

Д. т. н. С. Я. Давыдов¹, д. т. н. Н. П. Косарев¹, д. т. н. Н. Г. Валиев¹,
к. т. н. В. Н. Корюков²

¹ ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, Россия

² ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

УДК 66.045.13

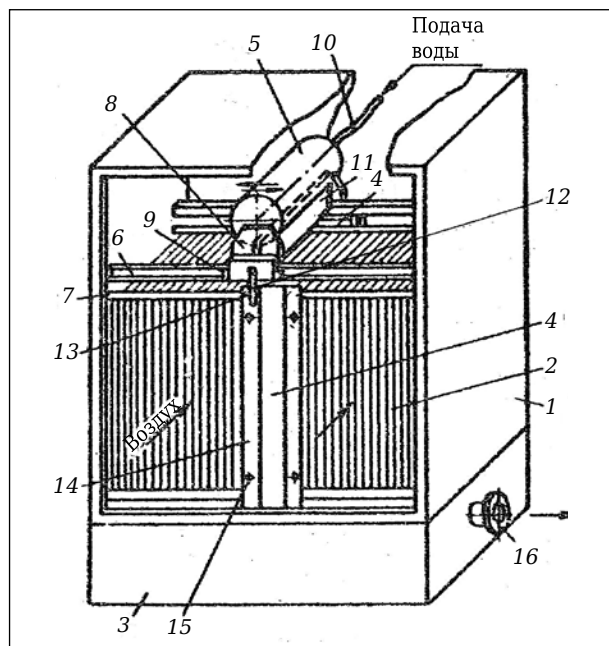
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА

Представлена конструкция и описана работа устройства для тепловлажностной обработки воздуха с примером расчета регенеративного теплообменника. Предложены расчет аэродинамического сопротивления, гидравлический расчет скорости течения воды, размеров форсунки и тепловой расчет.

Ключевые слова: теплообмен, обратная вода, насадка, ороситель, аэродинамическое сопротивление, подвижная шторка.

Устройство для тепловлажностной обработки воздуха относится к регенеративным газожидкостным теплообменным аппаратам, используемым в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, преимущественно для охлаждения оборотной воды при нагреве приточного воздуха.

В корпусе 1 устройства [1, 2] (см. рисунок) смонтированы насадка 2 и поддон 3 в нижней части, подвижные шторки 4, расположенные перед насадкой 2, и установленный над ней ороситель 5. Ороситель 5 и шторки 4 установлены с возможностью перемещения вдоль насадки 2 и кинематически связаны между собой. Шторки 4 выполнены с регулируемой шириной. Устройство снабжено дополнительными шторками 4, установленными за насадкой 2.



Устройство для тепловлажностной обработки воздуха

В корпусе 1 над насадкой 2 смонтированы направляющие 6, 7. В направляющих 6 установлен передвижной ороситель 5, смонтированный на каретке 8 с колесными опорами 9. Ороситель 5 имеет подводящие шланги 10, щелевое сопло 11 и зацепы 12, установленные между зацепами 13 шторок 4. Для регулирования ширины шторки 4 снабжены регулировочными пластинами 14 на пальцах 15. Поддон 3 имеет отводящий патрубок 16.

Устройство для обработки воздуха работает следующим образом. В ороситель 5 через шланги 10 подается нагретая жидкость, например обратная вода. Через щелевое сопло 11 насадка 2 орошается водой, которая стекает в поддон 3. В процессе орошения насадка 2 смачивается и нагревается. Тепло насадки отбирается продуваемым воздухом. Нагретый воздух используется для производственных нужд. Для уменьшения энергозатрат на преодоление аэродинамического сопротивления, создаваемого жидкостью, стекающей по каналам насадки 2, и уменьшения каплеуноса насадка 2 нагревается только в зоне орошения при перемещении над ней оросителя 5. Скорость перемещения форсунки определяется физическими свойствами теплоносителя (воздуха и воды) и материала насадки 2. С целью уменьшения каплеуноса зона полива ограждена от газового потока шторками 4. При движении оросителя 5 зацепы 12 зацепляют за зацепы 13 и перемещают шторки 4. В результате совместного движения оросителя 5 и шторок 4 обеспечивается перекрытие потока воды от воздуха. При движении оросителя 5 зона орошения отстает по фронту. Шторки 4 также перемещаются с отставанием относительно оросителя 5, перекрывая зону орошения. Величина отставания определяется интервалом между зацепами 13.

