

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.09-791.8

ПРИНЦИПЫ НОРМИРОВАНИЯ
ДОСТОВЕРНОСТИ СОРТИРОВКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ
ПО МЕХАНИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ

В. В. ОГУРЦОВ

Сибирский технологический институт

Под достоверностью сортировки понимаем вероятность в партии данного сорта отсутствия пиломатериалов, основные показатели механических свойств которых ниже нормативов. Достоверность характеризует надежность результатов сортировки и должна иметь такое значение, чтобы механические показатели изделий из пиломатериалов с заданной вероятностью (назовем ее эксплуатационной доверительной вероятностью) не выходили за расчетные нижние границы. Величину эксплуатационной доверительной вероятности, иными словами меру риска, невозможно обосновать строго научными методами. Ее выбирают из общих соображений с учетом ответственности сооружений. В деревообработке, как и в подавляющем большинстве отраслей промышленности, достаточной считается доверительная вероятность, равная 95 %.

Возникает вопрос, какой должна быть достоверность сортировки пиломатериалов, чтобы эксплуатационная доверительная вероятность изделия (например, клееной конструкции), изготовленного из этих пиломатериалов была не менее 95 %.

Ответить на поставленный вопрос без специальных исследований невозможно, поскольку неизвестно, как связана достоверность сортировки с достоверностью параметров конструкций.

Установим взаимосвязь между параметрами пиломатериалов и параметрами конструкций.

Исследования проведем на широко применяемых в строительстве многослойных клееных балках сплошного прямоугольного сечения [4] без учета жесткости и прочности клеевых соединений.

Рассмотрим клееную несущую конструкцию (КНК), состоящую из двух слоев (рис. 1).

Если модули упругости слоев различны, то при изгибе КНК нейтральный слой (рис. 2) смещается относительно слоя симметрии на величину y_0 [5]. Воспользуясь методом сечения, разрежем КНК поперек на две части и рассмотрим равновесие левой части. Выделим элементарную площадку dS и обозначим действующую на нее

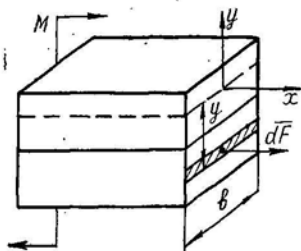


Рис. 1

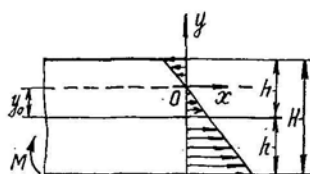


Рис. 2

силу $dF = \sigma dS$. Так как $\sigma = \varepsilon E$, $\varepsilon = \frac{y}{\rho}$, $dS = bdy$, (где σ — нормальное напряжение; ε — относительное удлинение волокна, расположенного на расстоянии y от нейтрального слоя; ρ — радиус кривизны слоя; b — ширина балки; E — модуль упругости рассматриваемого слоя), то:

$$dF = \frac{y}{\rho} E b dy. \quad (1)$$

Рассматриваемая часть КНК находится в равновесии под действием внешних сил, образующих пару с моментом M , и нормальных усилий dF . Для равновесия этой системы сил необходимо, чтобы суммы проекций всех сил на ось x и сумма их моментов относительно точки O были равны нулю. Запишем уравнения проекций и уравнения моментов, заменяя суммирование нормальных усилий по всей площади поперечного сечения балки интегрированием:

$$\int_{-(h+y_0)}^{-y_0} \frac{y}{\rho} E_2 b dy + \int_{-y_0}^{h-y_0} \frac{y}{\rho} E_1 b dy = 0; \quad (2)$$

$$M - \int_{-(h+y_0)}^{-y_0} \frac{y}{\rho} E_2 b y dy - \int_{-y_0}^{h-y_0} \frac{y}{\rho} E_1 b y dy = 0, \quad (3)$$

где E_1, E_2 — модули упругости соответственно первого (верхнего) и второго слоев; h — толщина слоя.

