

УДК 674.047.3

**Д. П. Бабич, Н. В. Мазаник**

Белорусский государственный технологический университет

**РОЛЬ НЕУПРАВЛЯЕМЫХ ФАКТОРОВ  
В ИЗМЕНЧИВОСТИ КОНЕЧНОЙ ВЛАЖНОСТИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ  
ПОСЛЕ КАМЕРНОЙ СУШКИ**

Качественная сушка пиломатериалов является предпосылкой для надежной адгезионной связи между клеевым материалом и субстратом при изготовлении клееных деревянных конструкций. В таких изделиях перепад влажности древесины в смежных слоях конструкции может привести к расслоению и снижению прочности. Целью исследования было выявить основные причины дисперсии влажности пиломатериалов, прошедших камерную сушку, а также определить, какие из факторов, влияющих на вариативность конечной влажности, являются устранимыми в условиях белорусских предприятий.

Были проведены исследования по определению отклонения влажности отдельных досок от средней конечной влажности. Среднее значение влажности древесины по результатам всех замеров составило 9,3%, что незначительно отличается как от среднего значения по показаниям системы автоматического управления (9,45%), так и от заданной конечной влажности (10%). В то же время максимальное абсолютное отклонение влажности от среднего значения составило 6,1% (при коэффициенте вариации 28,2%), что абсолютно недопустимо при сушке по любой из категорий качества. Такая разбежка в значениях конечной влажности может быть объяснена тем, что в сушильную камеру загружаются пиломатериалы одной породы, но имеющие большие отклонения по начальной влажности. Кроме того, на продолжительность процесса сушки большое влияние оказывает вариативность базисной плотности древесины.

Проведенный нами графоаналитический расчет продолжительности сушки пиломатериалов при различных значениях начальных параметров древесины показал, что данное значение для сортиментов из одной загрузки камеры может различаться практически в 2,5 раза. При этом наибольшее влияние оказывает разница в начальной влажности древесины, а разницей в плотности можно пренебречь.

**Ключевые слова:** камерная сушка, базисная плотность, начальная влажность, изменчивость параметров, показатель качества сушки, продолжительность сушки.

**D. P. Babich, N. V. Mazanik**

Belarusian State Technological University

**THE ROLE OF UNCONTROLLABLE FACTORS  
IN THE LUMBER MOISTURE CONTENT VARIABILITY  
AFTER THE KILN DRYING**

High-quality lumber drying is a prerequisite for the reliable adhesive bond between the adhesive material and the substrate during manufacture of glued wooden structures. In such products moisture content differential in adjacent layers of the structure can lead to delamination and a reduction in strength.

The aim of the study was to identify the main reasons for moisture content dispersion in kiln-dried lumber, as well as to determine which of the factors influencing the variability of final moisture content are removable in conditions of Belarusian woodworking enterprises.

The research on the determination of the deviation of individual moisture content of boards from the average value was conducted. The mean value of the final moisture content of wood was 9,3%, which is slightly different from the average value showed by automated control system (9,45%) and from the desired final value (10%). At the same time the maximum absolute deviation from the mean value was 6,1% (with a variation coefficient of 28,2%), which is absolutely unacceptable for any quality class. This difference can be explained by the fact that the drying kiln was loaded with timber having a significant variability of initial moisture content. In addition, the duration of the drying process is greatly influenced by the variability of basic density. Graphic-analytical calculation of the duration of kiln drying at different values of the initial parameters of boards showed that this value can vary almost 2,5 times. It was shown that the greatest effect has difference in initial moisture content of wood, and a density difference can be neglected.

**Key words:** kiln drying, basic density, initial moisture content, variability of parameters, quality of drying, drying duration.

**Введение.** Как известно, эксплуатационные характеристики изделий из древесины существенно зависят от качества сушки заготовок, используемых для их производства. Качественная сушка пиломатериалов является предпосылкой не только формоустойчивости элементов изделия, но и надежной адгезионной связи между клеевым материалом и субстратом при изготовлении клееных деревянных конструкций (КДК). При этом особое внимание традиционно уделяется эквивалентности значений средней влажности, а также равномерности распределения влажности по толщине и длине ламелей, предназначенных для несущих конструкций, таких, например, как клееный брус. В данных изделиях перепад влажности древесины в смежных слоях конструкции может привести к расслоению и снижению прочности, а при неблагоприятных эксплуатационных условиях – и к последующему разрушению конструкции.

Регламентируемый нормативными документами предельный перепад влажности в смежных ламелях бруса перед нанесением на них связующего не должен превышать 2,0–2,5%, однако ведущие европейские производители КДК, как правило, стремятся отбраковывать ламели с отклонением влажности более 1,0% от заданного оптимального значения.

