

явная зависимость: с уменьшением прочности снижается и степень влияния влажности. Причем при одинаковых тенденциях влажность больше влияет на прочность бруса, чем на прочность досок.

Анализ этих различий, с учетом факторов, определяющих прочность чистой древесины, бруса и дощатых элементов, указывает на существование обратной зависимости между влиянием влажности и влиянием сучков на прочность пиломатериала. Действительно, в отборных досках сучки, снижающие прочность, практически отсутствуют, древесина близка к чистой: влияние влажности на эти элементы максимально и не зависит от прочности. В отборном бруске сучки встречаются чаще, чем в отборных досках, в ряде случаев они влияют на прочность: влияние влажности зависит от прочности. В дощатых элементах 1...3-го сортов сучки больше влияют на прочность, чем в брусчатых: степень влияния влажности у них меньше. В пределах сорта снижение прочности происходит по мере увеличения влияния сучков; в полном соответствии с этим уменьшается и степень влияния влажности. Прочность слабейших образцов, по которой производится расчет конструкций, практически не зависит от влажности, что совпадает с выводом, полученным Б. Мэдсеном [2] в результате испытаний 4 500 дощатых образцов.

Для изготовления элементов конструкций, работающих на изгиб, используют древесину 2...3-го сортов. Подтверждение выявленных закономерностей в процессе более детального изучения совместного влияния влажности и сучков на прочность конструкционной древесины позволило бы проектировать изгибаемые элементы конструкций для влажных условий эксплуатации без снижения расчетного сопротивления древесины и тем самым уменьшить их материалоемкость.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Савков Е. И. Прочность пиломатериалов.— М.: Гослесбумиздат, 1962. [2]. Madsen B. Recommended moisture adjustment factor for lumber stress// Canadian Journal of Civil Engineering.— 1982.— Vol. 9.— N 4.

УДК 674.093.6-413.82.001.24

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ РАСПИЛОВКИ И МЕТОДЫ ИХ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Н. И. КОВЗУН

ЦНИИМОД

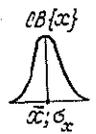
Статистические оценки точности любого технологического процесса и методы их вычисления регламентированы [1]. Существенная особенность методики стандарта в том, что технологический параметр продукции, применительно к которому определяются статистические оценки точности, соответствует приемочному. При оценивании точности технологического процесса распиловки такого соответствия нет. Так, если на приемочном контроле пиломатериалов используют параметры: минимальную и максимальную толщины доски x_{min} и x_{max} , то при исследовании точности распиловки — толщину доски в измеряемом сечении x или среднюю толщину доски \bar{x} и среднее квадратическое отклонение (СКО) толщины доски σ_x . Замена x_{min} , x_{max} на x или \bar{x} и σ_x объясняется в основном отсутствием необходимых средств измерений, которые бы обеспечили поиск и измерение толщины доски в самом тонком и самом толстом сечениях доски. Однако какие бы технологические параметры не использовали при исследовании точности распиловки, контроль по ним должен гарантировать, с заданной вероятностью, нормативную точность пиломатериалов по толщине на приемочном контроле.

Настоящая статья посвящена анализу статистических оценок точности распиловки, методов их вычисления, применяемых различными исследователями, и оценке правомерности их применения на практике.

Наличие приемочных и технологических параметров значительно усложняет задачу контроля. Поэтому для упрощения анализа составим модель формирования точности процесса распиловки в виде распределения случайных величин (СВ) и формул для вычисления их статистических оценок. Точность распиловки, согласно работе [7], можно охарактеризовать как в однородных совокупностях, к которым применима теория математической статистики для стабильных условий испытаний, так и в суммарных совокупностях, к которым применима теория случайного изменения условий испытаний.

