

с начальными и граничными условиями:

$$\begin{aligned} W(0, x, y) &= W^0(x, y); t_B(0, x, y) = t_{B0}(x, y); \\ D(0, x, y) &= D^0(x, y); W(\tau, 0, y) = W^0(\tau, y); \\ t_B(\tau, x, 0) &= t_{B0}(\tau, x); D(\tau, 1, 0) = D_1(\tau); \\ \text{где } 0 \leq x \leq 1; 0 \leq y \leq 1 \end{aligned}$$

Решение системы (1) в операторном виде выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} W(p, x) &= W_0(p) \exp\left(-\frac{px}{v}\right) \eta_1(x) + \\ &+ \exp\left(-\frac{px}{v}\right) \eta_1(x) \int_0^x \exp\left(-\frac{p\xi}{v}\right) \eta_2(\xi) t(p, \xi) d\xi, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{где } \eta_1 = \exp\left(\frac{1}{v} \int_0^x \varphi_2(\xi) d\xi\right); \eta_2 = \frac{1}{v} \varphi_1 \exp\left(\frac{1}{v} \int_0^x \varphi_2(\xi) d\xi\right)$$

Первое слагаемое в (2) показывает влияние возмущения по начальной влажности материала на влажность материала в любом сечении по длине сушилки, а второе слагаемое учитывает влияние распределенного по длине возмущения параметров сушильного агента на влажность материала в сушилке.

В (1) – (2) приняты следующие обозначения:

x, y, z – координаты соответственно по длине, высоте и ширине сушильной камеры, м;

$g(x), g(y)$ – расход воздуха, соответственно, по оси x и y , м³/ч;

F – площадь поверхности высушиваемого материала, приходящаяся на единицу объема сушильного пространства, м²/м³;

v – скорость перемещения материала по оси x , м/ч;

γ_B, γ_M – плотность, соответственно, воздуха и материала, кг/м³;

t_B, t_M, t_m – температура воздуха, поверхности материала и мокрого термометра, °С;

α – коэффициент теплоотдачи, Вт/м²°С;

W – влажность материала, кг/кг;

c_B, c_M – теплоемкость воздуха и материала, Дж/кг°С;

D – влагосодержание воздуха, кг/кг.

Таким образом, полученное решение (2) описывает искомые распределения по длине камеры, однако, его практическое применение представляется весьма затруднительным по следующим причинам:

1. Выражение (2) для практического применения необходимо привести из операторной формы в нормальную, а для этого надо знать параметры $\eta_1, \eta_2, \varphi_1, \varphi_2$.

2. Определение указанных параметров эмпирическим путем также не представля-

ется возможным т.к. мы не знаем их физический смысл, а авторы [1, 2] никак это не комментируют.

Поэтому очевидна необходимость построения достаточно простой математической модели камеры непрерывного действия, пригодной для инженерных расчетов.

Математическое описание камеры непрерывного действия основано на законе сохранения массы вещества и дополнено экспериментальными данными. При создании математического описания камеры в соответствии со специфическими свойствами и условиями сушки древесины нами приняты следующие допущения:

1. пиломатериал входит в камеру и выходит из нее непрерывно со скоростью, установленной в соответствии с выбранным режимом сушки $v = \frac{l_{\text{кам}}}{\tau_{\text{суш}}}$;

$$v = \frac{l_{\text{кам}}}{\tau_{\text{суш}}};$$

$$m = \int_{x_1}^{x_2} u(\tau_1; x) S dx \quad (3)$$

Количество влаги в момент времени τ_2 на этом участке

$$m' = \int_{x_1}^{x_2} u(\tau_2; x) S dx, \quad (4)$$

где S – площадь пиломатериала в рассматриваемом сечении штабеля.

Во время процесса сушки можно изменить влажность пиломатериала и параметры сушильного агента. Поток влаги через сечение камеры с течением времени меняется. За промежуток времени τ_1, τ_2 через

2. в поперечном сечении камеры параметры сушильного агента распределены равномерно;

3. отношение массы влаги к рассматриваемому объему пиломатериала считаем удельным влагосодержанием $u = \frac{m}{V}$.

Функция удельного влагосодержания древесины в любом сечении камеры зависит от времени и координаты $u(\tau, x)$. Сформулируем специфические особенности, определяющие закономерность процесса сушки в камере непрерывного действия.

