

УДК 674.04.047.3

**Н. В. Мазаник, Д. П. Бабич**

Белорусский государственный технологический университет

**РЕЖИМЫ И КАЧЕСТВО СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ  
В СУШИЛЬНЫХ КАМЕРАХ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ**

Проанализированы режимы сушки пиломатериалов в конвективных сушильных камерах периодического действия, установленных на деревообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь. В частности, рассмотрены режимы, приведенные в Руководящих технических материалах, а также режимы, рекомендованные для использования производителями сушильных камер Cathild и Copcal.

При анализе режимов выявлены следующие особенности. Режимы отличаются не только по жесткости, но и по принципу построения. Наибольшие различия наблюдаются в величинах градиента сушки. В режиме Copcal он увеличивается по мере высыхания материала, в режимах Cathild и РТМ – уменьшается в диапазоне изменения влажности на каждой стадии сушки, причем среднее значение градиента при высыхании древесины также снижается.

Были проведены исследования качества сушки пиломатериалов в сушильных камерах Copcal. Были получены следующие результаты: средняя конечная влажность пиломатериалов составила 7,6%, отклонение влажности отдельных досок от средней по штабелю – 0,41%, перепад влажности по толщине – 0,40%, условный показатель остаточных внутренних напряжений – 4,34%. Таким образом, установлено, что пиломатериалы соответствуют III категории качества и не могут быть использованы для производства ответственных изделий из древесины.

С целью повышения качества сушки пиломатериалов разработаны мероприятия, включающие проведение периодической влаготеплообработки материала. Разработанная технология влаготеплообработки основана на осцилляции температуры поверхностных слоев пиломатериалов, что позволяет обеспечить более равномерное распределение влажности по толщине досок.

**Ключевые слова:** режим сушки, градиент сушки, равновесная влажность, качество сушки, влаготеплообработка.

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

Belarusian State Technological University

**REGIMES AND QUALITY OF LUMBER DRYING IN THE DRYING CHAMBERS  
PRODUCED BY DIFFERENT MANUFACTURERS**

The analysis of the regimes of lumber drying in convective drying kilns used on woodworking enterprises of the Republic of Belarus is given. In particular, the regimes according to the Guiding technical materials, as well as regimes recommended by manufacturers of Cathild and Copcal drying kilns are considered.

The analysis of regimes allowed to detect the following features. Regimes differ not only in the stiffness but also in the principle of structure. The greatest differences were observed in the drying gradient. In the Copcal regime the gradient increases during drying. In the Cathild regime and RTM regime it decreases within the moisture content range on the each drying step, the average value of the gradient is also reduced.

The results of research of the quality of lumber drying in Copcal kilns are described. The average final moisture content of lumber was 7,6%, the deviation of the final moisture content of individual boards from the average moisture content of stack was 0,41%, the difference between the surface moisture content and internal moisture content of wood was 0,40%, the value of residual internal stresses was 4,34%. It is found that the lumber quality corresponds to III category, so lumber can not be used for the furniture production.

In order to improve the quality of lumber drying special methods have been developed, including periodic hydrothermal treatment. The developed technology is based on the oscillating of temperature of lumber surface layers. It guarantees a more uniform moisture distribution within the boards thickness.

**Key words:** drying regime, drying gradient, equilibrium moisture content, quality of drying, hydrothermal treatment.

**Введение.** Сушка пиломатериалов – одна из важнейших операций в технологическом процессе деревообработки. Сушка предохраняет древесину от поражения деревоокраши-

вающими и дереворазрушающими грибами при ее хранении и транспортировке, позволяет улучшить качество механической обработки, склеивания и отделки, предупреждает

размерно- и формоизменяемость изделий из древесины. Повышение качества сушки возможно за счет совершенствования ее режимов, а также проведения специальных мероприятий, позволяющих предотвратить развитие дефектов.

**Основная часть.** Как известно, под режимом сушки понимают расписание состояния сушильного агента на входе в штабель. Данное состояние характеризуется не менее чем двумя параметрами. Одним из них традиционно является температура ( $t$ , °С). Второй параметр прямо либо косвенно характеризует влажностное состояние агента. Так, в «Руководящих технических материалах» (РТМ), регламентирующих режимы сушки в Республике Беларусь и в Российской Федерации, в качестве параметров, описывающих влажность воздуха, используются психрометрическая разность ( $\Delta t$ , °С) и степень насыщенности ( $\phi$ , %). Режимы имеют многоступенчатую структуру, причем по мере снижения влажности материала режим становится более жестким, что подразумевает повышение температуры и уменьшение влажности сушильного агента. Стандартные режимы, приведенные в РТМ, разработаны таким образом, чтобы обеспечить заданное качество сушки при минимальной продолжительности процесса. При этом под качеством сушки принято понимать совокупность параметров, характеризующих распределение конечной влажности по объему штабеля и сечению пиломатериалов, а также величину внутренних остаточных напряжений в древесине.