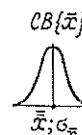
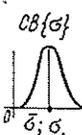
К однородным относятся совокупности, состоящие из N результатов измерений, выполненных на одной доске, или из n статистических оценок, вычисленных для n досок мгновенной выборки, партии (досок, выпиленных одной парой пил за их одну установку), или из K среднестатистических оценок, вычисленных для K мгновенных выборок, партий (партий, выпиленных разными парами пил, на разных станках, в разное время).

$$(1) \quad m\{x\} = \bar{x} = \sum_{i=1}^N x_i / N$$

$$\sigma\{x\} = \sigma_x = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 / (N-1)}$$


Совокупность из N измерений толщины в одной доске

$$(3) \quad m\{\bar{x}\} = \bar{\bar{x}} = \sum_{j=1}^n \bar{x}_j / n$$

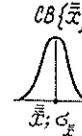
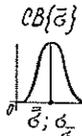
$$\sigma\{\bar{x}\} = \sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\bar{x}_j - \bar{\bar{x}})^2 / (n-1)}$$



$$(5) \quad m\{\sigma\} = \bar{\sigma} = \sum_{j=1}^n \sigma_j / n$$

$$\sigma\{\sigma\} = \sigma_{\sigma} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\sigma_j - \bar{\sigma})^2 / (n-1)}$$

Совокупность из n досок одной мгновенной выборки

$$(7) \quad m\{\bar{\bar{x}}\} = \bar{\bar{\bar{x}}} = \sum_{v=1}^K \bar{\bar{x}}_v / K$$

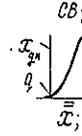
$$\sigma\{\bar{\bar{x}}\} = \sigma_{\bar{\bar{x}}} = \sqrt{\sum_{v=1}^K (\bar{\bar{x}}_v - \bar{\bar{\bar{x}}})^2 / (K-1)}$$



$$(9) \quad m\{\bar{\sigma}\} = \bar{\bar{\sigma}} = \sum_{v=1}^K \bar{\sigma}_v / K$$

$$\sigma\{\bar{\sigma}\} = \sigma_{\bar{\sigma}} = \sqrt{\sum_{v=1}^K (\bar{\sigma}_v - \bar{\bar{\sigma}})^2 / (K-1)}$$

Совокупность из K мгновенных выборок

$$(3) \quad \bar{m}_M\{x\} = \bar{\bar{x}}$$

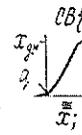
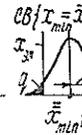
$$\sigma_M\{x\} = \sigma_{M,x} = \sqrt{\bar{\sigma}^2 + \sigma_x^2 + \sigma_{\bar{x}}^2}$$



$$(13) \quad m_M\{x_{min}\} = \bar{x}_{min} = \bar{\bar{x}} - t\bar{\sigma}$$

$$(14) \quad \sigma_M\{x_{min}\} = \sigma_{M,x_{min}} = \sqrt{\sigma_x^2 + t^2\bar{\sigma}^2}$$

Суммарная совокупность из Nn измерений толщины, выполненных на n досках одной мгновенной выборки

$$(7) \quad m_c\{x\} = \bar{\bar{\bar{x}}}$$

$$\sigma_c\{x\} = \sigma_{c,x} = \sqrt{\bar{\sigma}^2 + \sigma_x^2 + \bar{\sigma}_{\bar{x}}^2 + \sigma_{\bar{x}}^2 + \sigma_{\bar{\sigma}}^2}$$



$$(15) \quad m_c\{x_{min}\} = \bar{\bar{x}}_{min} = \bar{\bar{\bar{x}}} - t\bar{\bar{\sigma}}$$

$$(16) \quad \sigma_c\{x_{min}\} = \sigma_{c,x_{min}} = \sqrt{\sigma_x^2 + \bar{\sigma}_{\bar{x}}^2 + \bar{\sigma}_{\bar{\sigma}}^2 + t^2(\sigma_{\bar{\sigma}}^2 + \bar{\sigma}^2)}$$

Суммарная совокупность из NnK измерений толщины, выполненных на nK досках в K мгновенных выборках

К суммарным относятся совокупности, состоящие из Nn результатов измерений толщины, выполненных на n досках мгновенной выборки, партии или из NnK результатов измерений толщины, выполненных на nK досках в K мгновенных выборках. Кроме того, исходя из одних и тех же оценок точности в однородных совокупностях, точность в суммарных совокупностях может быть охарактеризована как по технологическим, так и по приемочным параметрам толщины пиломатериалов.

