

УДК 630\*161.2: 164.4: 181.64: 524.15

**БИОТЕХНИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП В ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИИ****Мазуркин П.М.***Марийский государственный технический университет, Йошкар-Ола, e-mail: kaf\_po@mail.ru*

Инженерная рационализация лесопользования предполагает активное применение достижений древесиноведения. Фундаментальные достижения в этой области вполне могут быть применены в исследованиях свойств живой древесины растущих деревьев. Доказательство биотехнического принципа в данной статье выполнено на основе моделирования экспериментальных данных профессора Б.Н. Уголева по деформативности древесины при действии усилий поперек волокон.

**Ключевые слова:** древесина, деформативность, показатели, закономерности**BIOTECHNICAL PRINCIPLE IN THE DOCTRINE ABOUT WOOD****Mazurkin P.M.***Mari state technical university, Yoshkar-Ola, e-mail: kaf\_po@mail.ru*

Engineering rationalization of forest management assumes active application of achievements the doctrine about wood. Fundamental achievements in this area can be quite applied in researches of properties of live wood of growing trees. The proof of a biotechnical principle in given article is executed on the basis of modeling of experimental data of Professor B.N. Ugolev deformability of wood under the action of efforts across the grain.

**Keywords:** wood, deformability, indicators, regularities

Инженерная рационализация лесопользования предполагает активное применение достижений древесиноведения [1]. При этом фундаментальные достижения в этой области вполне могут быть применены в исследованиях свойств живой древесины растущих деревьев. Доказательство биотехнического принципа в данной статье выполнено на основе моделирования экспериментальных данных проф. Б.Н. Уголева [2] по деформативности древесины при действии усилий поперек волокон.

По испытаниям древесины сосны на ползучесть при ступенчатом нагружении образца с разгрузками [2, с. 20] нами была получена двухфакторная математическая модель прочностных показателей растяжения древесины в радиальном направлении (размерность принята по тексту оригинала [2]).

Она представлена формулами (размерность показателей принята по первоисточнику):

– условно-мгновенный модуль упругости,  $\text{кГ/см}^2$  (табл. 1)

$$E_{\text{ум}} = 14795,52 - 816,726t^{f(W)};$$

$$f(W) = 0,65326 - 2422,34 \exp(-0,84149W^{0,86318}); \quad (1)$$

– равновесный модуль упругости

$$E_{\text{р}} = 14030,37 - 1254,62t^{f(W)};$$

$$f(W) = 0,5622 - 2321,56 \exp(-2,6429W^{0,4704}), \quad (2)$$

где  $t$  – температура, °С;  $W$  – влажность древесины, %. Остаток  $\varepsilon = \hat{E} - E$ , а относительная погрешность вычисляется по формуле  $\Delta = 100 / \varepsilon \hat{E}$  (знаком «^» отмече-

ны фактические значения). Значение максимальной погрешности  $\Delta_{\text{max}}$  подчеркнута и оно характеризует доверительную вероятность  $100 - \Delta_{\text{max}}$  математической модели.

**Таблица 1**Деформативность древесины сосны при испытаниях на ползучесть,  $\text{кГ/см}^2$ 

Параметры нагружения		Условно-мгновенный модуль упругости				Равновесный модуль упругости			
$t, \text{°C}$	$W, \%$	$\hat{E}_{\text{ум}}$	$E_{\text{ум}}$	$\varepsilon$	$\Delta, \%$	$\hat{E}_{\text{р}}$	$E_{\text{р}}$	$\varepsilon$	$\Delta, \%$
20	17	11000	11076	-76,1	-0,69	9000	9070	-70,0	-0,78
60	4	14800	14796	4,5	0,03	14000	14030	-30,4	-0,22
60	17	8500	8310	189,7	<u>2,23</u>	6800	5818	981,7	14,44
60	25	3100	3100	0,01	0,00	2200	2197	2,6	0,04
95	17	6500	6612	-112,4	-1,73	3200	3891	-690,5	<u>-21,58</u>
95	20	1100	1100	-0,01	-0,00	900	903	-3,5	-0,39

Модуль остаточных деформаций (табл. 2) описывается формулой

$$E_{\text{ост}} = 132871,3 - 47989,64t^{f(W)};$$

$$f(W) = 0,2111 - 2321,56 \exp(-2,5060W). \quad (3)$$

Причем наименее точно. Резкие перепады показателя в зависимости от влажности для моделирования требуют дополнительных исходных данных.