Сортировка древесных заготовок по влажности обычно выполняется с использованием автоматизированных линий, оборудованных встроенными влагомерами. Эта технологическая операция является отработанной и широко используемой технологией при производстве КДК на крупных зарубежных предприятиях. Тем не менее, в Республике Беларусь данные линии не получили широкого распространения, в основном ввиду высокой стоимости, необходимости высококвалифицированного обслуживания, а также отсутствия отечественных производителей поточных датчиков влажности. В данной ситуации единственно возможным путем повышения качества производства клееных конструкций является максимальное снижение дисперсии влажности заготовок, поступающих на склеивание.

**Основная часть.** Отклонение конечной влажности отдельных пиломатериалов от средней заданной является одним из показателей, по которому оценивается качество сушки древесины в сушильных камерах. Регламентируемое Руководящими техническими материалами отклонение влажности от среднего значения для заготовок I категории качества, которые обычно используются в производстве КДК, не превышает 2%, что соответствует технологическим требованиям при склеивании. Однако

также известно, что на практике сортировочные линии отбраковывают 3–11% заготовок именно из-за несоответствия данному показателю. Целью исследования было выявить основные причины дисперсии влажности пиломатериалов, прошедших камерную сушку, а также определить, какие из факторов, влияющих на вариативность конечной влажности, являются устраиваемыми в условиях работы белорусских предприятий.

Первым этапом работы стало определение перепада влажности по объему штабеля. Исследования проводились на базе камер итальянского производства Secal 65:72:41. Данные камеры оснащены системой автоматического контроля текущей влажности древесины с помощью дистанционных кондуктометрических датчиков. Сушке подвергались сосновые пиломатериалы толщиной 32 мм и длиной 6 м. Загрузка камеры включала 12 сушильных пакетов размерами 6,0×1,2×1,2 м, расположенными следующим образом: 1 пакет по длине, 4 пакета по глубине и 3 – по высоте камеры (рис. 1). Пиломатериалы были уложены на прокладках толщиной 25 мм, толщина межпакетных прокладок составляла 75 мм. Комплектация камеры включала 2 пары датчиков текущей влажности древесины, поэтому данный показатель контролировался в двух точках по объему камеры. Датчики были установлены на середине длины пиломатериалов верхнего слоя пакетов № 3 и 6.

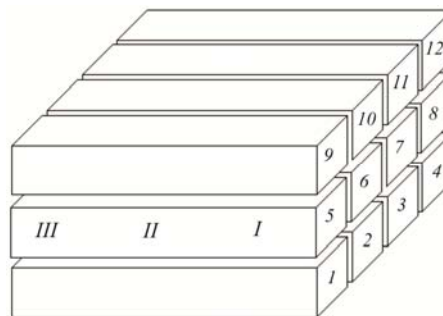


Рис. 1. Расположение пакетов в сушильной камере при проведении исследований по распределению конечной влажности древесины в объеме штабеля

Сушка проводилась по оригинальному режиму, разработанному производителем сушильной камеры, и была окончена при следующих показаниях датчиков влажности: для датчика, установленного в пакете № 3, – 12,10%, для датчика, установленного в пакете № 6, – 6,80%. Таким образом, средняя конечная влажность, зарегистрированная системой автоматического управления, составила 9,45% (при заданном значении 10,00%), а отклонение

показаний датчиков от среднего равнялось  $\pm 2,65\%$ , что соответствует II категории качества сушки.

После разгрузки сушильной камеры нами была определена фактическая конечная влажность пиломатериалов штабеля с использованием кондуктометрического влагомера Gann Hydromette НТ 65 с погрешностью измерения 0,1%. Замеры проводились в трех областях (I, II, III) по длине пиломатериалов (рис. 1). Результаты определения влажности показаны в табл. 1.

