

Расчет тепловых характеристик водяных воздухоподогревателей.

С.А. Лыцев
ЗАО «Антарес ПРО»

В предыдущем номере журнала (Инженерные системы АВОК Северо-Запад №3 2013) была опубликована статья сотрудников НПО «Тепломаш» В.Г. Булыгина и Ю.Н. Марра «О тепловых характеристиках водяных воздухоподогревателей» [1], поставленные в которой вопросы, на мой взгляд, имеют высокую актуальность среди проектировщиков и специалистов по теплоснабжению. Констатируется в частности, что «часто возникает необходимость пересчитать тепловую мощность при температурах прямой и обратной воды, например, 95°C/70°C на температуры 105°C/70°C. В этом случае искомой величиной становится расход воды, который будет отличаться от исходного». В статье много внимания уделено водяным эквивалентам W_T , W_X , W^* и анализу их взаимоотношений с коэффициентом эффективности аппарата τ и его производными τ_x и τ^* . Для приведенных в статье выражений для пересчета тепловых параметров требуется рассчитанный с помощью специализированной программы коэффициент эффективности τ . Отмечается, что «расчет τ при отсутствии программы требует обширных знаний в области теплопередачи и теории теплообменных аппаратов» и производится отсылка читателя к перечню литературы.

В статье также имеется упоминание об альтернативной методике расчета тепловых параметров теплообменника с помощью так называемого параметра C_K и дается ссылка на статью в журнале «Мир климата» [2], одним из авторов которой я и являюсь. Поэтому постараясь здесь показать, каким образом для конкретной воздушной завесы на практике можно выполнить упомянутый пересчет тепловых параметров теплообменника при помощи такой характеристики теплообменника, как параметр C_K .

Эта методика пересчета тепловых параметров теплообменников с помощью параметра C_K получила свое развитие именно в последнее время благодаря работам по созданию методики верификации воздушных завес с водяными теплообменниками при Учебно-консультационном центре АПИК. И, скорее всего, в ближайшее время ее ожидает дальнейшее развитие. Принципы, положенные в основу пересчета тепловых параметров, нашли отражение в статьях сотрудников фирм «Антарес» и «Тропик», участвовавших в разработке методики верификации [2, 3, 4, 5]. Но я бы отметил и весомый вклад в это сотрудников ЗАО НПО «Тепломаш», по крайней мере как принципиальных оппонентов.

Прежде всего нужно посчитать значения этого характеризующего работу завесы на максимальной и минимальной скорости параметра C_K . В статье [1] в качестве одного из примеров приводится завеса FRICO AD310W. Мы также можем использовать ее для демонстрации пересчета тепловых параметров с помощью параметра C_K . В таблице 1 приведены взятые из официального каталога FRICO значения основных тепловых параметров завесы AD310W (тепловая мощность завесы Q , в кВт, и требуемый расход воды через теплообменник G , в л/с) при нескольких наборах эталонных температур (температура воды на входе в теплообменник T_e , температура воды на выходе теплообменника T_x , температура окружающего воздуха T_o) для двух скоростей работы вентилятора завесы (max и min).

The calculation of the thermal characteristics of water heat exchangers.

SA Lystsev
"Antares PRO"

In the previous issue (Engineering Systems AVOK Northwest №3 2013) published an article of staff "Teplomash" VG Bulygin and YN Marr "On the thermal characteristics of the water heat exchangers" [1], posed in which the questions, in my opinion, have a high relevance for designers and experts in heat supply. Stated that "it is often necessary to recalculate the heat output of heat exchanger at temperatures of supply and return, for example, from 95 ° C/70 ° C to 105 ° C/70 ° C. In this case, as the required value will be the quantity of water flow, that will be different from the original". In the article a lot of attention were paid to the water equivalent W_T , W_X , W^* and their relation with the efficiency ratio of apparatus τ and its derivatives τ_x and τ^* . For the given in the article expressions for the recalculation of thermal parameters is required to be calculated the efficiency ratio τ with using a specialized program. There is noted that "the calculation of τ without program requires extensive knowledge of the theory of heat exchangers" and were made reference of readers to the list of literature.

