



УДК 536.25

*Г.С. Маршалова, А.Б. Сухоцкий, кандидаты техн. наук, В.Б. Кунтыш, д-р техн. наук
(Белорусский государственный технологический университет, г. Минск). E-mail: alk2905@mail.ru*

Повышение энергосбережения в аппаратах воздушного охлаждения интенсификацией внешнего теплообмена

Аппараты воздушного охлаждения (АВО) применяются в крупных холодильных установках, в испарителях и конденсаторах тепловых насосов на предприятиях химической, газовой, нефтеперерабатывающей и нефтехимической отраслей промышленности, в производствах тепло- и электроэнергетики; в системах утилизации теплоты жилых и общественных зданий и сооружений; теплообменники с характерными типами биметаллических ребристых труб (БРТ) АВО применяются также в воздухонагревателях строительной индустрии.

АВО, эксплуатируемые в России и в других странах СНГ, составляют порядка 55 000 единиц в пересчете на аппарат 4×4 м [1]. Установленная мощность электропривода вентиляторов АВО оценивается величиной 2,2–2,3 млн кВт. Увеличивающаяся востребованность АВО связана с дефицитом пресной воды для охлаждения технологических потоков и высокой стоимостью воды.

Общеизвестно, что при понижении температуры охлаждающего воздуха до некоторого значения вентиляторы могут быть частично или полностью отключены с обеспечением нормативной тепловой мощности АВО и получением соответствующей экономии электрической энергии в годовом цикле эксплуатации.

В таком случае внешний вынужденный конвективный теплообмен воздуха переводится в свободноконвективный посредством естественной тяги через пучки ореренных секций. Но интенсивность теплообмена при этом в сравнении с вынужденной конвекцией снижается в 15–30 раз [2], что определяет продолжительность эксплуатации АВО в безвентиляторном режиме. Для большего энергосбережения необходимо увеличение продолжительности эксплуатации при отключенных вентиляторах (вентиляторе), что реализуется интенсификацией внешнего теплообмена изменением гидродинамического режима движения воздуха через секции, т. е. увеличением силы естественной тяги. При этом свободная конвекция переходит в смешанную (когда вынужденный теплообмен и свободный конвективный теплообмен — равнозначны, и ни одним из этих процессов невозможно пренебречь), и интенсификация теплообмена по ореренной стороне увеличивается в 5–8 раз [3]. Для усиления естественной тяги воздуха путем достижения режима смешанной конвекции предложено применять [4] конструктивное устройство в виде вытяжной шахты, устанавливаемой над АВО.

Функционально работа вытяжной шахты в качестве побудителя движения воздуха через теплообменные секции качественно

подобна работе вентилятора (вентиляторов). Принципиальное отличие состоит в том, что при этом процессе не требуется подвода энергии извне в явном виде, и интенсификация теплообмена осуществляется в пучках секций пассивным способом, конечным результатом которого является соответствующая величина энергосбережения.

Однако в настоящее время нет методик теплового расчета АВО для этого режима, а в исследованиях [3, 4] смешанной конвекции воздуха в теплообменных секциях АВО не учитываются пространственные компоновочные параметры пучков, также не учитывается влияние геометрических параметров вытяжной шахты и нет рекомендаций по их выбору.

Несмотря на теоретическую и методическую ценность этих исследований, использовать имеющийся банк данных для проведения теплового расчета аппарата с вытяжной шахтой не представляется возможным, ввиду отличия конструктивных особенностей и режимов течения воздуха.

Для получения новых экспериментальных данных о теплообмене в режиме смешанной конвекции воздуха в ореренных пучках с вытяжной шахтой авторами данной статьи спроектирована и разработана экспериментальная установка [5], а также разработана методика экспериментального

исследования теплоотдачи и аэродинамического сопротивления [6].

Для режима смешанной конвекции выполнены экспериментальные исследования средней теплоотдачи БРТ (диаметр ребра $d = 0,0568$ м; диаметр трубы по основанию $d_0 = 0,0264$ м; высота, шаг, средняя толщина ребра соответственно: $h = 0,0152$ м; $s = 0,00243$ м; $\Delta = 0,00055$ м; теплоотдающая длина оребрения трубы $l = 0,3$ м) с коэффициентом оребрения $\phi = 21$, собранных в шахматные равнобедренные пучки с поперечным шагом $S_1 = 0,058$ м, продольным шагом $S_2 = 0,0505$ м и числом поперечных рядов $z = 2 - 4$ [7, 8], а также в однорядные пучки с поперечными шагами $S_1 = 0,058; 0,061; 0,064$ и $0,070$ м [9].

