

Из сырья диаметром 13 см и выше целесообразно выпускать пилопродукцию экспортного и внутрисоюзного назначений стандартных размеров (ГОСТ 24454—80) с выходом не менее 40 %.

Проведенные исследования показали, что предложенные варианты являются одним из путей использования тонкомерного сырья для выпуска пилопродукции, которая может принести предприятиям прибыль даже при дефиците сырья. В условиях нестабильности цен, в том числе и договорных, для окончательного выбора того или иного направления использования тонкомерного сырья необходимо учитывать спрос и оценивать получаемую продукцию по ее стоимости.

Поступила 23 мая 1991 г.

УДК 624.011.1

## УРОВЕНЬ ДОВЕРИТЕЛЬНОЙ ВЕРОЯТНОСТИ НОРМИРУЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Е. Б. РЮМИНА, Г. Б. УСПЕНСКАЯ

ЦНИИМОД

Качество пилопродукции для строительных конструкций характеризуется ее прочностью при основных видах напряженного состояния, которая устанавливается в результате сплошного производственного контроля, т. е. разделения пиломатериалов на группы сортировки. Чем больше групп, тем полнее учтены прочностные свойства пилопродукции, но меньше выход конструкционных пиломатериалов по группам. Снижение выхода имеет предел, определяемый возможностью обеспечения допустимого уровня дефектности (заданной доверительной вероятности показателей прочности древесины, регламентируемой СНиП II-25—80). В качестве критерия при обосновании уровня доверительной вероятности нормируемых показателей прочности конструкционных пиломатериалов, номенклатура которых приведена в работе [1], использован выход пиломатериалов соответствующих групп.

Задачу обоснования уровня решали с помощью моделирования на ЭВМ «Искра-226» однопараметрического однократного контроля прочности пиломатериалов [2].

В основу модели положена известная в машиностроении методика учета погрешности измерения при сплошном контроле, построенная на вероятностном взаимодействии контролируемого параметра и погрешности его измерения.

Закон распределения плотности вероятностей номинальных (измеренных) значений контролируемого параметра  $f(z_r)$  является, по сути своей, композиционным, полученным сверткой функции распределения плотности вероятностей истинных значений  $f(z)$  и погрешности их измерения  $f(z_\Delta)$ :

$$f(z_r) = f(z) f(z_\Delta).$$

Здесь плотность вероятности показателей прочности  $f(z)$  нормируют по  $\sigma_R$ . Параметры распределения определяют в долях от его среднего квадратического отклонения  $\sigma_R$ :

$$z = \frac{R - M(R)}{\sigma_R},$$

где  $z$  — нормированное значение контролируемого параметра;  
 $R$  — абсолютное значение контролируемого параметра;  
 $M(R)$  — оценка математического ожидания контролируемого параметра.

Функция плотности погрешности измерения  $f(z_\Delta)$  нормируется в долях от среднего квадратического отклонения погрешности измерения  $\sigma_\Delta$

$$z_\Delta = \frac{\Delta - M(\Delta)}{\sigma_\Delta},$$

где  $\Delta$  — абсолютное значение погрешности измерения,

$$\Delta = R - R_{н};$$

$R_{н}$  — измеренное (номинальное) значение контролируемого параметра;

$M(\Delta)$  — оценка математического ожидания погрешности измерения,

$$M(\Delta) = 0.$$

Соответствие величин  $z_\Delta$  и  $z$  определяется по формуле

$$z_\Delta = z/\delta.$$

Здесь  $\delta = \sigma_\Delta/\sigma_R$  — нормированная средняя квадратичная погрешность измерения.

В модели заложено предположение о нормальном распределении плотности вероятности показателя прочности  $f(z)$  и погрешности ее измерения  $f(z_\Delta)$ , которое обосновано в работе [1].

Цель данной работы заключалась в определении контрольных границ групп прочности пиломатериалов из условия получения действительного уровня дефектности, равного допусжаемому (или заданной доверительной вероятности показателей прочности). При этом сначала формировали совокупности пиломатериалов первого сорта, затем из оставшихся — второго и т. д. Количество пиломатериалов по сортам измеряли в долях совокупности всех поступивших на контроль. Вероятное количество исчислялось как доля общей вероятности признания пиломатериалов каждым сортом. Модель построена относительно второго сорта ( $i = 2$ ); смежный справа — первый сорт ( $i - 1$ ), слева — третий ( $i + 1$ ).

