

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Губенко А. Б. Изготовление клееных деревянных конструкций и деталей.— М.— Л.: Гослесбумиздат, 1957.— 348 с. [2]. Иванов Ю. М. Рекомендации по испытанию деревянных конструкций.— М., 1976.— 28 с. [3]. Ломакин А. Д., Мартинец Д. В., Прилепский Е. А. Клееные деревянные конструкции в сельскохозяйственных зданиях.— М.: Стройиздат, 1982.— 104 с. [4]. Ясинский В. С. К вопросу определения вероятности совпадения сучков в многослойных клееных несущих конструкциях // Технология и оборудование деревообрабатывающих производств: Межвуз. сб. науч. тр.— 1974.— Вып. 3.— С. 710. [5]. Madsen B. Duration of load test for wet lumber in bending // Forest Products Journal.— 1975.— V. 25.— N 5.— P. 33—40. [6]. Peterson J., Madson G., Moody R. C. Tensile strength of one-, two- and three-ply glulam members of 2 b b Douglas fir // Forest Products Journal.— 1981.— V. 31.— N 1.— P. 42—48. [7]. Suchland O. Theoretical analysis of yield and strength potential of two-ply lumber // Forest Products Journal.— 1980.— V. 30.— P. 41—47.

Поступила 25 июля 1988 г.

УДК 630\* 812

## МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССЕ СУШКИ ПО МАССЕ ШТАБЕЛЯ

Е. С. БОГДАНОВ, И. Г. РЯБОКОБЫЛЕНКО, Л. А. ЯНҚОВСКИЙ

ЦНИИМОД, Архангельский лесотехнический институт

Наиболее перспективный метод контроля средней влажности штабеля в процессе сушки — весовой, основанный на измерении убыли массы штабеля.

Ранее [3] было предложено измерять убыль массы штабеля путем установки датчиков массы под специально устроенные подвижные участки рельсового пути. Подобная схема реализована Калининским политехническим институтом (КПИ) с применением гидравлического весового устройства [5]. Известный недостаток этого метода — необходимость определения средней начальной влажности высушиваемых пиломатериалов по секциям влажности для нахождения «сухой» массы штабеля, что уменьшает точность контроля текущей влажности. Этот недостаток сказался и при испытаниях экспериментальной автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) сушки пиломатериалов, разработанной и внедренной Калининским политехническим институтом на Пеновском ДОКе. Точность контроля текущей влажности оказалась равной  $\pm 2,5\%$ , что не удовлетворяет технологическим требованиям [2]. В испытываемой системе сухую массу штабеля определяли по средней плотности высушиваемой древесины и ее объему.

Один из авторов данной статьи (совместно с В. А. Лебедевым, В. А. Григорьевым, В. Н. Прутенским [1]) предложил устройство для автоматического контроля влажности пиломатериалов при камерной сушке, в котором использование вычислительных блоков позволяет по измеренным в процессе сушки значениям убывающей массы штабеля прогнозировать ход кривой сушки и вычислять массу штабеля, соответствующую равновесной влажности на данной ступени режима. Однако реализация этого устройства требует разработки специальной программы для вычислительных машин, так как типовых подобных программ нет.

В. Н. Прутенский [4] сделал попытку дать алгоритм прогнозирования кривой изменения массы штабеля в процессе сушки. Однако при этом особенности процесса сушки пиломатериалов не были учтены:

прогнозировали ход кривой сушки без учета различных ступеней режима, а в качестве асимптоты принимали значение массы штабеля, соответствующее конечной влажности.

Сущность рассматриваемого ниже способа прогнозирования кривой сушки заключается в следующем. Через заданные промежутки времени измеряют массу штабеля, по этим данным определяют вид аппроксимирующей функции изменения массы во времени, которая асимптотически приближается к массе штабеля, соответствующей равновесной влажности древесины при заданном режиме сушки; затем вычисляют массу штабеля, соответствующую этой равновесной влажности, определяют массу штабеля в абс. сухом состоянии и по полученным данным находят среднюю влажность штабеля в процессе сушки.

