

УДК 674.047.45

*В. В. СЕРГЕЕВ, Ю. И. ТРАКАЛО, В. В. НАСОБИН*Уральская государственная лесотехническая академия  
НПП «ИнтерУрал»

Сергеев Валерий Васильевич родился в 1936 г., окончил в 1960 г. Уральский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры древесиноведения и специальной обработки древесины Уральской государственной лесотехнической академии. Имеет около 150 печатных трудов в области разработки и исследования лесосушильных камер и технологии сушки в камерах с различным теплоносителем.



Тракало Юрий Иосифович родился в 1963 г., окончил в 1988 г. Уральский лесотехнический институт, кандидат технических наук, зам. декана заочного факультета Уральской государственной лесотехнической академии. Имеет 20 печатных трудов в области разработки лесосушильных камер, исследования их статических и динамических характеристик; методического обеспечения САПР.



Насобин Виктор Васильевич родился в 1952 г., окончил в 1972 г. Уральский лесотехнический институт, генеральный директор НПП «ИнтерУрал». Имеет 12 печатных трудов в области конструкторской и дизайнерской проработки новых лесосушильных камер, их производства; организации изготовления мебели, столярно-строительных изделий из массивной древесины.

## АЭРОДИНАМИКА ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ КАМЕР С КРИВОЛИНЕЙНЫМИ ВОЗДУХОВОДАМИ

Приведены результаты исследований лесосушильных камер с воздуховодами, обеспечивающими равномерное скоростное поле в штабеле пиломатериалов. Установлено, что при горизонтально-поперечной циркуляции агента сушки и торцовом расположении побудителя циркуляции – центробежного вентилятора, наиболее оптимальным вариантом

равномерной подачи воздуха является конструкция воздуховода с криволинейной поверхностью ограждения.

The results of investigations into timber drying kilns with air ducts ensuring uniform rate field in the tumber pile have been presented. It has been stated that in horizontal-cross-sectional circulation of drying agent and edge position of circulation booster, i.e. centrifugal fan, air duct design with curvilinear guard surface is the most optimum variant of uniform air feed.

Одним из наиболее эффективных способов интенсификации конвективного процесса сушки и улучшения качества пиломатериалов является создание равномерной циркуляции сушильного агента по всему объему высушиваемого штабеля. В лесосушильных установках периодического действия (СПЛК-1, СПВ-62, «Урал-72», АСКП-24, Латгипропром, ЛТА-65 и др.) скорость потока сушильного агента по штабелю достигает 2 ... 3 м/с, вариационный коэффициент скорости по объему штабеля, характеризующий неравномерность скоростного поля, равен 21 ... 29 %. При этом отклонения конечной влажности пиломатериалов в штабеле от ее среднего значения составляют 4 ... 5 %.

В новых лесосушильных камерах (СПМ-2к, «Урал-78», КСП-2У, УЛ-2М, СКАН, ВКСП-1, ЛЛТ4) значительно повышена равномерность скоростного поля за счет установки отражающих экранов, раздаточных перфорированных перегородок, гофрированных вектороизменяющих наклонных воздуховодов, пустотелых прокладок и т.д. Большинство из этих конвективных и конвективно-вакуумных камер имеют усовершенствованные аэродинамические схемы, но качественные показатели сушки в них неизвестны.

При совершенствовании лесосушильных камер периодического действия типа «Урал» [4] было исследовано в лабораторных условиях скоростное поле штабеля пиломатериалов при горизонтально-поперечной циркуляции агента сушки. Лабораторная модель камеры выполнена с соблюдением как геометрического, так и гидродинамического подобия натурному образцу.

Известно, что одним из основных факторов, влияющих на равномерность раздачи воздуха при торцовом его подводе, является длина канала и трение о боковую поверхность штабеля. Увеличение этих показателей способствует уменьшению скорости выхода воздуха из щелей междурядового пространства штабеля. Поэтому воздуховоды, примыкающие к боковой поверхности штабеля, имеют переменное поперечное сечение, вследствие чего статическое давление в концах канала снижается, а скорость воздуха возрастает [1].

