



КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 674.047.45

В.И. Мелехов, А.В. Волков

Мелехов Владимир Иванович родился в 1939 г., окончил в 1961 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой древесиноведения и тепловой обработки древесины Архангельского государственного технического университета, академии РАЕН и АПК РФ. Имеет более 200 работ по проблемам древесиноведения, технологии обработки древесины, ресурсосбережения и рационального использования древесины.



Волков Алексей Владимирович родился в 1977 г., окончил в 1999 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры древесиноведения и тепловой обработки древесины. Имеет около 10 научных статей по проблемам ресурсосбережения и технологии обработки древесины.

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ
В ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ КАМЕРАХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ**

Представлены результаты экспериментального исследования теплоотдачи свободной конвекцией однорядных пучков биметаллических оребренных труб.

Ключевые слова: лесосушильные камеры, качество сушки, сушка пиломатериалов, свободная конвекция, оребренная труба, калорифер.

Качество сушки пиломатериалов во многом определяется равномерностью подвода агента сушки к поверхности материала по всему объему сушильного штабеля и созданием стабильного теплового поля потока. Однако, как было установлено в результате проведенных наблюдений и анализа качества сушки в лесосушильных камерах периодического действия, влажность пиломатериалов неодинакова по объему сушильного штабеля. Это объясняется недостатками аэродинамических параметров сушильной камеры (неравномерный подвод агента сушки к пиломатериалам) и, как следствие, снижением потенциала испарения и удаления влаги на отдельных участках штабеля, что вызывает неравномерность высушивания пиломатериалов по длине и снижает качество сушки.

Для устранения этих недостатков предложено воздействовать на отдельные участки теплового поля агента сушки на входе в штабель высокоэффективными промежуточными калориферами на основе биметаллических труб со спиральными накатными алюминиевыми ребрами (БРТ) [5], которые находят все большее применение в теплообменных устройствах лесосушильных камер [6–9].

Таким образом, при невозможности обеспечить квази подвод агента сушки необходимо скорректировать его энергетические параметры с помощью локального нагрева [4]. Основными требованиями, предъявляемыми к калориферам лесосушильных камер, являются: тепловая мощность, достаточная для поддержания в камере температуры, требуемой по режиму сушки; минимальное аэродинамическое сопротивление потоку агента сушки при наибольшем съеме тепла и равномерной его подаче в сушильное пространство камеры; возможность плавного и надежного регулирования количества передаваемого тепла; коррозионная стойкость к агрессивной среде в лесосушильных камерах и др.

Задачей исследования является изучение свободно-конвективного теплообмена однорядных пучков с горизонтальным и вертикальным расположением оребренных биметаллических труб в неограниченном объеме воздуха.

Объект исследования стандартизированные БРТ, имеющие следующие геометрические параметры [1–3]: $d \times d_0 \times h \times s \times \Delta \times l = 70,1 \times 40,7 \times 14,7 \times 3,0 \times 0,7 \times 400$ мм (ранее они не были исследованы). Коэффициент оребрения труб $\phi = 14,5$. Алюминиевые спиральные ребра накатаны на стальной трубе наружного диаметра $d_n = 38$ мм и толщиной стенки $\delta = 2$ мм. Поперечный шаг разбивки труб в решетках пучков составлял $S = 72; 76; 82; 88; 100; 120; 150$ мм, которому соответствовал относительный шаг разбивки труб $\sigma = S/d = 1,027; 1,084; 1,170; 1,255; 1,427; 1,712; 2,140$.

