

Леса России и хозяйство в них. 2023. № 2. С. 91–96.

Forests of Russia and economy in them. 2023. № 2. P. 91–96.

Научная статья

УДК 674.047

DOI: 10.51318/FRET.2023.64.34.011

ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЖИМОВ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ ТВЕРДОЛИСТВЕННЫХ ПОРОД

Александр Григорьевич Гороховский¹, Елена Евгеньевна Шишкина²,
Артем Сергеевич Агафонов³, Полина Андреевна Бекк⁴,
Татьяна Сергеевна Овчинникова⁵

^{1, 2, 3, 4} ФГБОУ ВО Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

⁵ Талицкий лесотехнический колледж им. Н. И. Кузнецова, Талица, Россия

Автор, ответственный за переписку: Елена Евгеньевна Шишкина,
shishkinaee@m.usfeu.ru

Аннотация. Режимы сушки древесины являются предметом многочисленных исследований как в нашей стране, так и за ее пределами. Особо это касается режимов сушки твердолиственных пород, которые часто называют трудносохнущими.

Целью настоящей работы является разработка экспресс-метода оценки эффективности режимов сушки пиломатериалов твердолиственных пород древесины.

Методом оценки пригодности того или иного режима сушки является сопоставление поверхностной и средней влажности сохнувшей древесины. Причем для различных пород существуют разработанные рекомендации по величинам комплексного показателя соотношения данных влажностей.

Результатом работы явилось получение для некоторых существующих режимов сушки древесины дуба значения комплексного показателя соотношения влажностей. Расчеты убедительно показали, что применение не всех режимов вполне оправдано для сушки твердолиственных пород, в частности дуба. Так, применение трех- и шестиступенчатых режимов недостаточно оправдано: при их построении не учтен факт принципиальной возможности возникновения внутренних напряжений в древесине в первый период сушки. Причем данные напряжения могут достигать величины, превышающей предел прочности древесины. Это, в свою очередь, может привести к образованию поверхностных трещин и тем самым сделать древесину непригодной к использованию.

Метод может быть применен перед практическим использованием режимов сушки. Причем необходимо учитывать, что при соответствующей доработке возможно использование данного метода для экспресс-оценки режимов сушки любых других пород древесины.

Метод прост в реализации, полученные результаты однозначно характеризуют эффективность режима сушки. Таким образом, экспресс-метод оценки эффективности режимов сушки твердолиственных пород может быть рекомендован для практического использования работниками промышленности, занимающимися сушкой пиломатериалов.

Ключевые слова: сушка пиломатериалов, экспресс-метод, режим сушки, твердолиственные породы, древесина, влажность

Scientific article

EXPRESS ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF DRYING MODES OF HARDWOOD

Alexander G. Gorokhovskiy¹, Elena E. Shishkina², Artem S. Agafonov³,
Polina A. Beck⁴, Tatiana S. Ovchinnikova⁵

^{1, 2, 3, 4} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

⁵ Talitsky Forestry College named after N. I. Kuznetsov, Talica, Russia

Corresponding author: Elena Shishkina,

shishkinaee@m.usfeu.ru

Abstract. Wood drying regimes are the subject of numerous studies both in our country and abroad. This is especially true of the drying modes of hardwoods, which are often called hard-drying.

The purpose of this work is to develop an express method for evaluating the effectiveness of drying modes of hardwood lumber.

As a method of assessing the suitability of a particular drying mode, a comparison of the surface and average humidity of drying wood is used. Moreover, for various breeds, there are developed recommendations on the values of the complex indicator of the ratio of these humidities.

The result of the work was that the values of the complex humidity ratio indicator were obtained for some existing oak wood drying modes. Calculations have convincingly shown that the use of not all modes is fully justified for drying hardwoods, in particular oak. Thus, the use of three and six-stage modes is not sufficiently justified, that their construction does not take into account the fact of the fundamental possibility of internal stresses in the wood during the first drying period. Moreover, these stresses can reach a value exceeding the strength limit of wood. This, in turn, can lead to the formation of surface cracks and thereby make the wood unusable.

