

# МЕТОД СРЕДНИХ РАЗНОСТЕЙ ТЕМПЕРАТУР КАК ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ $C_k$ -МЕТОДА

Одним из методов, который применяется при расчете теплотехнических параметров теплообменников [1], является метод средних (среднеарифметической или среднелогарифмических) разностей температур, который основывается на выражении

$$Q = K \times F \times \varepsilon \times \Delta t_c \quad (1)$$

Здесь  $K$  — средний коэффициент теплопередачи в Вт/(м<sup>2</sup>×град),  $F$  — площадь теплообменника в м<sup>2</sup>,  $\varepsilon$  — поправка на схему взаимного движения сред (противоток, прямоток, поперечный ток или их комбинация),  $\Delta t_c$  — средняя (среднеарифметическая или среднелогарифмическая) разность температур теплообмена. Попробуем проанализировать на примере водяного теплообменника завесы «Антарес» (модель 1203AdWV), насколько рассчитанные по методу средних разностей температур теплотехнические параметры могут совпадать или не совпадать с полученными экспериментально. В качестве инструмента для рассмотрения используем такую теплотехническую характеристику теплообменника, как параметр  $C_k$  [2], который некоторым образом зависит от расхода воды через теплообменник  $G$  (расход воздуха через теплообменник будем считать неизменным).

Параметр  $C_k$  определяется как произведение расхода воды через теплообменник на отношение разностей температур:

$$C_k(G) = G \times \frac{T_r - T_x(G)}{T_x(G) - T_o} \quad (2)$$

где  $G$  — расход воды через теплообменник в л/с,  $T_r$  и  $T_x$  — температуры воды на входе и выходе теплообменника,  $T_o$  — температура окружающего воздуха.

С учетом (2) уравнение теплового баланса по воде

$$Q = 4,2 \times G \times (T_r - T_x) \quad (3)$$

можно записать следующим образом:

$$Q = 4,2 \times C_k(G) \times (T_x - T_o) \quad (4)$$



С. А. Лыцев, ЗАО «Антарес ПРО»

На рис. 1 приведены полученные по результатам замеров значения « $C_k$  эксп» для теплообменника завесы «Антарес» (модель 1203AdWV), а также его аппроксимации с помощью трех подходов, описанных в статье [2]. Экспериментальные точки « $C_k$  эксп» рассматриваемого теплообменника ведут себя обычным образом: в области средних и больших расходов значения « $C_k$  эксп» практически не зависят от расхода воды через теплообменник, а при малых расходах наблюдается слабый рост « $C_k$  эксп» по мере снижения расхода. Наклон подъема графика « $C_k$  эксп» при малых расходах для различных теплообменников может существенно отличаться и обычно определяется конструктивными особенностями теплообменника.

Аппроксимация экспериментальных точек значений  $C_k$  (линия « $C_{k0}$ ») в виде прямой

$$C = \text{const} = 0,115$$

соответствует однопараметрическому (параметр  $C$ ) «упрощенному» подходу и хорошо согласуется с экспериментальными данными при расходах больше 0,2–0,3 л/с. Соответствующая «температурному» подходу двухпараметрическая (параметры  $C = 0,11$ ,  $\alpha = 0,18$ ) аппроксимация (кривая « $C_k T$ »)

$$C_k T(G) = \frac{G \times C}{G - \alpha \times C} \quad (5)$$

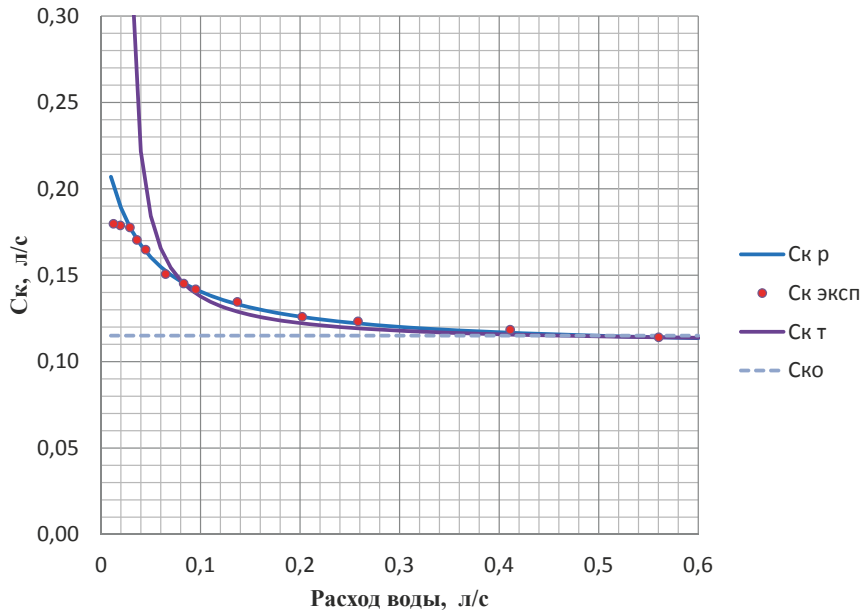


Рис. 1. Экспериментальные значения параметра  $C_k$  для теплообменника завесы «Антарес» (модель 1203AdWV) («Ск эксп») и их однопараметрическая («Ско»), двухпараметрическая («Ск т») и трехпараметрическая («Ск р») аппроксимации