Формулы для вычисления статистических оценок точности распиловки в указанных совокупностях, а также обозначения СВ и общий вид их распределений даны на рисунке. Все приведенные на рисунке СВ распределены практически по нормальному закону и независимы между собой. Формулы оценок для суммарных совокупностей получены двумя методами. В первом методе за контролируемый параметр принята толщина доски в измеряемом сечении x ; формулы (3), (7), (11), (12) соответственно получены по методике [7] для одной СВ $\{x\}$. Во втором методе за контролируемый параметр взята минимальная толщина доски $x_{min}^* = x - t\sigma_x$; формулы (13) — (16) соответственно найдены по методике [2] как для разности двух СВ $\{\bar{x}, \sigma_x\}$. Принципиальные различия использованных методов: при расчете по первому методу оценка изменчивости толщины доски σ_x имеет смысл среднего квадратичного отклонения и входит в состав формул (11), (12) при расчете по второму методу — смысл математического ожидания и входит в состав формул (13), (15); уровень дефектности по первому методу имеет смысл доли измерений, по второму — доли досок, не соответствующих допуску.

Таблица 1

в первом методе	Обозначения равнозначных статистических оценок точности распиловки, использованных			
	в работах различных авторов			
	[3, 5]	[6]	[8]	[9]
\bar{x}	—	—	—	\bar{X}
σ_x	—	—	R_W	S_W
$m_m(\bar{x})$	m	m	\bar{X}	\bar{X}
σ_x	—	—	—	S_B
σ_x	—	—	$\bar{R}_W (\bar{S}_W)$	\bar{S}_W
σ_x	—	—	—	—
$m_c(\bar{x}_c)$	—	—	\bar{X}	\bar{X}
$S_{m_m}(\bar{S}_x)$	—	—	$R_{\bar{X}}$	S_x^2
σ_x	—	—	$\bar{R}_W (\bar{S}_W)$	\bar{S}_W
σ_x	—	—	—	—
$\sigma_{M, x}$	S_m	σ	$\bar{R}_b (\bar{S}_b)$	—
$\sigma_{M, x}$	$S_c =$	—	—	—
$\sigma_{c, x}$	$= \sqrt{S_{m_m}^2 + \bar{S}_m^2}$	—	$S_t = \sqrt{\bar{S}_W^2 + \bar{S}_b^2}$	$S_T = \sqrt{\bar{S}_W^2 + \bar{S}_B^2}$

Сопоставим изложенные методы вычисления статистических оценок точности распиловки с методами, применяемыми в работах [3, 5, 6, 8, 9]. Результаты сопоставления представлены в табл. 1 и позволяют заключить следующее.

1. Общее для всех работ [3, 5, 6, 8, 9] то, что оценка изменчивости толщины доски входит в состав формул СКО, т. е. в данных работах статистические оценки точности распиловки в суммарных совокупностях рассчитывают по первому методу, в основе которого лежит контроль одной СВ — толщины доски в измеряемом сечении. Некоторые отступления от формулы (12), имеющиеся в работах [8, 9], носят не принципиальный характер.

2. Статистические оценки точности распиловки в однородных совокупностях, которые практически могут быть использованы для вычисления оценок точности распиловки в суммарных совокупностях вторым методом по параметрам x_{min} , x_{max} , приведены только в работе [9].

Сравним два изложенных метода вычисления статистических оценок точности распиловки по возможности получения гарантированных оценок уровня дефектности пиломатериалов по приемочному параметру x_{min} . Для сравнения рассмотрим пример контрольной партии пиломатериалов толщиной 22 мм в количестве 50 шт. Для данной

* Статистические оценки точности распиловки для максимальной толщины доски $x_{max} = \bar{x} + t\sigma_x$ получаются аналогично.