Исследование проводили методом полного теплового моделирования с электрическим обогревом всех труб пучка [1, 3]. Центральная труба в каждом ряду служила калориметром, на котором проводили все измерения. Подробное описание установки, методики проведения опытов и обработки данных приведены в [2]. Диапазон изменения основных параметров: $Ra = (45 \dots 1250) \cdot 10^3$; $t_{ct} = 32 \dots 219$ °C; $t_0 = 20 \dots 27$ °C. Тепловой поток излучением определяли опытно-расчетным путем [2]. Теплоотдача излучением составляла 23 ... 45 % [43 ... 55 %] для пучков с горизонтальным [вертикальным] расположением оребренных труб от общего теплового потока; далее приводятся данные только по конвективной теплоотдаче. Результаты опытов обрабатывали и представляли в числах подобия Нуссельта и Релея: $Nu = \alpha_k d_0 / \lambda$; $Ra = Gr \cdot Pr = g \beta d_0^3 Pr (t_{ct} - t_0) / \nu^2$ (где за линейный размер принят диаметр трубы у основания ребер $d_0 = d - 2h$; t_0 – температура окружающего воздуха; t_{ct} – температура трубы у основания ребер). Теплофизические свойства воздуха (λ , ν , β) и число Прандтля Pr находили по температуре t_0 .

Коэффициенты	Значения коэффициентов при различных S , мм						
	72	76	82	88	100	120	150
А	<u>1,879</u>	<u>1,996</u>	<u>1,754</u>	<u>1,695</u>	<u>1,596</u>	<u>1,466</u>	<u>1,438</u>
	0,510	0,629	0,614	0,639	0,677	0,703	0,735
В	<u>8,37</u>	<u>8,67</u>	<u>7,37</u>	<u>7,09</u>	<u>6,83</u>	<u>6,35</u>	<u>6,24</u>
	2,27	2,84	2,62	2,71	2,90	3,02	3,25

Примечание. В числителе приведены данные для горизонтально расположенных оребренных труб, в знаменателе – для вертикально расположенных труб.

Абсолютные значения среднего коэффициента теплоотдачи конвекцией укладывались в интервал $\alpha_k = 0,52 \dots 2,20$ [0,20 ... 0,81] Вт/(м²·К) для пучка с горизонтальным [вертикальным] расположением оребренных труб.

Относительная среднеквадратичная погрешность полученных значений α_k , Nu и Ra не превышала соответственно 4,1 [8,6]; 4,2 [8,7] и 1,8 [1,5] %.

Опытные зависимости для конвективной теплоотдачи однорядных пучков с отклонением, не превышающим ± 4 %, аппроксимированы уравнениями

$$Nu = A \cdot \lg Ra - B, \quad (1)$$

где A и B – некоторые постоянные коэффициенты, приведенные в таблице.

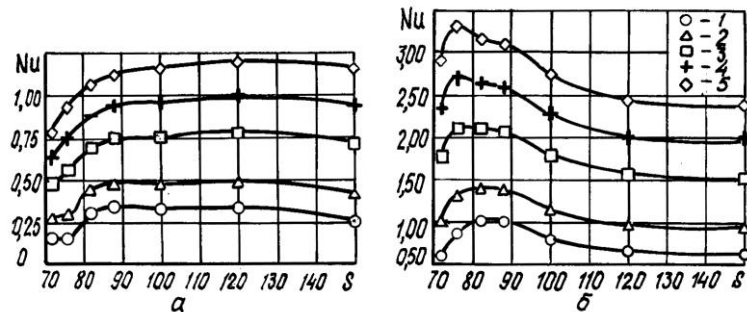
В результате проведенного эксперимента установлено, что несмотря на геометрическое и тепловое подобие теплоотдача исследованных однорядных пучков различна и имеет сложную зависимость от числа Ra и шага труб, что не позволяет обобщить их уравнением вида $Nu = C \cdot Ra^n$ без введения дополнительных симплексов, учитывающих влияние указанных факторов. Это является принципиальным отличием теплоотдачи в таких пучках по сравнению с теплоотдачей их в условиях принудительной конвекции.

Однорядные пучки с горизонтальным расположением оребренных труб

Анализ кривых показывает, что теплоотдача с увеличением поперечного шага в диапазоне $S = 72 \dots 76(82)$ мм резко повышается, достигая максимума Nu для $S = 82$ мм ($\sigma = 1,170$) в интервале $Ra = (0,6 \dots 2,5) \cdot 10^5$ и для $S = 76$ мм ($\sigma = 1,084$) в интервале $Ra = (2,5 \dots 12,5) \cdot 10^5$, так как существенно увеличивается относительная площадь проходного сечения и возрастает скорость потока воздуха. При дальнейшем увеличении шага $S = 76(82) \dots 150$ мм теплоотдача монотонно снижается вследствие уменьшения взаимодействия пограничных слоев соседних труб, стремясь в пределе к теплоотдаче одиночной оребренной трубы. При всех шагах труб и во всем диапазоне чисел Ra пучки имеют на 15 ... 90 % более высокую теплоотдачу по сравнению с одиночной оребренной трубой.