The method can be applied before the practical use of drying modes. Moreover, it should be taken into account that with appropriate refinement, it is possible to use this method for express evaluation of drying modes of any other wood species.

The method is easy to implement, the results obtained unambiguously characterize the effectiveness of the drying regime. Thus, the express method of evaluating the effectiveness of drying modes of hardwoods can be recommended for practical use by industrial workers engaged in drying lumber.

Keywords: drying of lumber, express method, drying mode, hardwood, wood, humidity

Введение

Сушка твердолиственных пород является весьма продолжительным и энергоемким процессом (Гороховский, 2008). К таким породам относятся в первую очередь дуб, а также бук, ясень, орех и т.п. Особо остро при этом встает вопрос качества сушки (Гороховский, 2008; Лангендорф, Айхлер, 1982; Гороховский, Шишкина, 2020), которое оценивается целым комплексом показателей, в той или иной степени характеризующих высушенную древесину. Пригодность использования тех или иных режимов, а тем более возможности качественной

сушки древесины часто оказывается сомнительной, особенно при камерной сушке твердолиственных пород. В этой связи разработка экспресс-метода предварительной оценки эффективности применения того или иного режима сушки пиломатериалов представляется актуальной.

Цель, задачи, методика и объекты исследования

Целью настоящего исследования является разработка метода оперативной оценки эффективности режимов сушки пиломатериалов твердолиственных

пород. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить комплексный метод оценки режима сушки;
- найти метод определения влажности поверхности древесины;
- предложить метод определения средней влажности древесины в процессе сушки и начальную влажность древесины.

Объектами исследования являются режимы сушки пиломатериалов твердолиственных пород.

В основу методики настоящего исследования положены подходы ряда немецких ученых (Савина, 2021).

Гарантировать допустимые напряжения в древесине для определенных пород можно, соблюдая в процессе сушки следующее соотношение:

$$U = \frac{U_{cp}}{U_n},$$

где U_{cp} – средняя влажность древесины в процессе сушки, %;

U_n – влажность поверхности древесины, %.

Значение показателя U комплексно характеризует режим сушки на каждой его ступени. При этом, например, для таких пород, как сосна, пихта, ель, данная величина должна составлять от 3,5 до 2,5. Для твердолиственных пород данный показатель должен составлять величины, указанные в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Рекомендуемые значения комплексного показателя для лиственных пород
Recommended values of the complex indicator for hardwoods

№ п/п № p/p	Порода древесины Wood type	Показатель U Indicator U
1	Орех Nut	2,5–2,3
2	Бук Beech	2,0–1,8
3	Ясень Ash	2,0–1,6
4	Дуб Oak	1,6–1,5

Возникает вопрос определения влажности поверхности сохнувшей древесины U_n . На основе проведенных аналитических и экспериментальных

исследований в работе (Phonetip et al., 2017) было предложено в первом приближении считать, что

$$\Delta U = U_n - U_p \approx 0,1,$$

где U_p – равновесная влажность.

То есть это означает, что в процессе сушки, точнее на той или иной ее ступени, в среднем влажность поверхности древесины на 10 % больше величины равновесной влажности среды U_p .

Средняя влажность древесины на той или иной ступени сушки определяется как средняя арифметическая на данной ступени. Начальная влажность во всех случаях условно принимается $U_{нач} = 60\%$. Для исследования предлагается наиболее сложная в сушке порода среди твердолиственных – дуб, толщина пиломатериалов 50 мм.

Для исследования предлагаются следующие типы режимов (Гороховский, 2008):

- трехступенчатый 7–Б (РТМ 1985 г.);
- шестиступенчатый нормативный № 20 (РТМ 1957 г.);
- восьмиступенчатый нормативный № 25 (РТМ 1951 г.).