В то же время не секрет, что сегодня режимы сушки, установленные РТМ, используются крайне редко. Это связано с физическим и моральным устареванием российских сушильных камер, для которых они были разработаны. Подавляющее большинство деревообрабатывающих предприятий Республики Беларусь эксплуатирует сборно-металлические камеры европейских производителей, таких как *Secal*, *Incoplan*, *Copcal*, *Cathild*, *Katres*, *Hildebrand* и др. В этих камерах используется принципиально иной способ контроля параметров сушильного агента, основанный на оценке равновесной влажности древесины. Регулирование процесса осуществляется путем использования градиента сушки. Под градиентом понимается отношение текущей влажности древесины к ее равновесной влажности (формула 1). В свою очередь, равновесная влажность древесины соответствует текущему состоянию сушильного агента, т. е. напрямую зависит от температуры и относительной влажности воздуха в камере.

$$DG = \frac{W_{\text{тек}}}{W_{\text{равн}}}, \quad (1)$$

где  $DG$  – градиент сушки;  $W_{\text{тек}}$  – средняя текущая влажность пиломатериалов в камере, %;  $W_{\text{равн}}$  – текущая равновесная влажность пиломатериалов, равная влажности целлюлозной пластинки датчика, %.

Градиент сушки напрямую определяет скорость снижения влажности материала. Интенсивность процесса возрастает с уменьшением текущей влажности древесины. Другими словами, при поддержании градиента сушки на фиксированном уровне, по мере высыхания пиломатериалов режим их сушки ужесточается, как и в случае использования режимов РТМ. Когда градиент равен единице, древесина находится в гигроскопическом равновесии с окружающей средой и сушка не происходит. Чем больше градиент, тем быстрее протекает процесс сушки.

Наиболее интересным с точки зрения качества сушки является отсутствие в современных камерах операции влаготеплообработки. Это связано с тем, что влаготеплообработка – весьма энергоемкий процесс, который, к тому же, возможен лишь в камерах, использующих в качестве теплоносителя водяной пар. После массового перехода на использование в качестве теплоносителя горячей воды, от проведения влаготеплообработок на большинстве предприятий отказались. Это не могло не сказаться на качестве сушки пиломатериалов, поскольку влаготеплообработка является важнейшей операцией, позволяющей снизить величину остаточных напряжений, накапливающихся в древесине в процессе сушки.

Другим вопросом, вызывающим озабоченность с точки зрения качества сушки в импортных камерах, является то, что в ЕС отсутствует единый стандарт, определяющий режимы сушки древесины. Фактически, каждый производитель сушильных камер сам разрабатывает режимы сушки, исходя из особенностей конструкции выпускаемых сушилок и в соответствии с собственными экспериментальными данными. Тем не менее, несмотря на достаточно однообразные конструкции современных сборно-металлических камер периодического действия, режимы сушки от разных разработчиков существенно отличаются как друг от друга, так и от режимов РТМ.

В таблицах 1–3 приведены режимы сушки для одного и того же материала – сосновых досок толщиной 60 мм – во французских камерах *Cathild*, в итальянских камерах *Copcal* и режимы, соответствующие РТМ.

Таблица 1

**Режим сушки сосновых пиломатериалов толщиной 60 мм в камере Cathild**

Стадия цикла сушки	Средняя текущая влажность древесины, $W_t$ , %	Температура сушильного агента, $t$ , °С	Равновесная влажность древесины, $W_p$ , %	Градиент сушки, $DG$	Процент использования мощности вентиляторов, %
Прогрев 1	>50	55	15,5	>3,2	49
Прогрев 2	>50	58	13,5	>3,7	80
Сушка	>50	60	12,0	>4,2	85
	50÷40	63	10,5	4,8÷3,8	85
	40÷35	65	10,1	4,0÷3,5	85
	35÷30	65	9,1	3,8÷3,3	80
	30÷27	67	8,4	3,6÷3,2	70
	27÷24	67	7,8	3,5÷3,1	65
	24÷21	70	7,0	3,4÷3,0	60
	21÷18	70	6,3	3,3÷2,9	55
	18÷15	70	5,3	3,4÷2,8	50
	15÷12	75	5,0	3,0÷2,4	49
12÷9	75	4,3	2,8÷2,1	49	
9÷8	75	4,0	2,3÷2,0	49	
Кондиционирование	8	68	8,0	1,0	49
Охлаждение	8	53	8,0	1,0	70