Настройку устройства можно обеспечить изменением скорости движения оросителя 5 и ширины шторок 4. При возрастании скорости движения

оросителя 5 увеличивается зона орошения насадки 2, что требует большей ширины шторок 4. При уменьшении скорости движения оросителя 5 зона орошения сокращается. В этом случае для снижения энергетических затрат на преодоление аэродинамического сопротивления необходимо уменьшить ширину шторок 4.

Пример расчета регенеративного теплообменника

Исходные данные для расчета:

Расход оборотной воды V_1 , м ³ /ч.....	50
Температура оборотной воды t_1 , °С.....	45
Объемный расход воздуха V_2 , м ³ /ч.....	85000
Размеры блока насадки, м:	
длина l	2,1
ширина B	0,5
высота h	2,0
Ширина зазора (канала) S , м.....	0,003
Число пластин насадки n , шт.....	525
Шаг установки пластин $l_{\text{п}}$, м.....	0,004
Ширина шторки $b_{\text{ш}}$, м.....	0,3–0,5

Расчет аэродинамического сопротивления

Определяем сечение канала, м²:

$$F_k = lS = 2,1 \cdot 0,003 = 0,0063. \quad (1)$$

Смоченный периметр, м:

$$\Pi = 2(S + l) = 2(0,003 + 2,1) = 4,206. \quad (2)$$

Эквивалентный диаметр, м:

$$d_3 = \frac{4F_k}{\Pi} = \frac{4 \cdot 0,0063}{4,206} = 0,006. \quad (3)$$

Полное сечение насадки, м²:

$$F_c = hl = 2 \cdot 2,1 = 4,2. \quad (4)$$

Сечение блока, закрытое шторкой, м²:

$$F_{\text{ш}} = b_{\text{ш}}h = 0,4 \cdot 2 = 0,8. \quad (5)$$

Площадь живого сечения при условии, что пластины занимают 1/4 сечения, м²:

$$F_{\text{ж}} = \frac{3(F_c - F_{\text{ш}})}{4} = \frac{3(4,2 - 0,8)}{4} = 2,55. \quad (6)$$

Скорость прохождения воздуха через насадку, м/с:

$$W = \frac{V_2}{F_{\text{ж}} \cdot 3600} = \frac{85000}{2,55 \cdot 3600} = 9,3. \quad (7)$$

Определяем критерий Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{Wd_3}{\nu} = \frac{9,3 \cdot 0,006}{13,1 \cdot 10^{-6}} = 4259,5, \quad (8)$$

где ν — коэффициент кинематической вязкости воздуха, м²/с.

Коэффициент сопротивления трению

$$\zeta_{\text{тр}} = \frac{1}{(1,82 \lg \text{Re} - 1,64)^2} = \frac{1}{(1,82 \lg 4259,5 - 1,64)^2} = 0,041. \quad (9)$$

Потери давления на трение, Па:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \zeta_{\text{тр}} \frac{\rho W^2}{2d_3} = 0,041 \frac{0,5 \cdot 1,29 \cdot 9,3^2}{2 \cdot 0,006} = 188,8 \text{ [3]}, \quad (10)$$

где ρ — плотность воздуха, кг/м³.

Потери давления на местное сопротивление, Па:

$$\Delta P_{\text{м.с}} = (\zeta_1 + \zeta_2) \frac{\rho \bar{W}^2}{2} \text{ [4, 5]}, \quad (11)$$

где ζ_1 — коэффициент местного сопротивления при внезапном сужении, $\zeta_1 = 0,5$; ζ_2 — коэффициент местного сопротивления при внезапном расширении, $\zeta_2 = 1$; $\bar{W}$ — средняя скорость воздуха при входе (выходе), м/с,

$$\bar{W} = \frac{W + \frac{V_2}{F_c}}{2} = \frac{9,3 + \frac{85000}{4,2 \cdot 3600}}{2} = 7,46, \quad (12)$$

тогда

$$\Delta P_{\text{м.с}} = (0,5 + 1) \frac{1,29 \cdot 7,46^2}{2} = 53,85 \text{ Па.}$$

Общие потери давления, Па:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{м.с}} = 188,8 + 53,85 = 242,65. \quad (13)$$

Гидравлический расчет скорости течения и размеров форсунки

При установившемся течении воды $W_1 = \text{const}$, скоростной напор $\frac{\rho W_1^2}{2}$ равен потерям на трение $\Delta P_{\text{тр}}$:

$$\frac{\rho W_1^2}{2} = \frac{h}{d_3} \zeta_{\text{тр1}} \frac{\rho W_{\text{в}}^2}{2}. \quad (14)$$