Если взять два поперечных сечения, то приращение статического давления на участке канала между ними

$$\Delta H = \frac{\gamma(w_1^2 - w_2^2)}{2g} - \lambda \frac{x}{d} \frac{\gamma w_1^2}{2g}, \quad (1)$$

где  $\gamma$  – плотность воздуха;  
 $w_1, w_2$  – скорость воздуха в поперечных сечениях;  
 $g$  – ускорение силы тяжести;  
 $\lambda$  – коэффициент трения;  
 $x$  – расстояние между сечениями;  
 $d$  – эквивалентный диаметр воздуховода.

Первый член в правой части уравнения (1) определяет приращение статического давления в канале из-за уменьшения скорости воздуха от  $w_1$  до  $w_2$ , второй – потерю давления на трение. Если уменьшить второе сечение, то  $w_2$  возрастет и значение  $\Delta H$  уменьшится, но увеличится динамическое давление на данном участке и скорость воздуха в межрядовом пространстве штабеля.

На лабораторной модели нами исследовано четыре формы воздуховодов (рис. 1, а).

Для измерения скорости использовали датчики динамического и статического давлений, подключенные к микроманометру. Их тарировали на месте установки в межрядовом пространстве модели штабеля по методике [3]. Скорость определяли по следующей формуле:

$$w = K'_c \sqrt{\frac{2(H - H_c)}{\gamma}}, \quad (2)$$

где  $K'_c$  – опытный коэффициент,  $K'_c = 0,97$ ;  
 $H, H_c$  – осредненные полное и статическое давления;  
 $\gamma$  – плотность воздуха.

Относительная погрешность измерения не превышала 2,24 %.

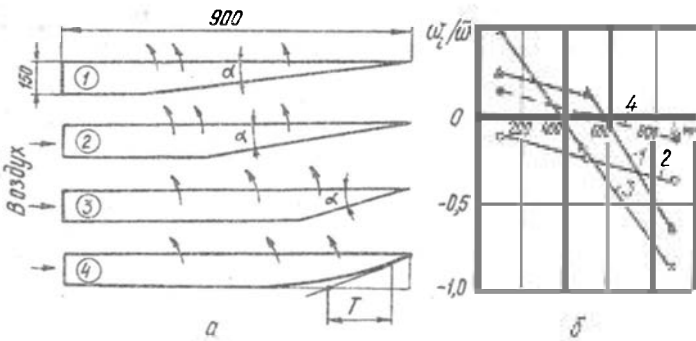


Рис.1. Формы исследуемых клиновидных воздуховодов (а) и графики скоростей (б) для них: 1 –  $\alpha = 10^\circ$ ; 2 –  $15^\circ$ ; 3 –  $20^\circ$ ; 4 – с криволинейной боковой поверхностью ограждения камеры ( $\alpha$  – угол между боковой поверхностью штабеля и внутренней поверхностью ограждения (см. рис.3), номер воздуховода совпадает с номером графика;  $T$  – подкасательная к экспоненте, определяемая экспериментально)

По среднестатистическим значениям  $w$  построены графики скоростей. Они позволили оценить каждый из исследуемых воздуховодов и сравнить их между собой. В результате этого установлено, что во всех случаях распределение скоростей движения воздуха по длине штабеля было неравномерным. Для сечений 1 и 3 измеренная скорость воздуха в начале штабеля (со стороны вентилятора) почти в 2 раза больше, чем в конце; для сечений 2 и 4 графики близки к прямым линиям (рис. 1, б). Кривую, образующую сечение 4, можно аппроксимировать уравнением

$$b_x = b_n \exp \left[ \frac{\xi(L-x)}{Lb_n} \right], \quad (3)$$

где  $b_x$  – текущее значение ординаты;

$b_n$  – ширина воздуховода в его начале;

$\xi$  – коэффициент;

$L$  – длина воздуховода;

$x$  – текущее значение абсциссы со стороны входа воздуха в воздуховод.

Расчетные схемы воздуховодов представлены на рис. 2, а, б. Они были рекомендованы для нового поколения лесосушильных камер типа «Урал», «ИнтерУрал» (ИУ), которые изготавливают на основе технических разработок УГЛТА одним из НПП г. Екатеринбурга.