При сушке древесины многоступенчатыми режимами последовательность операций повторяют для каждой ступени.

С целью реализации предложенного способа прогнозирования кривой сушки и вычисления текущей влажности с помощью средств вычислительной техники разработан программа для ЭВМ «Искра-226» с применением языка BESIC-2.

Общепринято, что зависимость массы высушиваемого материала от времени сушки экспоненциальная:

$$m = (m_0 - m_p) e^{-pt} + m_p, \quad (1)$$

где  $m_0$  — начальная масса штабеля;

$m_p$  — равновесная масса на заданной ступени режима сушки;

$t$  — время;

$p$  — показатель экспоненты.

Параметры формулы (1) можно найти только эмпирически по нескольким замерам текущей влажности в процессе сушки. Очевидно, точность прогнозирования зависит от того, насколько удачно определены эти параметры.

При определении параметров методом наименьших квадратов (МНК) задача имеет свои особенности и трудности.

Во-первых, параметры входят в формулу (1) нелинейно, и МНК непосредственно неприменим. Поэтому функцию линеаризируем: «привязываясь» к трем точкам, находим начальные приближения параметров и раскладываем функцию в ряд Тейлора. Затем с помощью МНК находим поправки к начальным параметрам. Процесс нахождения поправок повторяем циклически до тех пор, пока они не обратятся в нуль (с заданной точностью).

Во-вторых, в случае трех и более переменных МНК приводит к плохо обусловленной алгебраической системе. Поэтому здесь система решается самым надежным методом — по схеме Жордана.

В-третьих, в результате значительного разброса экспериментальных данных возникает вопрос об их предварительном сглаживании. Обычное параболическое сглаживание в данном случае только ухудшает ситуацию. Поэтому нами применена специально разработанная методика локального экспоненциального сглаживания (описание ее выходит за рамки этой статьи). Сглаживание производили после первого цикла МНК.

По найденному уравнению кривой убыли массы штабеля находили равновесное значение массы (асимптота данной функции), по которому определяли «сухую» массу материала, текущую влажность и время окончания процесса сушки при заданной конечной влажности. На экране дисплея программа позволяет построить график полученной функции и нанести экспериментальные точки, а результат отпечатать на принтере.

Программа состоит из пяти основных блоков.

1. Блок ввода исходных данных. Запрашивают число экспериментальных точек, информацию о шаге (постоянный или переменный). Если шаг постоянный, запрашивают его величину. Затем на экране высвечивают таблицу для ввода значений времени и массы материала.

Ввод значений производят пакетами по 10 элементов. Если в пакете имеется ошибка, то предоставляется возможность поправить ее путем ввода данного пакета заново. В последнюю очередь запрашивают значения температур сухого и смоченного термометров на данной ступени режима сушки.

2. Блок вычисления параметров функции. Определяют параметры уравнения (1). Вычисленные значения вводят либо на экран дисплея, либо на алфавитно-цифровое печатающее устройство (АЦПУ).

3. Блок записи данных на гибкий магнитный диск (ГМД). Блок позволяет записать значения абсцисс и ординат экспериментальных точек, их число  $N$ , а также 50 точек теоретической кривой на гибкий магнитный диск. Абсциссы точек теоретической кривой возрастают от 0 с шагом  $\frac{N+4}{50}$ . Для хранения теоретических и экспериментальных точек используют различные файлы. Имена файлов задает пользователь. Если указанный пользователем файл уже имеется на ГМД, то печатают сообщение, имя файла запрашивают повторно. Запись данных в файлы ГМД организована таким образом, что позволяет впоследствии передавать их в программу SIG, которая предназначена для графической интерпретации данных.

4. Блок графической информации. Позволяет построить на экране дисплея график полученной функции и значения экспериментальных точек.