Однорядные пучки с вертикальным расположением оребренных труб

Как следует из приведенных на рисунке кривых, теплоотдача с увеличением шага труб в пучке непрерывно повышается в диапазоне



Влияние поперечного шага труб на теплоотдачу однорядного пучка с горизонтальным (а) и вертикальным (б) расположением ребренных труб при различных значениях числа Ra: 1 – $0,6 \cdot 10^5$; 2 – $1,0 \cdot 10^5$; 3 – $2,5 \cdot 10^5$; 4 – $5,0 \cdot 10^5$; 5 – $10,0 \cdot 10^5$

$S = 72 \dots 120$ мм, так как существенно увеличивается относительная площадь проходного сечения и возрастает скорость потока воздуха. В диапазоне шагов $S = 72 \dots 88$ мм теплоотдача увеличивается достаточно быстро, кроме $S = 72 \dots 76$ мм при $Ra < 1,0 \cdot 10^5$; в диапазоне $S = 88 \dots 120$ мм рост замедляется, достигая максимума при $S = 120$ мм ($\sigma = 1,714$). При дальнейшем увеличении шага до $S = 120 \dots 150$ мм теплоотдача снижается вследствие уменьшения взаимодействия пограничных слоев соседних труб, стремясь в пределе достигнуть значения теплоотдачи одиночной вертикальной биметаллической трубы.

Таким образом, в ходе исследований установлены основные параметры для конструирования высокоэффективных промежуточных калориферов из биметаллических ребренных труб; впервые получены расчетные критериальные уравнения для свободноконвективной теплоотдачи однорядных пучков ребренных труб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков А.В. Исследование свободноконвективного теплообмена однорядных пучков с вертикальным расположением ребренных труб // Повышение эффективности теплообменных процессов и систем: Материалы III Международной научно-технической конференции. – Вологда: ВоГТУ, 2002. – С. 37–41.
2. Волков А.В., Рыжков В.В. Свободноконвективный теплообмен ребренной трубы аппарата воздушного охлаждения вязких продуктов // Совершенствование энергетических систем и технологического оборудования: Сб. науч. тр. / АГТУ. – Архангельск, 2002. – С. 53–62.
3. Волков А.В. Свободноконвективный теплообмен горизонтальных однорядных калориферов для лесосушильных камер // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сб. науч. тр. / БГИТА. – Брянск, 2002. – Вып. 6. – С. 110–112.
4. Кречетов И.В. Сушка древесины. – 4-е изд., перераб. и доп. – М., 1997. – 496 с.

5. Кунтыш В.Б., Кузнецов Н.М. Тепловой и аэродинамический расчеты оребренных теплообменников воздушного охлаждения. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 280 с.

6. Мелехов В.И., Богданов Е.С., Кунтыш В.Б. Основные направления повышения энергетической эффективности и эксплуатационной надежности калориферов лесосушильных камер // Лесн. журн. – 1983. – № 6. – С. 77–81. – (Изв. высш. учеб. заведений).

7. Расчет, проектирование и реконструкция лесосушильных камер / Под ред. Е.С. Богданова. – М.: Экология, 1993. – 352 с.

8. Справочник по сушке древесины / Под ред. Е.С. Богданова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 304 с.

9. Теплообмен и аэродинамическое сопротивление однорядных биметаллических калориферов для лесосушильных камер / В.Б. Кунтыш, В.И. Мелехов, Е.С. Богданов и др. // Деревообаб. пром-сть. – 1985. – № 9. – С. 7–9.

Архангельский государственный
технический университет

V.I. Melekhov, A.V. Volkov

Upgrading Quality of Sawn Timber Drying in Drying Kilns of Periodic Operation

Results of experimental research of heat transfer by free convection of single-row beams of bimetallic finned tubes are presented.

