

$$H_1^n - H_2^n = [C_{\text{ж}} t_{\text{ж}} + q_{\text{н}} + C_{\text{п}}(t_1 - t_{\text{ж}})] - [C_{\text{ж}} t_{\text{ж}} + q_{\text{н}} + C_{\text{п}}(t_2 - t_{\text{ж}})] = C_{\text{п}}(t_1 - t_2).$$

**Коэффициент теплоотдачи.** Важнейшей и наиболее трудоемкой частью технологического расчета поверхности теплообменного аппарата является вычисление коэффициентов теплоотдачи. Методы определения этих величин изучаются в специальном курсе теплопередачи, здесь же приводится ряд формул, которыми и рекомендуется пользоваться при расчете теплообменных аппаратов. Коэффициент теплоотдачи от движущегося жидкого или газообразного потока зависит от режима движения: при ламинарном (струйном) потоке коэффициенты теплоотдачи обычно малы, а при турбулентном потоке более высоки и возрастают с увеличением степени турбулентности.

Режим потока устанавливается в зависимости от значения безразмерного критерия Рейнольдса

$$Re = Wd/\nu,$$

где  $W$  — линейная скорость движения потока, м/с;  $d$  — диаметр трубопровода, м;  $\nu$  — кинематическая вязкость, м<sup>2</sup>/с.

Имея в виду, что  $W = u/\rho$  (где  $u$  — массовая скорость потока, кг/(м<sup>2</sup>·с),  $\rho$  — плотность потока, кг/м<sup>3</sup>), получим значение критерия  $Re$ , выраженное через массовую скорость

$$Re = ud/\rho\nu.$$

Если  $Re \leq 2300$  — движение потока ламинарное, при  $2300 < Re < 10\,000$  — режим переходный, а при  $Re \geq 10\,000$  — движение турбулентное.

Для кожухотрубчатых теплообменных аппаратов были проведены испытания, которые показали удовлетворительное соответствие расчетных и измеренных в промышленных условиях коэффициентов теплопередачи и гидравлических сопротивлений. Ниже изложена методика расчета, рекомендованная на основе этих исследований.

Для ламинарного режима рекомендуется зависимость

$$Nu = 0,17Re^{0,33} Pr^{0,43} C_{\Gamma}^{0,1} \left( \frac{Pr}{Pr_{\text{ст}}} \right)^{0,25},$$

где  $Nu = \alpha d/\lambda$  — критерий Нуссельта;  $Pr = \nu\rho C/\lambda$  — критерий Прандтля;  $C_{\Gamma} = (gd^3/\nu^3)\beta\Delta t$  — критерий Грасгофа;  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\nu$  — кинематическая вязкость, м<sup>2</sup>/с;  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);  $\rho$  — плотность потока, кг/м<sup>3</sup>;  $C$  — средняя массовая теплоемкость в интервале температур на входе и выходе потока, кДж/(кг·К);  $\beta$  — коэффициент объемного расширения, К<sup>-1</sup>;  $\Delta t$  — разность между средними температурами потока и стенки.

Для турбулентного режима предложено уравнение

$$Nu = 0,021Re^{0,8} Pr^{0,43} \left( \frac{Pr}{Pr_{\text{ст}}} \right)^{0,25}.$$

При переходном режиме коэффициент теплоотдачи можно вычислять по приведенной выше формуле для турбулентного режима, введя поправочный коэффициент  $f$ , который вычисляется по формуле

$$f = 1 - 6 \cdot 10^5 Re^{-1}.$$

Во всех приведенных уравнениях физические свойства следует определять при средней температуре потока. В тех уравнениях, где используется значение  $Pr_{\text{ст}}$  — соответствующие величины вычисляются при средней температуре стенки.