

### 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:

$$W = c \times \rho \times G_W \times (T_W^I - T_W^X),$$

где  $W$  — тепловая мощность завесы, кВт;  $G_W$  — расход воды, л/с;  $T_W^I$  — температура воды на входе в теплообменник;  $T_W^X$  — температура воды на выходе из теплообменника, °C;  $c$  — теплоемкость воды,  $c = 4,19 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{°C}}$ ;  $\rho$  — плотность воды,  $\rho = 1 \frac{\text{кг}}{\text{л}}$ .

После подстановки этих величин имеем:

$$W = 4,19 \times G_W \times (T_W^I - T_W^X). \quad (1)$$

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

### Assessment methodology of calculation of heat parameters of water curtains

In the design of ventilation systems is necessary to choose air curtains with the heater (heat exchanger) with steam or water source heat. The designers face the challenge of determining the heat output of curtains, based on the real parameters of the heating system of the object, such as a kind of heat transfer agent, pressure and temperature of the heat transfer agent in the supply pipeline, the pressure in the heat transfer agent return line, the air temperature at the inlet to the heat exchanger and, possibly, the required temperature of the heat transfer agent at the outlet of the heat exchanger.

Usually the manufacturer in the documentation for the curtains with the heat exchangers gives the heat transfer agent flow rate for one or more standard setups heating. Such a kit typically comprises water temperature at the inlet and outlet of heat exchanger and the ambient temperature at the exchanger inlet. The heat output of the air curtain in these parameters determined by the formula for the heat transfer agent -water from the heat balance equation:

$$W = c \times \rho \times G_W \times (T_W^I - T_W^X),$$

where  $W$  - heat output of the air curtain, KW;  $G_W$  - water flow rate, l/s;  $T_W^I$  - water temperature at the inlet to the heat exchanger;  $T_W^X$  - water temperature at the outlet of the heat exchanger, °C;  $c$  - specific heat of water,  $c = 4.19 \text{ kJ}/(\text{kg} \times \text{°C})$ ;  $\rho$  - density of water,  $\rho = 1 \text{ kg/l}$ .

After substituting these values we have:

$$W = 4,19 \times G_W \times (T_W^I - T_W^X). \quad (1)$$

Often, however, you need to determine what will be the heat output value of the air curtain by the other parameters of the heating system. In the course of our company tests it was observed that for all the studied heat exchanger at a fixed flow rate of air is fairly simple rela-

отношением температур:

$$\frac{T_W^r - T_W^x}{T_W^x - T_A} \approx \frac{C_K}{G_W} \quad (2)$$

Здесь:  $T_A$  — температура окружающего воздуха, °C;  $C_K$  — 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:

$$K_T = \frac{T_W^r - T_W^x}{T_W^x - T_A} \quad (3)$$

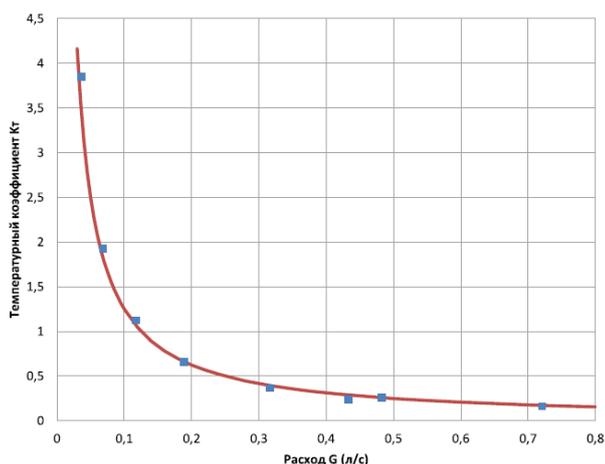


Рис. 1. Зависимость температурного коэффициента  $K_T = (T_W^r - T_W^x) / (T_W^x - T_A)$  от расхода воды  $G_W$  для теплообменника W1202-р и аппроксимирующая кривая  $C_K / G_W$  при значении  $C_K = 0,125$  л/с.

Для примера на рис. 1. представлены экспериментальные данные по температурному коэффициенту для теплообменника WV1202-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 приблизительно вычислить по формуле:

$$W_{II} \approx 4,19 \times C_K \times (T_W^x - T_A) \quad (4)$$

relationship between water flow and temperature ratio:

$$\frac{T_W^r - T_W^x}{T_W^x - T_A} \approx \frac{C_K}{G_W} \quad (2)$$

Here:  $T_A$  - ambient air temperature, °C;  $C_K$  - a constant of dimension l/s, which characterizes the heat exchanger at a fixed flow rate of air. And if there is a deviation from this dependence, it is usually small and only by the low flow rate of water. Ratio represented on the left side of expression (2) temperature can be determined as a temperature coefficient of:

$$K_T = \frac{T_W^r - T_W^x}{T_W^x - T_A} \quad (3)$$

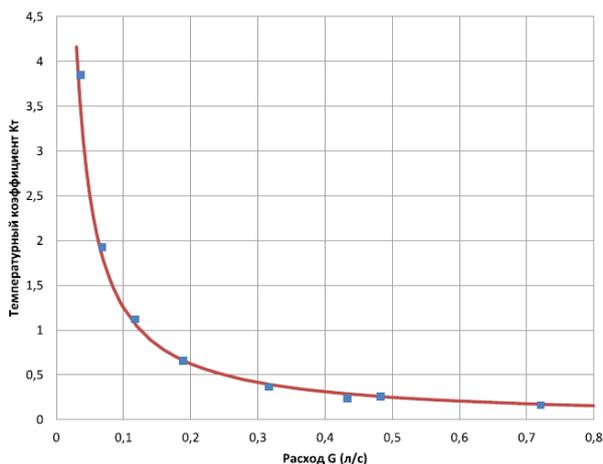


Fig. 1. The temperature coefficient  $K_T = (T_W^r - T_W^x) / (T_W^x - T_A)$  on the flow rate of water  $G_W$  for the heat exchanger W1202-р, and the approximating curve  $C_K / G_W$  at the value  $C_K = 0,125$  l/s.

For example, in Fig. 1. are given experimental data on the temperature coefficient for the heat exchanger WV1202-р curtain "Antares" model 1202AdWV and the approximating curve corresponding to the right-hand side of (2) for the value  $C_K = 0,125$  l/s.

Considering expressions (1) and (2), the heat output of the heat exchanger can be approximately calculated by the formula:

$$W_{II} \approx 4,19 \times C_K \times (T_W^x - T_A) \quad (4)$$

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.



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

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:

$$G_W = \frac{P^{0.54}}{R}, \quad (5)$$

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

From it, in particular, follows that the heat output of the heat exchanger is determined mainly by the value of the water temperature at the outlet or, more precisely, of the difference between the outlet water temperature and the ambient temperature. The apparent discrepancy at first glance, as expressed in the absence of depending of heat exchanger power on the inlet water temperature can be explained by the fact that retain a certain water temperature at the outlet when the water temperature at the inlet grows can be made by reduction of water flow rate. The resulting increase of the temperature difference between the water inlet and outlet almost compensated by the decrease of water flow rate through the heat exchanger and the heat output of the air curtain remains almost unchanged.



Fig. 2. Air curtain "Antares" model 1202AdWV with water heat exchanger.

Water flow rate in the heat exchanger is determined by the graphic dependence of flow rate from the differential pressure existing in the technical documentation of the air curtain. The dependence of the water flow rate through the heat exchanger from the differential pressure is usually well described by a power function with an exponent of 0.54:

$$G_W = \frac{P^{0.54}}{R}, \quad (5)$$

where  $P$  - differential pressure at the connectings of the heat exchanger,  $R$  - hydraulic resistance of the heat ex-

менника. 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.

$$C_K = G_W \times \frac{T_W^I - T_W^X}{T_W^I - T_A}, \quad (6)$$

Так, если в технической документации на завесу указано, что, для того чтобы при температуре воды в подающем трубопроводе  $T_W^I = 90^\circ\text{C}$  и температуре окружающего воздуха  $T_A = 15^\circ\text{C}$  температура воды на выходе теплообменника была  $T_W^X = 70^\circ\text{C}$ , требуется расход  $G_W = 0,35 \text{ л/с}$ , то получаем значение  $C_K = 0,127 \text{ л/с}$ . При этом тепловая мощность теплообменника, рассчитанная с помощью выражений (1) или (4), должна совпасть с указанным в технической документации на завесу значением тепловой мощности теплообменника для этих стандартных значений температур и расхода воды (в данном случае  $W = 29 \text{ кВт}$ ).

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  $T_W^I$  и температуре окружающего воздуха  $T_A$ :

$$G_W = C_K \times \frac{T_W^X - T_A}{T_W^I - T_W^X}, \quad (7)$$

И наоборот, если известны расход воды в теплообменнике  $G_W$ , значение температуры воды в подающем трубопроводе  $T_W^I$  и температуры окружающего воздуха  $T_A$ , можно определить, какова будет при этом температура воды на выходе теплообменника  $T_W^X$ :

$$T_W^X = \frac{G_W \times T_W^I + C_K \times T_A}{G_W + C_K}. \quad (8)$$

Например, для уже упомянутого теплообменника со значением  $C_K = 0,127 \text{ л/с}$  при температуре воды в подающем трубопроводе  $T_W^I = 120^\circ\text{C}$ , температуре окружающего воздуха  $T_A = 10^\circ\text{C}$  и расходе воды через теплообменник  $G_W = 1 \text{ л/с}$  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  $54,5 \text{ кВт}$ .