Предел прочности сосны при растяжении в радиальном направлении определяется с достаточно высокой точностью уравнением (см. табл. 2)

$$\sigma = 43,4338 - 0,042300t^{f(W)};$$

$$f(W) = 6,84968 - 5,84944 \exp(-0,0035055W^{1,08031}). \quad (4)$$

**Таблица 2**

Деформативность древесины сосны при испытаниях на ползучесть, кг/см<sup>2</sup>

Параметры нагружения		Модуль остаточных деформаций				Предел прочности на растяжение в радиальном направлении			
t, °C	W, %	$\hat{E}_{\text{ост}}$	$E_{\text{ост}}$	$\epsilon$	$\Delta, \%$	$\hat{\sigma}$	$\sigma$	$\epsilon$	$\Delta, \%$
20	17	42000	39797	2203	5,26	40	40,4	-0,44	-1,10
60	4	55000	55000	0	0,00	40	39,7	0,25	0,63
60	17	16000	14206	1794	11,27	30	29,2	0,85	2,83
60	25	7000	14206	-7206	-102,9	10	10,3	-0,26	-2,60
95	17	3400	1515	1885	55,4	15	16,0	-0,99	6,60
95	20	3000	1515	1485	49,5	5	4,4	0,61	12,20

Неоднородное деформированное состояние вполне можно описать статистическими моделями, построенными на основе биотехнического закона и его фрагментов. Проф. Б.Н. Уголев [2, с. 3] отмечает, что: «Такие напряжения наблюдаются в древесине во время роста дерева ...». Предложенные нами модели необходимо прежде

всего для изучения динамики естественной сушки дерева, например при его засыхании. При этом необходимо учитывать поведение древесины под нагрузкой.

При постоянном напряжении  $\sigma = 20$  кг/см<sup>2</sup> по экспериментальным данным [2, с. 21] была получена зависимость деформации  $\epsilon$  от времени  $\tau$  выдержки под нагрузкой (табл. 3)

$$\epsilon = 0,01115 - 0,0080245 \exp(-0,0047867\tau), \quad (5)$$

а после снятия нагрузки

$$\epsilon = 0,000787 \exp(-0,16204(\tau - 35,6)^{0,46822}). \quad (6)$$

**Таблица 3**

Изменение деформации во времени

Время $\tau$ , мин	При напряжении $\sigma = 20$ кг/см <sup>2</sup>			При разгрузке $\sigma = 0$ кг/см <sup>2</sup>		
	$\hat{\epsilon}$	$\epsilon$	$\Delta, \%$	$\hat{\epsilon}$	$\epsilon$	$\Delta, \%$
0	0,0030	0,0031	-4,33			
4,4	0,0033	0,0033	0,00			
10,0	0,0036	0,0035	2,77			
14,4	0,0040	0,0037	8,75			
20,0	0,0041	0,0038	6,79			
25,6	0,0040	0,0040	-1,00			
31,1	0,0040	0,0042	-5,50			
35,6	0,0041	0,0044	-6,34	0,00078	0,000787	-0,89
37,8				0,00067	0,000623	7,01
40,0				0,00056	0,000569	-1,62
44,4				0,00044	0,000500	-14,32
50,0				0,00044	0,000450	-1,67
56,7				0,00044	0,000400	9,09

В этих и других экспоненциальные составляющие характеризуют в биологии гибель (а в экономике – спад) какого-то яв-

ления или процесса. Этот один из важнейших частных фрагментов биотехнического закона позволяет по формулам рассчитать

предельные теоретические значения изучаемых показателей.

Таким образом, способность древесины деформироваться под нагрузкой в течение некоторого промежутка времени, то есть её реологические свойства, характеризуются нелинейными зависимостями по экспоненциальному закону гибели.

Проф. Б.Н. Уголев отмечает, что представление об идеальной упругости древесины является в значительной мере приближенным [2, с. 10].

При постоянной скорости нагружения деформация древесины во времени по данным [2, с. 21] изменяется по формуле (табл. 4):

$$\varepsilon = 5,533 \cdot 10^{-6} \tau^{1,1495}. \quad (7)$$

Таблица 4

Изменение деформации во времени при постоянной скорости нагружения

$\tau$ , мин	$\hat{\varepsilon}$	$\varepsilon$	$\Delta$ , %	$\tau$ , мин	$\hat{\varepsilon}$	$\varepsilon$	$\Delta$ , %
100	0,0011	0,0011	-0,14	344	0,0045	0,0046	-1,29
144	0,0018	0,0017	6,94	400	0,0054	0,0054	-0,37
200	0,0024	0,0024	-1,79	455	0,0064	0,0063	1,78
244	0,0030	0,0031	-2,37	500	0,0072	0,0070	2,71
300	0,0037	0,0039	-5,24	544	0,0076	0,0077	-1,57

При реологических испытаниях на растяжение поперек волокон [2, с. 36] рассмотрим одновременное влияние температуры и влажности.