Результаты и обсуждение

Результаты исследования представлены в табл. 2–4.

Во всех таблицах (см. табл. 2–4), помимо типовых значений параметров режима (средняя влажность древесины по ступеням, температура среды, равновесная влажность), приведены также расчетные значения U_{cp} / U_n и рекомендуемые значения U . Это позволяет в дальнейшем провести анализ пригодности того или иного режима сушки для практической сушки древесины твердолиственных пород, в частности дуба.

Применение экспресс-метода оценки эффективности режимов сушки пиломатериалов твердолиственных пород древесины, в частности дуба, показало:

- а) разработанные в СССР режимы сушки древесины дуба пригодны для этой цели лишь отчасти. Это связано с тем, что на I ступени режима (для трех- и шестиступенчатых режимов) поверхностная влажность древесины ниже предела гигроскопичности древесины.

Таблица 2

Table 2

Трехступенчатый режим 7-Б
Three-stage mode 7-B

№ ступени Stage №	Средняя влажность древесины U_{cp} , % Average humidity of wood U_{sr} , %	Температура среды t_c , °C Medium temperature, t_s , °C	U_p , % U_r , %	U_n , % U_p , %	U_{cp} / U_n U_{sr} / U_p	Рекомендуемая U Recommended U
I	> 30 (45)	52	16,0	26,0	1,73	1,5
II	20–30 (25)	55	12,0	22,0	1,14	1,5
III	< 20 (15)	70	4,5	14,5	1,03	1,5

Таблица 3

Table 3

Шестиступенчатый режим № 20
Six-speed mode № 20

№ ступени Stage №	Средняя влажность древесины U_{cp} , % Average humidity of wood U_{sr} , %	Температура среды t_c , °C Medium temperature, t_s , °C	U_p , % U_r , %	U_n , % U_p , %	U_{cp} / U_n U_{sr} / U_p	Рекомендуемая U Recommended U
I	> 40 (50)	47	16,0	26,0	1,92	1,5
II	40–30 (35)	51	14,0	24,0	1,46	1,5
III	30–20 (25)	54	10,0	22,0	1,13	1,5
IV	20–15 (17,5)	57	8,0	18,0	0,97	1,5
V	15–10 (12,5)	60	6,5	16,5	0,76	1,5
VI	< 10 (8)	63	5,5	15,5	0,52	1,5

Таблица 4

Table 4

Восьмиступенчатый режим № 25
Eight-stage mode № 25

№ ступени Stage №	Средняя влажность древесины U_{cp} , % Average humidity of wood U_{sr} , %	Температура среды t_c , °C Medium temperature, t_s , °C	U_p , % U_r , %	U_n , % U_p , %	U_{cp} / U_n U_{sr} / U_p	Рекомендуемая U Recommended U
I	> 40 (50)	44	20,0	30,0	1,67	1,5
II	40–35 (37,5)	46	18,0	28,0	1,34	1,5
III	35–30 (32,5)	48	14,5	24,5	1,33	1,5
IV	30–25 (27,5)	50	13,0	23,0	1,20	1,5
V	25–20 (22,5)	52	11,0	21,0	1,07	1,5
VI	20–15 (17,5)	55	8,5	18,5	0,95	1,5
VII	15–10 (12,5)	57	7,0	17,0	0,74	1,5
VIII	< 10 (8)	60	5,5	15,5	0,52	1,5

Это свидетельствует о том, что в поверхностных слоях началась усушка, следовательно, появились внутренние напряжения. Очевидно, что данные напряжения будут выше в случае применения шестиступенчатых режимов, ибо для них U_{cp} / U_n существенно превышает рекомендованное значение U . Таким образом, есть возможность возникновения внутренних напряжений недопустимо большой величины;

б) совершенно другая картина наблюдается при применении восьмиступенчатых режимов. На I ступени влажность поверхности только достигает предела гигроскопичности и усушки нет в поверхностных слоях, что исключает развитие внутренних напряжений. Поэтому даже то, что

U_{cp} / U_n несколько больше рекомендованного, не понижает эффективность режима сушки.

