

Точность измерения средней (объемной) плотности древесины мобильным устройством для диагностики состояния древесины «ResistYX»

Форма представления	Сосна (<i>Pinus</i>)	Берёза (<i>Bétula</i>)	Дуб (<i>Quercus</i>)
Абсолютная погрешность, кг/м ³	± 3,69	± 2,72	± 3,37
Относительная погрешность, %	± 0,81	± 0,43	± 0,43

Выводы. Экспериментальные данные, полученные стереометрическим способом и принятые в представленной работе за истинные значения, могут незначительно отличаться от реальных значений средней плотности древесины вследствие неоднородности материала и неточности изготовления образцов. Тем не менее, можно сделать вывод о том, что абсолютная погрешность измерения средней (объемной) плотности древесины сосны (*Pinus*), берёзы (*Bétula*) и дуба (*Quercus*) нормализованной влажности мобильным устройством для диагностики состояния древесины «ResistYX» не превышает ±4 кг/м³, а относительная погрешность – не превышает ±1%.

Реализованный в устройстве «ResistYX» метод измерения сопротивления микросверлению может использоваться в научно-исследовательских и экспертных работах как мобильный, простой и относительно недорогой косвенный способ измерения средней (объемной) плотности древесины с высокой точностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шарапов Е.С. Определение макростроения и свойств древесины микросверлением / Е.С. Шарапов, В.Ю. Чернов, А.С. Торопов // Строение, свойства и качество древесины – 2014: матер. V Международного симпозиума РКСД. – М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2015. – С. 211–218.
2. Шарапов Е.С. Результаты экспериментальных исследований свойств древесины круглых лесоматериалов по радиусу ствола / Е.С. Шарапов, А.С. Торопов, В.Ю. Чернов // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2012. – № 2. – С. 162–167.
3. Шарапов Е.С. Сравнительный анализ способов определения плотности древесины с помощью рентгеновского излучения и устройства для измерения сопротивления сверлению / Е.С. Шарапов, В.Ю. Чернов // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2014. – № 2. – С. 89–95.

УДК 647.047

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ВЛАГОПЕРЕНОСА В ДРЕВЕСИНЕ НА МОДЕЛИ КОЛЛОИДНОГО КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТОГО ТЕЛА

Е.Е. Шишкина,

канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВПО УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ.

А.Г. Гороховский,

доктор техн. наук, профессор, ФГБОУ ВПО УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ.

elenashishkina@yandex.ru

В статье рассматриваются результаты компьютерного моделирования влияния термовлагопроводности на процесс сушки древесины.

По вопросу о механизме движения влаги в древесине под действием градиента влажности различными исследователями [1–3] выдвинуто много теорий и гипотез, которые учитывают возможность различных форм движения влаги в материале. В то же время, проблема переноса влаги в древесине при одновременном действии градиента влажности и температуры требует дополнительных исследований, актуальность которых может быть объяснена возможностью построения эффективных режимов сушки древесины, построенных на явлении термовлагопроводности [4, 5].

Можно выделить теоретические работы, связанные с моделированием неизотермического теплообмена в капиллярно-пористых средах [6–8], в том числе и в древесине. Авторы отмечают, что в настоящее время при описании совместного тепло- и массопереноса в капиллярно-пористых средах даже для простейшего случая не существует единого феноменологического подхода, причем расхождения в физической и математической постановке подобных задач в теории сушки, сорбции и двухфазной фильтрации носят принципиальный характер. Известные подходы практически не используют достижения в области термодинамики и физики поверхностных явлений. Так в работе [7] предпринята попытка разработать феноменологическую модель нестационарных процессов взаимосвязанного тепло- и массопереноса в капиллярно-пористых средах с учетом влияния капиллярных и поверхностных сил, интенсивности теплообмена между фазами и термокапиллярных течений. При этом предложена математическая модель тепло- и массопереноса, базирующаяся на уравнениях двухфазной фильтрации, изотермах сорбции, термодинамических уравнениях Кельвина – Клайперона – Клаузиуса. Следует отме-