Как пример приведем статистические модели деформативности и прочности при растяжении образцов древесины дуба в тангенциальном направлении:

– мгновенный модуль упругости (табл. 5)

$$E_m = 16366,49 \exp(-0,0001623t^{f(W)} - 0,1010W^{0,5724});$$

$$f(W) = -2,2431 + 4,0615W^{0,01556}; \quad (8)$$

– длительный модуль упругости

$$E = 6379,05 \exp(-0,0009258t^{f(W)} - 0,0009202W^{1,5708});$$

$$f(W) = 0,2248 + 1,2430W^{0,04008}. \quad (9)$$

Таблица 5

Показатели деформативности древесины дуба при испытаниях на растяжение поперек волокон, кГ/см<sup>2</sup>

Параметры нагружения		Мгновенный модуль упругости				Длительный модуль упругости			
$t$ , °C	$W$ , %	$\hat{E}_m$	$E_m$	$\varepsilon$	$\Delta$ , %	$\hat{E}$	$E$	$\varepsilon$	$\Delta$ , %
20	12	10200	10130	69,8	0,68	5600	5454	146,0	2,61
20	87	4000	4068	-67,9	-1,70	1900	1959	-59,4	-3,13
60	10	7400	6742	657,7	8,89	3400	3327	73,5	2,16
60	15	4900	5761	-860,9	<u>-17,57</u>	2800	3042	-241,5	-8,63
60	98	1900	1571	329,1	<u>17,32</u>	800	647	152,7	<u>19,09</u>
95	10	3200	3190	9,8	0,31	1800	1715	85,5	4,75
95	65	600	593	7,2	1,20	400	419	-18,7	-4,68

Время релаксации характеризуется формулой (табл. 6)

$$\tau_p = 545,58 \exp(-0,01596t^{0,9444-0,001275W} - 0,2669W^{0,5024}), \quad (10)$$

а модуль остаточных деформаций –

$$E_{ост} = 47257,48 \exp(-0,002716t^{1,4779} - 0,1831W^{0,5249}). \quad (11)$$

Предел прочности древесины дуба на растяжение поперек волокон в тангенциальном направлении определится формулой (табл. 7)

$$\sigma = 145,22 \exp(-1,1028 \cdot 10^6 t^{2,9606+0,001598W} - 0,4175W^{0,3093}), \quad (12)$$

а древесины бука –

$$\sigma = 171,41 \exp(-7,186 \cdot 10^6 t^{f(W)} - 1,1966W^{-0,06631}) + 7,3381;$$

$$f(W) = -3,8576 + 5,4355W^{0,07666}. \quad (13)$$

Таблица 6

Показатели деформативности древесины дуба при испытаниях на растяжение поперек волокон

Параметры нагружения		Время релаксации, мин				Модуль остаточных деформаций, кГ/см <sup>2</sup>			
<i>t</i> , °С	<i>W</i> , %	$\hat{\tau}_p$	$\tau_p$	$\varepsilon$	$\Delta$ , %	$\hat{E}_{ост}$	$E_{ост}$	$\varepsilon$	$\Delta$ , %
20	12	168	166,2	1,75	1,04	19200	19170	29,7	0,15
20	87	34	36,3	-2,27	-6,68	-	-	-	-
60	10	119	113,2	5,79	4,87	8500	8077	422,7	4,97
60	15	84	95,2	-11,21	-13,35	6400	6984	-584,0	-9,73
60	98	31	23,9	7,14	23,03	2100	1955	144,9	6,90
95	10	79	76,9	2,10	2,66	2700	2632	67,8	2,51
95	65	26	27,7	-1,68	-6,46	900	945	-44,7	4,97

Таблица 7

Предел прочности древесины при испытаниях на растяжение поперек волокон, кГ/см<sup>2</sup>

Дуб, тангенциальное					Бук, тангенциальное				
<i>t</i> , °С	<i>W</i> , %	$\hat{\sigma}$	$\sigma$	$\Delta$ , %	<i>t</i> , °С	<i>W</i> , %	$\hat{\sigma}$	$\sigma$	$\Delta$ , %
20	12	59	58,5	0,80	20	13	68	68,1	-0,12
20	87	27	27,2	-0,89	20	157	20	19,3	3,65
60	10	52	49,9	3,96	60	10	52	51,1	1,67
60	15	41	44,3	-7,93	60	15	37	36,2	2,05
60	98	19	17,6	7,26	60	142	11	7,3	33,27
95	10	27	26,5	1,85	95	9	33	32,4	1,94
95	65	8	8,9	-11,88	95	15	11	10,9	0,64
					95	132	4	7,3	-83,50

Формулы (12) и (13) недостаточно адекватны при очень малых значениях предела прочности, когда высокая влажность сочетается с высокой температурой нагрева. Для дальнейшего моделирования необходимы более подробные экспериментальные данные, которые могут быть получены методом эволюционного планирования непосред-

ственно в ходе протекания влаготепловой обработки свежесрубленной древесины.