Распределение значений параметра пиломатериалов, которые будут признаны сортом  $i$ , описывается функцией

$$\begin{aligned} f^i(z_r) &= [f(z) - f^{i-1}(z_r)] \int_{-\infty}^{+\infty} f^i(z_\Delta) dz = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) \left\{ 1 - \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\delta\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\left(\frac{z - z_{н}^{i-1}}{\delta}\right)^2/2\right] dz \right\} \times \\ &\quad \times \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\delta\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\left(\frac{z - z_{н}^i}{\delta}\right)^2/2\right] dz. \end{aligned}$$

Здесь  $z_{н}^i$  — нормативная граница соответствующего сорта в нормированном виде.

При разделении на сорта рассчитывают следующие показатели достоверности контроля:

вероятность ошибочного признания  $i$ -м сортом пиломатериалов, дефектных для него

$$P_{л.г}^i = \int_{-\infty}^{z_{н}^i} f^i(z_r) dz;$$

вероятность признания  $i$ -м сортом пиломатериалов из числа годных для него среди оставшихся после отбора изделий сорта  $(i-1)$

$$P_{г.г}^i = \int_{z_n^i}^{z_n^{i-1}} f^i(z_r) dz;$$

вероятность признания  $i$ -м сортом пиломатериалов из числа годных для сорта  $(i-1)$ , но ошибочно признанных дефектными для него

$$P_{г.д}^{i(i-1)} = \int_{z_n^{i-1}}^{+\infty} f^i(z_r) dz;$$

уровень дефектности (в процентах) пиломатериалов, признанных  $i$ -м сортом

$$q^i = \frac{P_{д.г}^i}{P_{д.г}^i + P_{г.г}^i + P_{г.д}^{i(i-1)}} 100.$$

Разработано программное обеспечение для ПЭВМ «Искра-226»\*. Расчеты выполнены для погрешности контроля  $\delta = 0,3 \dots 0,9$  через 0,1 и уровень доверительной вероятности нормируемых показателей прочности  $Q$ , равных 0,95; 0,99 и 0,995, или соответственно допускаемых уровней дефектности  $q = 5; 1$  и 0,5 %.

По результатам расчетов с использованием программы нелинейной регрессии «SIG» подобраны аналитические зависимости выхода  $P_i$  пиломатериалов  $i$ -го сорта от нормативной границы сорта  $z_n^i$  в нормированном виде, погрешности контроля  $\delta$  и выхода пиломатериалов предыдущих сортов  $\sum_{i=1}^n P_{i-1}$  (далее  $\Sigma P$ ). Расчеты выполнены в два этапа. На первом определена зависимость переменных  $P_i$  от  $z_n^i$ , на втором — связь коэффициентов уравнений, полученных на первом этапе, с  $\Sigma P$ . В качестве примера приведены уравнения для нахождения выхода пиломатериалов  $i$ -го сорта при визуальной сортировке на основании действующей нормативно-технической документации ( $\delta = 0,9$ ) с обеспеченностью требуемых показателей прочности:

при  $Q = 0,95$  ( $q = 5$  %)

$$P_i = (-1,79\Sigma P^4 + 3,69\Sigma P^3 - 3,23\Sigma P^2 + 1,19\Sigma P + 0,17)(z_n^i)^3 + (-0,27\Sigma P^3 - 2,05\Sigma P^2 + 2,46\Sigma P + 0,39)(z_n^i)^2 + (-0,43\Sigma P^3 - 0,31\Sigma P^2 + 2,19\Sigma P - 0,35)(z_n^i) + 1,13\Sigma P^3 - 0,60\Sigma P^2 + 0,02\Sigma P + 0,10;$$