Из выражения (3) находим

$$y_0 = \frac{h(E_1 - E_2)}{2(E_1 + E_2)}; \quad (4)$$

$$M = \frac{bH^3}{12\rho} \left(\frac{E_1^2 + 14E_1E_2 + E_2^2}{8(E_1 + E_2)} \right). \quad (5)$$

Для однородной балки [1]

$$M = \frac{bH^3}{12\rho} E. \quad (6)$$

Сравнивая выражения (5) и (6), видим, что для двухслойной КНК эквивалентный модуль упругости:

$$E_{\text{КНК}}^{(2)} = \frac{E_1^2 + E_2^2 + 14E_1E_2}{8(E_1 + E_2)}. \quad (7)$$

Аналогично для трехслойной КНК находим

$$E_{\text{КНК}}^{(3)} = \frac{E_1^2 + E_2^2 + E_3^2 + 14E_1E_2 + 14E_2E_3 + 50E_1E_3}{27(E_1 + E_2 + E_3)}. \quad (8)$$

Обобщая выражения (7) и (8), запишем общее уравнение для эквивалентного модуля упругости N -слойной КНК:

$$E_{\text{КНК}}^{(N)} = \frac{\sum_{K=1}^N A_K \sum_{i=1}^{N-K+1} E_i E_{i+K-1}}{N^3 \sum_{i=1}^N E_i}, \quad (9)$$

где
$$A_K = K^4 - \sum_{j=1}^K A_{j-1} (K-j+2); \quad A_0 = 0. \quad (10)$$

Для предела прочности КНК получить аналогичные выражения связи с прочностью отдельных слоев не представляется возможным, поскольку прочность каждой конкретной многослойной балки, как правило, определяется прочностью одного слоя и не зависит от остальных. Для выявления этого слоя необходимо производить полный перебор условий прочности с учетом зависимости напряжения σ_i в i -м слое от модуля упругости E_i и расстояния y_i до нейтральной поверхности балки [1]

$$\sigma_i = \frac{y_i}{\rho} E_i. \quad (11)$$

Для установления взаимосвязей между параметрами пиломатериалов и их достоверностью, с одной стороны, и параметрами КНК и их надежностью, с другой, воспользуемся методом имитационного моделирования [2]. Укрупненный алгоритм имитационной модели сортировки пиломатериалов по прочности и модулю упругости при формировании и испытании многослойных балок имеет следующий вид:

1. Ввод исходных данных, характеризующих величины сортовых градаций, точность измерения модуля упругости, коэффициент корреляции между жесткостью и прочностью, тип клееной несущей конструкции, число слоев, ряды нормативов модулей упругости и прочности, количество конструкций.

2. Генерирование линейным конгруэнтным методом равномерно распределенных между нулем и единицей случайных чисел и преобразование их методом полярных координат [3] в нормально распределенные значения действительного модуля упругости E_d и ошибки его измерения ΔE .

3. Определение для очередного пиломатериала измеренного значения модуля упругости

$$E_{\text{изм}} = E_d + \Delta E.$$

4. Определение расчетного значения прочности, выраженной в стандартных отклонениях:

$$\sigma_{\text{расч}} = r E_{\text{изм}}.$$

5. Генерирование действительной прочности

$$\sigma_d = r E_d + x \sqrt{1 - r^2},$$

где x — нормально распределенное между -3 и $+3$ случайное число.

6. Сортировка пиломатериалов по прочности (по модулю упругости).

7. Формирование многослойных балок с заданным числом слоев и распределением пиломатериалов по слоям.

8. Определение модуля упругости $E_{\text{КНК}}$ по формулам (9), (10).

9. Испытание балок на соответствие нормативным значениям модуля упругости H_{Ej} ($j = 1, \dots, 6$).

10. Вычисление процентного выхода балок с $E_{\text{КНК}} > H_{Ej}$.

11. Определение коэффициентов, учитывающих послойные модули упругости:

$$K_{1i} = \frac{E_{di} + M_E / \sigma_E}{E_{\text{КНК}} + M_E / \sigma_E}.$$

Здесь M_E и σ_E — соответственно математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение E .

12. Вычисление коэффициентов, учитывающих расстояние до нейтрального слоя:

$$K_{2i} = \frac{N + 2(1 - i)}{N}, \quad i = 1, \dots, N/2;$$

$$K_{2i} = \frac{2i - N}{N}, \quad i = N/2 + 1, \dots, N.$$

13. Испытание балок на прочность.