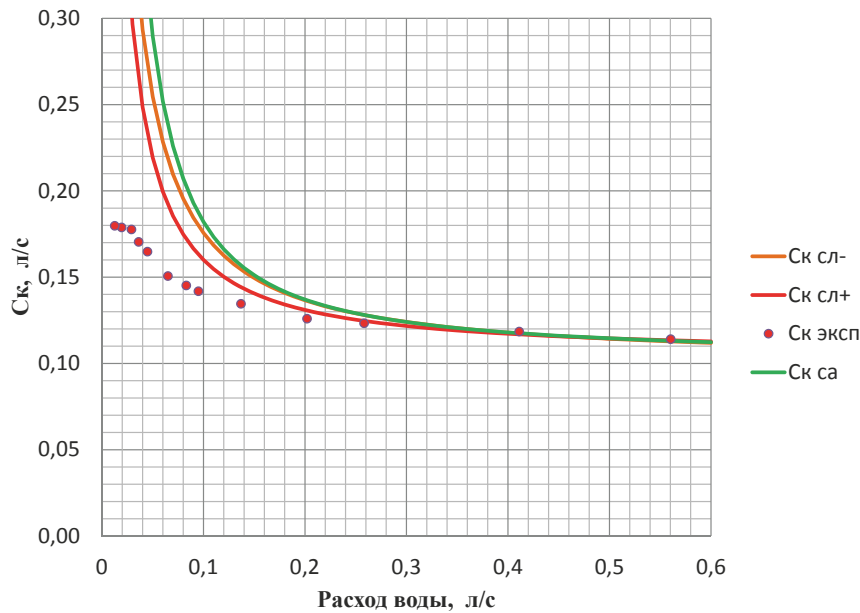


Рис. 2. Экспериментальные значения параметра  $C_k$  для теплообменника завесы «Антарес» (модель 1203AdWV) («Ск эксп») и их аппроксимации с использованием среднеарифметической («Ск са») и среднелогарифмической при прямотоке («Ск сл+») и противотоке («Ск сл-») разностей температур

неплохо согласуется с экспериментальными данными уже при расходах больше 0,06 л/с и, кроме того, позволяет согласовать наклон аппроксимирующей кривой с наклоном экспериментальных точек. Трехпараметрический (параметры  $C = 0,106, m = 0,044, n = 0,037$ ) «расходовой» подход (кривая «Ск р») дает возможность аппроксимации по трем точкам и помимо наклона аппроксимирующей кривой позволяет регулировать «вогнутость» и пройти аппроксимирующей кривой вблизи всех экспериментальных точек, вплоть до расхода в 0,03 л/с:

$$C_k^P(G) = C \times \left(1 + \frac{m}{G + n}\right) \quad (6)$$

Теперь можно посчитать, как будут вести себя аналогии параметра  $C_k$ , рассчитанные по методу средних (среднеарифметической, среднелогарифмической для прямотока и среднелогарифмической для противотока)

разностей температур по отношению к экспериментально полученным значениям «Ск эксп» применительно к рассматриваемому теплообменнику завесы «Антарес» (модель 1203AdWV).

Выражение (1) для удобства сравнения метода средних температур с  $C_k$  – методом можно переписать в виде:

$$Q = 4,2 \times \frac{K \times F \times \varepsilon \times \Delta t_c}{4,2 \times (T_x - T_o)} \times (T_x - T_o) \quad (7)$$

Тогда, принимая во внимание (4), выражение

$$\frac{K \times F \times \varepsilon \times \Delta t_c}{4,2 \times (T_x - T_o)}$$

можно рассматривать как выражение для  $C_k$  при методе средних разностей температур в зависимости от вида средней разности температур  $\Delta t_c$ :

$$C_k^C(G) = \frac{K \times F \times \varepsilon \times \Delta t_c}{4,2 \times (T - T_o)} \quad (8)$$

Фактически  $C_k^C$  является однопараметрической температурной функцией, так как произведение трех констант  $K \times F \times \varepsilon$  можно рассматривать в качестве единого параметра, который в дальнейшем будем называть  $K_F$ . Функция  $C_k^C$  зависит от  $G$  через зависимость температуры  $T_x$  от расхода воды, которая входит и в  $\Delta t_c$ .