Подставив значение $W_1 = \sqrt{2gh}$, имеем

$$W_{\text{в}} = \sqrt{\frac{2gd_3}{\zeta_{\text{тр1}}}}, \quad (15)$$

$$\text{где } \zeta_{\text{тр1}} = \frac{0,3164}{\sqrt{\text{Re}}} \text{ [4].}$$

Принимаем $W_1 = 1,5$ м/с, тогда

$$\text{Re}_1 = \frac{W_{\text{в}} d_3}{\nu} = \frac{1,5 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}{10^{-6}} = 9000, \quad (16)$$

$$W_{\text{в1}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 98 \cdot 0,006}{0,0325}} = 1,9 \text{ м/с.}$$

Выполним уточнение:

$$\text{Re}_2 = \frac{1,9 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}{10^{-6}} = 11400,$$

$$\zeta_{\text{тр2}} = \frac{0,3164}{\sqrt{11400}} = 0,0306,$$

$$W_B = \sqrt{\frac{2 \cdot 98 \cdot 0,006}{0,0306}} = 1,96 \text{ м/с.}$$

Принимаем $W_B = 1,96 \text{ м/с.}$

Площадь щелевой форсунки F_Φ определяем по формуле

$$F_\Phi = \frac{V_1}{W_B} = \frac{50}{1,96 \cdot 3600} = 0,0071 \text{ м}^2. \quad (17)$$

Длину щели приравниваем к ширине насадки $l_{щ} = B = 0,5 \text{ м.}$

Ширину щели форсунки b_Φ определяем по формуле

$$b_\Phi = \frac{F_\Phi}{l_{щ}} = \frac{0,0071}{0,5} = 0,0142 \text{ м.} \quad (18)$$

С учетом сечения, занятого пластинами насадки,

$$b_\Phi = 0,0142 \cdot \frac{4}{3} = 0,0189 \text{ м.}$$

Принимаем $b_\Phi = 0,02 \text{ м.}$

Тепловой расчет

Площадь поверхностного теплообмена

$$F_T = 2hBn = 2 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot 525 = 1050 \text{ м}^2. \quad (19)$$

С учетом перекрытия шторкой

$$F_{T_1} = \frac{2hB(l - b_{ш})}{l_n} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot (2,1 - 0,4)}{0,004} = 850 \text{ м}^2. \quad (20)$$

Теплообмен вода – насадка

Теплоотдачу с учетом турбулентного течения воды при числе $Re = 11400$ и числе Прандтля $Pr = 5,42$ рассчитываем по уравнению

$$Nu = \frac{RePr\psi \frac{\zeta}{8}}{1 + \frac{900}{Re} + 12,7\sqrt{\frac{\zeta}{8}}(Pr^{2/3} - 1)}, \quad (21)$$

где ψ — коэффициент влияния свойств жидкости, $\psi = 1$.

$$Nu = \frac{11400 \cdot 5,42 \cdot \frac{0,0306}{8}}{1 + \frac{900}{11400} + 12,7\sqrt{\frac{0,0306}{8}}(5,42^{2/3} - 1)} = 86,9.$$

Определяем коэффициент теплоотдачи, $Вт/(м^2 \cdot К):$

$$\alpha = \frac{Nu\lambda}{d_s}, \quad (22)$$

где λ — теплопроводность, $Вт/(м \cdot К),$

$$\alpha = \frac{86,9 \cdot 2,72 \cdot 10^{-2}}{6 \cdot 10^{-3}} = 394 \text{ Вт/(м}^2 \cdot К).$$

Определяем поправочный коэффициент

$$\varepsilon = 0,86 + 0,90\left(\frac{d_s}{h}\right)^{0,4} = 0,86 + 0,90\left(\frac{0,006}{2}\right)^{0,4} = 0,95, \quad (23)$$

$$\alpha_1 = \alpha\varepsilon = 394 \cdot 0,95 = 374 \text{ Вт/(м}^2 \cdot К). \quad (24)$$

Теплообмен насадка – воздух

Задаем переданное тепло $Q = 1 \text{ ккал/ч.}$ Определяем перепад температур по воде

$$\Delta t = Q/(V_1 c) = 10^9/(50 \cdot 10^6) = 20 \text{ }^\circ\text{C.} \quad (25)$$

