

4. По формуле (7) определяют лесопропускную способность транзитной части лотка. Для этого предварительно находят

$$\Delta S = kS \left( 1 - \frac{\bar{v}_{min}}{\bar{v}_{max}} \right) \text{ и } \dot{u} = \frac{\bar{v}_{min} + \bar{v}_{max}}{2}.$$

5. Проверяют выполнение условия (4).

6. По формуле (11) определяют навигационный резерв лесопропускной способности лотка.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Бибельник А. А. Гидравлический способ транспортирования леса через гидроузлы и исследование устройства для его осуществления // Сб. тр. / ЦНИИлесосплава.— М.: Лесн. пром-сть, 1986.— С. 83—90. [2]. Пятакин В. И., Дмитриев Ю. Я., Зайцев А. А. Водный транспорт леса.— М.: Лесн. пром-сть, 1985.— 335 с.

Поступила 6 марта 1989 г.

УДК 630\*377.1 : 621.869.7

### ОБ УСТОЙЧИВОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТЕ УПЛОТНЕНИЯ УПОРЯДОЧЕННОЙ СТРУКТУРЫ ШЕРОХОВАТЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТЕЛ

Д. Г. ШИМКОВИЧ

Московский лесотехнический институт

Изучение вопроса о коэффициенте уплотнения пакета круглых лесоматериалов позволяет оценить точность различных методов определения объема круглых лесоматериалов, а также исследовать процесс деформирования штабеля.

Приняты допущения, что лесоматериалы являются абсолютно твердыми круглыми цилиндрическими телами равной длины  $L$ , имеют одинаковый радиус  $r$  и упорядоченную структуру взаимного расположения. В этом случае может быть шесть, пять, четыре, три и две точки контакта каждого тела с соседними. В [1] показано, что вероятность образования структур с шестью, пятью и двумя контактами существенно меньше, чем с тремя и четырьмя, поэтому в дальнейшем будем рассматривать наиболее вероятные структуры с тремя и четырьмя контактами.

Определим коэффициент уплотнения каждой структуры. Для этого рассмотрим элементарные ячейки (на рис. 1 заштрихованы), представляющие собой шести- и четырехгранные призмы, соответственно, для трех- и четырехконтактных структур. Величины, относящиеся к трехконтактной структуре, будем отмечать индексом 3, к четырехконтактной — индексом 4.

Нетрудно установить объемы призм

$$V_3 = 4r^2L [\sin \alpha + 2 \sin (\alpha/2)]; \quad V_4 = 4r^2L \sin \alpha.$$

Сечения тел, заключенных внутри элементарных призм, представляют собой секторы радиуса  $r$ , сумма углов при вершине которых равна  $4\pi$  для трехконтактной и  $2\pi$  для четырехконтактной структур, как сумма внутренних углов шести- и четырехугольников, соответственно (рис. 1). Тогда суммарные площади секторов тел в сечении призм в соответствии с формулой для площади сектора