Изучена структура течения воздуха в пучке и вытяжной шахте [10], получены расчетные зависимости для определения скорости воздуха и аэродинамического сопротивления оребренных пучков в режиме смешанной конвекции [11] с учетом внешних воздушных потоков, влияющих на снижение аэродинамического сопротивления на 12...15 % и на снижение теплоотдачи в 1,1–2,0 раза.

Впервые для режима смешанной конвекции в оребренных пучках с вытяжной шахтой выявлено влияние обратных течений окружающего воздуха (гейзерных течений) [10] на снижение в 1,6...2,0 раза теплоотдачи, а также предложено конструктивное решение в виде перегородок, компенсирующее этот негативный эффект [12].

Для проектирования АВО с вытяжной шахтой получены закономерности влияния поперечного шага установки труб на среднюю теплоотдачу в режиме смешанной конвекции для однорядного трубного пучка, согласно которым увеличение поперечного шага снижает теплоотдачу в пучке. Также установлены закономерности влияния числа рядов z на среднюю теплоотдачу пучка, при увеличении которых до $z = 5$ коэффициент теплоотдачи пучка снижается в 1,2–2,3 раза, что объясняется увеличением аэродинамического сопротивления пучка

и существенным снижением расхода потока воздуха. В результате при $z \geq 6$ дальнейшее увеличение числа рядов не оказывает существенного влияния на изменение коэффициента теплоотдачи в режиме смешанной конвекции.

Для смешанно-конвективного режима течения воздуха разработаны многофакторные критериальные уравнения расчета средней теплоотдачи в виде $Nu = f(Gr, H/d_3, \chi_{ш})$, $Nu = f(Re)$ [7–9, 11] и обобщенные критериальные уравнения вида $Nu = f(Gr, H/d_3, \chi_{ш}, z)$ и $Nu = f(Re, z)$. На их основе предложена многопараметрическая методика теплового расчета воздухоохлаждаемых теплообменников с вытяжной шахтой для режима смешанной конвекции [13].

Цель данной работы — разработка рекомендаций по проектированию АВО и подобных воздухоохлаждаемых теплообменников с научно обоснованными параметрами вытяжной шахты.

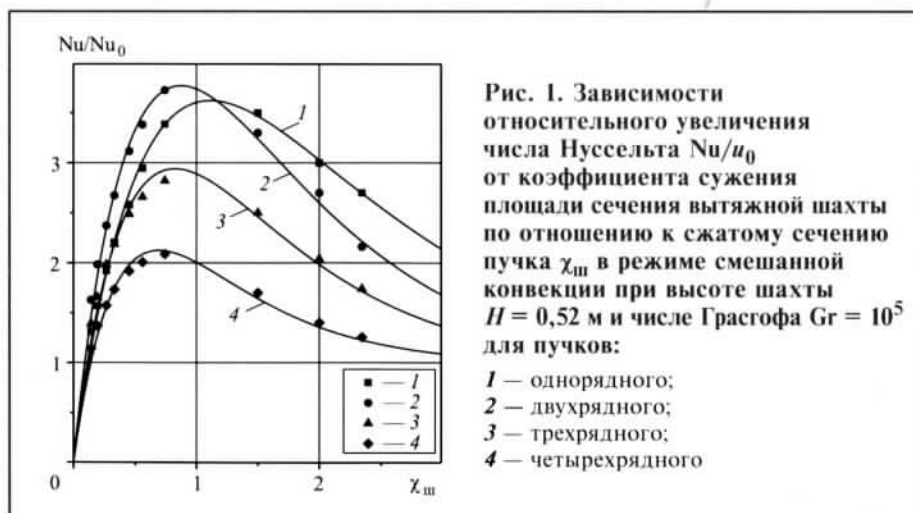
В работе [13] установлено, что число Ричардсона $Ri = Gr/Re^2$ не зависит от подаваемой тепловой мощности, а зависит только от геометрических параметров пучка и вытяжной шахты, где $Gr = \beta g d_0^3 \times (t_{ср} - t_0)/\nu^2$ — число Грасгофа, $Re = w_{ш} d_0/\lambda$ — число Рейнольдса, $w_{ш}$ — средняя скорость потока воздуха в сжатом сечении пучка, м/с. В качестве определяющей температуры для расчета коэффициентов температурного расширения β , кинематической вязкости ν и тепло-

проводности λ принята температура окружающего воздуха t_0 .

