



**С. А. Лысцев, А. В. Азин,  
ЗАО «Антарес ПРО»**

## МЕТОДИКА ОЦЕНОЧНОГО РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОДЯНЫХ ЗАВЕС

При проектировании систем вентиляции возникает необходимость выбора воздушных завес с воздухонагревателем (теплообменником) с паровым или жидкостным источником тепла. Перед проектировщиками стоит непростая задача определения тепловой мощности завес, исходя из реальных параметров системы теплоснабжения объекта, таких как вид теплоносителя, давление и температура теплоносителя в подающем трубопроводе, давление теплоносителя в обратном трубопроводе, температура воздуха на входе в теплообменник и, возможно, требуемая температура теплоносителя на выходе из теплообменника.

Обычно производитель в сопроводительной документации к завесам с теплообменниками приводит значения расхода теплоносителя для одного или нескольких стандартных наборов параметров теплоснабжения. Такой набор, как правило, включает температуру воды на входе и выходе теплообменника и температуру окружающего воздуха на входе теплообменника. Тепловая мощность завесы при данных параметрах определяется по формуле для теплоносителя-воды из уравнения теплового баланса:

$W = c \cdot \rho \cdot G_w \cdot (T_w^f - T_w^x)$ ,  
где  $W$  — тепловая мощность завесы, кВт;  $G_w$  — расход воды, л/с;

$T_w^f$  — температура воды на входе в теплообменник;  $T_w^x$  — температура воды на выходе из теплообменника, °С;  $c$  — теплоемкость воды,  $c = 4,19$  кДж·кг<sup>-1</sup>·°С<sup>-1</sup>;  $\rho$  — плотность воды,  $\rho = 1$  кг/л.

После подстановки этих величин имеем:

$$W = 4,19 \cdot G_w \cdot (T_w^f - T_w^x). \quad (1)$$

Однако часто требуется определить, какова будет тепловая мощность завесы при иных параметрах системы теплоснабжения. В ходе проведенных на нашем предприятии испытаний было замечено, что для всех исследованных теплообменников при фиксированном расходе воздуха справедлива простая зависимость между

расходом воды и отношением температур:

$$(T_w^f - T_w^x) / (T_w^x - T_A) \approx C_K / G_w. \quad (2)$$

Здесь:  $T_A$  — температура окружающего воздуха, °С;  $C_K$  — некоторая константа размерности л/с, характеризующая теплообменник при некотором фиксированном расходе воздуха. Причем если и имеется отклонение от указанной зависимости, то, как правило, небольшое и только на малых расходах воды. Соотношение представленных в левой части выражения (2) температур можно определить как температурный коэффициент:

$$K_T = (T_w^f - T_w^x) / (T_w^x - T_A). \quad (3)$$

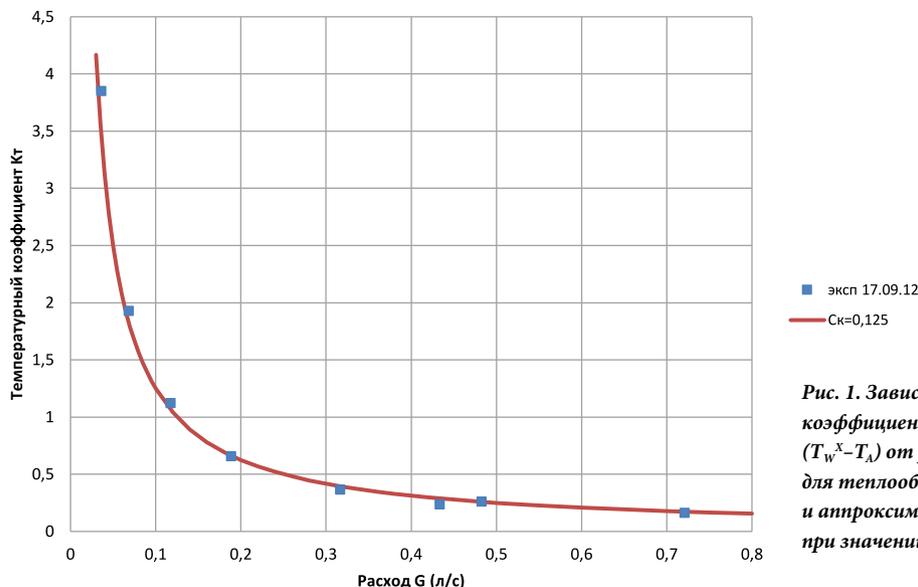


Рис. 1. Зависимость температурного коэффициента  $K_t = (T_w^f - T_w^x) / (T_w^x - T_A)$  от расхода воды  $G_w$  для теплообменника W1202-р и аппроксимирующая кривая  $C_k / G_w$  при значении  $C_k = 0,125$  л/с.

Для примера на рис. 1. представлены экспериментальные данные по температурному коэффициенту для теплообменника W1202-р завесы «Антарес» модели 1202AdWV и аппроксимирующая кривая, соответствующая правой части выражения (2) при значении  $C_k = 0,125$  л/с.

Принимая во внимание выражения (1) и (2), тепловую мощность теплообменника можно приближенно вычислить по формуле:

$$W_{\Pi} \approx 4,19 \cdot C_k \cdot (T_w^x - T_A). \quad (4)$$

Из нее, в частности, следует, что мощность теплообменника определяется преимущественно значением температуры воды на выходе теплообменника или, точнее, разностью температуры воды на выходе и температуры окружающего воздуха. Кажущаяся на первый взгляд нестыковка, выражающаяся в отсутствии зависимости тепловой мощности теплообменника от температуры воды на входе, может быть объяснена тем, что сохранить определенное значение температуры воды на выходе при повышении температуры на входе можно за счет уменьшения расхода воды. В результате увеличение разности температур воды на входе и выходе практически компенсируется уменьшением расхода воды

через теплообменник, и тепловая мощность завесы почти не меняется.

Расход воды в теплообменнике определяется по графической зависимости расхода воды от перепада давления, имеющейся в технической документации завесы. Зависимость расхода воды через теплообменник от разности давления обычно хорошо описывается степенной функцией с показателем степени 0,54:

$$G_w = P^{0.54} / R, \quad (5)$$

где  $P$  — перепад давления в месте подсоединения теплообменника,  $R$  — гидравлическое сопротивление теплообменника.

Если при известном перепаде давления или при заданных значениях расхода воды в теплообменнике, температуры воды в подающем трубопроводе и температуры окружающего воздуха требуется определить значение температуры воды на выходе и мощность теплообменника, следует определить значение константы  $C_k$ , рассчитав его при указанных в технической документации параметрах, наиболее близких к заданным.

$$C_k = G_w \cdot (T_w^f - T_w^x) / (T_w^x - T_A). \quad (5)$$

Так, если в технической документации на завесу указано, что, для того чтобы при температуре воды в подающем трубопроводе  $T_w^f = 90^\circ\text{C}$  и температуре окружающего воздуха  $T_A = 15^\circ\text{C}$  тем-

пература воды на выходе теплообменника была  $T_w^x = 70^\circ\text{C}$ , требуется расход  $G_w = 0,35$  л/с, то получаем значение  $C_k = 0,127$  л/с. При этом тепловая мощность теплообменника, рассчитанная с помощью выражений (1) или (4), должна совпасть с указанным в технической документации на завесу значением тепловой мощности



Рис. 2. Завеса «Антарес» модель 1202AdWV с водяным теплообменником

теплообменника для этих стандартных значений температур и расхода воды (в данном случае  $W = 29$  кВт).

Теперь можно определить расход воды через теплообменник, необходимый для того, чтобы температура воды на выходе была  $T_{w^x}$  при заданных условиях работы завесы — температуре воды в подающем трубопроводе  $T_{w^f}$  и температуре окружающего воздуха  $T_A$ :

$$G_w = C_k \cdot (T_{w^x} - T_A) / (T_{w^f} - T_{w^x}). \quad (6)$$

И наоборот, если известны расход воды в теплообменнике  $G_w$ , значение температуры воды в подающем трубопроводе  $T_{w^f}$  и температуры окружающего воздуха  $T_A$ , можно определить, какова будет при этом температура воды на выходе теплообменника  $T_{w^x}$ :