Температура оборотной воды на выходе из теплообменника

$$t_2 = t_1 - \Delta t = 45 - 20 = 25 \text{ }^\circ\text{C.} \quad (26)$$

Принимаем, что сплошная пленка на пластинах не высыхает. Задаемся конечной температурой насадки после нагрева $t_n = 23 \text{ }^\circ\text{C.}$ Определяем температуру пленки до начала испарения:

$$t_u = (t_n + t_2)/2 = (23 + 25)/2 = 24 \text{ }^\circ\text{C.} \quad (27)$$

Пользуясь $i-d$ диаграммой влажного воздуха, определяем условный коэффициент теплоотдачи пластин, покрытых пленкой:

$$\alpha_2 = \frac{\alpha_c(i_u - i_m)}{C_p(t_u - t_m)} \quad (28)$$

где α_c — коэффициент теплоотдачи сухой поверхности, $Вт/(м^2 \cdot К); i_u$ — энтальпия воздуха при температуре пленки воды, $кДж/кг; i_m$ — средняя энтальпия воздуха (среднелогарифмическая), $кДж/кг; C_p$ — теплоемкость воздуха, $Дж/(кг \cdot К); t_m$ — средняя температура воздуха, $^\circ\text{C.}$

Определяем коэффициент теплоотдачи α_c сухой поверхности по формуле (21):

$$Nu = \frac{\frac{0,041}{8} 4241 \cdot 0,707 \cdot 1}{1 + \frac{900}{4241} + 12,7\sqrt{\frac{0,041}{8}}(0,707^{2/3} - 1)} = 15,07.$$

Из соотношения

$$Nu = (\alpha_c d_s)/\lambda \quad (29)$$

находим

$$\alpha_c = (15,07 \cdot 0,025)/0,006 = 62,8 \text{ Вт/(м}^2 \cdot К).$$

После определения поправочного коэффициента по формуле (23)

$$\varepsilon = 0,86 + 0,90(0,006/2,1)^{0,4} = 0,946$$

имеем $\alpha_c = 62,8 \cdot 0,946 = 59,43 \text{ Вт/(м}^2 \cdot К).$

При энтальпии входящего воздуха $i'_2 = -10 \text{ кДж/кг}$ и

$$\Delta i_2 = Q/V_2 = 1164/30,5 = 38,16 \text{ кДж/кг} \quad (30)$$

получим

$$i_2' = \Delta i_2 + i_2'' = 38,16 + (-10) = 28,16 \text{ кДж/кг}, \quad (31)$$

а $t_2'' \approx 9^\circ\text{C}$.

При $i_u \approx 70 \text{ кДж/кг}$ из формулы

$$i_u - i_m = \frac{\Delta i_2}{\ln \frac{i_n - i_2''}{i_n - i_2'}} = \frac{38,16}{\ln \frac{70 - (-10)}{70 - 28,16}} 58,9 \approx 59 \quad (32)$$

находим

$$i_m = i_u - \Delta i = 70 - 59 = 11 \text{ кДж/кг}. \quad (33)$$

Из $i-d$ диаграммы $t_m \approx 1^\circ\text{C}$.

Коэффициент теплообмена

$$\alpha_2 = \frac{59,4 \cdot 59}{1(24 - 1)} = 152,1 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}.$$

Период нагрева насадки

Температура насадки перед орошением водой при $\Delta t_n = 10^\circ\text{C}$:

$$t_n' = t_n'' - \Delta t_n = 23 - 10 = 13^\circ\text{C}; \quad (34)$$

при средней температуре воды

$$t_{ж} = (t_1 + t_3)/2 = (45 + 25)/2 = 32^\circ\text{C} \quad (35)$$

безразмерная температура для средней пластины

$$\Theta_y = \frac{t - t_0}{t_{ж} - t_0} = \frac{t_n'' - t_n'}{t_{ж} - t_n'} = \frac{23 - 13}{35 - 13} = 0,45. \quad (36)$$

Температуропроводность

$$a = \frac{\lambda_c}{\rho C_p}, \quad (37)$$

где λ_c — теплопроводности стали, Вт/(м·К); ρ — плотность стали, кг/м³; C_p — теплоемкость, Дж/(кг·К).

$$a = \frac{50}{1800 \cdot 0,11 \cdot 4,19 \cdot 10^3} = 1,39 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Определяем числа Фурье и Био:

число Фурье

$$Fo = \frac{a \tau_1}{\delta^2}, \quad (38)$$

где τ_1 — период нагрева насадки, с; δ — половина толщины пластины, м.

$$Fo = \frac{1,39 \cdot 10^{-5}}{(5 \cdot 10^{-4})^2} \tau_1 = 55,6 \tau_1;$$

число Био

$$Bi = \frac{\alpha_1 \delta}{\lambda} = \frac{373,6 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{50} \approx 0,004. \quad (39)$$

По графику [6] определяем Fo (Θ ; Bi) ≈ 150 . Отсюда $\tau_1 = Fo/55,6 = 150/55,6 = 2,7 \text{ с}$.