С максимальной относительной погрешностью  $\Delta_{max} = 1,1 \cdot 10^{-12} \%$ , то есть при практически функциональной однозначности статистической модели, получена формула для описания предела прочности лиственницы

$$\sigma = 86,225 \exp(-0,0050319t^{1,07149+0,0021118W} - 0,13506W^{0,50527}). \quad (14)$$

Моделирование убедительно доказывает основную концепцию, сформулированную проф. Б.Н. Уголевым и «которой следует придерживаться при изучении сложных физических процессов в древесине. Сильная природная изменчивость свойств этого материала скрывает от исследователя действительный механизм изучаемого процесса. ... Поэтому более целесообразно изучение механизма фундаментальных свойств древесины на ограниченном, но тщательно и всесторонне количественно охарактеризованном исходном экспериментальном материале. В оптимальном случае для исключения влияния изменчивости свойств древесины объектом исследования должен быть один образец с заранее известными исходными характеристиками» [2, с. 77-78].

Можем только немного уточнить вышеотмеченное, что биотехнический принцип позволяет раскрыть механизм изучаемого процесса через поиск структуры математической модели, а исходные характеристики можно представлять для моделирования на ПЭВМ без планирования эксперимента, то есть при естественном ходе процесса обработки.

После обработки экспериментальных данных [2, с.78] были получены различные статистические модели. В частности, при полностью стесненной усушке (образец П-22), когда при снижении влажности с 24,3 до 13,3% относительная деформация равна нулю, возникает и увеличивается внутреннее напряжение по закономерности ( $\Delta_{max} = 10,18\%$  в интервале времени сушки  $\tau = 5...230$  мин)

$$\sigma = 68,4586 - 70,9066 \exp(-0,02630\tau^{0,6458}). \quad (15)$$

При условии  $\tau = 0$  получаем  
 $\sigma = 68,4586 - 70,9066 = -2,448$  кГ/см<sup>2</sup>,  
 то есть до начала усушки образец древесины имел малое предварительное напряжение сжатия.

$$\varepsilon = 0,02060 - 0,04137 \exp(-0,0046913 \tau). \quad (16)$$

Свободная усушка изменяет относительную деформацию по формуле

$$\varepsilon = 0,00011677 \tau^{0,9927} \exp(-0,0038053 \tau^{0,9345}) - \quad (17)$$

$$-0,0005992 \exp(8,56 \cdot 10^{-6} \tau)$$

при  $\Delta_{\max} = 5,63\%$  в интервале  $\tau = 40 \dots 3000$  мин.

При малых значениях времени процесса высыхания соснового образца относительная погрешность выше, так процесс свободной усушки в интервале  $\tau = 0 \dots 40$  мин имеет дополнительно циклический характер. Аналогичные модели возможно получать по зависимостям  $W = f(\tau)$  и  $\sigma = f(W)$ . Для более точного эвристико-статистического моделирования необходимы табличные, а не графические, исходные точные экспериментальные данные.

#### Выводы

1. Фундаментальная концепция исследований деформативности и прочности древесины при её сушке, разработанная проф. Б.Н. Уголевым, вполне может быть математически представлена формулами, построенными на основе предложенного нами биотехнического закона (Подробнее о моделировании: и биотехническом законе

После снятия напряжения деформация увеличивается по закономерности ( $\Delta_{\max} = 5,16\%$  в интервале времени  $\tau = 230 \dots 300$  мин) получили формулу

набрать в Google «Мазуркин Петр Матвеевич» или «Биотехнический закон»).

2. Возможности эвристико-статистического моделирования позволяют принять один образец древесины (например, стандартный образец как сложный объект исследования) за объект исследования при многофакторной регистрации изучаемых свойств древесины в ходе естественного (эволюционного) протекания различных физико-механических, а в живой древесине дополнительно и физиологических, процессов.

*Статья подготовлена и опубликована при поддержке гранта 3.2.3/12032 МОН РФ.*

#### Список литературы

1. Мазуркин П.М. Перспективы комплексного исследования древесины // Деревообрабатывающая промышленность. – 1997. – № 4. – С. 27–29.
2. Уголев Б.Н. Деформативность древесины и напряжения при сушке. – М.: Лесная пром-ышленность, 1971. – 176 с.