партии в работе [2] определен действительный уровень дефектности по нижней границе поля допуска и получена его оценка по ограниченному числу измерений вторым методом. Число измерений на доске было принято равным 5. По ним вычислены средняя толщина каждой доски \bar{x} и СКО толщины σ_x . Для партии пиломатериалов в целом найдены $\bar{\bar{x}}$, $\sigma_{\bar{x}}$, $\bar{\sigma}$, σ_{σ} . Полученные оценки в качестве исходных данных для решения примера приведены в табл. 2.

Таблица 2

Исходные статистические оценки точности распиловки, мм				Уровень дефектности пиломатериалов, % вычисленный методом		
$\bar{\bar{x}}$	$\sigma_{\bar{x}}$	$\bar{\sigma}$	σ_{σ}	1	2	действительный
23,25	0,64	0,33	0,13	0,8	13,5	12

Вычислим статистические оценки точности распиловки и уровень дефектности пиломатериалов в партии первым методом

$$\sigma_{M, x} = \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{x} + \bar{\sigma}^2 + \sigma_{\sigma}^2} = \sqrt{0,64^2 + 0,33^2 + 0,13^2} = 0,73 \text{ мм};$$

$$q_1 = 50 - F\left(\frac{\bar{\bar{x}} - x_{д.н}}{\sigma_{M, x}}\right) 100 = 50 - F\left(\frac{23,25 - 21,50}{0,73}\right) 100 = 0,8 \text{ \%};$$

вторым методом

$$\tilde{\bar{x}}_{min} = \bar{\bar{x}} - t\bar{\sigma} = 23,25 - 2,22 \cdot 0,33 = 22,52^*;$$

$$\bar{x}_{min} = 22,39 \text{ мм}^{**};$$

$$\tilde{\sigma}_{x_{min}} = \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{x} + t^2\sigma_{\sigma}^2} = \sqrt{0,64^2 + (2,22 \cdot 0,13)^2} = 0,70^*;$$

$$\sigma_{x_{min}} = 0,81 \text{ мм}^{**};$$

$$\tilde{q}_2 = 50 - F\left(\frac{\bar{x}_{min} - x_{д.н}}{\sigma_{x_{min}}}\right) 100 = 50 - F\left(\frac{22,39 - 21,50}{0,81}\right) 100 = 13,6^*;$$

$$q_2 = 13,5 \text{ \%}^{**}.$$

где F и $x_{д.н}$ обозначены соответственно функция Лапласа и нижняя граница поля допуска пиломатериалов.

Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Расчеты показали, что методы дают значительно отличающиеся результаты. Учитывая, что для второго метода гарантии получения состоятельной оценки уровня дефектности доказаны (в работе [2] оценки уровня дефектности получены с вероятностью, равной 0,95), можно сделать вывод, что первый метод не позволяет получить такую оценку. Она также не получается, если использовать рекомендуемый [4] множитель $K = 1,3$ для приведения полученного уровня дефектности к фактическому. Такая значительная разница в результатах расчетов объясняется разным содержанием статистической оценки изменчивости толщины доски σ_x в обоих методах. Во втором методе оценка приобретает, как уже отмечалось, смысл математического ожидания, что приводит к резкому смещению кривой распределения в сторону границы поля допуска.

Таким образом, при исследовании точности распиловки рекомендуется использовать следующую номенклатуру статистических оценок: в одной доске \bar{x} , σ_x ; в одной мгновенной выборке, партии $\bar{\bar{x}}$, $\sigma_{\bar{x}}$, $\bar{\sigma}$, σ_{σ} ; в совокупности мгновенных выборок, партий $\bar{\bar{x}}$, $\sigma_{\bar{x}}$, $\bar{\sigma}$, σ_{σ} . При нормировании статистических оценок рекомендованной номенклатуры следует использовать второй метод вычисления оценок точности распиловки в суммарных совокупностях, гарантирующий соблюдение точности по приемочным параметрам x_{min} , x_{max} .

* Точечные оценки. ** Нижние (верхние) доверительные границы оценок. Методика расчета приведена в работе [2].