Получены следующие уравнения для расчета  $b_x$ :  
натурный образец камеры ИУ

$$b_x = 0,4 \exp [-1,1 (6,5 - x)];$$

лабораторная установка

$$b_x = 90 \exp [-0,008 (850 - x)].$$

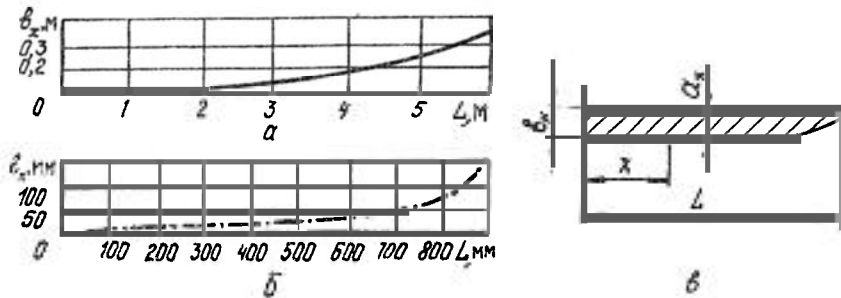


Рис.2. Расчетные схемы для воздуховодов с криволинейной боковой поверхностью ограждения: а – натурный образец камеры ИУ; б – лабораторная установка; в – форма профиля воздуховода с нанесенными размерами  $x_{\min} = 0$ ;  $x_{\max} = L$

Ширина воздуховода (расстояние между боковыми поверхностями штабеля и стенкой ограждения, рис. 2, б)

$$a_x = b_{\Pi} \left\{ 1 - \exp \left[ \frac{\xi(L-x)}{Lb_{\Pi}} \right] \right\}. \quad (4)$$

Следует отметить, что основным критерий оценки скоростного поля в штабеле – средний вариационный коэффициент скорости, для лабораторной установки с клиновидным воздуховодом и промышленной камеры типа «Урал» практически имеет одинаковое значение – 26 %. Следовательно, условие гидродинамического подобия потоков соблюдено и отражает достоверность результатов исследований. Указанный критерий для воздуховода с криволинейной боковой поверхностью в модели камеры равен 13,5 %, среднее квадратичное отклонение скорости составляет  $\pm 1,15$  м/с. Данный показатель подтверждает эффективность использования предложенной схемы воздуховода в лесосушильных камерах с поперечно-горизонтальной схемой циркуляции агента сушки.

Результаты исследований реализованы в новой серии лесосушильных камер типа ИУ. Аэродинамическая схема такой камеры представлена на рис. 3.

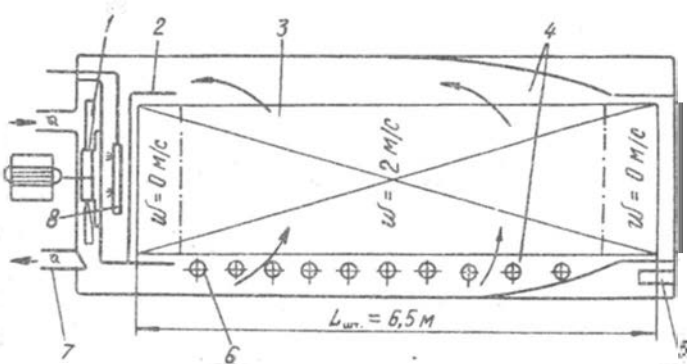


Рис.3. Схема одноштабельной лесосушильной камеры типа ИУ - 1 П: 1 – центробежный вентилятор; 2 – глухой П-образный экран; 3 – штабель пиломатериалов; 4 – воздуховоды; 5 – электронсихрометр; 6 – биметаллический однорядный калорифер; 7 – воздухообменный канал; 8 – увлажнительная труба

В таблице приведены результаты изменения влажности пиломатериалов, высушенных в камере ИУ-1П (паровая [2]). Для измерения использовали влагомер ВПК-12 (г. Архангельск, НПП «Блок»). Соответственно средние значения начальной и конечной влажности составили 44,6 и 11,7 %; отклонения от среднего значения равны  $\pm 0,72$  %.