

сведение к минимуму угла ориентации передней грани зубьев пилы $\Delta\alpha$ (рис. 2) по отношению к вектору скорости подачи u . Это создаст условия для устранения волнистого пропила.

В данном случае не важно, по какой поверхности — винтовой или более сложной — движется полотно пилы, а важно, чтобы в зоне резания древесины эта поверхность деформировалась на плоскую, единственно допустимую для нормального процесса распиловки. Этому способствует разворот верхнего шкива в направлении вектора скорости подачи, обеспечивающий повышение поперечной жесткости и устойчивости пилы и упругое распрямление полотна пилы в зоне резания.

Выводы

1. Механизм разворота верхнего пильного шкива необходим в конструкциях современных ленточнопильных станков как эффективное средство повышения работоспособности ленточных пил.

2. При наличии неизбежных погрешностей в техническом состоянии ленточнопильных станков и изменений в напряженном состоянии используемых ленточных пил регулирование угла разворота верхнего шкива достаточно в диапазоне $5 \dots 25'$.

3. Разворот верхнего пильного шкива обеспечивает повышение устойчивости и поперечной жесткости ленточных пил и способен создать в момент врезания в древесину оптимальную ориентацию передней грани зубьев по отношению к вектору скорости подачи распиливаемого пиломатериала.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. А. с. 326050 СССР, МКл. В 27в 13/04. Прибор для измерения угла наклона шкивов ленточнопильных станков / Ю. И. Юрьев, В. И. Веселков (СССР).— № 1451945/29—33; Заявлено 23.06.70; Опубл. 19.01.72, Бюл. № 4 // Открытия. Изобретения.— 1972.— № 4.— С. 43. [2]. Веселков В. И. Исследование условий формирования напряженного состояния делительных ленточных пил методом вальцевания: Дис... канд. техн. наук.— Л., 1971.— 187 с. [3]. Веселков В. И., Веселкова Б. А. Особенности влияния наклона пильных шкивов ленточнопильных станков на напряженное состояние и устойчивость ленточных пил // Лесн. журн.— 1982.— № 3.— С. 79—83. (Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Веселкова Б. А. Решение задачи об устойчивости плоской формы изгиба ленточных пил // Вопросы резания, надежности и долговечности дереворежущих инструментов и машин: Межвуз. сб. науч. тр.— Л.: ЛТА, 1977.— Вып. 4.— С. 39—41. [5]. Власов В. З. Тонкостенные упругие стержни.— М.: Госфизматиздат, 1959.— 566 с. [6]. Трухин Э. В. Исследование устойчивости ленточных пил в зависимости от основных технологических и конструктивных факторов: Автореф. дис... канд. техн. наук.— М., 1975.— 28 с. [7]. Феоктистов А. Е. Ленточнопильные станки.— М.: Лесн. пром-сть, 1976.— 151 с.

Поступила 4 мая 1987 г.

УДК 674.815-41

ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ДРЕВЕСНО-КЛЕЕВОЙ ПРЕССМАССЫ

А. Н. ОБЛИВИН, С. З. САГАЛЬ, В. В. КОРОТКИЙ, А. И. ПОЖИТОК

Украинское научно-производственное деревообрабатывающее объединение
Московский лесотехнический институт

Композиционные материалы из древесно-клеевой смеси представляют собой анизотропное, полидисперсное капиллярно-пористое тело, получаемое в процессе горячего прессования, которое сопровождается интенсифицированным тепло-массообменом между консолидируемым брикетом, плитами пресса и окружающей средой.

Расчет процессов тепло- и массообмена в капиллярно-пористых телах предусматривает наличие методов определения их гидродинамических характеристик. В работе [2] были предложены методы, основанные на законе Дарси либо двучленном уравнении фильтрации и описывающие течение газа в пористых средах при числах $K_n < 10^{-2}$ (здесь K_n — критерий Кнудсена). Однако указанные уравнения неправомерны при фильтрации газа в диапазоне $10^{-2} < K_n < 1$, в связи с существенным влиянием на процесс течения эффекта скольжения на границе раздела двух сред [8].

Существующие для режима течения со скольжением полуэмпирические зависимости основаны на суммировании молярного и молекулярного потоков, что не отражает физическую суть процесса и служит лишь методом обработки экспериментальных данных [11].

Задача настоящей работы — нахождение зависимости, описывающей течение газов в анизотропных микропористых материалах с учетом эффекта скольжения на поверхности пор.

Для получения математической модели процесса используем уравнение Навье — Стокса с учетом изменения граничных условий, предусматривающих отличное от нуля значение скорости газа на поверхности пор. Применение уравнения газодинамики сплошной среды для описания режима течения со скольжением обосновано тем, что скорость потока газа в микропористых средах соответствует числам Маха $M \ll 1$ [4].

