

Теплоотдача вибрирующих змеевиков к сахарным растворам и утфелям

Коэффициент теплоотдачи от поверхности теплообмена к концентрированным сахарным растворам и утфелям α_1 гораздо меньше коэффициентов теплоотдачи от воды или пара к поверхности теплообмена α_2 , что обуславливает малые коэффициенты теплоотдачи и сказывается на длительности технологических процессов.

Для интенсификации теплообмена в высоковязких средах значительный интерес представляет применение колебаний поверхности теплообмена с низкой (до 50 гц) частотой и амплитудой порядка нескольких миллиметров [2, 3].

Колебания среды создать проще, но из-за затухания они менее эффективны, особенно при высоких частотах [5]. Работы, опубликованные в литературе, посвящены виброподогреву различных сред (чаще воздуха) в основном с помощью цилиндрических электронагревателей.

На основе анализа литературных данных для изучения влияния низкочастотных колебаний теплообменной поверхности на интенсивность теплообмена в вязких и кристаллизующихся сахарных растворах нами была разработана опытная установка (рис. 1), состоящая из вибратора 2, элемента теплообмена 5, термостатированного стакана 3 с мешалкой 4 в виде витка ленточной спирали, приводимой во вращение с числом оборотов 0—30 об/мин цепной передачей от электродвигателя с редуктором 1.

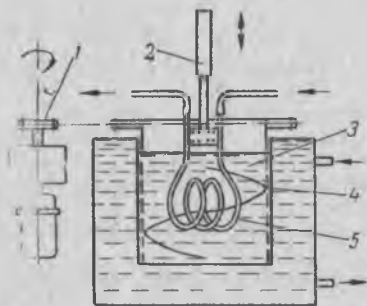


Рис. 1. Принципиальная схема опытной установки.

Теплообменные поверхности в аппаратах пищевой промышленности часто выполнены в виде змеевиков. Нами исследован процесс теплопередачи через стенку навитых из медных трубок вибрирующих водонаполненных змеевиков, характеристики которых приведены в таблице. Выбор воды в качестве теплоносителя был сделан для возможности изменения направления теплового потока и для изучения влияния интенсивности колебаний одновременно на α_1 и α_2 . Змеевик погружался в термостатируемый стакан с исследуемым раствором и крепился к штоку вибратора.

Температура исследуемого раствора, воды на входе и выходе из змеевика и температура стенки трубки измерялись с помощью медь-константановых термомпар, подключенных по схеме с общим холодным спаем к 12-точечному автоматическому самопишущему потенциометру типа ЭПП-09М2. Температура стенки змеевика осреднялась по ее значениям, определенным в пяти точках по длине трубки. Расход воды определялся по ротаметру.

Характеристика змеевиков

№ змеевика	Наружный диаметр трубки, мм	Внутренний диаметр трубки, мм	Средний диаметр спиралей, мм	Шаг навитки, мм	Число витков	Длина трубки, мм	Расположение плоскости витков в рабочем положении
1	12	10	85	25	3	890	Вертикальное
2	6	4	62	12	4	940	»
3	6	4	60	13	4	855	Горизонтальное
4	3	2	54	8	7	1 300	Вертикальное
5	3	2	58	10	7	1 380	Горизонтальное

Частота колебаний регулировалась изменением величины напряжения, подаваемого к электродвигателю вибратора, и контролировалась электрическим дистанционным двухстрелочным тахометром типа ТЭ-45. Амплитуда колебаний задавалась с помощью сменных эксцентриков и проверялась ручным вибрографом ВР-1. Расчеты коэффициентов теплопередачи и теплоотдачи велись по методике, общей для расчета теплообменников [1 и 4].

Определены средние по поверхности коэффициенты теплоотдачи при охлаждении и нагревании воды, чистых сахарных растворов с концентрацией сахара (сх) до 75%, свекловичных и сырцовых меласс с содержанием сухих веществ (св) до 84% (по рефрактометру без разбавления), производственных и искусственных утфелей с содержанием кристаллов (Кр) до 45% в интервале температур изучаемых сред от 40 до 80° С. Диапазон использованных в опытах частот колебаний $n = 0 \div 2000$ кол/мин, амплитуд $A = 2 \cdot 10^{-3} \div 6,5 \cdot 10^{-3}$ м.

Для теплоотдачи вибрирующих змеевиков к однофазным ньютоновским жидкостям было получено критериальное уравнение

$$Nu = 0,32 Re_f^{0,6} Pr^{0,38} (Pr / Pr_{ст})^{0,25},$$

где $Re_f = \frac{A n d_p}{15\mu}$ — безразмерный комплекс Рейнольдса для вибрирующей поверхности.

С увеличением массового содержания кристаллов в утфеле коэффициенты теплоотдачи к утфелю падают, а наклон прямых, усредняющих теплоотдачу в координатах $\lg Nu Pr^{-0,38} (Pr / Pr_{ст})^{-0,25} - \lg Re_f$ увеличивается (рис. 2).