Это позволило определить оптимальные диапазоны значений коэффициента сужения площади сечения вытяжной шахты по отношению к сжатому сечению пучка $0,5 < \chi_{ш} = f_{отв}/f_{сж} < 1$ и относительной высоты шахты $500 < H_3 = H/d_3 < 1500$ для проектирования АВО, где $f_{отв}$ — площадь выходного отверстия вытяжной шахты, м²; $f_{сж}$ — площадь сжатого сечения пучка, м²; H — высота шахты, м; d_3 — эквивалентный диаметр сжатого поперечного сечения пучка, м [12]. Также определены оптимальные числа Ричардсона для следующих пучков: однорядного $Ri_{opt} = 0,0173$, двухрядного $Ri_{opt} = 0,0342$, трехрядного $Ri_{opt} = 0,0625$, четырехрядного $Ri_{opt} = 0,11$.

Однако для установленного типа теплообменного пучка число Ричардсона является функцией двух параметров шахты — $\chi_{ш}$ и H_3 . С технологической стороны целесообразно обеспечение максимальной тепловой мощности АВО с шахтой минимальной высоты. Решение данной задачи возможно применением шахты с максимально возможным сечением выходного отверстия. Однако ограничением размера отверстия является возникновение гейзерных течений.

Для анализа влияния $\chi_{ш}$ на теплоотдачу пучка на рис. 1 представлены экспериментальные зависимости относительного роста числа Нуссельта Nu/Nu_0 в режиме



смешанной конвекции для одно-рядного и многорядных пучков при высоте шахты $H = 0,52$ м и числе Грасгофа $Gr = 10^5$, где $Nu = \alpha d_0 / \lambda$ — число Нуссельта для режима смешанной конвекции; Nu_0 — число Нуссельта для режима свободной конвекции; α — приведенный коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(м²·К).

При некотором значении площади отверстия в шахте начинают возникать обратные потоки холодного воздуха в шахту, которые приводят к снижению числа Нуссельта. В результате достигается максимальное значение теплоотдачи для каждого типа пучка. При дальнейшем увеличении отверстия теплоотдача в пучке стремится к режиму свободной конвекции ($Nu/Nu_0 \rightarrow 1$). Поскольку наступление обратных потоков воздуха определяется аэродинамическим сопротивлением пучка, то максимальное значение числа Нуссельта достигается раньше в четырехрядном пучке и позже — в однорядном. Также следует обратить внимание, что более эффективным оказался двухрядный пучок по сравнению с однорядным на ~4 %, с трехрядным — на ~28 % и с четырехрядным — на ~77 %.

На рис. 1 экспериментальные результаты аппроксимированы функцией вида

$$Nu/Nu_0 = A_z \chi_{ш} \exp(-B_z \chi_{ш}) + (1 - \exp(-B_z \chi_{ш})) \quad (1)$$

Здесь коэффициенты пропорциональности для одно- и многорядных пучков равны: $A_1 = 8,15$; $A_2 = 10,85$; $A_3 = 8,74$; $A_4 = 7,13$; $B_1 = 1,01$; $B_2 = 1,28$; $B_3 = 1,41$; $B_4 = 1,81$.

Оптимальное значение $\chi_{ш}^{opt}$ для данной функции определяется из выражения $\chi_{ш}^{opt} = (A + B)/(AB)$ и принимает следующие значения: $\chi_{ш1}^{opt} = 1,11$; $\chi_{ш2}^{opt} = 0,87$; $\chi_{ш3}^{opt} = 0,82$; $\chi_{ш4}^{opt} = 0,69$. Также определены минимальные числа Ричардсона: для однорядного пучка $Ri_{min} = 0,023$, для двухрядного $Ri_{min} = 0,04$, для трехрядного $Ri_{min} = 0,07$, для четырехрядного $Ri_{min} = 0,114$.