Таблица 1  
Результаты определения фактической влажности пиломатериалов после камерной сушки

Номер пакета	Средняя влажность древесины в зоне замера, %			Среднее значение влажности пиломатериалов в пакете, %
	I	II	III	
1	10,4	11,2	12,0	11,2
2	13,6	15,4	12,3	13,8
3	12,9	13,5	13,4	13,3
4	6,5	8,3	6,1	7,0
5	6,3	6,8	6,2	6,4
6	7,7	9,1	7,2	8,0
7	10,7	11,6	10,4	10,9
8	7,1	8,7	7,3	7,7
9	6,1	7,2	7,1	6,8
10	8,6	9,9	7,3	8,6
11	11,1	10,4	10,3	10,6
12	7,3	7,1	6,5	7,0

Анализ данных, приведенных в табл. 1, позволяет сделать следующие выводы. Среднее значение конечной влажности древесины по результатам всех замеров составило 9,30%, что незначительно отличается как от среднего значения по показаниям САУ (9,45%), так и от заданной конечной влажности 10,00%. Существенные отличия в результатах измерений в различных точках по длине пиломатериалов в пределах одного пакета не выявлены, что свидетельствует о достаточно равномерном распределении циркулирующего агента сушки по длине камеры. В то же время максимальное абсолютное отклонение влажности от среднего значения составило 6,10% (при коэффициенте вариации 28,20%), что абсолютно недопустимо при сушке досок по любой из категорий качества. Таким образом, качество сушки не соответствует зарегистрированному системной автоматического управления и является неприемлемым. Причинами такого противоречия могут быть, с одной стороны, неправильные показания дистанционных датчиков влаж-

ности, и, с другой – различия в скорости сушки пиломатериалов.

Сравнение показаний датчиков с измеренными вручную значениями показали, что в пакете № 3 отклонение фактической влажности от значения по сенсору составило 1,20%, в пакете № 6 – также 1,20%, причем в обоих случаях средняя фактическая влажность оказалась выше зарегистрированной САУ. Данное несоответствие может быть объяснено следующими причинами.

Во-первых, в камерах используются датчики, электроды которых не имеют изоляции в верхней части, поэтому они могут измерять влажность древесины на поверхности доски, а не в ее центре. Во-вторых, известно, что иглы датчика доставляют к древесине в местах углубления дополнительное тепло. Из-за ускоренной подсушки древесины в этих местах показания прибора искажаются. В-третьих, при неплотной установке датчиков в отверстиях их измерительная поверхность может контактировать с сушильным агентом, что также сказывается на точности измерений.

Однако еще больший интерес представляет существенная разбежка в скорости сушки различных пиломатериалов, которая привела к столь значительной дисперсии значений конечной влажности. Поскольку все пиломатериалы прошли сушку по одному режиму и находились под воздействием сушильного агента равное количество времени, мы предположили, что основной причиной низкого качества сушки явились различия в начальных параметрах пиломатериалов.

В соответствии с правилами проведения камерной сушки в сушильную камеру одновременно могут загружаться только пиломатериалы одной породы и толщины. Режим сушки (т. е. значения температуры и влажности сушильного агента) выбирается в зависимости от этих двух основных параметров. Вместе с тем предполагается, что такие существенно влияющие на продолжительность сушки параметры, как начальная влажность и плотность пиломатериалов, варьируются незначительно. Для проверки данной гипотезы нами была исследована вариативность значений начальной влажности древесины. Установлено, что из-за наличия на территории предприятия участка атмосферной подсушки в одну загрузку камеры могут попадать пакеты пиломатериалов, выдерживавшихся после поступления из лесопильного цеха различного времени, и разница в их фактической начальной влажности достигала 30–35%.

Поскольку литературные источники содержат противоречивые сведения об изменчивости

плотности древесины в пределах одной породы, нами также было выполнено исследование, в котором определялась фактическая базисная плотность сосновых образцов, выпиленных из пиломатериалов, составлявших загрузку сушильной камеры. Для этого мы определяли размеры и массу образцов при определенной влажности, а затем устанавливали значение данной влажности сушильно-весовым методом и рассчитывали базисную плотность образца. Результаты расчетов для 60 образцов приведены в табл. 2.

Гистограмма распределения плотности образцов показана на рис. 2.

Среднее значение базисной плотности сосны по результатам исследования составило 368,1 кг/м<sup>3</sup>, что несколько ниже значений 400–480 кг/м<sup>3</sup>, приведенных в литературных источниках [1–3]. Дисперсия опытных данных составляет  $D = 6926$ , среднее квадратичное отклонение –  $\delta = 83,2$ , коэффициент вариации равен 22,7%. Высокое значение коэффициента

вариации являлось ожидаемым, поскольку, как известно [1], плотность древесины зависит от большого количества факторов, например возраста дерева, условий произрастания, положения в стволе и т. д.

Для оценки потенциального влияния изменчивости начальных параметров древесины на продолжительность ее сушки было рассчитано время сушки досок с различными значениями начальной влажности, плотности и направления распила. При этом были использованы следующие исходные данные: порода древесины – сосна; толщина пиломатериалов – 32 мм; режим сушки – рекомендованный фирмой *Cathild*; диапазон изменения начальной влажности древесины – 40–100%; диапазон изменения базисной плотности древесины – 380–460 кг/м<sup>3</sup>. Расчет продолжительности сушки проводился при помощи графоаналитического метода. Результаты расчета представлены в табл. 3, гистограмма распределения значений плотности – на рис. 3.