Выводы

1. Экспресс-метод оценки эффективности режимов сушки пиломатериалов твердолиственных пород можно рекомендовать для практического использования.

2. Наибольшую эффективность сушки дуба по критерию U показал восьмиступенчатый нормативный режим № 25 (РТМ 1951 г.).

3. Возможно применение метода для оценки эффективности режимов сушки любых пород древесины, но, вероятно, с меньшей результативностью.

Список источников

- Гороховский А. Г. Технология сушки пиломатериалов на основе моделирования и оптимизации процессов тепло-массообмена в древесине : дис.... д-ра техн. наук : 05.21.05 / Гороховский Александр Григорьевич. Екатеринбург, 2008. 263 с.
- Гороховский А. Г., Шишкина Е. Е. Эффективность и качество сушки пиломатериалов : моногр. М.; Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. 186 с.
- Лангендорф Г., Айхлер Х. Облагораживание древесины. М. : Лесн. пром-сть, 1982. 143 с.
- Савина В. В. Повышение эффективности и качества сушки пиломатериалов твердолиственных пород : дис. ... канд. техн. наук : 05.21.05 / Савина Виктория Викторовна. Екатеринбург, 2021. 140 с.
- Phonetip K., Ozarska B., Brodie G. Comparing Two Internal Cheek Measurement Methods for Wood Drying Quality Assessment. European Journal of Wood and Wood Products, 2017. Vol. 75. Iss. 1. P. 139–142. DOI: 10.1007/S00107-016-1115-1

References

- Gorokhovskiy A. G. Technology of drying lumber based on modeling and optimization of heat and mass transfer processes in wood : dis. ... Doctor of Technical Sciences : 05.21.05 / Gorokhovskiy Alexander Grigorievich. Yekaterinburg, 2008. 263 p.
- Gorokhovskiy A. G., Shishkina E. E. Efficiency and quality of lumber drying : monograph. Moscow ; Vologda : Infra-Engineering, 2020. 186 p.
- Langendorf G., Eichler H. Ennobling of wood. M. : Forestry industry, 1982. 143 p.
- Savina V. V. Improving the efficiency and quality of drying of hardwood lumber : dis. ... Candidate of Technical Sciences : 05.21.05 / Savina Victoria Viktorovna. Yekaterinburg, 2021. 140 p.
- Phonetip K., Ozarska B., Brodie G. Comparing Two Internal Cheek Measurement Methods for Wood Drying Quality Assessment. European Journal of Wood and Wood Products, 2017. Vol. 75. Iss. 1. P. 139–142. DOI: 10.1007/S00107-016-1115-1

Информация об авторах

А. Г. Гороховский – доктор технических наук, профессор,
gorokhovskyag@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8847-8217>;

Е. Е. Шишкина – доктор технических наук, профессор,
shishkinaee@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2584-4897>;

А. С. Агафонов – аспирант,
agafonovas@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0955-9068>;

П. А. Бекк – аспирант,
bekkra@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0803-9124>;

Т. С. Овчинникова – преподаватель,
tatyanaovchinikova79@mail.ru.

Information about the authors

A. G. Gorokhovsky – Doctor of Technical Sciences, Professor,
gorokhovskyag@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8847-8217>;

E. E. Shishkina – Doctor of Technical Sciences, Professor,
shishkinaee@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2584-4897>;

A. S. Agafonov – postgraduate student,
agafonovas@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0955-9068>;

P. A. Bekk – postgraduate student,
bekkra@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0803-9124>;

T. S. Ovchinnikova – lecturer,
tatyanaovchinikova79@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 10.03.2023; принята к публикации 24.04.2023.

The article was submitted 10.03.2023; accepted for publication 24.04.2023.