The article also has a mention of an alternative method of calculating the thermal parameters of the heat exchanger using the so-called parameter C_K and reference is made to an article in the journal "Climate World" [2], one of the authors of which I am. So I will try to show here how for the specific air curtain in practice you can recalculate the heat parameters of heat exchanger using a heat exchanger features C_K .

This method of recalculating of the thermal parameters of heat exchangers by using the parameter C_K received the development in recent years is due to the work by methods of air curtains verification with water heat exchangers at Training and Consulting Center APIC. And, most likely, in the near future it expects further development. The principles underlying the recalculation of thermal parameters are reflected in the articles of employees of firms "Antares" and "Tropic", involved in the development of verification method [2, 3, 4, 5]. But I would point out the important contribution of employees NPO "Teplomash", at least as a principled opponents.

First of all it is necessary to calculate the value of this parameter C_K , that characterizes the work of air curtain on the maximum and minimum speed. In article [1] as one of the examples is treated the veil FRICO AD310W. We can also use it to demonstrate the recalculation of thermal parameters by using the C_K . Table 1 lists the taken from the official catalog FRICO values of the basic thermal parameters of air curtain AD310W (heat output of air curtain Q , in kW, and the required water flow rate through the heat exchanger G , l/s) for several sets of standard temperatures (the water temperature at the inlet to the heat exchanger T_g the water temperature at the outlet to the heat exchanger T_h , ambient air temperature T_o) for a two speeds of the air curtain fan (max and min).

ско рос ть	Q, кВт	G, л/с	T ₂	T _x	T _o	G _Q , л/с	C _{K max} л/с	C _{K min} л/с
max	30,6	0,12	130	70	20	0,121	0,1457	
max	35	0,13	130	70	10	0,139	0,1389	
max	19,8	0,23	80	60	20	0,236	0,1179	
max	30,1	0,23	110	80	20	0,239	0,1194	
max	34,3	0,27	110	80	10	0,272	0,1167	
max	24	0,28	80	60	10	0,286	0,1143	
max	24,1	0,28	90	70	20	0,287	0,1148	
max	28,2	0,33	90	70	10	0,336	0,1119	
min	23	0,09	130	70	20	0,091		0,1095
min	26,1	0,1	130	70	10	0,104		0,1036
min	14,6	0,17	80	60	20	0,174		0,0869
min	22,2	0,17	110	80	20	0,176		0,0881
min	25,2	0,2	110	80	10	0,200		0,0857
min	17,6	0,21	80	60	10	0,210		0,0838
min	17,7	0,21	90	70	20	0,211		0,0843
min	20,7	0,24	90	70	10	0,246		0,0821

Таблица 1. Наборы эталонных температур и расходов воды через теплообменник завесы FRICO AD310W и рассчитанные на их основе параметры C_K для работы завесы на максимальной и минимальной скоростях вентилятора.

Так как обычно производители завес предоставляют данные по расходу с меньшей точностью, чем данные по тепловой мощности, то для повышения точности в расчете предпочтительно использовать значения расхода воды (в таблице обозначен как G_Q, в л/с), посчитанные исходя из уравнения теплового баланса:

$$G_Q = \frac{Q}{4,2 \times (T_2 - T_x)} \quad (1)$$

Значение C_K «по определению» рассчитывается как произведение расхода воды на отношение разностей температур, воды на входе и выходе теплообменника и воды на выходе теплообменника и температуры окружающего воздуха:

$$C_K = G_Q \times \frac{T_2 - T_x}{T_x - T_o} \quad (2)$$

В таблице 1 приведены рассчитанные по формуле (2) значения C_K для нескольких наборов эталонных температур и расходов при работе завесы FRICO AD310W на максимальной скорости вентилятора (C_{K max}) и на минимальной скорости (C_{K min}). Те же значения приведены на графике 1 в зависимости от расхода воды в теплообменнике. Видно, что они неплохо аппроксимируются исходя из предложенного в свое время А.В. Пуховым [4] «температурного» подхода выражением

$$C_{K \text{ аппр}} = \frac{G_Q \times C}{G_Q - a \times C} \quad (3)$$

Здесь C и a – используемые при «температурном» подходе константы аппроксимации. При работе завесы FRICO AD310W на максимальной скорости хорошо подходят значения C = 0,098 и a = 0,41. При работе завесы на минимальной скорости подойдут значения C = 0,071 и a = 0,45.

