

# ТЕПЛОТДАЧА ВИБРИРУЮЩИХ ЗМЕЕВИКОВ К ВОДЕ И САХАРНЫМ РАСТВОРАМ

В. Д. ПОПОВ,  
Д. Е. СИНАТ-РАДЧЕНКО

(Киевский технологический институт  
пищевой промышленности)

Для интенсификации теплообмена в вязких средах значительный интерес представляет применение низкочастотных колебаний с амплитудой порядка нескольких миллиметров. Колебания среды, особенно при высоких частотах [3], вследствие их затухания менее эффективны, чем колебания теплообменной поверхности [1].

Опубликованные в литературе работы посвящены виброподогреву различных сред (чаще воздуха) в основном с помощью цилиндрических электронагревателей. В технологических аппаратах часто встречаются теплообменные поверхности в виде змеевиков.

Авторами исследована теплоотдача водонаполненных вибрирующих змеевиков из медных трубок при охлаждении и нагревании воды и чистых сахарных растворов с концентрацией сахара до 55% в интервале температур изучаемых сред 40—80° С.

Наружный диаметр трубки $d_1$ , мм	Внутренний диаметр трубки $d_2$ , мм	Средний диаметр спирали $D$ , мм	Шаг навитки $S$ , мм	Число витков	Длина трубки $L$ , мм	Плоскость витков в рабочем положении
12	10	85	25	3	890	Вертикальная
6	4	62	12	4	940	Горизонтальная
6	4	60	13	4	855	Вертикальная
3	2	54	8	7	1300	Горизонтальная
3	2	58	10	7	1380	Вертикальная

Характеристики змеевиков приведены в таблице. Змеевик 1 (рис. 1) помещался в стакан с исследуемым рас-

твором 2 и крепился к штоку вибратора 3. Термостатирование стакана с исследуемым раствором и термостатирование воды на входе в змеевик осуществлялось с помощью термостатов типа ТС-15, снабженных дополнительными нагревателями.

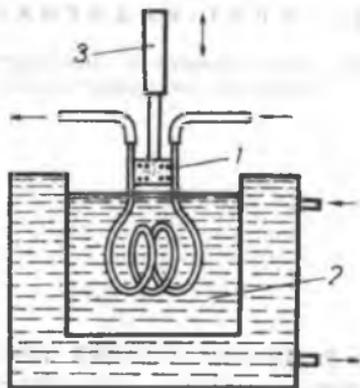


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки.

В опытах измерялись: температура стенки в пяти точках по длине трубки, температура исследуемого раствора, расход воды через змеевик. Температура измерялась медь-константановыми термопарами, подключенными по схеме с общим холодным спаем к 12-точечному автоматическому самопишущему потенциометру типа ЭПП-09М2. Запись температуры в каждой из 12 точек происходила с интервалом в 1 мин. Расход воды определялся по ротаметру.

Средние по поверхности коэффициенты теплоотдачи вычислялись по формуле

$$k = \frac{W}{F} \ln \frac{\Delta t_n}{\Delta t_k} = \frac{1}{\frac{F}{\alpha_1 F_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{F}{\alpha_2 F_2}} \text{ вт/м}^2 \cdot \text{град},$$

где  $W$  — водяной эквивалент,  $\text{вт/град}$ ;  $F$  — поверхность змеевика по середине толщины стенки трубки,  $\text{м}^2$ ;  $\Delta t_n$ ,  $\Delta t_k$  — начальная и конечная разность температур между водой, протекающей внутри змеевика, и раствором;  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  — коэффициенты теплоотдачи от исследуемого раствора к стенке змеевика и от стенки к протекающей внутри него воде,  $\text{вт/м}^2 \cdot \text{град}$ ;  $F_1$ ,  $F_2$  — наружная и внутренняя поверхности змеевика,  $\text{м}^2$ ;  $\delta/\lambda$  — термическое сопротивление чистой стенки трубки.

Температура стенки усреднялась по ее значениям в пяти точках:

$$t_{\text{ст}} = \frac{t_1 l_1 + t_2 l_2 + \dots + t_5 l_5}{l_1 + l_2 + \dots + l_5},$$

где  $t_1, t_2, \dots, t_5$  — температура стенки в месте заделки термопары;  $l_1, l_2, \dots, l_5$  — длина отнесенного к данной

точке участка трубки (например, полусумма расстояний до соседних термопар).

Диапазон использованных в опытах частот колебаний  $n=250 \div 2000$  кол/мин, амплитуд —  $A=2 \cdot 10^{-3} \div 6,5 \cdot 10^{-3}$  м.