при  $Q = 0,99$  ( $q = 1$  %)

$$P_i = (-2,24\Sigma P^4 + 5,01\Sigma P^3 - 3,97\Sigma P^2 + 1,01\Sigma P + 0,16)(z_n^i)^3 + (-9,05\Sigma P^4 + 20,63\Sigma P^3 - 17,06\Sigma P^2 + 4,81\Sigma P + 0,60)(z_n^i)^2 + (-13,54\Sigma P^4 + 29,35\Sigma P^3 + 23,35\Sigma P^2 + 7,31\Sigma P + 0,09)(z_n^i) + 2,53\Sigma P^3 + 4,35\Sigma P^2 + 1,63\Sigma P + 0,05;$$

при  $Q = 0,995$  ( $q = 0,05$  %)

$$P_i = (-51,52\Sigma P^6 + 125,38\Sigma P^5 - 118,58\Sigma P^4 + 55,66\Sigma P^3 -$$

\* Программа разработана канд. техн. наук А. М. Боровиковым.

$$\begin{aligned}
 & - 13,93\Sigma P^2 + 1,62\Sigma P + 0,15)(z_n^i)^3 + (47,93\Sigma P^5 - 107,86\Sigma P^4 + \\
 & + 92,23\Sigma P^3 - 37,96\Sigma P^2 + 6,53\Sigma P + 0,63)(z_n^i)^2 + (10,38\Sigma P^3 - \\
 & - 15,93\Sigma P^2 + 6,04\Sigma P + 0,35)(z_n^i) + 5,12\Sigma P^3 - 7,45\Sigma P^2 + \\
 & + 2,32\Sigma P + 0,02.
 \end{aligned}$$

Аналогичные зависимости получены при  $\delta = 0,8$  (сортировка по прочности пиломатериалов по модулю упругости проведена на установках типа «Компьютерматик»),  $\delta = 0,7$  (бесконтактным способом на установках типа «Финногрейдер») и т. д. до  $\delta = 0,3$ . Диапазоны применимости и погрешность аппроксимации зависимостей контроля представлены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетный показатель	Диапазон изменения		Средняя относительная ошибка
	$P_i, \%$	нормативной границы сортровки $z_n^i$	
$P_i^{0,95}$	10...90	-1,4...0,4	0,0202
$P_i^{0,99}$	10...90	-1,7...0,1	0,0200
$P_i^{0,995}$	10...90	-1,8...0,0	0,0200

Как следует из табл. 1, нормативные границы показателей прочности  $z_n^i$  с ростом уровня доверительной вероятности существенно смещаются в сторону низших сортов. Это свидетельствует о снижении посортного выхода пиломатериалов за счет их перехода в смежные низшие сорта.

По аналитическим зависимостям построены номограммы определения посортного выхода (см. рисунок).