$$S_3 = r^2 (4\pi)/2 = 2\pi r^2; \quad S_4 = r^2 (2\pi)/2 = \pi r^2,$$

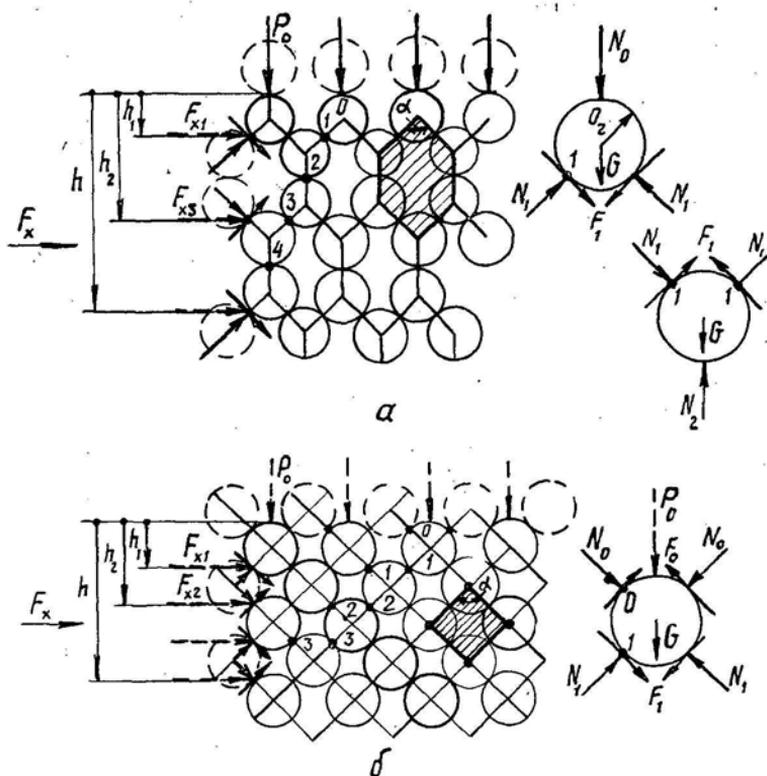


Рис. 1

и объемы тел, заключенных в элементарных призмах:

$$V'_3 = 2\pi r^2 L; \quad V'_4 = \pi r^2 L.$$

Отсюда найдем коэффициенты уплотнения указанных структур

$$k_3 = V'_3 / V_3 = \pi / [2 (\sin \alpha + 2 \sin (\alpha/2))]; \tag{1}$$

$$k_4 = V'_4 / V_4 = \pi / (4 \sin \alpha),$$

Из геометрии ячеек видно, что  $\pi/3 \leq \alpha_3 \leq \pi$ ;  $\pi/3 \leq \alpha_4 \leq 2\pi/3$ .

Значения коэффициентов уплотнения в зависимости от угла  $\alpha$  приведены в табл. 1.

Таблица 1

$\alpha, ^\circ$	$k_3$	$k_4$	$\alpha, ^\circ$	$k_3$	$k_4$
60	0,842	0,907	135	0,615	—
75	0,719	0,813	150	0,646	—
90	0,651	0,785	165	0,701	—
105	0,615	0,813	180	0,785	—
120	0,604	0,907			

При  $\alpha = 60^\circ$  четырехконтактная структура превращается в шестиконтактную, следовательно,  $k_6 = 0,907$ .

Как видно из таблицы, значения коэффициентов уплотнения существенно зависят от угла  $\alpha$ , который определяется силами, действующими на тела. Установим связь между  $\alpha$  и силами.

Представляя силу трения между телами в виде  $F_i = N_i \operatorname{tg} \lambda$ , где  $|\lambda| = \varphi$ ,  $\operatorname{tg} \varphi = f$ ,  $f$  — коэффициент трения.

Из уравнений равновесия тел в трехконтактной структуре (рис. 1, а) нетрудно получить, что в  $i$ -м контакте сила  $N_i$  имеет значение:

$$N_i = \begin{cases} (P_0 + iG) \cos \lambda / [2 \cos (\alpha/2 + \lambda)], & i \text{ — нечетное;} \\ P_0 + iG, & i \text{ — четное,} \end{cases} \quad (2)$$

где обозначено  $P_0 = N_0$ .

Выделим объем тел высотой  $h$  и вычислим горизонтальные составляющие сил в точках контакта (рис. 1, а):

$$\begin{aligned} F_{x1} &= N_1 \sin (\alpha/2 + \lambda) / \cos \lambda; \\ F_{x3} &= N_3 \sin (\alpha/2 + \lambda) / \cos \lambda; \end{aligned} \quad (3)$$

Полагая  $i = 2k - 1$ ,  $k = 1, 2, \dots$ , из формул (2) и (3) находим:

$$F_{xk} = \operatorname{tg} (\alpha/2 + \lambda) [P_0 + (2k - 1)G] / 2, \quad k = 1, 2, \dots$$

Тогда результирующая сила  $F_x$

$$F_x = \sum_{k=1}^m F_{xk} = \operatorname{tg} (\alpha/2 + \lambda) m (P_0 + mG) / 2, \quad (4)$$

где  $m$  — число горизонтальных слоев тел.

