В. Исаев, Л. А. Русланова, В. А. Членов, Л. Я. Марголис, Н. В. Михайлов. Каталитическое окисление пропилена в акролен в виброкипящем слое. «Химическая промышленность», № 6, 1965.
5. А. И. Тамарин, И. И. Кальтман, Л. А. Васильев. Вибропсевдооживленный слой — закалочная среда. «Металловедение и термическая обработка металлов», № 3, 1968.
6. В. А. Членов, Н. В. Михайлов. Тепло- и массообмен при сушке сыпучих материалов кондуктивным методом в виброкипящем слое. «Тепло- и массоперенос», Киев, «Наукова думка», том 6, часть II, стр. 150—157, 1968.
7. И. Л. Замниус, А. И. Тамарин, С. С. Забродский. Исследование теплообмена и гидродинамики вибропсевдооживленного слоя. «Тепло- и массоперенос», том 5, стр. 142—152, Минск, 1968.
8. Е. Ю. Лайковская, Б. Г. Сапожников, Н. И. Сыромятников. Процесс теплообмена и теплофизические свойства виброподвижных дисперсных систем. «Тепло- и массоперенос», том 5, стр. 153—163, Минск, 1968.
9. Н. В. Антонишин. Канд. диссертация ИТМО АН БССР, Минск, 1963.
10. А. В. Лыков. Тепло- и массообмен в процессах сушки. Госэнергоиздат, 1956.