14. Определение процентного выхода прочных балок, для которых:

$$\frac{\sigma_{2l}}{K_{1i}K_{2l}} - \frac{M_{\sigma}}{\sigma_{\sigma}} > H_{\sigma j},$$

где M_{σ} и σ_{σ} — соответственно математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение прочности σ ;

$H_{\sigma j}$ — нормативные значения ($j = 1, \dots, 6$) прочности.

15. Нахождение достоверности сортировки и посортного выхода пиломатериалов.

16. Печать выходных параметров (достоверности сортировки, посортного выхода, нормативных значений модуля упругости и прочности многослойных балок с соответствующими эксплуатационными достоверными вероятностями).

Для оценки результатов расчетов с позиций эффективности использования прочности и жесткости пиломатериалов в КНК применяют коэффициент полезного использования (КПИ) механических свойств [6]

$$\text{КПИ} = (1 - \Sigma Q_i P_i) 100 \%. \quad (12)$$

Физический смысл КПИ в том, что любой процесс тем лучше, чем меньшими ошибками Q_i он характеризуется и чем реже (с меньшей вероятностью P_i) встречаются эти ошибки.

Адаптируем выражение КПИ для вариантов расчета конструкций из условий прочности и условий их жесткости.

Для первого варианта справедливо соотношение [1]

$$b_{1i} h_{1i}^2 \sigma_{1i} = b_{2i} h_{2i}^2 \sigma_{2i}, \quad (13)$$

где b_{1i} , h_{1i} — размеры i -й детали, соответствующие расчетной прочности σ_{1i} ;

b_{2i} , h_{2i} — размеры i -й детали, соответствующие действительной прочности σ_{2i} .

При $\sigma_{2i} > \sigma_{1i}$ относительная ошибка определения поперечного сечения балки и соответствующий ей относительный перерасход древесины составляет

$$Q_i = \frac{b_{1i} h_{1i} - b_{2i} h_{2i}}{b_{1i} h_{1i}}. \quad (14)$$

Вводя обозначения $h_{1i} = k b_{1i}$ и $h_{2i} = k b_{2i}$, вытекающие из условий сохранения оптимальных соотношений между шириной и высотой деталей, и производя несложные преобразования

$$k^2 b_{1i}^3 \sigma_{1i} = k^2 b_{2i}^3 \sigma_{2i};$$

$$b_{2i} = b_{1i} \sqrt{\frac{\sigma_{1i}}{\sigma_{2i}}};$$

$$h_{2i} = k b_{1i} \sqrt{\frac{\sigma_{1i}}{\sigma_{2i}}},$$

получаем:

$$Q_i = 1 - \left(\frac{\sigma_{1i}}{\sigma_{2i}} \right)^{2/3}. \quad (15)$$

Переходя к относительным единицам

$$q_i = \frac{\sigma_{2i} - \sigma_{1i}}{\sigma_{2i}},$$

перепишем выражение (15) в виде

$$Q_i = 1 - (1 - q_i)^{2/3}. \quad (16)$$

Подставляя (16) в (12), получим уравнение для коэффициента полезного использования прочности:

$$\text{КПИ}_\sigma = \Sigma (1 - q_i)^{2/3} 100P_i \%. \quad (17)$$

Иногда удобно КПИ представлять в абсолютных единицах

$$\text{КПИ}_\sigma = \Sigma \left(\frac{\sigma_{1i}}{\sigma_{2i}} \right)^{2/3} 100P_i \%. \quad (18)$$

Для второго варианта расчета конструкций (из условий их жесткости) справедливо соотношение [1]

$$E_{1i} b_{1i} h_{1i}^3 = E_{2i} b_{2i} h_{2i}^3, \quad (19)$$

где E_{1i} и E_{2i} — соответственно расчетный и действительный модули упругости i -й детали.

Повторяя вышеизложенные преобразования, получим коэффициент полезного использования модуля упругости древесины пиломатериалов:

$$\text{КПИ}_E = \Sigma (1 - q_i)^{1/2} 100P_i \%. \quad (20)$$

Здесь

$$q_i = \frac{E_{2i} - E_{1i}}{E_{2i}};$$

или в абсолютных единицах

$$\text{КПИ}_E = \Sigma \left(\frac{E_{1i}}{E_{2i}} \right)^{1/2} 100P_i \%. \quad (21)$$

Таким образом, нами рассмотрены различные принципы нормирования достоверности сортировки пиломатериалов по механическим свойствам.

