

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕНА ДИСПЕРСНОГО СЛОЯ С ПОВЕРХНОСТЬЮ

А. Д. АЛЕКСЕЕВ, В. И. ОСИН

(Представлена научным семинаром кафедры процессов, машин
и аппаратов химических производств)

В работах (1, 2) показано, что при продувании зернистого слоя синусоидально-пульсирующим потоком воздуха стадии расширения (псевдооживления) предшествует его уплотнение. Образуется качественно новое состояние дисперсной системы, характеризующееся небольшими пульсациями частиц и слабым их перемешиванием. В этом состоянии дисперсная среда «разжижена»; она сохраняет основные свойства псевдооживленных систем, что делает ее пригодной для осуществления гетерогенных процессов, не требующих больших расходов оживляющего агента. Незначительное перемешивание частиц в слое открывает перспективу его использования при осуществлении группы процессов, для которых оно нежелательно.

Вопрос о возможности и целесообразности использования «разжиженного» состояния в промышленной практике пока не получил должного распространения по причине слабой его изученности.

Нами проводятся исследования по выявлению влияния условий продувки на особенности протекания процессов в дисперсных системах, в том числе и теплообмена слоя с нагретой поверхностью. Для этих целей была изготовлена экспериментальная установка, включающая прозрачную камеру диаметром 200 мм.

Выбор конструкции нагревательного элемента

В практике исследования вопросов теплообмена применяются как специальные нагревательные элементы, помещаемые внутрь дисперсной среды, так и стенки самой камеры. Наши опыты проводились в камере, изготовленной из органического стекла, что исключало возможность использования ее стенок в качестве поверхности нагрева из-за низкой термостойкости материала, поэтому возникла необходимость в разработке нагревательного элемента погружного типа.

Распространение получили две разновидности нагревательных элементов погружного типа — электрические и неэлектрические.

Электрические нагреватели получили наибольшее распространение благодаря следующим преимуществам: легкости регулирования излучаемой энергии, независимости мощности от геометрических размеров, простоте устройства и др. Они могут быть изготовлены в виде сфер, труб с помещенными внутри них спиралями, в виде тонких проволок, катушек с наружной намоткой и др.

Нагреватели с внутренним обогревом требуют замера температуры

в нескольких точках поверхности, что усложняет проведение эксперимента и последующие расчеты.

Проволочные нагреватели из-за малого диаметра проволоки обычно применяются при исследовании теплообмена с мелкодисперсными материалами.

Наиболее универсальными являются нагреватели в виде катушек. Температуру их поверхности можно поддерживать постоянной при включении нагревателя в мостовую схему. Они не требуют специальных устройств для замера температуры поверхности. Им можно придать различную форму и размеры.

В наших исследованиях был применен текстолитовый цилиндр диаметром 7,5 и высотой 25 мм, на который наматывался виток к витку медный изолированный провод диаметром 0,18 и длиной 3170 мм. Сечение провода $S=0,0254 \text{ мм}^2$. Медь имеет сравнительно высокий коэффициент сопротивления и линейный характер его изменения в интервале температур от -50 до $+200^\circ \text{C}$ [3].

Параметры катушки рассчитывались по следующим формулам:

$$\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha t); \quad (1)$$

$$\rho_t = R_t \frac{S}{l} \quad (2)$$

где ρ_0 и ρ_t — удельное сопротивление материала при 0° и температуре t , $\text{ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

t — температура проводника, $^\circ \text{C}$;

α — температурный коэффициент линейного расширения, $1/^\circ \text{град}$;

R_t — полное сопротивление проводника при температуре t , ом ;

l — длина проволоки, м .

Из решения этих уравнений получим:

$$t = \frac{R_t \frac{S}{l} - \rho_0}{\rho_0 \alpha}, \quad (3)$$

$$l = \frac{R_t \cdot S}{\rho_0 (1 + \alpha t)}. \quad (4)$$

Для меди $\rho_0 = 0,017 \text{ ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$; $\alpha = 4,267 \cdot 10^{-3} 1/^\circ \text{град}$. [3]. В результате подстановки известных величин формула (3) принимает вид:

$$t = (110,7 \cdot R_t - 234,7)^\circ \text{C}. \quad (5)$$

Замеренное сопротивление катушки при температуре 23°C оказалось равным $2,35 \text{ ом}$. Расчетная длина — $3,2 \text{ м}$, что практически совпадает с принятой. Поверхность теплообмена нагревательного элемента F составляла $5,887 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

Температура нагревателя поддерживалась постоянной при помощи компенсационной мостовой схемы, представленной на рис. 1.

