

УДК 674.047

И.М. Меркушев

Московский государственный университет леса

Меркушев Иван Михайлович родился в 1932 г., окончил в 1957 г. Московский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры технологии мебели и изделий из древесины Московского государственного университета леса. Имеет свыше 100 печатных работ в области деревообработки и развития лесосушильной техники и технологии сушки древесных материалов.
Тел.: 8(495) 512-75-92



ДИНАМИКА БЕЗДЕФЕКТНОЙ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Получены зависимости удельной тепловой мощности на испарение влаги от допустимого перепада влажности по толщине сортимента, а также формулы для расчета установленной мощности лесосушильных устройств, гарантирующей бездефектную сушку пиломатериалов.

Ключевые слова: метод расчета энергозатрат, бездефектная сушка, удельная мощность, дифференциальный метод, режимы энергодозирования.

Расчет удельных энергозатрат для бездефектной сушки пиломатериалов

Эффективность безопасных режимов конвективной сушки пиломатериалов достигается стабильностью внутреннего их состояния в процессе сушки. Осуществляют это за счет ввода в сушильное устройство дозированного количества тепловой энергии, обеспечивающей при щадящей динамике процесса безопасную сушку. Проведение безопасной сушки с сохранением постоянства допустимого перепада влажности по толщине пиломатериалов ($\Delta W_s = \text{const}$) заключается в том, чтобы обеспечить скорость снижения влажности поверхности сортимента, равную скорости снижения его среднеинтегральной влажности. Для этого используют универсальные режимы безопасной сушки в сушильных устройствах простейшей конструкции, в частности в тент-сушилках [1].

Важнейшую динамическую характеристику процесса безопасной сушки – удельную мощность на испарение влаги, содержащейся в 1 м^3 древесины ($N_{1\text{м}^3}$, кВт/м³), можно выразить

как произведение скорости перемещения влаги в древесине по закону влагопроводности

$$i = F \rho_0 a' du/dx$$

на скрытую теплоту парообразования r , отнесенное к объему высушиваемой древесины $FS/2$:

$$N_{1\text{м}^3} = 2 \rho_0 a' du/dx r S^{-1}, \quad (1)$$

где F – площадь поверхности испарения в 1 м^3 древесины, м²;

ρ_0 – плотность древесины в абсолютно сухом состоянии, кг/м³,
 $\rho_0 \approx 1,2 \rho_6$;

ρ_6 – базисная плотность древесины, кг/м³;

a' – средний коэффициент влагопроводности древесины, определяемый в см²/с по П.С. Сергеевскому [2] или в м²/с по формуле автора с поправкой на преимущественно радиальный ток влаги,

$$a' = 0,01 t^2 / \rho_6^4;$$

t – температура сушки, °С;

du/dx – средний градиент влагосодержания древесины, м⁻¹, равный отношению допустимого его перепада по толщине сортимента $0,01 \Delta W_s$ к половине его толщины $S/2$, м,

$$du/dx = 0,02 \Delta W_s / S;$$

S – расчетная толщина сортимен-
та при его фактической тол-
щине a и ширине b ,

$$S = ab / (a+b);$$

r – скрытая теплота парообра-
зования,

$$r = 2490 \text{ кДж/кг.}$$

После подстановок в (1) полу-
чим формулу для оценки удельной

мощности на испарение влаги из 1 м^3
древесины:

$$N_{\text{лм}^3} = 2,39 \Delta W_s t^2 S^{-2} \rho_6^{-3}. \quad (2)$$

Рассчитанные по этой формуле
ориентировочные значения допусти-
мой удельной мощности на испарение
влаги, гарантирующей при заданных
параметрах ΔW_s , t , S и r_6 бездефектную
сушку пиломатериалов, приведены в
табл. 1.

Таблица 1

**Ориентировочные значения удельной допустимой мощности на испарение влаги,
гарантирующей допустимый перепад влажности по толщине пиломатериалов при сушке**

Показатель			Ель, кедр	Сосна	Береза	Клен	Бук, ясень, дуб, лиственница
Перепад влажности ΔW_s , %			33,8	36,0	36,0	40,7	33,0
Базисная плотность ρ_6 , кг/м ³			355	400	500	550	540
Толщина S , мм, при температуре t , °С			Ориентировочные значения удельной допустимой мощности на испарение влаги				
45	64	90	$N_{\text{лм}^3}$, кВт/м ³				
–	–	22,5	28,90	21,50	11,00	9,35	8,00
–	22,5	32,0	14,40	10,80	5,51	4,68	3,96
22,5	32,0	45,0	7,22	5,38	2,75	2,34	2,00
32,0	45,0	64,0	3,61	2,69	1,37	1,17	1,00
45,0	64,0	90,0	1,81	1,34	0,69	0,58	0,50
64,0	90,0	–	0,90	0,67	0,34	0,29	0,25
90,0	–	–	0,45	0,34	0,17	0,15	0,13