ско рос ть	Q, кВт	G, л/с	T ₂	T _x	T _o	G _Q , л/с	C _{K max} л/с	C _{K min} л/с
max	30,6	0,12	130	70	20	0,121	0,1457	
max	35	0,13	130	70	10	0,139	0,1389	
max	19,8	0,23	80	60	20	0,236	0,1179	
max	30,1	0,23	110	80	20	0,239	0,1194	
max	34,3	0,27	110	80	10	0,272	0,1167	
max	24	0,28	80	60	10	0,286	0,1143	
max	24,1	0,28	90	70	20	0,287	0,1148	
max	28,2	0,33	90	70	10	0,336	0,1119	
min	23	0,09	130	70	20	0,091		0,1095
min	26,1	0,1	130	70	10	0,104		0,1036
min	14,6	0,17	80	60	20	0,174		0,0869
min	22,2	0,17	110	80	20	0,176		0,0881
min	25,2	0,2	110	80	10	0,200		0,0857
min	17,6	0,21	80	60	10	0,210		0,0838
min	17,7	0,21	90	70	20	0,211		0,0843
min	20,7	0,24	90	70	10	0,246		0,0821

Table 1. Sets of standard temperatures and water flow rates through the heat exchanger of air curtain FRICO AD310W and the calculated parameters C_K for a two speeds of the air curtain fan.

Since air curtains manufacturers typically offer the data of water flow rate less accurate than heat output data, to improve the accuracy of recalculation preferably used the water flow rate (as indicated in Table G_Q, in l/s), computed from the heat balance equation:

$$G_Q = \frac{Q}{4,2 \times (T_2 - T_x)} \quad (1)$$

C_K "by definition" can be calculated as the product of the water flow rate and ratio of temperature differences, water inlet and outlet of the heat exchanger and the water outlet of the heat exchanger and the ambient temperature:

$$C_K = G_Q \times \frac{T_2 - T_x}{T_x - T_o} \quad (2)$$

Table 1 shows the calculated by formula (2) C_K values for multiple reference sets of temperature and water flow rate of air curtain FRICO AD310W at maximum fan speed (C_{K max}) and minimum fan speed (C_{K min}). Those values are shown in Figure 1 depending on the flow of water in the heat exchanger. It is evident that they are well approximated on the basis of the proposed by A.V. Puhov [4] the expression of the "temperature" approach

$$C_{K \text{ аппр}} = \frac{G_Q \times C}{G_Q - a \times C} \quad (3)$$

Here C and a - the approximation constants used in the "temperature" approach. When air curtain FRICO AD310W is operating at maximum speed, the suitable values of C = 0.098 and a = 0.41. When air curtain is operating at minimum speed fit values of C = 0.071 and a = 0.45.

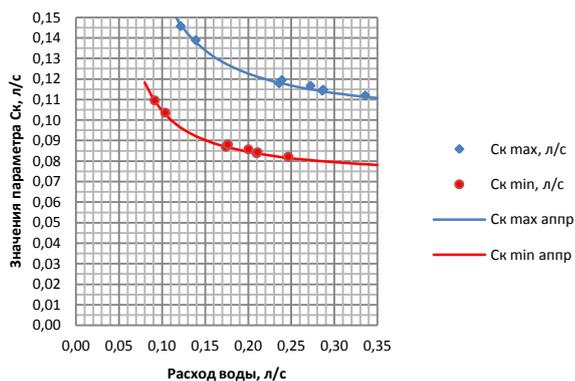


Рис. 1. Зависимость параметра C_K для максимальной и минимальной скорости работы вентилятора завесы Frico AD310W.