Таблица 2

Результаты определения базисной плотности образцов древесины сосны, кг/м<sup>3</sup>

361,8	359,9	418,1	381,2	360,8	416,1
410,3	375,4	367,6	420,0	415,2	403,5
387,0	362,8	415,2	410,3	379,3	373,5
404,5	416,1	373,5	411,3	402,6	404,5
370,5	224,1	234,7	288,1	277,4	266,8
356,0	256,9	273,5	463,7	477,2	597,4
295,9	305,6	307,5	322,0	350,3	345,2
290,0	300,3	328,8	345,3	318,2	350,2
324,0	422,0	486,0	485,3	468,5	452,0
157,1	205,6	218,3	485,3	500,5	505,4

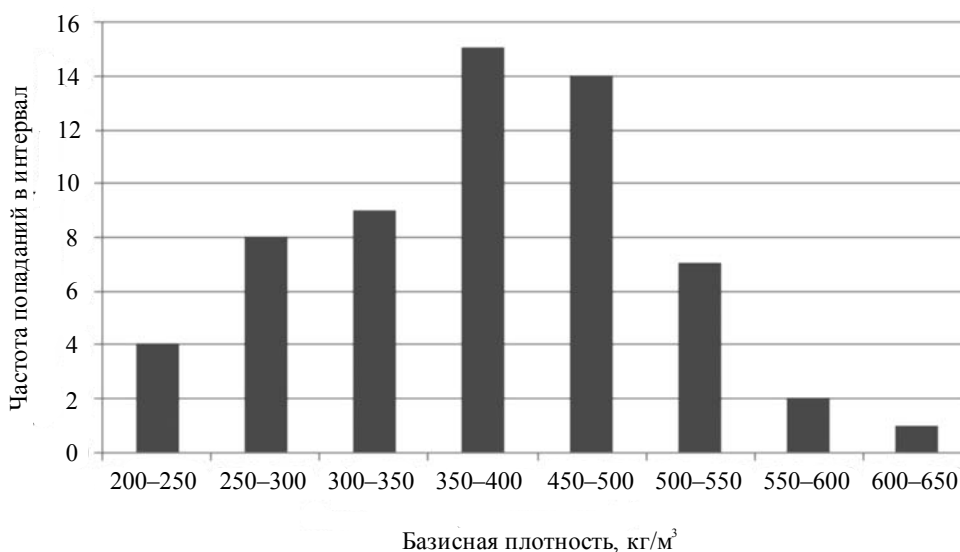


Рис. 2. Гистограмма распределения значений базисной плотности сосновых образцов

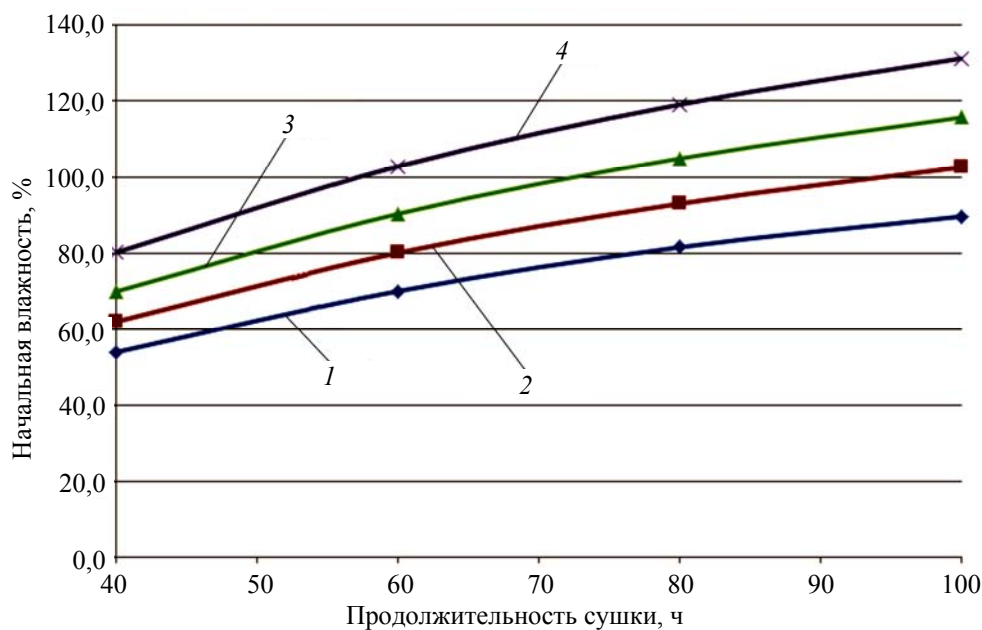


Рис. 3. Зависимость продолжительности сушки от начальных параметров древесины при следующих значениях базисной плотности досок, кг/м<sup>3</sup>: 1 – 380; 2 – 400; 3 – 420; 4 – 460