*Расчет энергозатрат
для бездефектной сушки пиломате-
риалов по ее максимальной скорости*

Полученные нами нормы дози-
рования энергии на обеспечение без-
дефектной сушки пиломатериалов
проверены по более точной альтерна-

$$W(\tau) = 2,5 + (W_n - 2,5)^{2-3} \frac{t^2 (S^2 t^{-2} \rho_6^4 284^{-4} \Delta W_s^{-1})^{-2} (100 + 3v^{-1})^{-2}}{.} \quad (3)$$

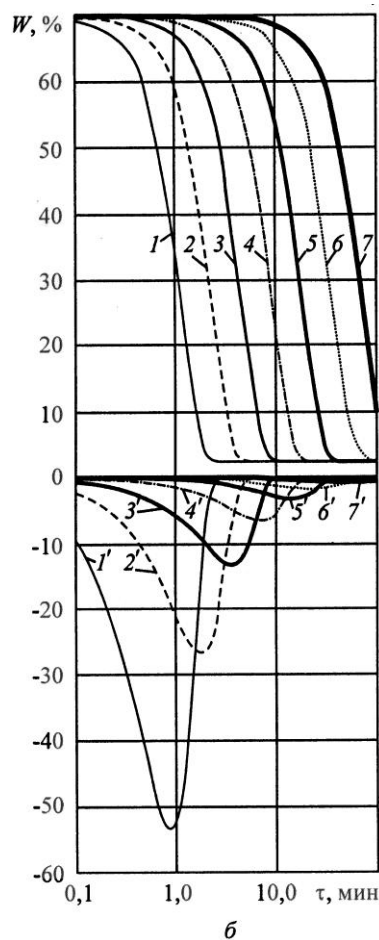
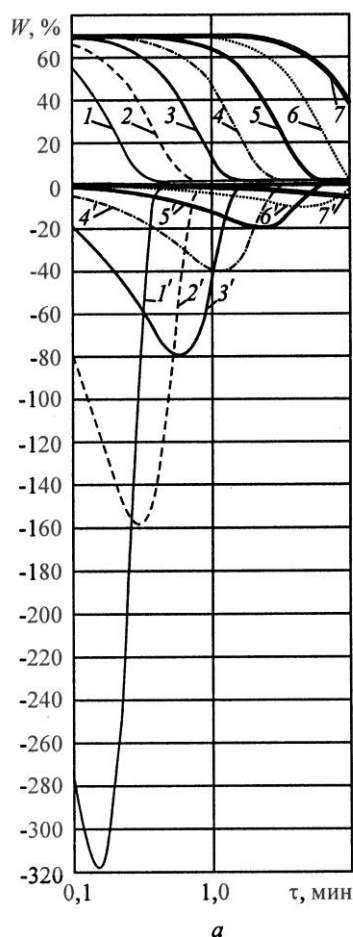
При заданных конкретных зна-
чениях параметров, входящих в фор-
мулу (3) и соответствующих сушке
кедровых, еловых (см. рисунок, *a*) и
дубовых, ясеневых (*б*) пиломатериалов
толщиной $S = 22,5; 32,0; 45,0; 64,0$ и
 $90,0$, а также $16,0$ и $128,0$ мм при зна-
чениях базисной плотности ρ_6 и гаран-
тированных перепадах влажности по
толщине сортимен-та ΔW_s , указанных в

табл. 2, в пределах снижающейся к
универсальным режимам сушки.

Ранее нами выведена функцио-
нальная зависимость снижения теку-
щей влажности пиломатериалов от
продолжительности процесса:

табл. 2, в пределах снижающейся их
влажности $W_n - W_k = 70,0 - 2,5$ %
на трех уровнях температуры $t = 45, 64$
и 90 °С при скорости циркуляции
 $v = 0,3$ и $2,4$ м/с с использованием
формулы (3) построены кривые сушки
пиломатериалов по универсальным
режимам (1–7) (см. рисунок).