5. Блок расчета прогнозируемых параметров. Производят загрузку таблицы значений равновесной влажности из файла «Р. ВЛ» гибкого диска. По значениям температур сухого и смоченного термометров рассчитывают искомые значения равновесной влажности. Если психрометрическая разность температур превышает 31, то значение равновесной влажности  $W_p$  вводит пользователь.

В предварительно опытных сушках было обнаружено, что на 1-й ступени режима сушки при средней начальной влажности пиломатериалов более 35 % кривая сушки (текущая влажность) асимптотически приближается не к значению равновесной влажности, соответствующей заданной температуре и степени насыщенности, а к так называемому «квазиравновесному» состоянию при большей влажности, чем равновесная. Численное значение этой квазиравновесной влажности близко к так называемой переходной  $W_{пер}$ , определяемой по Г. С. Шубину [6]:

$$W_{пер} = \frac{3W_{п.г} + W_{p_1}}{4}, \quad (2)$$

где  $W_{п.г}$  — предел гигроскопичности;

$W_{p_1}$  — равновесная влажность на 1-й ступени режима сушки.

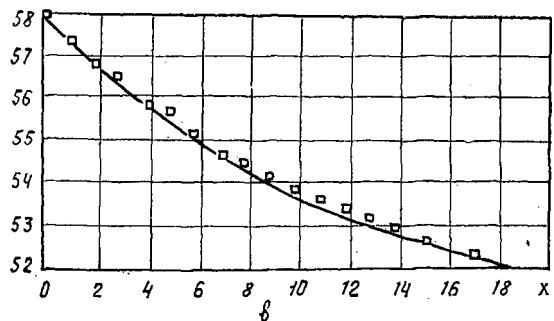
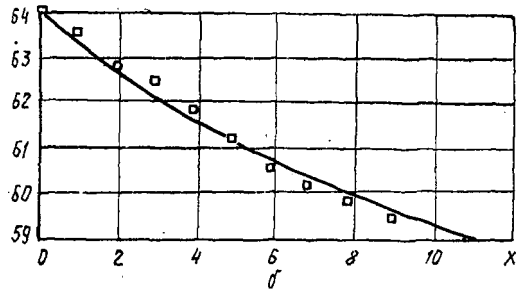
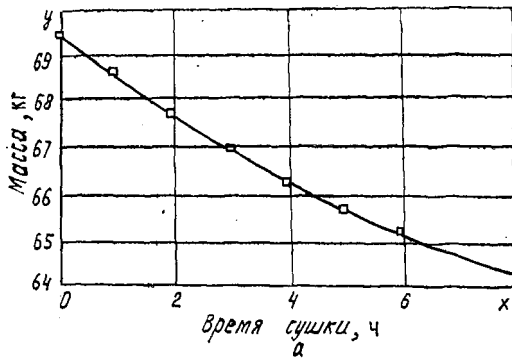
Поэтому на 1-й ступени режима сушки при прогнозе мы приняли значение квазиравновесной влажности, к которой приближается масса штабеля, равным  $\frac{W_{p_1} + 75}{4}$ . По известному значению равновесной (переходной) влажности вычисляем массу сухого материала, текущую влажность и т. д.

В 1987 г. на лабораторной экспериментальной установке были проведены по программе прогнозирования четыре контрольные опытные сушки. Высушивали еловые доски сечением  $38 \times 100$  и  $38 \times 150$  мм, длиной 1300 мм форсированным режимом.

В процессе сушки по мере накопления экспериментальных данных производили прогноз на ЭВМ. Первый прогноз делали при получении не менее 7 точек (взвешивание материала производили через 1 ч) на каждой ступени режима сушки. Затем прогноз повторяли при большем числе точек, что позволило уточнить значения массы, соответствующие равновесной влажности, и сухой массы.

Как правило, во втором прогнозе уточняются значения сухой массы, а следовательно, и текущей влажности.