$$T_{w^x} = (G_w \cdot T_{w^f} + C_k \cdot T_A) / (G_w + C_k). \quad (7)$$

Например, для уже упомянутого теплообменника со значением  $C_k = 0,127$  л/с при температуре воды в подающем трубопроводе  $T_{w^f} = 120^\circ\text{C}$ , температуре окружающего воздуха  $T_A = 10^\circ\text{C}$  и расходе воды через теплообменник  $G_w = 1$  л/с расчетная температура воды на выходе теплообменника будет  $T_{w^x} = 107^\circ\text{C}$ . Тепловая мощность теплообменника при этих режимах, рассчитанная с помощью выражений (1) или (4), составит 54,5 кВт.

## КОММЕНТАРИЙ СПЕЦИАЛИСТА

Вышеизложенный подход к оценке расчета мощностей воздушных завес с жидким теплоносителем был предложен специалистами компании «Антарес» на этапе разработки методики испытаний воздушных завес на базе АПИК для целей верификации. Выражаясь обычным языком, предложение «Антарес» представляет собой простой инструмент нахождения мощности воздушной завесы для «любых» сочетаний температур, если мы знаем мощность при каких-либо температурах. Под сочетанием мы понимаем температуру окружающего завесу воздуха  $T_A$  и температуры теплоносителя (воды) на входе в завесу  $T_{w^f}$  и выходе из нее  $T_{w^x}$ . Единственное условие, необходимое для правильного нахождения мощности для других температур, — это постоянство расхода воздуха через завесу. Заметим, что при переходе от одного сочетания температур к другому расход воды  $G_w$ , вообще говоря, изменяется.

Естественно задать вопрос о точности и границах применимости данной модели. Из приведенного выше специалистами «Антарес» графика следует, что для указанного теплообменника модель работает с достаточно высокой точностью в широких пределах (более чем в 10 раз!) изменения расхода воды  $G_w$ . Данный факт негитивален еще и потому, что при подобных изменениях расхода  $G_w$  существенно изменяется характер течения воды

в трубках теплообменника и, следовательно, характер процессов теплопереноса.

Являясь совместно с компанией «Антарес» участниками разработки методики верификации завес с жидким теплоносителем, специалисты компании «Тропик» приняли участие в измерениях водяных завес на базе АПИК. Эти измерения носили в основном характер прикидок по новой методике и производились на воздушных завесах известных на российском рынке брендов (в числе которых присутствовали «Антарес» и «Тропик»). При этих измерениях области изменения  $G_w$  варьировались от 0,08 до 0,21 л/с и от 0,13 до 0,2 л/с для разных завес. Для некоторых завес измерения были произведены лишь при  $G_w$  около значения 0,2 л/с. Данные измерения подтвердили модель, предложенную «Антарес» (постоянство  $C_k$ ), с точностью до 4,5 %. Следует также отметить, что в методике верификации водяных завес на базе АПИК для финальных расчетов мощности завесы используется более слабое утверждение, чем постоянство  $C_k$ . Суть методики заключается в том, что сначала по результатам измерения мощности при некоторых условиях в первом приближении производится оценка  $G_w$  для стандартных условий. Второе измерение производится именно при установленном с определенной точностью данным значением  $G_w$ . Теперь пересчет мощности к стандартным условиям подразумевает полное гидродинамическое подобие (эквивалентность)



Алексей Пухов,  
технический директор «РусТропик»

течения воды в трубках теплообменника (или, другими словами, постоянство  $C_k$  уже при неизменном  $G_w$ ), что, очевидно, есть более слабое утверждение, чем постоянство  $C_k$ , и, следовательно, выполняется с более высокой точностью. Единственное ограничение, о котором следует помнить при пересчете мощности для постоянного расхода  $G_w$ , заключается в том, что при значительном изменении средней температуры воды ее изменившаяся вязкость все-таки изменит характер течения даже при неизменном расходе  $G_w$ . В терминах задачи измерения и расчета мощностей воздушной завесы с жидким теплоносителем это означает, что для получения высокой точности расчетов сочетания температур должны по возможности выставляться для измерений как можно ближе к тем, к которым производится пересчет.