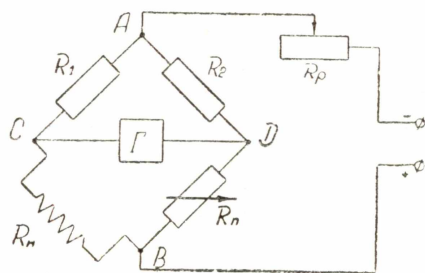


Рис. 1. Мостовая компенсационная схема. R_n — нагреватель; R_1 , R_2 — постоянные сопротивления; R_n — подстроечное сопротивление; R_p — реостат; гальванометр

Мост находится в равновесии при выполнении равенства:

$$R_{\text{н}}/R_1 = R_{\text{н}}/R_2,$$

из которого

$$R_{\text{н}} = \kappa \cdot R_{\text{н}} \dots \quad (6)$$

При равновесии моста сопротивление $R_{\text{н}}$ однозначно определяется сопротивлением $R_{\text{н}}$.

На диагональ моста АВ подается постоянный ток, который вызывает нагрев элемента и увеличивает его сопротивление. Равновесие моста нарушается, что фиксируется чувствительным гальванометром, включенным в диагональ СД.

Закон изменения сопротивления от температуры выражается уравнением:

$$R_t = R_0(1 - \alpha t), \quad (7)$$

где R_t и R_0 — сопротивление проводника при температуре t и 0° , откуда

$$t = \frac{R_t - R_0}{\alpha R_0}. \quad (8)$$

Так как R_0 и α постоянные величины, то сопротивление проводника однозначно определяется его температурой и наоборот.

Балансировка схемы осуществлялась подстроечным сопротивлением. Изменение температуры поверхности нагревателя компенсировалось соответствующим изменением силы тока, протекающего через него.

Схема включения нагревателя представлена на рис. 2.

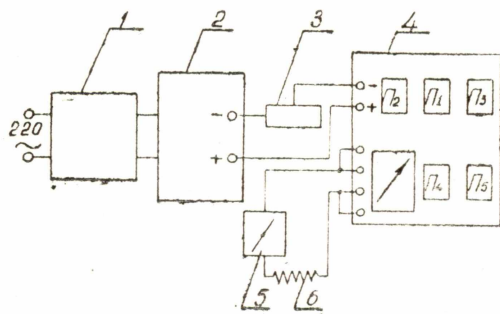


Рис. 2. Принципиальная схема включения нагревателя. 1 — стабилизатор напряжения; 2 — универсальный источник питания; 3 — реостат; 4 — мост постоянного тока (тип РЗЗЗ); 5 — амперметр; 6 — нагревательный элемент

Переключателями Π_1 и $\Pi_2 \dots \Pi_5$ можно было устанавливать равновесное сопротивление нагревателя с точностью до $0,001 \text{ ом}$, что соответствовало изменению температуры поверхности катушки на $0,1^\circ$.

Средний коэффициент теплообмена определялся из выражения:

$$I^2 \cdot R_t = \alpha_t \cdot F (t_{\text{ст}} - t_{\text{сл}}), \quad (9)$$

где: I — сила тока, протекающего через нагреватель, α ;
 $t_{\text{ст}}$ — температура стенки теплообменной поверхности, $^\circ\text{C}$;
 $t_{\text{сл}}$ — температура слоя, $^\circ\text{C}$.

Левая часть уравнения (9) представляет собой тепловую энергию, излучаемую поверхностью нагревателя, а правая — тепло, воспринимаемое слоем.

Температура стенки нагревателя во всех опытах поддерживалась постоянной, равной $85 \pm 0,1^\circ\text{C}$. Сопротивление катушки нагревателя при этой температуре составляло $2,9 \text{ ома}$.

Температура в участках слоя замерялась тремя открытыми хромель-капельными термопарами и непрерывно регистрировалась потенциометром ПСР 1-18 (класс 0,5). За расчетную температуру слоя принималось среднее арифметическое показаний трех термопар.

Если в уравнение (9) подставить численные значения входящих в него величин, то оно принимает вид:

$$\alpha_T = \frac{4026 \cdot I^2}{85 - t_{\text{сл}}} \text{ вт/м}^2 \cdot \text{град.} \quad (10)$$

Сила тока измерялась амперметром 5.

В процессе эксперимента определялись I и $t_{\text{сл}}$, а коэффициент теплоотдачи рассчитывался по формуле (10).

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Д. Алексеев. Влияние нестационарности газового потока на поведение слоя зернистого материала. Известия ТПИ, т. 133, 69—75, 1965.
 2. А. Д. Алексеев, В. М. Витюгин, Ю. А. Янович. Сушка гранулированного сульфата аммония в псевдоожиженном слое. Известия ТПИ, т. 148, 115—119, 1967.
 3. М. В. Кулаков. Технологические измерения и приборы для химических производств. «Машиностроение», Москва, 1966.
-