Применяя имитационную модель, можно анализировать с помощью ЭВМ поведение сложной производственной системы по частям и во взаимодействии с учетом всех известных влияющих факторов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Беляев Н. М. Сопротивление материалов.— М.: Техн.-экон. лит., 1964.— 856 с. [2]. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем.— М.: Наука, 1978.— 400 с. [3]. Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ. Т. 2. Получисленные алгоритмы.— М.: Мир, 1977.— 728 с. [4]. Ковальчук Л. М. Производство деревянных клееных конструкций.— М.: Лесн. пром-сть, 1979.— 216 с. [5]. Короткин Я. И., Постнов В. А., Сиверс Н. А. Строительная механика корабля и теория упругости. Т. 1. Изгиб и устойчивость.— Л.: Судостроение, 1968.— 423 с. [6]. Огурцов В. В. Коэффициент полезного использования конструктивных пиломатериалов как критерий оптимизации процесса их сортировки по прочности // Лесн. журн.— 1980.— № 4.— С. 97—102.— (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 7 декабря 1987 г.

УДК 674.05

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ВАРИАНТОВ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ НАТЯЖЕНИЯ ПИЛ ЛЕНТОЧНОПИЛЬНЫХ СТАНКОВ

В. И. ВЕСЕЛКОВ, В. Е. ШУИН, Б. А. ВЕСЕЛКОВА

Архангельский лесотехнический институт

Анализ существующих систем натяжения ленточных пил показал [8], что использование наиболее распространенного рычажно-грузового механизма (РГМН), без каких-либо встроенных в систему натяжения амортизаторов, отрицательно влияет на условия работы пилы, так как при неизбежных рывках в колебаниях системы участвуют значительные массы. В связи с несовершенством РГМН [2, 5] предложены конкретные способы по улучшению эксплуатационных показателей ленточнопильных станков (ЛПС) и повышению устойчивости пил.

В работе [6] обоснована возможность повышения эффективности РГМН, в частности, предложен вариант уменьшения требуемого приведенного коэффициента жесткости системы натяжения за счет введения в нее дополнительной нормированной жесткости. Предполагается, что функцию дополнительной жесткости может выполнить специальное устройство, встраиваемое в механизм резания станка и обеспечивающее демпфирование всех возмущающих систему воздействий, способных нарушить стабилизацию первоначального усилия натяжения пилы.

Так как при демпфировании колебаний напряжений в ветвях ленточной пилы при воздействии на подвижный суппорт верхнего шкива приходится иметь дело с перемещениями значительных масс большой инерционности, то поэтому в работе [6] предложено ввести определенную дополнительную жесткость, не имеющую большой массы. Конструктивно эту идею предполагается реализовать, оснащая механизмы резания дополнительными устройствами управления положением пил за счет отжима их холостых ветвей различными упругими связями, с приводом от гидравлики или пневматики.

Независимо от работы [6] автор патента [7] предложил реализовать этот вариант в конкретной схеме (рис. 1), отражающей собой конструкцию механизма управления положением пилы в дереворежущем ЛПС. По этой схеме ЛПС с нижним и верхним пильными шкивами 5 и пилой 4 (натяжение которой обеспечивает специальный механизм 6)

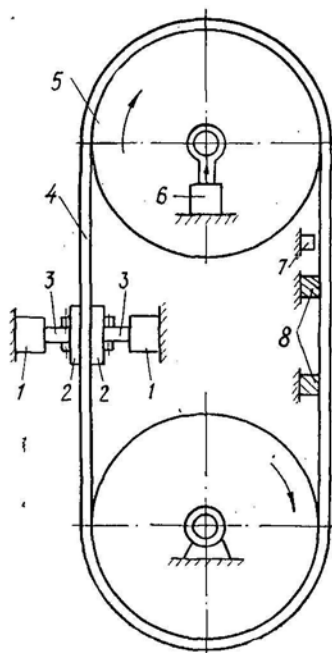


Рис. 1. Схема механизма управления положением ленточной пилы