Согласно уравнению Навье — Стокса, единичный объем газа движется равномерно под действием приложенных к нему сил, если их равнодействующая постоянна по величине и направлению. В случае течения газа в капиллярно-пористых телах при $10^{-2} < K_n < 1$ внешняя сила трения принимает конечное значение [3], а уравнение Навье — Стокса имеет вид:

$$\frac{\rho D\vec{v}}{dt} = \rho \vec{g} - \nabla \vec{p} + \mu_v \nabla^2 \vec{v} - \vec{\tau}_n, \quad (1)$$

где

D — полный дифференциал;

ρ — плотность, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$;

\vec{v} — средняя скорость движения газа в капилляре, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$;

τ — время, с;

g — ускорение свободного падения, $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$;

p — давление, Па;

μ_v — динамическая вязкость газа, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

$\vec{\tau}_n = \mu_n \frac{\vec{v}}{R_s}$ — внешняя сила трения, действующая на единичный объем газа, $\text{Н} \cdot \text{м}^{-3}$ (здесь μ_n — коэффициент внешнего трения, $\text{Па} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-1}$; R_s — газовая постоянная, $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \text{К}^{-1}$).

Считая, что движение происходит стационарно, и пренебрегая потерями давления за счет изменения уровня, определим:

$$\rho (\nabla \vec{v}) \vec{v} = - \nabla \vec{p} + \mu_v \nabla^2 \vec{v} - \vec{\tau}_n. \quad (2)$$

Усреднив входящие в полученное уравнение члены по сечению тока, найдем выражение для потерь давления при течении жидкости через однородное пористое тело:

$$\frac{dp}{dx} = \langle \mu_v \nabla^2 \vec{v} \rangle - \langle \rho (\nabla \vec{v}) \vec{v} \rangle - \langle \vec{\tau}_n \rangle. \quad (3)$$

Допуская, что поток газа через пористое тело состоит из ряда элементарных трубок тока, для которых градиенты скорости и первые производные будут порядка $\frac{v}{R}$, а вторые производные $\frac{v}{R^2}$, получим:

$$\frac{dp}{dx} = \frac{k_0}{R_s^2} \mu_v v + \frac{k_x}{R_s} \rho v^2 - \frac{k_0}{R_s} \mu_n v. \quad (4)$$

Здесь k_0, k_x — коэффициенты формы пор.

С учетом соотношений

$$v = \frac{v_{\phi} k_n}{\Pi_3}; \quad (5) \quad v = \xi \langle v_m \rangle; \quad (6)$$

$$\frac{\mu_v}{\mu_n} = 0,998 \frac{2-\sigma}{\sigma} \lambda; \quad (7) \quad q_m = \rho v_{\phi}, \quad (8)$$

найдем

$$\rho \frac{dp}{dx} = \frac{k_0 k_n}{R_s^2 \Pi_3} \mu_v q_m + \frac{k_x k_n^2}{R_s \Pi_3^2} q_m^2 - \frac{\sigma}{2(2-\sigma)} \frac{k_0 k_n^2}{\xi R_s \Pi_3^2} q_m^2. \quad (9)$$

В формулах (5) — (9) обозначено:

v_{ϕ} — скорость фильтрации, м · с⁻¹;

k_n — коэффициент извилистости порового канала;

Π_3 — эффективная пористость;

ξ — коэффициент пропорциональности;

$\langle v_m \rangle$ — средняя скорость молекул газа, м · с⁻¹;

σ — коэффициент передачи импульса;

q_m — удельный массовый расход, кг · м⁻² · с⁻¹;

λ — длина свободного пробега молекул газа, м;

R_s — гидравлический радиус, м.

Принтегрируем полученное уравнение по действительной длине движения газа

$$l_d = l k_n \quad (10)$$

(где l — высота пористого тела, м);

для случая изотермического течения и с учетом соотношения $\rho = \frac{\langle p \rangle}{R_r T}$

(где R_r — газовая постоянная; T — температура, К) получим:

$$\frac{\Delta p \langle p \rangle}{R_r T l} = \alpha \mu_v q_m + \beta q_m^2 - \gamma q_m^2; \quad (11)$$

где

$$\alpha = \frac{k_0 k_n^2}{R_s^2 \Pi_3}; \quad (12) \quad \beta = \frac{k_x k_n^3}{R_s \Pi_3^2}; \quad (13)$$

$$\gamma = \frac{\sigma}{2(2-\sigma)} \frac{k_0 k_n^3}{\xi R_s \Pi_3^2}. \quad (14)$$

В формулах (11) — (14) введены следующие обозначения:

α — коэффициент вязкостного сопротивления, м⁻²;

β — коэффициент инерционного сопротивления, м⁻¹;

γ — коэффициент молекулярного сопротивления, м⁻¹.