титель, что уравнения двухфазной фильтрации для коллоидных капиллярно-пористых сред (типа древесины) не сформулированы, что значительно усложняет даже постановку и без того чрезвычайно сложной задачи, практическое решение которой сопряжено с применением метода взвешенных невязок Галеркина вкупе с квадратурной формулой Гаусса – Любатто для вычисления подынтегральных выражений в системе уравнений неизоэнтальпического влагопереноса вида:

$$\int_{\Omega} \begin{vmatrix} N_i & C_v & 0 \\ N_i & C_{hv} & N_i C_{wp} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \frac{\partial T}{\partial t} \\ \frac{\partial P_{liq}}{\partial t} \end{vmatrix} \partial \Omega - \int_{\Omega} \begin{vmatrix} N_i L \frac{\partial \theta_{liq}}{\partial t} \\ 0 \end{vmatrix} \partial \Omega + \int_{\Omega} \begin{vmatrix} N_i L \rho_{liq} \nabla v_{liq} \\ 0 \end{vmatrix} \partial \Omega - \int_{\Omega} \begin{vmatrix} 0 \\ \nabla N_i K_w \rho_{liq} g \nabla D \end{vmatrix} \partial \Omega +$$

$$\int_{\Omega} \begin{vmatrix} N_i \nabla \lambda \nabla N_i & 0 \\ N_i \nabla K_{hv} \nabla N_i & N_i \nabla K_{wp} \nabla N_i \end{vmatrix} \begin{vmatrix} T_j \\ P_{liqj} \end{vmatrix} \partial \Omega - \int_{\Gamma} \begin{vmatrix} N_i \alpha T_{\infty} \\ 0 \end{vmatrix} \partial \Gamma + \int_{\Gamma} \begin{vmatrix} N_i \alpha N_j & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} T_j \\ P_{liqj} \end{vmatrix} \partial \Gamma -$$

$$\int_{\Gamma} \begin{vmatrix} N_i q_n \\ N_i (q_v + q_{liq}) \end{vmatrix} \partial \Gamma - \int_{\Gamma} \begin{vmatrix} N_i \varepsilon \sigma T_{\infty}^4 \\ 0 \end{vmatrix} \partial \Gamma + \int_{\Gamma} \begin{vmatrix} N_i \varepsilon \sigma N_j^4 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} T_j^4 \\ P_{liqj} \end{vmatrix} \partial \Gamma = 0 \quad (1)$$

В то же время для анализа процессов сушки древесины с использованием явления термовлагопроводности может быть использован подход, реализованный в [9, 10].

Следует сразу оговориться, что теоретические исследования процессов влагопереноса, результаты которых приведены в [9] проводились для изотермических условий. Более того, указывается, что Н.В. Чураев в [11] получил свои расчетные формулы без учета возможного влияния термовлагопроводности. Поэтому проведение вычислительного эксперимента по определению влияния термовлагопроводности на общий процесс теплообмена в коллоидном капиллярно-пористом теле безусловно представляет интерес.

В таблице приведены величины исходных данных для расчета.

Таблица

Исходные данные

№ п/п	Параметр	Обозначение	Размерность	Величина
1	Порода древесины	Сосна	-	-
2	Относительная влажность воздуха	φ	-	-
	- в области связанной влаги			0,3
3	Радиус капилляра	r	м	-
	- в области свободной влаги			0,6
4	Радиус капилляра	г	м	(2.49) [49]
4	Коэффициент диффузии водяного пара в воздухе	D	м ² /с	0,28·10 ⁻⁴
5	Атмосферное давление	P	Па	10 ⁵
6	Температура	T	К	353
7	Универсальная газовая постоянная	R	$\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$	8,31
8	Молярная масса воды	M	кг/моль	0,018
9	Толщина пленки воды на поверхности капилляра у его устья	h	м	-
	- в области связанной влаги			1·10 ⁻⁹ [49]
	- в области свободной влаги			0,3·10 ⁻⁷ [49]
10	Толщина слоя адсорбированной воды (граничная фаза)	h ₀	м	0,3·10 ⁻⁹ [49]
11	Плотность воды	ρ	кг/м ³	1000
12	Градиент относительной влажности воздуха в капилляре	$\frac{d\varphi}{dy}$	м ⁻¹	0,15 [49]
13	Вязкость воды	η	Па·с	0,01
14	Градиент температуры в капилляре	Δt	К/м	160 [95]
15	Температурный коэффициент поверхностного натяжения	ε ₁	Н·м/К	0,2·10 ⁻³
16	Постоянная термоосмоса	□	м ² /с	0,5·10 ⁻¹⁰ [20]
17	Диапазон влажности древесины	w	%	5–100

Порядок расчета следующий:

1. Определяется плотность потока влаги на поверхности древесины (пар – жидкость) без учета термовлагопроводности (изотермический поток).
2. Определяется скорость неизоэнтальпического движения жидкости в капиллярах древесины (капиллярный потенциал, термоосмос).
3. Определяется плотность потока влаги на границе раздела фаз в следствии неизоэнтальпичности.