Таблица 2

**Режим сушки сосновых пиломатериалов толщиной 60 мм в камере Sorcal**

Стадия цикла сушки	Средняя текущая влажность древесины, $W_t$ , %	Температура сушильного агента, $t$ , °С	Равновесная влажность древесины, $W_p$ , %	Градиент сушки, $DG$	Процент использования мощности вентиляторов, %
Прогрев	>40	40	>40,0	1,0	100
Сушка	>40	45	>18,2	2,2	100
	40÷28	50	16,0÷11,2	2,5	95
	28÷18	55	10,0÷6,4	2,8	85
	18÷8	60	5,6÷2,5	3,2	75
Кондиционирование	8	55	8,0	1,0	90
Охлаждение	8	30	8,0	1,0	100

Таблица 3

**Режим сушки сосновых пиломатериалов толщиной 60 мм согласно РТМ**

Стадия цикла сушки	Средняя текущая влажность древесины, $W_t$ , %	Температура сушильного агента, $t$ , °С	Равновесная влажность древесины, $W_p$ , %	Градиент сушки, $DG$	Процент использования мощности вентиляторов, %
Прогрев	>35	63	>35	1,0	100
Сушка	>35	55	14,4	4,9÷2,4	100
	35÷20	58	11,0	3,2÷1,8	100
	20÷8	75	4,7	4,3÷1,7	100
Влаготеплообработка	8	83	8	1,0	100
Охлаждение	8	40	8	1,0	100

Можно видеть, что приведенные в таблицах режимы различаются не только по жесткости, но и по принципу построения. Например, режим, используемый в камерах *Cathild*, не только является наиболее жестким из представленных, но и имеет значения градиента сушки, отличные от единицы, уже на стадии начального

прогрева материала. Как известно, сушка непрогретого материала чревата образованием трещин, поэтому ее стараются не допускать.

В режиме *Cathild* торможение процесса сушки осуществляется за счет снижения объема циркулирующего агента на 50% от номинального значения. Этой же цели служат высокие

значения влажности воздуха в период прогрева в режимах *Copcal* и РТМ. Однако наибольшие различия наблюдаются в величинах градиента сушки. В режиме *Copcal* он увеличивается по мере высыхания материала, в режимах *Cathild* и РТМ – уменьшается в диапазоне изменения влажности на каждой стадии сушки, среднее его значение по мере просыхания древесины также снижается. Очевидно, что разные режимы сушки обеспечивают разное качество высушенной древесины.

Мы провели исследования качества сушки пиломатериалов в сушильных камерах *Copcal*, эксплуатируемых на ОАО «Минскдрев». Высушиваемые на предприятии пиломатериалы предназначены для последующего изготовления столярно-строительных изделий достаточно высокой квалификации, а именно оконных и дверных блоков. Поэтому качество их сушки должно быть не ниже II категории. Требования к количественным показателям качества сушки установлены в соответствии с «Руководящими техническими материалами». Нами было принято решение исследовать качество сушки сосновых досок толщиной 60 мм, поскольку именно толстые пиломатериалы наиболее подвержены возникновению различных дефектов сушки. Длина досок составляла от 5 до 6 м.

При исследовании качества сушки пиломатериалов после окончания цикла сушки был проведен их осмотр с целью выявления видимых дефектов. В качестве таких дефектов были отмечены торцовые трещины. Следующим этапом было определение средней конечной влажности пиломатериалов и изучение равномерности распределения конечной влажности по объему штабеля. С этой целью были произведены замеры влажности в шести точках. Замеры производились с использованием влагомера *DT-125H*. Результаты измерений и расчета средней конечной влажности приведены в табл. 4.

Отклонение влажности отдельных пиломатериалов от средней по штабелю составило  $\Delta W = 0,41\%$ .

Определение перепада влажности по толщине досок производилось также с использованием влагомера *DT-125H*. Для этого непосредственно после выгрузки материала из сушильной камеры были выполнены срезы контрольных досок на расстоянии 40 см от торца. Перепад определялся как разность между величинами влажности древесины поверхностных и центрального слоев и в среднем составил 0,4%.

Для определения условного показателя остаточных напряжений использовалась стандартная методика.