Период охлаждения насадки

Для периода охлаждения пластин насадки

$$\Theta_u = \frac{t - t_0}{t_{ж} - t_0} = \frac{t_n'' - t_n'}{t_n'' - \bar{t}_2}, \quad (40)$$

$$\text{где } \bar{t}_2 = \frac{t_2' - t_2''}{2} = \frac{(-14) + 9}{2} = -2,5^\circ\text{C}.$$

$$\text{Отсюда } \Theta_u = \frac{23 - 13}{23 - (-2,5)} = 0,39.$$

При числе Фурье $Fo = 55,6 \tau_2$

$$Bi = \frac{\alpha_1 \delta}{\lambda} = \frac{152,1 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{50} = 0,0015.$$

По графику [7] определяем Fo (Θ ; Bi) ≈ 350 , тогда период охлаждения насадки $\tau_2 = 350/55,6 = 6,3 \text{ с}$.

Коэффициент теплопередачи

$$K_n = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \tau_1} + \frac{1}{\alpha_2 \tau_2}} \cdot \left(1 - \frac{\bar{t}_{1н} - \bar{t}_{2н}}{\bar{t}_1 - \bar{t}_2}\right), \quad (41)$$

где $\bar{t}_{1н}$, $\bar{t}_{2н}$ — средняя температура насадки в процессе нагрева и охлаждения соответственно.

Если задаться равными интервалами ΔFo , то с достаточной степенью точности можно определить безразмерную температуру по графику [6] и по формуле

$$\bar{\Theta} = \frac{\sum_{n=1}^n \Theta_n}{n}. \quad (42)$$

При $\Delta Fo = 30$, $n = 5$ и $Bi = 0,004$ для процесса нагрева

$$\bar{\Theta}_{1н} = \frac{0,12 + 0,22 + 0,3 + 0,38 + 0,45}{5} = 0,32.$$

Из

$$\bar{\Theta}_{1н} = \frac{t_{1н} - t_n'}{t_{ж} - t_n'} \quad (43)$$

$$\text{имеем } \bar{t}_{1н} = \bar{\Theta}_{1н}(t_{ж} - t_n') + t_n' = 0,32 \cdot 22 + 13 = 20,04^\circ\text{C}.$$

При $\Delta Fo = 40$, $n = 5$ и $Bi = 0,0015$ для процесса охлаждения

$$\bar{\Theta}_{н2} = \frac{0,10 + 0,19 + 0,27 + 0,33 + 0,39}{5} = 0,256.$$

Средняя температура насадки в процессе охлаждения

$$\bar{t}_{2н} = t_n'' - \bar{\Theta}_{н2}(t_n'' - t_{ж}) = 23 - 0,256 \cdot 25,5 = 16,5^\circ\text{C}. \quad (44)$$

После подстановки найденных значений в формулу (41) имеем

$$K_n = \frac{1}{\frac{1}{373,6 \cdot 2,7} + \frac{1}{152,1 \cdot 6,3}} \cdot \left(1 - \frac{20 - 16,5}{35 - (-2,5)}\right) = 446 \text{ Дж/(м}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{период)}.$$

Количество утилизированного тепла

$$Q_y = K_n (\bar{t}_1 - \bar{t}_2) \frac{F_{\tau_1}}{\tau_1 + \tau_2}, \quad (45)$$

$$Q_y = 446 \cdot (35 + 2,5) \frac{850}{9} = 1,58 \cdot 10^6 \text{ Вт} = 1,58 \text{ МВт.}$$