Для определения оптимальных значений эквивалентных высот вытяжной шахты построены зависи-

мости $Ri = f(H_3)$ при оптимальных значениях коэффициента сужения площади сечения для одно- и многорядных пучков (рис. 2).

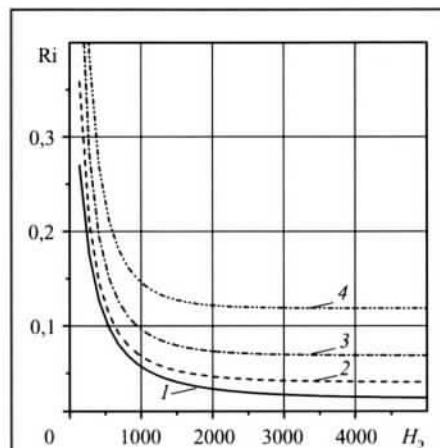


Рис. 2. Зависимости числа Ричардсона от эквивалентной высоты при $\chi_{ш}^{opt}$ для пучков: 1 — однорядного; 2 — двухрядного; 3 — трехрядного; 4 — четырехрядного

Принимая $Ri_{opt} = 1,3 Ri_{min}$, можно определить оптимальные эквивалентные высоты $H_{31}^{opt} = 2500$, $H_{32}^{opt} = 1490$, $H_{33}^{opt} = 1120$, $H_{34}^{opt} = 900$ при $\chi_{ш}^{opt}$. При этом очевидно, что увеличение числа рядов пучка существенно влияет на снижение оптимальной высоты вытяжной шахты.

Следует отметить, что значения $\chi_{ш}^{opt}$ не являются точкой отсчета возникновения обратных потоков воздуха в шахту (они возникают значительно раньше), но иллюстрируют начало превалирования интенсивности обратных потоков над основным вытяжным движением нагретого воздуха, т. е. возникновение гейзерных течений.

Наиболее глубокий вакуум создается в сжатом сечении верхнего ряда оребренных труб пучка, под действием которого холодный воздух окружающей среды, преодолевая гидродинамический напор выходящего нагретого воздуха, может проникать в шахту через ее верхнее отверстие. Соответственно условия возникновения обратных потоков

воздуха в шахту можно представить в следующем виде:

$$Eu_{п} \rho_{п} w_{п}^2 + \frac{\rho_{п} w_{п}^2}{2} = \frac{\rho_{ш} w_{отв}^2}{2} \quad (2)$$

где $Eu_{п}$ — число Эйлера пучка вычисляется по выражению, представленному в [12]; $\rho_{ш}$, $\rho_{п}$ — плотность воздуха в шахте и пучке, кг/м³; $w_{отв}$ — скорость потока воздуха на выходе из шахты, м/с.

В результате получено критическое значение коэффициента сужения площади сечения вытяжной шахты

$$\chi_{ш}^{cr} = \sqrt{\frac{\rho_{п}}{\rho_{ш}} \frac{1}{2Eu_{п} + 1}} \quad (3)$$

Для заданной эквивалентной высоты шахты $H_3 = 142$ и числа Грасгофа $Gr = 10^5$ критическое значение коэффициента сужения площади сечения вытяжной шахты возникновения обратных потоков воздуха принимает следующие значения: $\chi_{ш1}^{cr} = 0,77$; $\chi_{ш2}^{cr} = 0,31$; $\chi_{ш3}^{cr} = 0,24$; $\chi_{ш4}^{cr} = 0,21$.

Из данных рис. 1 и выражения (1) также можно определить коэффициенты сужения при которых $Nu/Nu_0 = 1$: $\chi_{ш1}^0 = 0,124$; $\chi_{ш2}^0 = 0,093$; $\chi_{ш3}^0 = 0,115$; $\chi_{ш4}^0 = 0,141$. При этих параметрах шахты теплоотдача пучка идентична его теплоотдаче при свободной конвекции, т. е. можно утверждать, что в шахте созданы условия теплообмена, аналогичные условиям теплоотдачи при свободной конвекции, для которых можно определить числа подобия Ричардсона и Рейнольдса, используя выражения [13]: для однорядного пучка $Ri_0 = 3,2$, $Re_0 = 178$; для двухрядного $Ri_0 = 3,6$, $Re_0 = 167$; для трехрядного $Ri_0 = 2,9$, $Re_0 = 187$; для четырехрядного $Ri_0 = 2,4$, $Re_0 = 204$. Следует отметить, что теплоотдача при свободной конвекции воздуха является пограничным режимом между областью теплоотдачи при вынужденной и интенсифицированной естественной конвекции ($Nu > Nu_0$) и областью теплоотдачи при вынужденной и притесненной естественной конвекции ($Nu < Nu_0$). Притесненная естественная конвекция возникает, когда внешние

факторы (в данном случае стенки шахты) ограничивают свободную конвекцию воздуха.