Уменьшение величины α_1 может быть учтено введением поправки на содержание Кр в постоянную уравнения, а увеличение наклона прямых — соответствующей поправкой к показателю степени при Re_f . После этого уравнение принимает вид:

$$Nu = 0,32 (1 - 0,015 Kp) Re_f^{0,6 + (Kp/100)^2} Pr^{0,38} (Pr / Pr_{ст})^{0,25}.$$

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

При вычислении коэффициентов теплоотдачи за определяющую температуру принималась температура среды после ее перемешивания на удалении от поверхности теплообмена, превышающем толщину пограничного слоя, а за определяющий размер — наружный диаметр трубы змеевика.

Величина коэффициента теплоотдачи определялась средней скоростью колебательного движения змеевика и при одной и той же скорости не зависела от соотношения амплитуды и частоты колебаний в исследованных пределах их изменения.

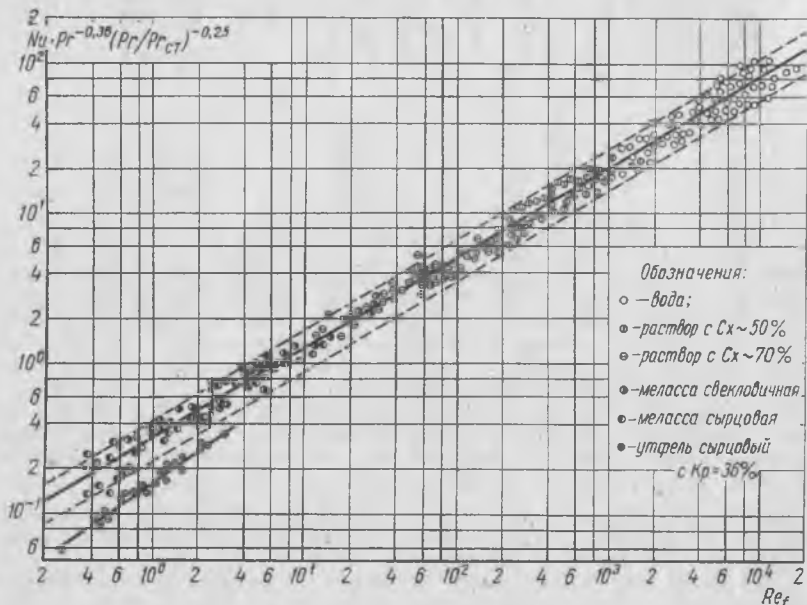


Рис. 2. График средней теплоотдачи вибрирующих змеевиков.

Изменение интенсивности колебаний не оказывало существенного влияния на гидравлическое сопротивление воде, протекающей через змеевик, и на коэффициент теплоотдачи от стенки к воде α_2 при полностью заполненном сечении канала, отсутствии в нем воздуха и жесткости теплообменной поверхности.

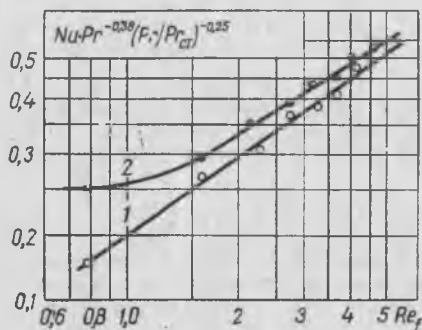


Рис. 3. График влияния дополнительного к вибрациям перемешивания среды:

1 — $n_1 = 0$; 2 — $n_1 = 11$ об/мин.

При одновременном с вибрациями перемешивании среды влияние скорости перемешивания больше при малой скорости колебательного движения. С увеличением этой скорости влияние перемешивания постепенно падает.

На рис. 3 прямая 1 в безразмерных координатах отражает процесс теплоотдачи змеевика № 3 при охлаждении свекловичного утфеля температурой 53°C с $Kr = 30\%$ в зависимости от скорости вибраций (Re_f) без перемешивания, кривая 2 — при числе оборотов мешалки $n_1 = 11$ об/мин.

Низкочастотные колебания поверхности теплообмена уменьшают возможность ее загрязнения, хорошо перемешивают близлежащий объем среды, воздействуют на пограничный слой раствора, уменьшая его термическое сопротивление и содействуя росту коэффициентов теплоотдачи к вязким средам в несколько раз.

Поступила в редколлегию 26 сентября 1966 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С., Теплопередача, М.—Л., «Энергия», 1965.
2. Калашников Н. В., Черников В. И., Виброподогрев вязких нефтепродуктов, М., Гостоптехиздат, 1961.
3. Кремнев О. А., Сатановский А. Л., Лопатин В. В., Теплообмен вибрирующих нагревателей в вязкой застывшей жидкости, Сб. «Конвективный теплообмен», Киев, «Наукова думка», 1965.
4. Куроедов В. А., Об основах расчета теплообменных аппаратов, М., Машгиз, 1951.
5. Ященко Я. В., Исследование влияния ультразвуковых колебаний на теплообмен в вязкой среде, Сб. «Конвективный теплообмен», Киев, «Наукова думка», 1965.