При обработке опытных данных получено критериальное уравнение теплоотдачи вибрирующих змеевиков

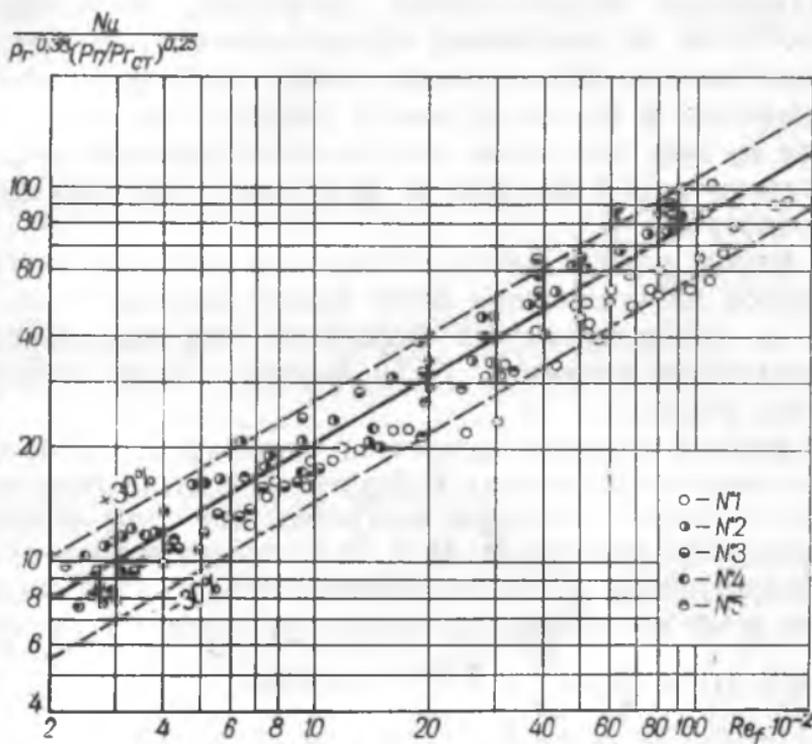


Рис. 2. Средняя теплоотдача вибрирующих змеевиков.

с учетом направления теплового потока и параметров колебаний (рис. 2):

$$Nu = 0,33 Re_f^{0,6} Pr^{0,38} (Pr/Pr_{ct})^{0,25},$$

где  $Re_f = \frac{And_1}{15\nu}$  — безразмерный комплекс Рейнольдса для вибрирующей поверхности.

В качестве определяющего размера при вычислении  $\alpha_1$  принят наружный диаметр трубки змеевика  $d_1$ , а в качестве определяющей температуры — температура

среды после ее перемешивания на удалении от поверхности, превышающем толщину пограничного слоя.

Полученное уравнение с точностью порядка 30% обобщает опыты по теплоотдаче вибрирующих змеевиков в интервале чисел  $Re_f = 2 \cdot 10^2 \div 2 \cdot 10^4$  и чисел  $Pr = 1,5 \div 50$  при средней скорости колебательного движения выше  $0,125$  м/сек.

Изменение интенсивности колебаний поверхности теплообмена не оказывает существенного влияния на гидравлическое сопротивление воде, протекающей через змеевик, и на коэффициент теплоотдачи от стенки к воде  $\alpha_2$  при полностью заполненном сечении канала, отсутствии в нем воздуха и жесткости теплообменной поверхности.

В наших опытах числа Рейнольдса для воды внутри змеевиков не превышали 8000. Коэффициенты теплоотдачи  $\alpha_2$ , вычисленные по формулам для ламинарного и переходного режимов, были намного ниже полученных из опыта.

С ростом скорости движения жидкости по спиральным каналам при числах Рейнольдса больше некоторого критического значения центробежные силы создают в поперечном сечении канала так называемую вторичную циркуляцию. С этого момента теплоотдача подчиняется тому же закону, что и при турбулентном режиме

[2]. При отношении  $\frac{d_2}{D} \geq 4 \cdot 10^{-4}$  имеем

$$Re'_{кр} = 11,6 (d_2/D)^{-0,5}.$$

В нашем случае критические числа Рейнольдса для змеевиков в порядке их расположения в таблице были равны 34, 46, 54, 60, 62.

Значения коэффициента  $\alpha_2$ , полученные в опытах, были несколько выше величин  $\alpha_2$ , вычисленных по уравнению для турбулентного движения. Это, вероятно, объясняется малыми величинами диаметра спирали для змеевиков, использовавшихся в опытах.

Колебания теплообменной поверхности, воздействуя на пограничный слой раствора, уменьшают его термическое сопротивление. Одновременно происходит хорошее перемешивание близлежащего объема раствора. В на-

ших опытах достигалось 15-кратное увеличение коэффициента теплоотдачи  $\alpha_1$  по сравнению с естественной конвекцией в воде и сахарных растворах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Калашников Н. В., Черников В. И. Виброподогрев вязких нефтепродуктов. Гостоптехиздат, М., 1961.
2. Фастовский В. Г., Ровинский А. Е. — Теплоэнергетика, 1957, 1.
3. Ященко Я. В. — В кн.: Конвективный теплообмен. «Наукова думка», К., 1965.