Кривые изменения массы контрольного штабеля в процессе опытной сушки 2 на каждой из трех ступеней режима и результаты прогнозирования: а — ступень 1 (равновесная масса 60, 90 кг, равновесная влажность 21,30 %, масса сухого материала 50,21 кг, текущая влажность 29,95 %,  $Y = 8,65 \exp(-0,117 X) + 60,91$ ); б — ступень 2 (равновесная масса 50,90 кг, равновесная влажность 6,68 %, масса сухого материала 47,72 кг, текущая влажность 24,59 %,  $Y = 13,11 \exp(-0,482 X) + 50,91$ ); в — ступень 3 (равновесная масса 50,32 кг, равновесная влажность 3,20 %, масса сухого материала 48,76 кг, текущая влажность 10,31 %,  $Y = 7,59 \exp(-0,078 X) + 50,33$ )



На рисунке представлены данные одной из опытных сушек, полученные путем распечатки расчетов на графопостроителе, а в таблице даны результаты определения конечной влажности по программе прогнозирования на ЭВМ в сравнении с определенной после сушки по секциям влажности. Средняя точность прогнозирования конечной влажности  $\pm 1,25$  % вполне удовлетворительная. В таблице для сравнения даны также значения сухой массы высушиваемого материала, определенные по прогнозу и по секциям влажности. Совпадение также удовлетворительное.

Точность прогнозирования текущей влажности на первых двух ступенях режима сушки ниже, чем на последнем этапе конечной влаж-

Но- мер суш- ки	Конечная влажность, %		Раз- ность, %	Масса сухая, кг		Раз- ность
	по сек- циям влаж- ности	по прог- нозу		по сек- циям влаж- ности	по прог- нозу	
1	7,1	5,50	1,60	55,4	56,20	0,80
2	6,0	5,82	0,18	48,7	48,76	0,06
3	7,2	6,06	1,14	50,3	50,82	0,52
4	10,4	8,30	2,10	49,8	50,80	1,00
Средняя $\pm 1,25$				Средняя $\pm 0,6$		

ности. Например, из рисунка видно, что значения сухой массы по результатам прогноза отличаются на каждой из ступеней. Это отличие в примере соответствует погрешности определения текущей влажности на 1- 2-й ступенях примерно  $\pm 3\%$ . Но на первых этапах сушки точность контроля влажности всегда ниже, чем в конце сушки, например, из-за значительных отклонений влажности отдельных досок в штабеле от средней. В конце сушки эти отклонения выравниваются.

При оценке погрешностей следует учитывать, что в экспериментальной камере массу материала определяли динамометрами с классом точности 2,0, что соответствует возможной инструментальной погрешности  $\pm 0,4$  кг при диапазоне шкалы динамометра 0...20 кг. Динамометров на установке четыре штуки, поэтому погрешность взвешивания может быть и большей, т. е. результаты определения конечной влажности (см. табл.) находятся в диапазоне погрешностей измерения массы.

По результатам опытных сушек можно сделать вывод, что разработанная программа прогнозирования на ЭВМ текущей влажности высушиваемых пиломатериалов отвечает поставленным задачам и дает удовлетворительную точность прогноза; для повышения точности массу высушиваемого материала следует измерить устройствами с допустимой основной погрешностью не более 0,5.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. А. с. 1038770 СССР, МКИ F 26 В 25/22. Устройство для автоматического регулирования процесса камерной сушки пиломатериалов / Е. С. Богданов, В. А. Григорьев, В. А. Лебедев, В. Н. Прутенский (СССР).— № 3375636/24-06; Заявлено 29.12.81; Оpubл. 30.08.83. Бюл. № 32 // Открытия. Изобретения.— 1983.— № 32.— С. 104. [2]. Богданов Е. С. Технологические требования к АСУТП сушки пиломатериалов // Деревообраб. пром-сть.— 1986.— № 4.— С. 18—19. [3]. Богданов Е. С., Соколов П. В. Контроль влажности пиломатериалов в процессе камерной сушки // Науч. тр. ЦНИИМОД.— Архангельск, 1965.— № 19.— С. 88—97. [4]. Прутенский В. Н. Исследование и разработка систем автоматизированного управления процессом сушки и отображения технологической информации с применением мини ЭВМ. Автореф. дис... канд. техн. наук.— Калинин, 1981.— 24 с. [5]. Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки древесины.— Архангельск: ЦНИИМОД, 1985.— 144 с. [6]. Шубин Г. С. Физические основы и расчет процессов сушки древесины.— М.: Лесн. пром-сть, 1973.— 246 с.