При выводе формулы (4) использовали соотношение

$$\sum_{k=1}^m (2k - 1) = 2 \sum_{k=1}^m k - m = m(m + 1) - m = m^2.$$

Из рис. 1, а находим ординаты точек приложения сил  $F_{xk}$

$$\begin{aligned} h_1 &= r (1 + \cos (\alpha/2)); \\ h_2 &= 3r (1 + \cos (\alpha/2)); \\ &\dots \dots \dots \\ h_m &= (2m - 1) r (1 + \cos (\alpha/2)). \end{aligned}$$

Выражая отсюда  $m$  через высоту  $h$  и подставляя в (4), получаем значение сжимающей силы  $F_x$ , необходимой для равновесия указанного объема трехконтактной структуры тел:

$$F_{x3} = \Psi_3 (h) \operatorname{tg} (\alpha/2 + \lambda), \quad (5)$$

где обозначено

$$\Psi_3 = m (P_0 + mG); \quad m = [1 + \bar{h} / (1 + \cos (\alpha/2))]; \quad \bar{h} = h/r.$$

Аналогичным образом получаются соответствующие соотношения для четырехконтактной структуры тел (рис. 1, б):

$$N_i = (P_0 + iG) \cos \lambda / [2 \cos (\alpha/2 + \lambda)], \quad i = 1, 2, 3, \dots;$$

$$F_{xi} = \operatorname{tg} (\alpha/2 + \lambda) (P_0 + iG) / 2;$$

$$F_x = \sum_{i=1}^m F_{xi} = \operatorname{tg} (\alpha/2 + \lambda) m [P_0 + (m + 1)G] / 2;$$

$$h_i = r [1 + (2i - 1) \cos (\alpha/2)],$$

где

$$P_n = 2N_n \cos (\alpha/2 + \lambda) / \cos \lambda.$$

Отсюда находим силу  $F_x$  необходимую для равновесия объема четырехконтактной структуры высотой  $h$ :

$$F_{x4} = \Psi_4(h) \operatorname{tg}(\alpha/2 + \lambda), \quad (6)$$

где обозначено

$$\Psi_4 = m [P_0 + (m + 1)G/2]/2;$$

$$m = [1 + (\bar{h} - 1)/\cos(\alpha/2)]/2.$$

Пусть тела находятся в состоянии предельного равновесия, т. е.  $|\lambda| = \varphi$ . Рассмотрим сначала случай  $\lambda = -\varphi$  соответствующий «оседанию» штабеля. Из уравнений (5) и (6) видно, что при  $\alpha = 2\varphi$  сжимающие силы  $F_x$  обращаются в нуль, что соответствует свободно насыпанному штабелю, имеющему упорядоченную структуру. В данном состоянии, как следует из (1), при  $\alpha = 2\varphi$  коэффициенты уплотнения равны:

$$k_3 = \pi/[2(\sin 2\varphi + 2 \sin \varphi)]; \quad k_4 = \pi/[4 \sin 2\varphi]; \quad (7)$$

причем  $\pi/6 \leq \varphi \leq \pi/2$  для трехконтактной и  $\pi/6 \leq \varphi \leq \pi/3$  для четырехконтактной структур, что определяет значения коэффициента

Таблица 2

$f$	$k_3$	$k_4$
0,6	0,822	0,890
0,7	0,753	0,835
0,8	0,706	0,805

трения между телами, необходимого для равновесия свободно насыпанного штабеля, имеющего упорядоченную структуру.

Значения коэффициентов уплотнения, рассчитанные по формуле (7) в зависимости от  $f$ , приведены в табл. 2. Эти данные следует рассматривать как верхнюю границу значений коэффициентов уплотнения, так как здесь не учитывается наличие сучков, неровностей поверхности и различие в диаметрах лесоматериалов.

Рассмотрим случай  $\lambda = \varphi$  соответствующий состоянию предельного равновесия сжатой системы тел. Как видно из уравнений (5) и (6), с увеличением угла  $\alpha$  предельное значение сжимающей силы  $F_x$  возрастает, т. е. большую сжимающую силу выдерживают слои, у которых центры тел ближе к горизонтальной прямой. Из формул (5) и (6) следует, что при  $\alpha/2 + \varphi \rightarrow \pi/2$ ,  $F_x \rightarrow \infty$ , т. е. дальнейшее сжатие (в рамках гипотезы абсолютно твердого тела) невозможно — происходит «заклинивание» тел. Таким образом, для сильно обжатой структуры  $\alpha/2 + \varphi$  должно быть близко к  $\pi/2$ . Полагая  $\alpha/2 + \varphi = \pi/2$  в выражениях (1), получим значения коэффициентов уплотнения сильно обжатой структуры тел:

$$k_3 = \pi/[2(\sin 2\varphi + 2 \cos \varphi)]; \quad k_4 = \pi/[4 \sin 2\varphi]. \quad (8)$$