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

changer. If at a certain differential pressure or flow rate of water in the heat exchanger, the water temperature at the inlet to the heat exchanger and ambient air temperature is required to determine the temperature of the water at the outlet and the heat output of exchanger, determine the value of the constant  $C_K$ , calculating it from the data specified in the technical documentation for the most close to given.

$$C_K = G_W \times \frac{T_W^I - T_W^X}{T_W^I - T_A}, \quad (6)$$

Thus, if in the technical documentation on the air curtain is indicated that, in order to at the water temperature at the inlet  $T_W^I = 90^\circ\text{C}$  and an ambient air temperature  $T_A = 15^\circ\text{C}$  the water temperature at the outlet was  $T_W^X = 70^\circ\text{C}$  the required flow rate  $G_W = 0,35 \text{ l/s}$ , then we get the value  $C_K = 0,127 \text{ l/s}$ . While the heating output of the heat exchanger calculated by expression (1) or (4) should coincide with the specified technical documentation air curtain heat output value for this standard values of temperatures and flow rate (in this case  $W = 29 \text{ kW}$ ). Now you can determine the water flow rate through the heat exchanger required to outlet water temperature was  $T_W^X$  under the given conditions of the air curtain - water temperature at the inlet  $T_W^I$  and ambient air temperature  $T_A$ :

$$G_W = C_K \times \frac{T_W^X - T_A}{T_W^I - T_W^X}, \quad (7)$$

Conversely, if you know the water flow rate in the heat exchanger  $G_W$ , the water temperature at the inlet  $T_W^I$  and the ambient air temperature  $T_A$ , you can determine what will be the outlet water temperature of the heat exchanger  $T_W^X$ :

$$T_W^X = \frac{G_W \times T_W^I + C_K \times T_A}{G_W + C_K}. \quad (8)$$

For example, for the mentioned heat exchanger with a value  $C_K = 0,127 \text{ l/s}$  at a water temperature at the inlet  $T_W^I = 120^\circ\text{C}$ , the ambient air temperature  $T_A = 10^\circ\text{C}$  and water flow rate through the heat exchanger  $G_W = 1 \text{ l/s}$  the estimated temperature of the water at the outlet will  $T_W^X = 107^\circ\text{C}$ . The heat output of the heat exchanger in these modes calculated using expression (1) or (4) would be  $54.5 \text{ kw}$ .

S. A. Lystsev, A. V. Azin,  
JSC «Antares PRO»

### 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  $T_W^Г$  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 нетривиален 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

### Comment specialist

The above approach to the assessment of the calculation of the heat output of air curtains with a heat transfer fluid was proposed by the specialists of "Antares" on the stage of development of testing procedures of air curtains on the basis of APIC for verification purposes. In other words, the proposal "Antares" is a simple tool find the heat output of the air curtain for "any" combination of temperature, if we know the heat output at some temperature. Under this combination we mean the temperature of the surrounding air  $T_A$  and temperatures of the heat transfer agent (water) at the entrance to the air curtain  $T_W^G$  and out of the air curtain  $T_W^H$ . The only condition necessary for the proper finding of heat output for other temperatures is constancy of air flow rate through the air curtain. Note that the transition from one temperature combination to another the water flow rate  $G_W$ , in general, is changing.

It is natural to ask questions about the accuracy and limits of applicability of the model. From the given above by experts "Antares" graph follows that for this heat exchanger the model works with sufficient accuracy over a wide range (more than 10 times!) of the flow rate  $G_W$ . This fact is non-trivial and yet because by such changes of the flow rate  $G_W$  significantly changed the character of the flow of water in the heat exchanger tubes and, therefore, the nature of heat transfer processes.

Being together with "Antares" as participants developing methods of verification of air curtains with a liquid heat carrier, the specialists of "Tropic" took part in the measurements of water curtains on the basis of APIC. These measurements were mainly nature of the estimates the new method and were carried out on air curtains-known brands in the Russian market (including the present "Antares" and "Tropic"). In these measurements changes  $G_W$  ranged from 0.08 to 0.21 l/s and from 0.13 to 0.2 l/s for different air curtains. Some curtains measurements were made only for the values  $G_W$  about 0.2 l/s. These measurements confirmed the model proposed

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 данном значении  $G_W$ . Теперь пересчет мощности к стандартным условиям подразумевает полное гидродинамическое подобие (эквивалентность) 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 увеличивающаяся 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.

*Алексей Пухов,*  
*технический директор «РусТропик»*

by "Antares" (constancy  $C_K$ ), up 4.5%. It should also be noted that in the method of verification of water curtains on the basis of APIC for the final curtain heat output calculations used a weaker statement than the constancy  $C_K$ . The technique consists in that the at the first by measuring the power under certain conditions, in the first approximation is assessed  $G_W$  at standard conditions. The second measurement is performed at established with some precision given value  $G_W$ . Now the heat output recalculation to standard conditions implies full hydrodynamic similarity (equivalence) of water flow in the heat exchanger tubes (or, in other words, the persistence  $C_K$  already at constant  $G_W$ ), which obviously is a weaker statement than the constancy  $C_K$ , and therefore runs with higher precision.

The only limitation to keep in mind by heat output recalculation for constant flow rate  $G_W$ , is that when a significant change in the average temperature of the water to change it all the same viscosity even change the nature of the flow at a constant flow rate  $G_W$ . In terms of measurement tasks and heat output calculation of air curtain with a heat transfer fluid, this means that for high precision calculations combinations temperature should preferably be billed for the measurement as close as possible to those which are recalculated .

*Alexei Pukhov,*  
*technical director "RusTropik"*