Поступила 7 июля 1988 г.

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 630\*181

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МОНОТЕРПЕНОВ  
КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ  
СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Р. Т. ГУТ, Г. Т. КРИНИЦКИЙ

Львовский лесотехнический институт

Интенсивное развитие лесного семеноводства на генетико-селекционной основе активизирует работы по дальнейшей закладке и изучению географических культур основных лесообразующих пород. Кроме типичных биометрических измерений, все шире проводят физиолого-биохимические исследования географических культур, позволяющие вскрыть внутренние особенности роста и развития различных экотипов.

В последние годы возрос интерес к изучению в органах древесных растений терпеноидов, биосинтез которых в значительной степени обусловлен генетически. Установлено, что качественный состав терпеновых масел у сосны обыкновенной довольно стабилен в онтогенезе и в различные сезоны года, а также не претерпевает существенных изменений при смене условий питания и физико-географических параметров среды [4, 5, 7, 9].

Состав монотерпенов широко используют в таксономии для решения спорных вопросов по разграничению видов и подвидов [1, 8] при оценке филогенетической подвинутости древесных растений [2]. Выявлены существенные различия в содержании некоторых компонентов терпеновых масел у плюсовых деревьев сосны обыкновенной, произрастающих в различных экологических условиях [6]. Количественное содержание в хвое  $\alpha$ -пинена,  $\Delta^3$ -карена и их соотношение можно использовать при определении типов роста сосны обыкновенной [3]. В связи с этим необходимо знать особенности накопления монотерпенов при изучении внутривидового разнообразия древесных растений в географических посадках.

Исследования проводили в географических культурах сосны обыкновенной, заложенных в 1975 г. на Ростоцье Львовской обл. (кв. 10, 11, 16 Страдчанского лесничества учлесхозага Львовского лесотехнического института). Тип лесорастительных условий — свежая суборь ( $B_2$ ), тип леса — свежая дубовая суборь. Почва дерново-слабоподзолистая супесчаная свежая на песках водно-ледникового происхождения. Размещения посадочных мест  $2,0 \times 0,75$  м. Для посадки использовали однолетние сеянцы, выращенные в теплице с синтетическим покрытием.

Были взяты девять географических вариантов сосны, районы естественного произрастания которых характеризуются приблизительно одинаковыми типами лесорастительных условий и расположены по отношению к Львовскому Ростоцью в двух направлениях — восточном и северо-восточном (табл. 1).

Отобранные варианты представляют экологический ряд с постепенным усилением континентальности климата с запада на восток и северо-восток. Наибольшей интенсивностью роста отличается местный экотип. Хорошим ростом характеризуются также киевский, воронежский, саратовский, гомельский и московский варианты. Наименьшие биометрические показатели наблюдаются у сосны из Оренбургской, Кустанайской и Кировской областей.

Итак, для изучения содержания монотерпенов в органах сосны, были взяты географические варианты, характеризующиеся разной интенсивностью роста в условиях Львовского Ростоцья и соответственно различиями в генетической основе.

Монотерпены определяли в хвое и однолетних побегах, которые заготавливали в конце вегетационного периода (сентябрь) из 30 средних деревьев каждого исследуемого варианта.