Таблица 4

#### Результаты определения влажности пиломатериалов штабеля

Номер доски, $j$	Номер точки замера, $i$	Влажность древесины, $W_i, \%$	Средняя влажность доски, $W_j, \%$	Средняя влажность древесины в штабеле, $W_{ср}, \%$
I	1	6,8	7,25	7,667
	2	7,7		
II	3	7,0	7,70	
	4	8,4		
III	5	7,9	8,05	
	6	8,2		

Проведя сравнение полученных показателей качества сушки с требованиями, приведенными в РТМ, мы установили, что качество не соответствует II категории по критерию остаточных напряжений (табл. 5), однако удовлетворяет требованиям III категории. Таким образом, пиломатериалы, высушенные в камерах *Copcal*, могут использоваться только для производства неквалифицированных изделий (тары, строительного погонажа и т. п.). Для применения данных пиломатериалов по заявленному назначению (столярно-строительные изделия), необходима разработка и внедрение мероприятий по повышению качества сушки. В качестве таких мероприятий были предложены следующие.

1. С целью уменьшения количества и размеров торцовых трещин рекомендуется установка торцезащитных экранов, которые позволят снизить скорость циркуляции сушильного агента в торцовой зоне штабеля и тем самым приблизить скорость высыхания приторцовых зон пиломатериалов к скорости сушки в центре штабеля.

2. С целью уменьшения остаточных напряжений в пиломатериалах после сушки рекомендуется включить в рабочий цикл операцию влаготеплообработки, которая в настоящий момент в нем отсутствует. Поскольку данная операция является энергозатратной, возможен энергосберегающий вариант обработки, при котором периодически производится остановка сушки с допущением быстрого понижения температуры в камере на 1–2°C. Для толстых пиломатериалов такая обработка может производиться в том числе сразу по окончании начального прогрева, т. к. часто камеры, использующие в качестве теплоносителя воду, не обеспечивают достаточно высокую степень насыщенности сушильного агента во время начального прогрева материала и поэтому остаточные напряжения могут накапливаться уже на этом этапе.

Таблица 5

## Анализ результатов исследования качества сушки

Показатель качества сушки	Требования по показателю качества для пиломатериалов категории		Среднее значение показателя по результатам исследования
	II	III	
Средняя конечная влажность, %	7–15	10–15	7,67
Отклонение конечной влажности отдельных досок от средней влажности штабеля при толщине 60 мм, %	Не более $\pm 3$	Не более $\pm 4$	0,41
Перепад влажности по толщине пиломатериалов при их толщине, равной 60 мм, %	Не более 3,5	Не более 4,0	0,40
Условный показатель остаточных напряжений, %	Не более 2	Не контролируется	4,34

Рассмотрим процессы, происходящие при такой обработке. В период охлаждения (период отключения калориферов) температура воздуха и, соответственно, поверхности материала уменьшаются. Температура в центре доски снижается с меньшей скоростью и на определенном отрезке времени становится выше температуры поверхностных слоев. В этот период движение влаги к поверхности происходит под действием градиентов температуры и влажности. Степень насыщенности сушильного агента возрастает, что приводит к замедлению процесса испарения влаги и сушки пиломатериалов соответственно. В то же время увеличивается влажность поверхностных слоев, т. е. происходит выравнивание влажности по толщине досок и остаточные напряже-

ния в результате уменьшаются. Другими словами, в период охлаждения происходит влаготеплообработка материала, которая, однако, не удлиняет процесс сушки, т. к. увлажнение поверхности происходит за счет влаги, содержащейся во внутренних слоях, а не привнесенной извне.

**Заключение.** Качество сушки пиломатериалов в камерах Sorcal не соответствует II категории по критерию остаточных напряжений, однако удовлетворяет требованиям III категории. Таким образом, пиломатериалы, высушенные в камерах Sorcal, могут использоваться только для производства некавалифицированных изделий. Для заявленного назначения пиломатериалов необходима разработка мероприятий по повышению качества сушки.

## Литература

1. Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки древесины. Архангельск, ЦНИИМОД, 1985. 140 с.

## References

1. Guiding technical materials on technology of wood kiln drying. Arhangel'sk, CNIIMOD Publ., 1985. 140 p.

## Информация об авторах

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

**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

## Information about the authors

**Mazanik Natallia Vladimirovna** – Ph. D. Engineering, assistant professor, Department of Technology of Woodworking Production (13a, Sverdlova str., Minsk, 220006, Republic of Belarus). E-mail: nata.mazanik@mail.ru

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

Поступила 20.02.2015