Параметр C_K имеет размерность расхода (л/с) и может выступать в качестве характерной величины, определяющей работу теплообменника при некоторой фиксированной скорости обдува теплообменника. На Рис. 1 видно, что при расходах воды, больших чем примерно две величины C_K , поведение C_K практически перестает зависеть от расхода воды и превращается в константу, которую можно обозначить как C_{K0} . При меньших расходах воды через теплообменник для большинства теплообменников наблюдается рост C_K . Однако для некоторых теплообменников при уменьшении расхода воды значение C_K не только не растет, но даже может в некотором диапазоне малых расходов снижаться. Происходит это в том случае, если при этих расходах имеет место переход от турбулентного режима движения воды в трубках теплообменника к ламинарному и сопровождающее данный процесс снижение теплопередачи. Физическим смыслом параметра C_K является то, что он, согласно его определению (2), численно равен расходу воды через теплообменник, при котором верхняя разность температур (разность температур воды на входе и выходе теплообменника) равна нижней разности температур (разности температуры воды на выходе теплообменника и температуры окружающего воздуха). То есть, если значение температуры воды на выходе теплообменника находится посередине между значениями входных температур воды и воздуха, то расход воды через теплообменник G будет равен C_K .

Для расчета тепловых параметров теплообменника можно использовать два основных подхода. Это «упрощенный подход», предложенный в [2], при котором C_K принимается не зависящим от расхода ($C_K = C_{K0}$) и вследствие этого рекомендуемый в случаях, когда рассматриваемые расходы по своей величине больше одной – двух величин C_K . А также «температурный» подход [4], способный с хорошей точностью описывать поведение C_K вплоть до расходов порядка величины $a \times C$, то есть на практике во всем диапазоне турбулентности водяного потока.

Ниже приведены основные формулы для расчета по «упрощенному» и «температурному» подходам (более подробно о них можно посмотреть в статьях [2, 4, 5], либо на сайте www.antar.ru в разделе «Методики и расчеты»).

1. «Упрощенный» подход.

$$C_K = C_{K0} = const;$$

$$Q(T_x) = 4,2 \times C_{K0} \times (T_x - T_o); \quad (4)$$

$$Q(G) = 4,2 \times \frac{G \times C_{K0}}{G + C_{K0}} \times (T_2 - T_o); \quad (5)$$

$$T_x(G) = \frac{G \times T_2 + C_{K0} \times T_o}{G + C_{K0}}; \quad (6)$$

$$G(T_x) = C_{K0} \times \frac{T_x - T_o}{T_2 - T_x}. \quad (7)$$

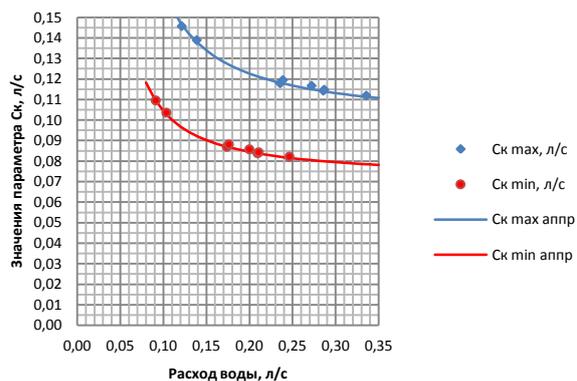


Fig. 1. Dependence of the C_K for the maximum and minimum speed of the fan of air curtain Frico AD310W.