Средние разности температур  $\Delta t_c$ :  
для среднеарифметической разности температур

$$\Delta t_{ca} = \frac{\Delta t_{max} + \Delta t_{min}}{2} = \frac{T_r - T_o + T_x - T_a}{2}; \quad (9)$$

для среднелогарифмической разности температур при прямотоке

$$\Delta t_{cl+} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}} = \frac{T_r - T_o - T_x + T_a}{\ln \frac{T_r - T_o}{T_x - T_a}}, \quad (10)$$

для среднелогарифмической разности температур при противотоке

$$\Delta t_{cl-} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}} = \frac{T_r - T_a - T_x + T_o}{\ln \frac{T_r - T_a}{T_x - T_o}}. \quad (11)$$

Рассчитанные по (8) с учетом (9–11) значения аналогов  $C_k$  для метода средних разностей температур вместе с экспериментально измеренными значениями « $C_k$  эксп» представлены в виде графика на рис. 2. Можно заметить, что для среднелогарифмической разности температур при прямотоке (кривая « $C_k$  сл+») при расходах воды через теплообменник более 0,2 л/с и  $K_F=0,53$ , а для среднеарифметической (кривая « $C_k$  са») и среднелогарифмической при противотоке (кривая « $C_k$  сл-») разностей температур при расходе воды более 0,25 л/с и  $K_F=0,54$  аппроксимации  $C_k$  хорошо согласуются с экспериментальными данными. Однако при меньших расходах воды через теплообменник наблюдается завышение рассчитанных с помощью средних разностей температур значений аппроксимаций  $C_k$  по сравнению с полученными экспериментально. Таким образом, рассчитанная по методу средних разностей температур тепловая мощность теплообменника окажется завышенной по сравнению с реальной тепловой мощностью теплообменника. Причем чем меньше значение расхода, при котором рассчитывается тепловая мощность, тем больше возможное рассогласование с реальной тепловой мощностью теплообменника. Наличие же только одного параметра ( $K_F$ ) у аппроксимаций по методу средних разностей температур не позволяет изменять наклон аппроксимирующих кривых для  $C_k$  с целью обеспечения согласования с экспериментальными данными в отличие от двухпараметрической «температурной» (5) или трехпараметрической «расходовой» (6) аппроксимаций  $C_k$ .

Из формулы (1), которая фактически считается выражением Ньютона — Рихмана применительно к теплообменнику, следует, что тепловая мощность теплообменника пропорциональна площади теплообменника. Однако известно, что изменение площади теплообменника за счет удлинения трубок, по которым протекает теплоноситель, при-

водит к непропорциональному изменению тепловой мощности теплообменника. То есть в реальности нет линейной зависимости тепловой мощности от площади теплообменника. Увеличение площади теплообменника за счет удлинения трубок фактически приводит к изменению коэффициента теплопередачи  $K$ : коэффициент теплопередачи  $K$  оказывается зависимым от площади теплообменника  $F$ .

В выражении (1) средняя разность температур теплообмена  $\Delta t_c$  выполняет роль температурного напора. Однако в  $\Delta t_c$  входят температуры воды и воздуха на выходе теплообменника  $T_x$  и  $T_a$ , сложным образом зависящие как от расхода воды через теплообменник (расход воздуха через теплообменник в данном случае условились считать постоянным), так и от особенностей конструктива теплообменника.

Возможно, было бы более удобно в качестве выражения для температурного напора использовать разность температур воды и воздуха на входе теплообменника, которые не зависят ни от конструктивных особенностей теплообменника, ни от расхода проходящей через теплообменник воды. А зависимости от расхода воды и от конструктивных особенностей теплообменника заложить в соответствующем коэффициенте, как это было предложено в [2] для случая с постоянным расходом воздуха через теплообменник:

$$Q = 4,2 \times \frac{G \times C_k(G)}{G + C_k(G)} \times (T_r - T_o). \quad (12)$$

В этом случае выражение Ньютона — Рихмана для теплообменников принимает вид:

$$Q = A \times \Delta T, \quad (13)$$

где  $\Delta T = T_r - T_o$  — температурный напор, представляющий разность температур воды и воздуха на входе теплообменника,  $A$  — коэффициент теплоотдачи теплообменника, который при неизменном расходе воздуха через теплообменник выглядит как

$$A = 4,2 \times \frac{G \times C_k(G)}{G + C_k(G)}. \quad (14)$$

Таким образом, для определения коэффициента теплоотдачи теплообменника и соответственно тепловой мощности теплообменника требуется знать только вид зависимости  $C_k(G)$  рассматриваемого теплообменника.

### Литература

1. Бялый Б.И., Теплообменное оборудование воздухообрабатывающих установок ООО «ВЕЗА». Москва, 2005.
2. Лыцев С.А., Принципы и подходы к расчету тепловых параметров воздушных завес и теплоventильаторов с водяными теплообменниками с использованием параметра  $S_k$ . Журнал «Мир климата» № 83.

С.А. Лыцев,  
ЗАО «Антарес ПРО»