Для решения вопроса о том, какая из структур реализуется в сжатом состоянии, проанализируем зависимости  $\Psi_3(\alpha)$ ,  $\Psi_4(\alpha)$ , определяемые соотношениями (5) и (6), равные с точностью до множителя  $\operatorname{tg}(\alpha/2 + \lambda)$  силам  $F_x$  (для определенности принято  $P_0 = G_0 = 1$ ;  $\bar{h} = 5$ ). Как видно из рис. 2, для нарушения равновесия трехконтактной структуры требуется меньшая сжимающая сила, так как  $\Psi_3 < \Psi_4$  поэтому такая структура будет преобладать в процессе деформирования штабеля вплоть до «заклинивания» тел.

Для больших углов  $\alpha > 140 \dots 150^\circ$ , как следует из рис. 2, при одной и той же сжимающей силе возможен переход (указан стрелками) от трехконтактной к четырехконтактной структуре с образованием недеформируемых зон — шестиконтактных структур, которые геометрически соответствуют четырехконтактным при  $\alpha = 60^\circ$ . Однако большие

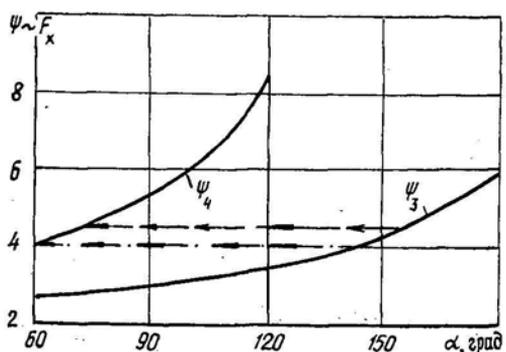


Рис. 2

значения  $\alpha$  отвечают малым углам трения  $\varphi = (\pi - \alpha)/2$ , поэтому образование шестиконтактных структур наиболее вероятно для тел с малым коэффициентом трения.

Коэффициентам трения  $f = 0,4 \dots 0,7$ , характерным для лесоматериалов, в предельном состоянии соответствуют углы  $\alpha = 140 \dots 110^\circ$ , следовательно, при таких коэффициентах трения преобладает трехконтактная структура. В табл. 3 приведены рассчитанные по формуле (8) значения коэффициентов уплотнения в зависимости от коэффициента трения  $f$ .

Таблица 3

$f$	$k_s$	$f$	$k_s$
0,4	0,617	0,7	0,609
0,5	0,607	0,8	0,619
0,6	0,605		

Как видно, коэффициент уплотнения обжатой системы тел отличается большей стабильностью по сравнению со свободным штабелем (табл. 2). Действительные значения коэффициентов уплотнения несколько выше приведенных в табл. 3 вследствие упругости лесоматериалов, различной толщины и податливости коры и т. д. Приведенные в [2] экспериментальные значения коэффициентов уплотнения обжатых грейфером пачек различных пород лесоматериалов находятся в пределах  $0,63 \dots 0,68$ .

Указанный вывод о стабильности коэффициента уплотнения обжатой пачки лесоматериалов позволяет, в частности, теоретически обосновать принципиально более высокую точность массообъемного метода учета лесоматериалов [3] по сравнению с весовым и геометрическим методами определения объема лесоматериалов.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Кандауров И. И. Механика зернистых сред и ее применение в строительстве.— М.: Стройиздат, 1966.— 319 с. [2]. Таубер Б. А. Грейферные механизмы.— М.: Машиностроение, 1985.— 272 с. [3]. Таубер Б. А., Шимкович Д. Г. Массообъемный метод учета сортиментов // Лесн. пром-сть.— 1989.— № 2.— С. 23—24.

Поступила 30 мая 1989 г.

## 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]. Воспользуемся методом сечения, разрежем КНК поперек на две части и рассмотрим равновесие левой части. Выделим элементарную площадку  $dS$  и обозначим действующую на нее

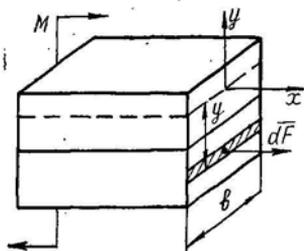


Рис. 1

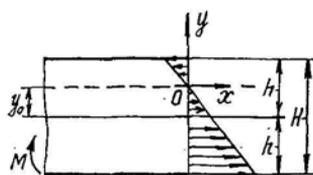


Рис. 2