Parameter C_K has the dimension of flow rate (l/s) and can act as a characteristic value that define operating of heat exchanger at a constant speed blowing of heat exchanger. Figure. 1 shows that at flow rates greater than about two magnitudes C_K , the C_K behavior practically ceases to depend on the water flow rate and turns into a constant, which can be named as C_{K0} . At lower flow rates through the heat exchanger for the majority of the of heat exchangers the is the rise of C_K . However, for some heat exchangers while water flow rate is reducing, the value C_K not increases, but even within a certain range of small water flow rate can be decrease. This happens if by that water flow rate takes place a transition from turbulent water flow in the tubes of the heat exchanger to a laminar water flow and accompanying the reduction of heat transfer. Physical meaning of the parameter C_K is that it, according to its definition (2), which is numerically equal to the water flow rate through the heat exchanger, wherein the upper temperature difference (temperature difference between water inlet and water outlet of the heat exchanger) is equal to the lower temperature difference (the temperature difference between water outlet of the heat exchanger and ambient temperature). That is, if the water temperature at the outlet of the heat exchanger is located halfway between the inlet temperatures of water and air, then the water flow through the heat exchanger G is equal to the C_K .

For the calculation of parameters of heat exchanger can use two main approaches. This is the "simplified" approach, proposed in [2], in which the C_K is taken to be independent of water flow rate ($C_K = C_{K0}$) and therefore recommended in cases where the considered flow rate in magnitude more than one or two units of C_K . And also the "temperature" approach [4], capable with good accuracy to describe the behavior of the C_K until the flow rate of the order of $a \times C$, that is in practice in the whole range of water flow turbulence.

Below are the basic formulas for calculating on the "simplified" and "temperature" approaches (for more details about them can be found in [2, 4, 5], or on the website www.antar.ru in "Methods and calculations").

1. "Simplified" approach.

$$C_K = C_{K0} = const;$$

$$Q(T_x) = 4,2 \times C_{K0} \times (T_x - T_o); \quad (4)$$

$$Q(G) = 4,2 \times \frac{G \times C_{K0}}{G + C_{K0}} \times (T_2 - T_o); \quad (5)$$

$$T_x(G) = \frac{G \times T_2 + C_{K0} \times T_o}{G + C_{K0}}; \quad (6)$$

$$G(T_x) = C_{K0} \times \frac{T_x - T_o}{T_2 - T_x}. \quad (7)$$

2. «Температурный» подход.

$$C_k(T_x) = C \times \left(1 + \alpha \times \frac{T_2 - T_x}{T_x - T_o}\right); \quad (8)$$

$$C_k(G) = \frac{C \times G}{G - \alpha \times C} = C \times \left(1 + \frac{\alpha \times C}{G - \alpha \times C}\right); \quad (9)$$

$$Q(T_x) = 4,2 \times C \times [(T_x - T_o) + \alpha \times (T_2 - T_x)]; \quad (10)$$

$$Q(G) = 4,2 \times \frac{C \times G}{(G - \alpha \times C) + C} \times (T_2 - T_o); \quad (11)$$

$$T_x(G) = \frac{T_2 \times (G - \alpha \times C) + T_o \times C}{(G - \alpha \times C) + C}; \quad (12)$$

$$G(T_x) = C \times \left(\alpha + \frac{T_x - T_o}{T_2 - T_x}\right). \quad (13)$$

Теперь, зная характерные параметры теплообменника и имея необходимые формулы для пересчета, можно рассчитать, каковы же будут тепловая мощность и расход воды через теплообменник завесы FRICO AD310W при упомянутых выше температурных наборах (95/70/15) и (105/70/15). Используя полученные ранее значения для констант C и α при работе завесы AD310W на максимальной и минимальной скоростях вентилятора, согласно формулам (10) и (13) получаем

для максимальной скорости и набора температур (95/70/15):

$$Q = 4,2 \times 0,098 \times [(70 - 15) + 0,41 \times (95 - 70)] = 26,9 \text{ [кВт]}$$

$$G = 0,098 \times \left(0,41 + \frac{70 - 15}{95 - 70}\right) = 0,26 \text{ [л/с]}$$