Путем их дифференцирования
по формуле



Пример дифференцирования кривых сушки (температура 64 °С) кедровых, еловых (а) и дубовых, ясеневых (б) пиломатериалов к расчету максимальной скорости сушки $dW/d\tau_x$ ($W_H = 70$ %; $\Delta W_s = 36$ %; $\rho_6 = 355$ кг/м³ – ель, кедр; $\rho_6 = 540$ кг/м³ – дуб, ясень; скорость циркуляции $v = 0,6$ м/с): 1, 1' – $S = 16,0$ мм; 2, 2' – 22,5; 3, 3' – 32,0; 4, 4' – 45,0; 5, 5' – 64,0; 6, 6' – 90,0; 7, 7' – 128,0 мм

$$\frac{d}{d\tau} W(\tau) = \frac{d}{d\tau} \left[2,5 + (W_H - 2,5)^{2-3} \tau^2 \left[S^2 \tau^{-2} 284^{-4} \rho_6^4 \Delta W_s^{-1} (100+3v^{-1}) \right]^{-2} \right]. \quad (4)$$

рассчитаны и построены производные кривых сушки (1' – 7').

Допустимые значения скорости снижения количества испаряемой из 1 м³ древесины влаги du/dt установлены по максимальной скорости сушки пиломатериалов, соответствующей экстремальным значениям дифференциалов $dW/d\tau_{\max}$ и пересчитанной по формуле $du/dt_{\max} = W(\tau) / d\tau \rho_6 / (100 \cdot 24 \cdot 3600) = 115,7 \cdot 10^{-9} \rho_6 dW(\tau) / d\tau$. (5)

В табл. 2 приведены значения максимальной допустимой удельной мощности $N_{1\text{м}^3}$, рассчитанные по формуле:

$$N_{1\text{м}^3} = rdu/d\tau = 0,0002882 \rho_6 dW/d\tau. \quad (6)$$

Как видно из табл. 2, соотношению S/t , например, равному 0,5, соответствуют значения всех трех уровней температуры: 45, 64 и 90 °С. Подобранная таким образом кратность градации значений толщины и температуры позволила существенно упростить и упорядочить таблицы.

Для расчета установленной мощности лесосушильных устройств достаточно величину допускаемой удельной мощности, полученную по

Таблица 2

**Удельная допустимая мощность на испарение влаги,
обеспечивающая щадящую (бездефектную) сушку пиломатериалов
разных типоразмеров на разных режимных уровнях**

Показатель			Кедр, ель	Сосна	Береза	Клен	Бук, ясень, дуб, лиственница
Перепад влажности ΔW_s , %			33,8	36,0	36,0	40,7	33,0
Базисная плотность ρ_b , кг/м ³			355	400	500	550	540
Толщина S , мм, при температуре t , °С			Удельная допустимая мощность на испарение влаги $N_{\text{лм}^3}$, кВт/м ³				
45	64	90					
–	(16,0)	22,5	27,20/28,70	20,50/22,40	10,70/11,50	9,19/10,10	7,77/8,47
–	22,5	32,0	13,90/15,10	10,60/11,30	5,33/5,76	4,60/5,07	3,89/4,20
22,5	32,0	45,0	7,06/7,62	5,30/5,65	2,67/2,88	2,30/2,54	1,95/2,10
32,0	45,0	64,0	3,48/3,79	2,65/2,82	1,34/1,44	1,15/1,27	0,97/1,05
45,0	64,0	90,0	1,74/1,94	1,27/1,38	0,67/0,72	0,58/0,63	0,49/0,52
64,0	90,0	–	0,97/1,02	0,63/0,69	0,34/0,36	0,29/0,32	0,25/0,26
90,0	(128,0)	–	0,44/0,51	0,32/0,35	0,17/0,18	0,14/0,16	0,12/0,13

Примечание. В числителе приведены данные для скорости циркуляции сушильного агента 0,3 м/с, в знаменателе – 2,4 м/с.

формуле (6) или взятую из табл. 2, умножить на вместимость сушильной камеры E и добавить мощность на потери через ограждения $N_{\text{огр}}$:

$$N = N_{\text{лм}^3} E + N_{\text{огр}} \quad (7)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2170896 РФ. Способ сушки пиломатериалов / Меркушев И.М. – Заявл. 29.12.1999.

2. Серговский П.С. Исследование теплопроводности и разработка методов расчета процесса сушки и увлажнения древесины. Дис. ... д-ра техн. наук. М.: 1954. 213 с.

I.M. Merkushev

Moscow State Forest University

Dynamics of Faultless Drying of Sawn Timber

The dependencies of specific thermal capacity for moisture evaporation on allowable humidity drop along the board thickness are received, as well as formulae for calculation of installed capacity of forest-drying devices guaranteeing faultless drying of sawn timber.

Keywords: power inputs calculation method, faultless drying, specific capacity, differential method, power-dosing modes.

Поступила 25.06.09