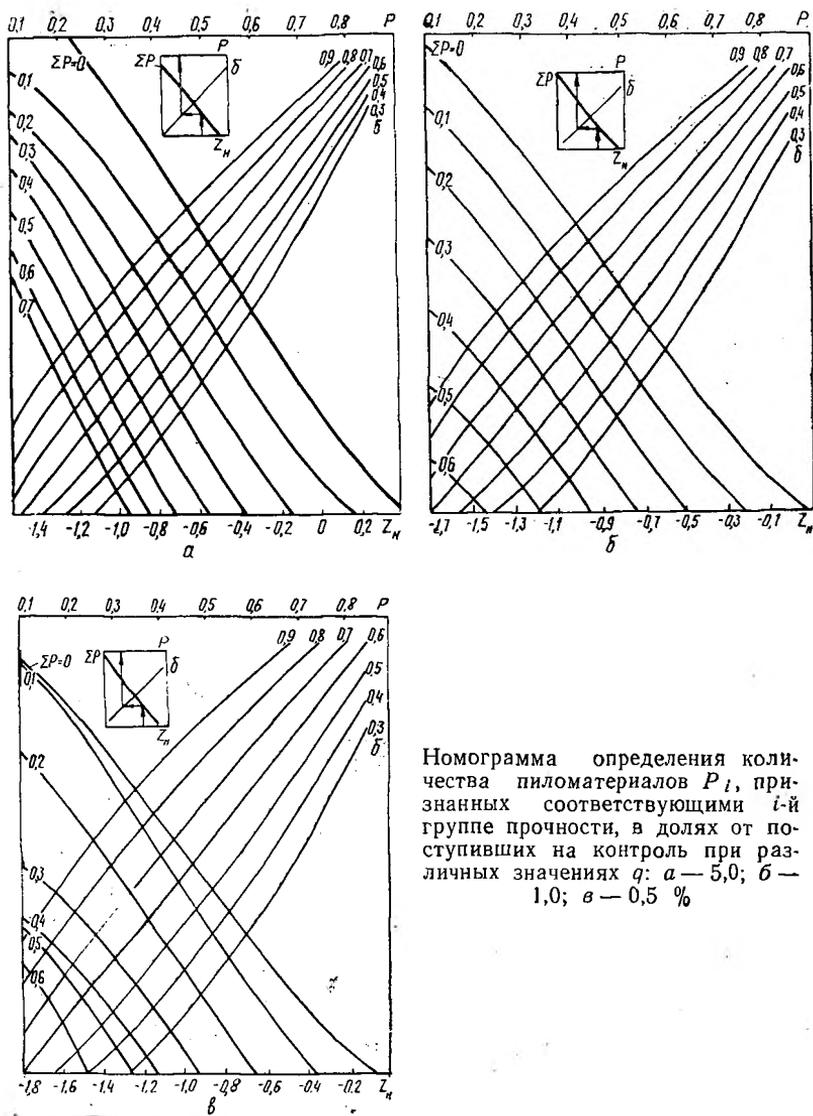
Результаты расчетов по номограммам приведены в табл. 2.

Как видно из таблицы, выход пиломатериалов предлагаемой в [1] номенклатуры сортов по прочности зависит от уровня доверительной вероятности нормируемых показателей прочности, т. е. уровня дефектности партии. Например, с ростом  $Q$  от 0,95 до 0,995 выход пиломате-

Таблица 2

Сорт по прочности	Посортный выход пиломатериалов, %, при уровне доверительной вероятности показателей прочности $Q$ и погрешности измерения $\delta$								
	0,95			0,99			0,995		
	0,9	0,8	0,7	0,9	0,8	0,7	0,9	0,8	0,7
K38	—	—	10	—	—	—	—	—	—
K30	26	29	24	—	11	17	—	—	—
K24	23	24	25	27	21	23	13	20	31
K19	25	28	30	25	20	16	27	21	17
K15	26	19	11	10	13	14	10	13	17
K12	—	—	—	38	34	30	10	16	20
K10	—	—	—	—	—	—	40	30	16

Примечание. Нормированная погрешность измерения  $\delta = 0,9$  соответствует визуальной сортровке пиломатериалов;  $\delta = 0,8$  — измерительному контролю прочности по модулю упругости на установках типа «Компьютерматик»;  $\delta = 0,7$  — измерительному бесконтактному контролю прочности пиломатериалов на установках типа «Финногрейдер».



Номограмма определения количества пиломатериалов  $P_i$ , признанных соответствующими  $i$ -й группе прочности, в долях от поступивших на контроль при различных значениях  $q$ : а — 5,0; б — 1,0; в — 0,5 %

риалов высших сортов по погрешности контроля 0,9; 0,8 и 0,7 уменьшается соответственно на 26, 18 и 7 % (К30) и на 36; 31 и 28 % (К24). Наибольшее сокращение посортного выхода наблюдается при визуальном контроле прочности. В связи с этим прочные пиломатериалы переводятся в низшие сорта номенклатуры до 38, 34 и 30 % (К12), а также до 50, 46 и 36 % (К10) при погрешности контроля соответственно 0,9; 0,8 и 0,7 и уровне доверительной вероятности показателей прочности 0,99 и 0,995.

При нормировании показателей прочности с доверительной вероятностью 0,995 имеющимся и перспективными методами контроля можно обеспечить показатели прочности сортов К24... К10. Надо отметить, что выход пиломатериалов сорта К24 при визуальном и измерительном контроле на установке «Компьютерматик» практически мало значим.

Таким образом, при формировании расчетных характеристик древесины, которые должны обеспечивать заданную надежность деревян-