Выделим в камере сечением x_1, x_2 участок и в рассматриваемом объеме штабеля пиломатериала определим количество содержащейся влаги в момент времени τ_1

сечение x_1 проходит следующее количество влаги, перемещающееся вместе со штабелем с определенной скоростью движения, установленной режимом сушки:

$$m_1 = \int_{\tau_1}^{\tau_2} u(\tau_1; x_1) S v d\tau; \quad (5)$$

через сечение x_2 за тот же промежуток времени выходит количество влаги:

$$m_2 = \int_{\tau_1}^{\tau_2} u(\tau_1; x_2) S v d\tau \quad (6)$$

В результате воздействия сушильного агента на древесину из нее выделяются пары влаги. Интенсивность их выделения – сложная функция свойств пиломатериала, параметров сушильного агента и ряда других факторов процесса сушки

$$j = f\left(W; \rho; t; \vartheta; w; \frac{dp}{d\tau}; \frac{du}{d\tau}; \frac{d\vartheta}{d\tau}\right)$$

В свою очередь, входящие сюда зависимости – функция координаты и времени, т. е. $j = f_1(\tau; x)$. Эту функцию определяют из экспериментальных данных, полученных путем непрерывного взвешивания контрольного пакета пиломатериала (при заданных условиях сушки) в каждой зоне нахождения штабеля, где одновременно

измеряются все параметры агента – температура, относительная влажность и скорость. Зная влагосодержание (исходное и конечное) на любом участке камеры, можно определить интенсивность испарения влаги из древесины на каждом участке за промежуток времени $\Delta\tau$

$$j(\tau; x) = \frac{u_H(\tau_1; x) - u_K(\tau_1 + \Delta\tau; x)}{u_H(\tau_1; x) \Delta\tau} \quad (7)$$

Количество испарившейся влаги на участке x_1, x_2 за промежуток времени τ_1, τ_2

$$m_2 = \int_{\tau_1}^{\tau_2} \int_{x_1}^{x_2} u(\tau; x) S dx \cdot j(\tau; x) d\tau \quad (8)$$

Эта величина зависит от имеющегося количества влаги в рассматриваемом объеме и от параметров сушильного агента.

С помощью выражений (3) – (8) определяют потоки влаги при сушке пиломатериала в камере непрерывного действия.

Составим уравнение интегрального баланса для любого участка камеры. В интегральной форме выражение имеет вид

$$\int_{x_1}^{x_2} u(\tau_1; x) S dx + \int_{\tau_1}^{\tau_2} u(\tau; x_1) S v d\tau - \int_{\tau_1}^{\tau_2} u(\tau; x_2) S v d\tau -$$

$$- \int_{\tau_1}^{\tau_2} \int_{x_1}^{x_2} u(\tau; x) S dx \cdot j(\tau; x) d\tau = \int_{x_1}^{x_2} u(\tau_2; x) S dx$$
(9)

Перегруппируем члены уравнения (9), перепишем их в форме приращений и разделим все члены уравнения на $\Delta\tau\Delta x$. На основании теоремы о среднем получим математическую модель камеры по каналу влагосодержания древесины в дифференциальной форме:

$$\frac{\partial u(\tau; x)}{\partial \tau} + \frac{\partial u(\tau; x)}{\partial x} v = -u(\tau; x)j(\tau; x)$$
(10)

Этому уравнению соответствует следующее решение:

$$u(\tau; x) = \exp\left\{-\int_0^x \frac{j(\tau; x)}{v} dx\right\} u\left(\tau - \frac{x}{v}; 0\right),$$
(11)

где $\frac{x}{v}$ – продолжительность нахождения данного штабеля в камере в соответствии с изменением входящей влажности $u(0, \tau)$.

Рассуждая аналогично, представим влагосодержание d сушильного агента как количество влаги в объеме абсолютно сухого воздуха. При движении агента через шта-

беля пиломатериала величина d зависит от температуры и скорости, а последние параметры – от времени и координаты, откуда $d = f(\tau, x)$.

Интенсивность процесса сушки с учетом параметров сушильного агента в камере в зависимости от температуры:

$$j_t(\tau; x) = [u(\tau; x) - d(\tau; x)]j_1(t);$$
(12)

в зависимости от скорости:

$$j_\omega(\tau; x) = [u(\tau; x) - d(\tau; x)]j_2(\omega),$$
(13)

где u и d – влагосодержание древесины и сушильного агента; $j_1(t)$ и $j_2(\omega)$ – коэффициенты насыщения сушильного агента в зависимости от температуры и скорости

(определяются из эмпирических зависимостей и экспериментальных данных).

Подставим значения коэффициентов интенсивности (12), (13) в уравнение (9) и на основании предыдущих рассуждений