для максимальной скорости и набора температур (105/70/15):

$$Q = 4,2 \times 0,098 \times [(70 - 15) + 0,41 \times (105 - 70)] = 28,5 \text{ [кВт]}$$

$$G = 0,098 \times \left(0,41 + \frac{70 - 15}{105 - 70}\right) = 0,19 \text{ [л/с]}$$

для минимальной скорости и набора температур (95/70/15):

$$Q = 4,2 \times 0,071 \times [(70 - 15) + 0,45 \times (95 - 70)] = 19,8 \text{ [кВт]}$$

$$G = 0,071 \times \left(0,45 + \frac{70 - 15}{95 - 70}\right) = 0,19 \text{ [л/с]}$$

для минимальной скорости и набора температур (105/70/15):

$$Q = 4,2 \times 0,071 \times [(70 - 15) + 0,45 \times (105 - 70)] = 21,1 \text{ [кВт]}$$

$$G = 0,071 \times \left(0,45 + \frac{70 - 15}{105 - 70}\right) = 0,14 \text{ [л/с]}$$

Обратив внимание на формулу (4) «упрощенного» подхода можно заметить, что в выражении для тепловой мощности нет зависимости от температуры воды на входе в теплообменник. То есть, согласно «упрощенному» подходу, не важно, какова температура воды на входе в теплообменник. Тепловая мощность теплообменника преимущественно определяется характеризующим его параметром C_{K0} и разностью температур воды на выходе теплообменника и окружающего воздуха. Так, подставив в (4) принятые в качестве C_{K0} средние от представленных в таблице значений для максимальной скорости $C_{K0} = \langle C_{K \max} \rangle = 0,12$ и для минимальной скорости $C_{K0} = \langle C_{K \min} \rangle = 0,09$, получим примерно те же значения тепловой мощности, что были получены ранее с использованием формул «температурного» подхода:

для максимальной скорости:

$$Q(T_x) = 4,2 \times 0,12 \times (70 - 15) = 27,7 \text{ [кВт]} \\ \approx 26,9 \text{ [кВт]} \approx 28,5 \text{ [кВт]}$$

для минимальной скорости:

$$Q(T_x) = 4,2 \times 0,09 \times (70 - 15) = 20,8 \text{ [кВт]} \\ \approx 19,8 \text{ [кВт]} \approx 21,1 \text{ [кВт]}$$

2. "Temperature" approach.

$$C_k(T_x) = C \times \left(1 + \alpha \times \frac{T_2 - T_x}{T_x - T_o}\right); \quad (8)$$

$$C_k(G) = \frac{C \times G}{G - \alpha \times C} = C \times \left(1 + \frac{\alpha \times C}{G - \alpha \times C}\right); \quad (9)$$

$$Q(T_x) = 4,2 \times C \times [(T_x - T_o) + \alpha \times (T_2 - T_x)]; \quad (10)$$

$$Q(G) = 4,2 \times \frac{C \times G}{(G - \alpha \times C) + C} \times (T_2 - T_o); \quad (11)$$

$$T_x(G) = \frac{T_2 \times (G - \alpha \times C) + T_o \times C}{(G - \alpha \times C) + C}; \quad (12)$$

$$G(T_x) = C \times \left(\alpha + \frac{T_x - T_o}{T_2 - T_x}\right). \quad (13)$$

Now, knowing the characteristic parameters of the heat exchanger and having the necessary formulas for the conversion, you can calculate what will be the heat output and water flow rate through the heat exchanger of air curtain FRICO AD310W at the above temperature sets (95/70/15) and (105/70/15).