При $0 < \chi_{ш} < \chi_{ш}^0$ сила сопротивления шахты больше силы гравитационной тяги, создаваемой шахтой, в результате избыточное давление воздуха над пучком препятствует естественной конвекции воздуха в пучке.

При $\chi_{ш}^0 < \chi_{ш} < \chi_{ш}^{cr}$ сила сопротивления шахты меньше силы гравитационной тяги, создаваемой шахтой, в результате устойчивое вакуумное давление воздуха над пучком усиливает естественную конвекцию воздуха в пучке, т. е. на естественную конвекцию накладывается вынужденная конвекция, созданная вытяжной шахтой (устойчивая смешанная конвекция воздуха).

При $\chi_{ш}^{cr} < \chi_{ш} < \chi_{ш}^{opt}$ под действием вакуума над пучком возникают периодические обратные потоки холодного воздуха через выходное отверстие шахты, что приводит к пульсации давления над пучком, нарушению устойчивой гравитационной тяги в шахте (неустойчивая смешанная конвекция воздуха), плавному снижению темпа увеличения теплоотдачи при увеличении $\chi_{ш}$ и достижению максимума теплоотдачи при $\chi_{ш} = \chi_{ш}^{opt}$.

При $\chi_{ш} > \chi_{ш}^{opt}$ периоды неустойчивых потоков начинают превалировать над периодами устойчивого вертикального движения воздуха, снижается влияние шахты на динамику потоков, что приводит к плавному снижению теплоотдачи пучка (при увеличении $\chi_{ш}$) и переходу пучка в режим свободной конвекции.

Поскольку число Ричардсона не зависит от подаваемой тепловой мощности, а зависит только от геометрических параметров пучка, то полученные параметры Re_0 являются пограничными для возникновения устойчивой смешанной конвекции для данных типов пучков, а полученные параметры Re_0 являются пограничными при числе Грасгофа $Gr = 10^5$.

Однако следует учитывать, что условия, создаваемые в шахте при $\chi_{ш} = \chi_{ш}^0$, подобны, но не идентич-

ны условиям, создаваемым при свободной конвекции, поскольку теплым воздухом, находящимся над пучком, создаются гравитационная тяга и выравнивание неравномерной эпюры скоростей движения молекул воздуха в межтрубном пространстве, что не происходит в условиях неограниченного пространства. Между тем, для сжатых однорядных пучков (и тем более для сжатых многорядных пучков) картина движения потока воздуха в них при $\chi_{ш} = \chi_{ш}^0$ будет очень близка к идентичной при свободной конвекции воздуха в пучке в неограниченном пространстве.

Таким образом, данный метод можно рекомендовать для определения чисел Рейнольдса и средней скорости движения воздуха при свободной конвекции для сжатых гладких и оребренных пучков, что позволит оптимизировать процессы при теплоотдаче свободной конвекцией.

Актуальным также является определение оптимального количества рядов оребренного пучка с шагом 58 мм. В работе [12] получено обобщенное критериальное уравнение с рассеиванием точек $\pm 5\%$ для расчета средней теплоотдачи одно- и многорядных пучков труб ($z = 1-4$) с равносторонней компоновкой ($\sigma_1 = 1,036$, $\sigma_2 = 0,9$) в режиме смешанной конвекции:

$$Nu = (0,00313 + 0,07693 \cdot 0,45^z) \times C_{\chi} C_H Gr^{0,48}; \quad (4)$$

$$C_{\chi} = 1,1 - \exp(-1,69z^{0,72} \chi_{ш});$$

$$C_H = 1,3 - \exp(-7,65 \cdot 10^{-4} \cdot z^{0,72} H_3),$$

которое действительно в интервале изменения $Gr = 26\,000 \dots 400\,000$, $H_3 = 142 \dots 580$, $\chi_{ш} = 0,14 \dots 0,75$.