Результаты расчета влагоудаления из древесины на основе модели коллоидного капиллярно-пористого тела иллюстрируются зависимостями, представленными на рис. 1 и 2. Анализ указанных зависимостей позволяет констатировать, что:

1. Плотность потока влаги на поверхности древесины весьма существенно зависит от влажности древесины. Поскольку плотность потока влаги однозначно определяет скорость сушки, то и последняя существенно зависит от влажности древесины.
2. Для изотермического потока характерна несколько меньшая зависимость от влажности древесины: так во всем диапазоне влажности древесины его величина меняется приблизительно в 10 раз, а при неізотермическом более чем в 80 раз.
3. Неізотермический поток жидкостной влаги в гигроскопической области существенно меньше изотермического. Однако в области свободной влаги он резко возрастает и становится даже несколько больше изотермического (рис. 2). Это связано с существенно меньшей работой влагоудаления пленочной влаги.
4. В структуре неізотермического потока в гигроскопической области термоосмос несколько больше капиллярного потенциала, а в области свободной – капиллярный потенциал резко возрастает и превышает величину термоосмоса примерно в 7 раз.

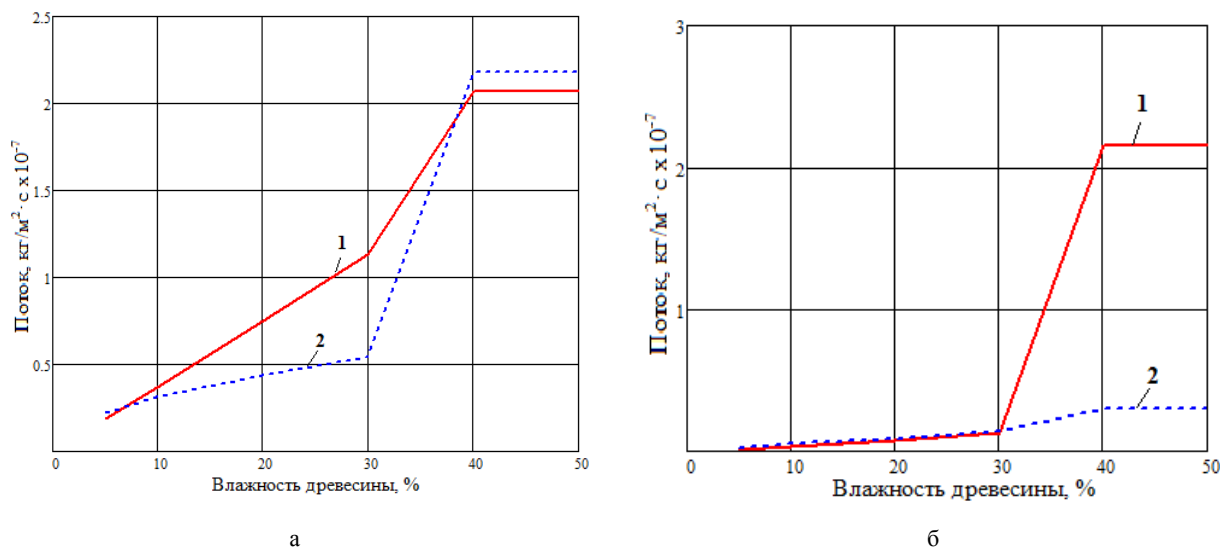


Рис. 1. Расчетные плотности потоков влаги:

а – изотермический перенос (1 – парообразная влага, 2 – жидкостная влага);
 б – неізотермический перенос (1 – капиллярный потенциал, 2 – термоосмос)

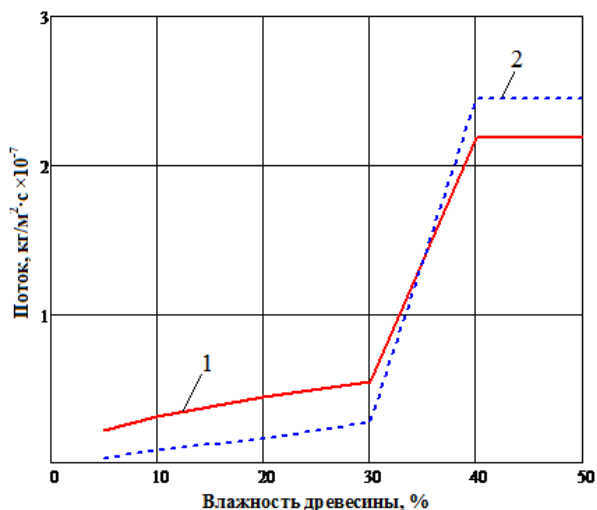


Рис. 2. Расчетные плотности потоков жидкостной влаги:

1 – изотермический; 2 – неізотермический

Общий вывод по работе:

1. Наиболее существенно термовлагопроводность влияет на удаление из древесины свободной влаги. При влажности древесины менее 20 % ее влияние становится несущественным, что необходимо учитывать при построении режимов сушки древесины.
2. Полученные результаты расчета практически полностью совпадают с результатами ранее проведенных экспериментальных исследований [4, 12–14].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шубин Г.С. О коэффициентах переноса тепла и влаги в древесине // Деревообрабатывающая промышленность. – 1989. – № 8. – С. 10–13.
2. Серговский П.С. О механизме движения влаги в древесине при конвективной сушке // Деревообрабатывающая и лесохимическая промышленность. – 1954. – № 4. – С. 3–8.
3. Алпаткина Р.П. О влагопроводности древесины главнейших отечественных пород // Деревообрабатывающая промышленность. – 1967. – № 9. – С. 12–14.
4. Мингазов М.Г. Исследование осциллирующих режимов камерной сушки древесины: дис. ... канд. техн. наук; ЛТА им. С.М. Кирова. – Л., 1973.
5. Шишкина Е.Е. Сушка пиломатериалов в камерах малой мощности с естественной циркуляцией воздуха: дис. ... канд. техн. наук / Шишкина Елена Евгеньевна. – СПб.: СПбГЛТА им. С.М. Кирова, 2006.
6. Акулич П.В., Милитцер К.Е. Моделирование неізотермического массопереноса и напряжений в древесине при сушке // Инженерно-физический журнал. – 1998. – Т. 71. – № 3. – С. 404–411.
7. Гринчик Н.Н., Гишкелюк И.А., Кундас С.П. Моделирование тепломассопереноса и поверхностных явлений в капиллярно-пористых средах на основе уравнений двухфазной фильтрации и изотерм сорбции // Современная наука: сб. науч. статей. – 2011. – № 2 (7). – С. 146–150.
8. Веретельник Т.И. Математическая модель неізотермического массопереноса в пористых средах // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2003. – № 12(58). – С. 153–158.
9. Гороховский А.Г. Технология сушки пиломатериалов на основе моделирования и оптимизации процессов тепломассопереноса в древесине: дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.05 / Гороховский Александр Григорьевич. – СПб.: СПбГЛТА им. С.М. Кирова, 2008. – 263 с.
10. Гороховский А.Г., Шишкина Е.Е. Модели влагопереноса в коллоидной капиллярно-пористой структуре древесины // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: тр. II Международного евразийского симпозиума. – Екатеринбург, 2008. – С. 41–46.
11. Чураев Н.В. Механизм переноса влаги в капиллярно-пористых телах // Докл. АН СССР. – 1963. – Т. 148. – № 6. – С. 1361–1364.
12. Захаржевский В.Г. Скоростная сушка древесины. – М.: 1968.
13. Любовицкий П.В. Сушка древесины с цикловым прогревом (опыт работы предприятий). – М.: Лесная пром-сть, 1986.
14. Мазяк З.Ю., Илькив И.Н. Оптимизация процесса камерной сушки древесины при использовании переменных режимов // Лесной журнал. – 1987. – № 5.

УДК 674.038.16

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ХВОЙНЫХ ПОРОД ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

О.В. Юркова, студент, ФГБОУ ВПО СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург, РФ

С.С. Никульшин, студент, ФГБОУ ВПО СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург, РФ

Д.А. Аношин, студент, ФГБОУ ВПО СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург, РФ

С.О. Семишкур, аспирант, ФГБОУ ВПО СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург, РФ

А.А. Тамби, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВПО СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург, РФ

a_tambi@mail.ru

А.Н. Чубинский, д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВПО СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург, РФ

В статье приведены результаты исследований прочности древесины сосны и ели Ленинградской области при статическом изгибе.

Увеличение номенклатуры и ассортимента материалов и изделий из цельной древесины требуют оценивать качество пиломатериалов по большому количеству характеристик, включая и их внешний вид, и механические свойства. Физические и механические свойства древесины даже одной породы существенно отличаются в зависимости от геоклиматических условий роста древостоев, а также различны по объему ствола дерева [1, 2] и возраста древесины.

Известно [3, 4], что прочность древесины связана с ее плотностью, однако, существующие математические модели, не учитывающие местоположение сортиментов в стволе дерева, наличие в ней внутренних напряжений, влияние других факторов, не позволяют получать результаты с высокой степенью достоверности.

Для оценки изменчивости прочности древесины при статическом изгибе были исследованы хлысты наиболее распространенных на Северо-Западе РФ хвойных пород - сосны и ели. Испытания проведены в соответствии с ГОСТ 16483.0–89 «Древесина. Общие требования к физико-механическим испытаниям» и ГОСТ 16483.3–73 «Метод определения предела прочности при статическом изгибе». Прочность и плотность древесины оценивали при влажности 12 %. Образцы выбирали из хлыстов с шагом по высоте 1 м.