Таблица 3  
Результаты расчета продолжительности сушки пиломатериалов

Начальная влажность древесины $W_n$ , %	Базисная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Продолжительность сушки $\tau_c$ , ч
40	380	54,0
60	380	70,0
80	380	81,5
100	380	89,6
40	400	62,0
60	400	80,1
80	400	93,0
100	400	102,5
40	420	69,9
60	420	90,3
80	420	104,9
100	420	115,7
40	460	80,2
60	460	102,8
80	460	119,2
100	460	131,3

Анализ данных свидетельствует о том, что теоретически при отсутствии сортировки пиломатериалов, загружаемых в камеру, по их на-

чальным параметрам продолжительность сушки отдельных пиломатериалов может отличаться в 2,5 раза и более.

При этом наибольшее влияние оказывают отличия в начальной влажности древесины, а отличиями в плотности можно пренебречь. В результате абсолютно необходимой представляется сортировка пиломатериалов перед их сушкой на группы с примерно одинаковым значением начальной влажности.

**Заключение.** Распределение конечной влажности пиломатериалов является одним из важнейших критериев качества сушки. Особенно критична однородность значений влажности при производстве клееных деревянных конструкций. При этом использование современных режимов сушки, включающих обязательную операцию кондиционирования, также как и удовлетворительные значения средней конечной влажности пиломатериалов, определяемые системой автоматического управления сушильной камеры, не являются гарантией низкой дисперсии влажности древесины по объему штабеля. Существенно снизить дисперсию влажности древесины после сушки можно за счет предварительной сортировки пиломатериалов по влажности перед их загрузкой в сушильную камеру.

#### Литература

1. Уголев Б. Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. 351 с.
2. Неделина Н. Ю. Пористость и базисная древесины разных типов // Электронный научный журнал КубГАУ № 89 (05) / Воронежская государственная лесотехническая академия. Воронеж,

2013. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader, URL: <http://ej.kubagro.ru/2013/05/pdf/03.pdf> (дата обращения: 25.01.2016).

3. Влияние изменчивости анатомических элементов на плотность и прочность древесины сосны в культурах / Н. А. Бабич [и др.] // Современные проблемы теории и практики лесного хозяйства: сб. статей Всерос. науч.-практ. конф., Йошкар-Ола: МарГУ, 2008. С. 188–192.

#### References

1. Ugolev B. N. *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood Science with the basic of forestry merchnising]. Moscow, GOU VPO MGUL Publ., 2007. 351 p.

2. Nedelina N. Yu. The porosity and density of the wood of different basic types. *Elektronnyy nauchnyy zhurnal KubGAU*, no. 89 (5) (In Russian). Available at: <http://ej.kubagro.ru/2013/05/pdf/03.pdf> (accessed 25.01.2016).

3. Babich N. A., Melekhov V. I., Antonov A. M., Konovalov D. Yu., Korchagov S. A. Effect of anatomical variability of elements on the density and strength of pine cultures. *Sbornik statey Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Sovremennye problemy teorii i praktiki lesnogo khozyaystva)* [Modern problems of the theory and practice of forestry: collection of articles of all-Russian scientific-practical conference]. Yoshkar-Ola, MarGU, 2008, pp. 188–192 (In Russian).

#### Информация об авторах

**Бабич Дмитрий Павлович** – ассистент кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [d\\_babich@list.ru](mailto:d_babich@list.ru)

**Мазаник Наталья Владимировна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [nata.mazanik@mail.ru](mailto:nata.mazanik@mail.ru)

#### Information about the authors

**Babich Dmitriy Pavlovich** – assistant lecturer, the Department of Woodworking Technology (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [d\\_babich@list.ru](mailto:d_babich@list.ru)

**Mazanik Natal'ya Vladimirovna** – PhD (Engineering), Assistant Professor, Assistant Professor, the Department of Woodworking Technology (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [nata.mazanik@mail.ru](mailto:nata.mazanik@mail.ru)

Поступила 15.02.2016