By using previously obtained values for the constants C and α at the operating of air curtain AD310W on maximum and minimum fan speeds, according to formulas (10) and (13) we obtain

for maximum speed and the set temperatures (95/70/15):

$$Q = 4,2 \times 0,098 \times [(70 - 15) + 0,41 \times (95 - 70)] = 26,9 \text{ [кВт]}$$

$$G = 0,098 \times \left(0,41 + \frac{70 - 15}{95 - 70}\right) = 0,26 \text{ [л/с]}$$

for maximum speed and the set temperatures (105/70/15):

$$Q = 4,2 \times 0,098 \times [(70 - 15) + 0,41 \times (105 - 70)] = 28,5 \text{ [кВт]}$$

$$G = 0,098 \times \left(0,41 + \frac{70 - 15}{105 - 70}\right) = 0,19 \text{ [л/с]}$$

for minimum speed and the set temperatures (95/70/15):

$$Q = 4,2 \times 0,071 \times [(70 - 15) + 0,45 \times (95 - 70)] = 19,8 \text{ [кВт]}$$

$$G = 0,071 \times \left(0,45 + \frac{70 - 15}{95 - 70}\right) = 0,19 \text{ [л/с]}$$

for minimum speed and the set temperatures (105/70/15):

$$Q = 4,2 \times 0,071 \times [(70 - 15) + 0,45 \times (105 - 70)] = 21,1 \text{ [кВт]}$$

$$G = 0,071 \times \left(0,45 + \frac{70 - 15}{105 - 70}\right) = 0,14 \text{ [л/с]}$$

Drawing attention to the formula (4) of "simplified" approach can be seen that in the expression for the heat output is no dependence on the inlet water temperature of the heat exchanger. That is, according to the "simplified" approach, no matter what is the water temperature will be at the inlet of the heat exchanger. The heat output of the heat exchanger is determined mainly by its characteristic parameter C_{K0} and the temperature difference the water at the outlet and the ambient air. Thus, substituting in (4) as C_{K0} the average of the values shown in the table for maximum speed $C_{K0} = \langle C_{K \max} \rangle = 0,12$ and for the minimum speed $C_{K0} = \langle C_{K \min} \rangle = 0,09$, we obtain approximately the same values of heat output, which were previously obtained using the formulas of "temperature" approach:

for maximum speed:

$$Q(T_x) = 4,2 \times 0,12 \times (70 - 15) = 27,7 \text{ [кВт]} \\ \approx 26,9 \text{ [кВт]} \approx 28,5 \text{ [кВт]}$$

for minimum speed:

$$Q(T_x) = 4,2 \times 0,09 \times (70 - 15) = 20,8 \text{ [кВт]} \\ \approx 19,8 \text{ [кВт]} \approx 21,1 \text{ [кВт]}$$



Рис. 2. Воздушная завеса с водяным теплообменником «Антарес» серии «Универсал ПРО» модель 1203AdWU.

Литература.

1. В.Г. Булыгин. Ю.Н. Марр. О тепловых характеристиках водяных воздухоподогревателей – Инженерные системы АВОК Северо-Запад, №3. 2013.
2. С.А. Лысцев. А.В. Азин. Методика оценочного расчета тепловых параметров водяных завес – Мир климата, №76. 2013.
3. С.А. Лысцев. А.В. Азин. Методика оценочного расчета тепловых параметров применительно к радиаторам водяного отопления – Мир климата, №77. 2013.
4. А.В. Пухов. Мощность тепловой завесы с жидким теплоносителем в общем случае – Мир климата, №78. 2013.
5. А.В. Пухов. Мощность тепловой завесы при произвольных расходах теплоносителя и воздуха – Мир климата, №80. 2013.



Fig. 2. Air curtain with water heat exchanger "Antares" series "Universal PRO" model 1203AdWU.

Литература.

1. VG Buligin. YN Marr. On the thermal characteristics of water air heaters - Engineering Systems ABOK Northwest, № 3. 2013.
2. SA Lystsev. AV Azin. Assessment methodology of calculation of heat parameters of water air curtains - World climate, № 76. 2013.
3. SA Lystsev. AV Azin. Assessment methodology of calculation of thermal parameters in relation to water radiators - World climate, № 77. 2013.
4. AV Pukhov. Heat output of the air curtain with fluid heat transfer agent in the general case - World climate, № 78. 2013.
5. AV Pukhov. Heat output of the air curtain for arbitrary water flow rate and air flow rate - World climate, № 80. 2013.