Для уточнения периода утилизации τ_y воспользуемся соотношением

$$\frac{\tau_y}{\tau_1 + \tau_2} = \frac{Q_y}{Q}, \quad (46)$$

тогда

$$\tau_y = \frac{1,58}{1,16} (2,7 + 6,3) = 12,3 \text{ с.}$$

При периоде утилизации $\tau_y = 12,3$ с имеем $Q = 1,0$ Гкал/ч. Количество тепла, расходуемого на нагрев воздуха,

$$Q_n = C_p V_2 \Delta t, \quad (47)$$

$$Q_n = 1 \cdot 85 \cdot 10^3 \cdot 23 \cdot \frac{1,29}{3600 \cdot 10^3} = 0,7 \text{ МВт} = 0,602 \text{ Гкал/ч.}$$

Количество тепла, расходуемого на увлажнение воздуха,

$$Q_v = Q - Q_n = 1,0 - 0,602 = 0,398 \text{ Гкал/ч.}$$

Влагоунос в единицу времени [7]

$$W_{\text{исп}} = 0,211 \cdot (a_u + 0,0174 U) F_{\tau_1} \frac{\Delta P_v}{P_6} =$$

$$= 0,211(0,022 + 0,0174 \cdot 9,3) \cdot 850 \cdot \frac{1,729}{101} = 0,56 \text{ кг/с,} \quad (48)$$

где ΔP_v — перепад давления, кПа; P_6 — барометрическое давление, кПа.

Масса пленки при ее толщине $\delta_n = 0,0001$ м:

$$M_n = \delta_n F_{\tau_1} \rho_v = 0,0001 \cdot 850 \cdot 1000 = 85 \text{ кг.} \quad (49)$$

За период $\tau_y = 12,3$ с влагоунос составит

$$W_{\tau} = W_{\text{исп}} \tau_y = 0,56 \cdot 12,3 = 6,9 \text{ кг,} \quad (50)$$

т. е. при толщине пленки 0,1 мм пластины будут оставаться влажными в течение всего периода охлаждения.

Скорость передвижения щелевой форсунки

$$v = 1/\tau_y = 2,1/12,3 = 0,17 \text{ м/с.} \quad (51)$$

Ширина шторы

$$b_{\text{ш}} = \frac{h}{U_v} v + b_{\text{ф}} = \frac{2}{1,96} 0,17 + 0,02 = 0,19 \text{ м.} \quad (52)$$

Итоговые данные:

Утилизируемое тепло, Гкал/ч	1,0
В том числе:	
на нагрев воздуха	0,602
на увлажнение воздуха	0,398
Температура сливаемой оборотной воды, °С	25
Температура нагрева воздуха, °С	9
Скорость перемещения щелевой форсунки, м/с	0,17
Аэродинамическое сопротивление насадки, Па	242,6
Ширина щели форсунки, м	0,02
Ширина шторы, м	0,19

В работе предложена новая конструкция аппарата для тепловлажностной обработки воздуха с целью регенерации тепла оборотной воды при нагреве приточного воздуха. Эта конструкция может использоваться в различных системах отопления и вентиляции. Предложенная методика расчета позволит рассчитать такой аппарат для любых конкретных условий.

Библиографический список

1. **Давыдов, С. Я.** Энергосберегающее оборудование для транспортировки сыпучих материалов: исследование, разработка, производство / С. Я. Давыдов. — Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2007. — 317 с.
2. **А. с. 1413378 SU.** Устройство для тепловлажностной обработки воздуха / С. И. Чуваев, Ю. В. Агеев, С. Я. Давыдов, А. С. Петров, П. С. Бызов. — № 4201071 ; заявл. 26.02.87 ; опубл. 30.07.88, Бюл. № 28.
3. **Юрьев, В. Н.** Теплотехнический справочник / В. Н. Юрьев, П. Д. Лебедев. — М. : Энергия, 1976. — 896 с.
4. **Крутов, В. И.** Техническая термодинамика / В. И. Крутов. — М. : Высшая школа, 1971. — 472 с.
5. **Лыков, А. В.** Теория теплопроводности / А. В. Лыков. — М. : Высшая школа, 1967. — 204 с.
6. **Григорьев, В. А.** Промышленная теплоэнергетика и теплотехника / В. А. Григорьев. — М. : Энергоиздат, 1983. — 378 с.
7. **Даракчиев, Р. Д.** Предотвращение растекания жидкости к стенке колонных аппаратов с насадкой / Р. Д. Даракчиев, Н. Н. Колев // Химическое нефтемашиностроение. — 1986. — № 8. — С. 13–14. ■

Получено 01.04.13

© С. Я. Давыдов, Н. П. Косарев,
Н. Г. Валиев, В. Н. Корюков, 2013 г.