С использованием уравнения (4) построена зависимость удельной тепловой мощности от числа рядов z пучка (рис. 3) для оптимальных параметров шахты

$$(\chi_{ш1}^{opt} = 1,11, H_{31}^{opt} = 2500);$$

$$(\chi_{ш2}^{opt} = 0,87, H_{32}^{opt} = 1490);$$

$$(\chi_{ш3}^{opt} = 0,82, H_{33}^{opt} = 1120);$$

$$(\chi_{ш4}^{opt} = 0,69, H_{34}^{opt} = 900);$$

$$q = z(0,00313 + 0,07693 \cdot 0,45^z) \times C_{\chi} C_H. \quad (5)$$

Однако в уравнении (5) не учтено возникновение при некоторых условиях в шахте гейзерных течений. Фактически зависимости на рис. 3 действительны только ниже линии со звездочками, т. е. до оптимальных точек $(\chi_{ш}^{opt}, H_3^{opt})$, через которые проведена эта линия. Из данных рис. 3 следует, что тепловая мощность двухрядного пучка на 5% больше тепловой мощности однорядного пучка, на 18% — трехрядного пучка, на 43% — четырехрядного пучка. При дальнейшем увеличении числа рядов тепловая мощность снижается и достигает минимума для $z = 5 \dots 6$, так как при этом аэродинамическое сопротивление пучка значительно увеличивается, что ведет к существенному снижению коэффициента теплоотдачи и стабилизации его значения при $z \geq 6$ [12].

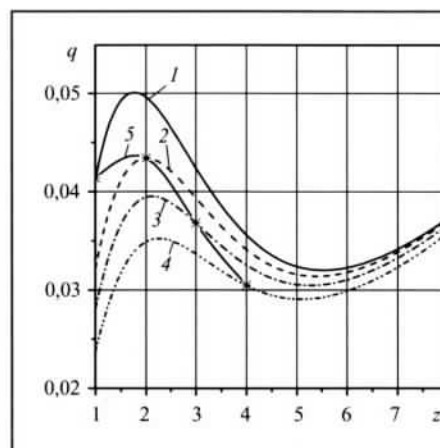


Рис. 3. Зависимость удельного теплового потока от числа рядов z пучка для оптимальных параметров вытяжной шахты:

$$1 - \chi_{ш1}^{opt} = 1,11, H_{31}^{opt} = 2500;$$

$$2 - \chi_{ш2}^{opt} = 0,87, H_{32}^{opt} = 1490;$$

$$3 - \chi_{ш3}^{opt} = 0,82, H_{33}^{opt} = 1120;$$

$$4 - \chi_{ш4}^{opt} = 0,69, H_{34}^{opt} = 900;$$

5 — линия оптимальных режимов

Таким образом, можно рекомендовать к практической реализации двухрядный оребренный пучок из БРТ с коэффициентом оребрения $\phi = 21$ с равносторонней шахматной компоновкой и межтрубным шагом 58 мм в АВО и подобных воздухоохлаждаемых теплообменниках с вытяжной шахтой с оптимальными параметрами $\chi_{шт2}^{opt} = 0,87$, $H_{э2}^{opt} = 1490$. Расчет средней теплоотдачи пучка можно выполнить по уравнению (4).

С экономической точки зрения также интересно применение однорядного пучка с оптимальными параметрами вытяжной шахты $\chi_{шт1}^{opt} = 1,11$, $H_{э1}^{opt} = 2500$ с учетом существенного снижения материальной потери пучка при незначительной потере мощности (на 5 %). Однако при применении этого варианта возрастают затраты на установку вытяжной шахты в связи с увеличением оптимальной высоты шахты почти в 1,7 раза.

Применение пучков с тремя (и более) рядами из БРТ с коэффициентом оребрения $\phi = 21$ с равносторонней шахматной компоновкой и межтрубным шагом 58 мм в АВО и подобных воздухоохлаждаемых теплообменниках с вытяжной шахтой нецелесообразно, если запланирована их работа исключительно в режиме смешанной конвекции (без вентилятора).