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. ГОСТ 27.202—83. Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции.— Введ. 01.07.84.— М.: Изд-во стандартов, 1984.— 50 с. [2]. Ковзун Н. И. Косвенный метод расчета входного уровня дефектности партии пиломатериалов по толщине // Измерительная техника.— 1984.— № 9.— С. 27—28. [3]. Курицын А. К., Соболев И. В., Шемелин А. И. Управление качеством обработки пиломатериалов.— М.: Лесн. пром-сть, 1983.— 63 с. [4]. Об эффективности статистического регулирования точности рамной распиловки / И. В. Соболев, А. И. Шемелин, Г. А. Хмылова, А. К. Курицын // Контроль и управление качеством продукции: Науч. тр. ЦНИИМОД.— С. 57—62. [5]. Соболев И. В., Курицын А. К. Статистический контроль и регулирование процесса рамной распиловки // Планирование раскроя и контроль качества пиломатериалов: Лекции обществ. заоч. ин-та НТО лесн. пром-сти и лесн. хоз-ва.— М.: Лесн. пром-сть, 1977.— С. 71—99. [6]. Фергин В. Р., Курицын А. К. Алгоритмы сбора и обработки информации при управлении точностью рамной распиловки // Лесн. журн.— 1975.— № 6.— С. 136—140. (Изв. высш. учеб. заведений). [7]. Шор Я. Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности.— М.: Сов. радио, 1962.— 552 с. [8]. Brown D. Determining Lumber Target Sizes and Monitoring Sawing Accuracy // Forest Products J.— 1979.— V. 29, N 4.— PP. 48—54. [9]. Williston E. M. How to Increase Profit in Bandsawing // Practical Models for Increased Lumber Recovery.— Sweden, Uddeholm.— 44 s.

УДК 630*812 : 674.812

БЕСПРЕССОВОЕ УПЛОТНЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ

А. В. АПОСТОЛ

Воронежский лесотехнический институт

Образцы березы размером $40 \times 40 \times 80$ мм (большой размер в направлении вдоль волокон) с радиальным и тангенциальным направлениями волокон исследовали с целью выяснения влияния структурных направлений на характер и величину беспреессового уплотнения.

Предварительно все образцы высушивали до постоянной массы при температуре 100 ± 5 °С, взвешивали и измеряли в радиальном и тангенциальном направлениях соответственно с точностью 0,01 г и 0,01 мм. Затем образцы помещали в прессформы, где с помощью винтов и планок фиксировали их размеры: у первой партии образцов — в радиальном, у второй — в тангенциальном направлениях. Далее образцы вместе с прессформами погружали в воду температурой 20 °С, выдерживали в течение 1 сут и высушивали при температуре 100 ± 5 °С до постоянной массы.

Затем образцы снова взвешивали, измеряли, помещали в те же прессформы, где фиксировали их новые размеры и вновь погружали в воду. Циклы увлажнения и высушивания повторяли до получения стабильных размеров образцов в сухом состоянии.

Для изучения процесса водопоглощения образцов (в прессформах) в несвободном состоянии и выбора оптимального времени выдерживания их в воде эксперимент проводили при длительности водопоглощения в течение 1, 2, 6, 12, 14, 15, 20 сут.

Данные о водопоглощении несвободных образцов в зависимости от длительности выдерживания их в воде представлены в табл. 1.

Таблица 1

Длительность выдерживания в воде, сут	1	2	6	12	14	15	20	48
Водопоглощение, %	23,5	25,6	27,2	27,9	28,7	29,9	30,1	30,5

Из табл. 1 видно, что наиболее интенсивное водопоглощение несвободных образцов происходит за первые сутки и составляет около 23,5 % (у свободных, не помещенных в прессформы, — 56 %). Дальнейшая выдержка образцов в воде приводит к замедленному росту водопоглощения.

Так как усушка древесины связана с удалением связанной влаги, то наибольшая ее величина наблюдается при сушке древесины, достигшей предела гигроскопичности. Однако из-за длительности процесса водопоглощения сушку несвободных образцов проводили после выдерживания их в воде в течение 1 сут. Это ускорило процесс беспреессового уплотнения, хотя усушка в каждом цикле снижалась примерно на 1,35 %. Усушка несвободных образцов в направлении, перпендикулярном уплотнению, в каждом