Список литературы

1. Кунтыш В.Б., Сухоцкий А.Б., Самородов А.В. Перевод эксплуатации АВО в энергосберегающий режим. Технические решения с расчетом экономического эффекта // Химическая техника. 2013. № 6. С. 20–25. 2. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения: справочник / под ред. А.Н. Бессонного, В.Б. Кунтыша. СПб.: Недра. 1996. 512 с. 3. Кунтыш В.Б., Самылов А.И. Исследование теплоотдачи однорядных пучков из оребренных труб при совместном действии свободной и вынужденной конвекции воздуха // Изв. вузов. Сер. Энергетика. 1999. № 4. С. 59–68. 4. Васильев Ю.Н., Марголин Г.А. Системы охлаждения компрессорных и нефтеперекачивающих станций. М.: Недра. 1977. 5. Пат. РФ 11646. МПК G 01M 9/02 (2006.01) Аэродинамическая труба малых скоростей для исследования теплообменных пучков / А.Б. Сухоцкий, Г.С. Сидорик. 6. Сидорик Г.С. Экспериментальный стенд для исследования тепловых и аэродинамических процессов смешанно-конвективного теплообмена круглообразных труб и пучков // Труды БГТУ. Серия 1. Лесн. хоз-во, природопольз. и перераб. возоб. рес. 2018. № 1. С. 85–93. 7. Маршалова Г.С. Экспериментальное исследование теплоотдачи оребренных трубных пучков при смешанной конвекции воздуха // Тепло- и массообмен 2018. Минск: Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси. 2019. С. 225–228. 8. Маршалова Г.С. Экспериментальные исследова-

ния теплоотдачи четырехрядных пучков оребренных труб аппаратов воздушного охлаждения с вытяжной шахтой // XXIV Туполевские чтения (школа молодых ученых): Матер. Междунар. молодежная науч. конф., 7–8 ноября 2019 года. Сборник докладов. В 6 т. Т. 2. Казань: изд-во ИП Сагеева А.Р., 2019. С. 247–252. 9. Сухоцкий А.Б., Маршалова Г.С. Экспериментальное исследование и обобщение интенсифицированной конвективной теплоотдачи однорядных пучков ребристых труб в потоке воздуха // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2018. Т. 61. № 6. С. 552–563. 10. Сухоцкий А.Б., Маршалова Г.С. Особенности гравитационного течения нагретого воздуха в вытяжной шахте над многорядным оребренным пучком // Инженерно-физический журнал. 2019. Т. 92. № 3. С. 619–625. 11. Сухоцкий А.Б., Сидорик Г.С. Экспериментальное исследование теплоотдачи однорядного пучка из оребренных труб при смешанной конвекции воздуха и выбор формы представления результатов // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2017. Т. 60. № 4. С. 352–366. 12. Пат. РФ 12027. МПК F 24F 3/00 (2006.01). Аэродинамическая труба малых скоростей для исследования теплообменных пучков / А.Б. Сухоцкий, Г.С. Маршалова. 13. Маршалова Г.С. Тепловой расчет и проектирование аппаратов воздушного охлаждения с вытяжной шахтой: дис. ... канд. техн. наук: 01.04.14. Минск. 2019. 153 с.

Вниманию авторов

В связи с уменьшением числа подписчиков Журнала «Химическое и нефтегазовое машиностроение» в первоочередном порядке рассматриваются платные материалы: рекламные статьи; рекламно-технические статьи; статьи, подготовленные с целью презентации достижений организации; подборки статей в одном номере; подборки статей, публикуемые на протяжении года; тематические выпуски.

Для подписки на журналы через редакцию авторам опубликованных статей необходимо по e-mail направить заявку в редакцию с указанием фамилии, имени, отчества и адреса доставки.

Стоимость одного экземпляра журнала – 1300 руб., стоимость пересылки — 50 руб.

За статью, опубликованную в журнале «Химическое и нефтегазовое машиностроение» и включенную в переводное издание журнала «Chemical and Petroleum Engineering»,

Российское авторское общество (РАО) выплачивает гонорар

(тел. РАО: 8 (499) 750-07-51, e-mail РАО: rao.ru).

Редакция журнала «Химическое и нефтегазовое машиностроение»

Тел.: 8 (915) 339-3761

e-mail: himnef@mami.ru