Анализируя уравнение (11), можно сделать вывод, что первый член характеризует потери давления на преодоление сил вязкости, а второй — сил инерции потока; третий член равенства показывает, что при фильтрации в микропористых средах происходит снижение потерь

давления, по сравнению с расчетными, если использовать закон Дарси либо двухчленное уравнение фильтрации. Указанный эффект отмечался ранее в работе [6] как следствие скольжения газа вдоль поверхности капилляров.

Однако экспериментально выделить потери давления, связанные с инерцией потока и скольжением, не представляется возможным, поэтому уравнение (11) приводим к виду:

$$\frac{\Delta p < p >}{R_r T l} = \alpha \mu_v q_m + \delta q_m^2, \quad (15)$$

где δ — структурный коэффициент сопротивления, m^{-1} ;

$$\delta = \beta - \gamma. \quad (16)$$

Подставив в уравнения (12) — (14) значение гидравлического радиуса, полученное в работе [5] для сжатого по высоте слоя эллипсоидообразных частиц, получим уравнение потерь давления при фильтрации газа в деформированном пористом композиционном материале, с учетом скольжения газа на границе двух сред:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta p < p >}{R_r T l} = & k_1 \frac{k_{\text{эк}}^2 (1 - \Pi_3)^2}{\Pi_3^3} \left(\sum_{i=1}^3 1/r_{oi} \right)^2 \varepsilon^2 \times \\ & \times (\Phi(r_{oi}, \alpha_{oi}))^2 \mu_v q_m + k_2 \frac{k_{\text{эк}} (1 - \Pi_3)}{\Pi_3^3} \sum_{i=1}^3 1/r_{oi} \varepsilon \Phi(r_{oi}, \alpha_{oi}) q_m^2, \end{aligned} \quad (17)$$

где $k_1 = \frac{k_0 k_n^2}{4A^3}; \quad (18) \quad k_2 = \frac{k_n k_n^3}{2A}; \quad (19)$

$k_3 = \frac{\sigma}{4(2-\sigma)} \frac{k_0 k_n^3}{A^3}; \quad (20) \quad k_0 = k_2 - k_3. \quad (21)$

В формулах (17) — (21) обозначено:

$k_{\text{эк}}$ — коэффициент экранировки частиц;

r_{oi} — максимальные размеры полуосей частицы, м;

$\Phi(r_{oi}, \alpha_{oi})$ — функция, характеризующая характер анизотропии материала;

ε — параметр структуры слоя частиц;

A — постоянная, характеризующая форму частиц;

k_1, k_2, k_3, k_0, k_n — постоянные гидродинамические коэффициенты.

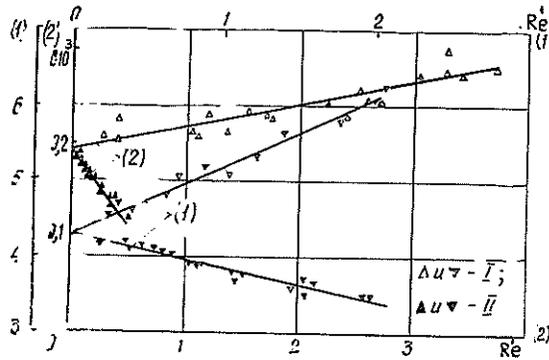


Рис. 1. Зависимость $C = f(Re')$ для древолита $\rho = 697 \dots 1140 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$; (1) и (2) — фильтрация соответственно перпендикулярно и параллельно пласти; I — $K_n < 10^{-2}$; II — $K_n > 10^{-2}$

Коэффициенты k_1 и k_0 постоянны для данного материала (см. таблицу); путем обработки экспериментальных результатов их определяют по уравнению (рис. 1):

$$C = k_1 + k_0 \text{Re}', \quad (22)$$

где
$$C = \frac{\Delta p \langle p \rangle}{R_r T l \mu_B q m} \frac{\Pi_3^3}{k_{\text{ЭК}}^2 (1 - \Pi_3)^2} \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^3 1/r_{0i}\right)^2} \frac{1}{\varepsilon^2} \frac{1}{(\Phi(r_{0i}, \alpha_{0i}))^2}; \quad (23)$$

$$\text{Re}' = \frac{q m}{\mu_B} \frac{1}{k_{\text{ЭК}} (1 - \Pi_3)} \frac{1}{\sum_{i=1}^3 1/r_{0i}} \frac{1}{\varepsilon} \frac{1}{\Phi(r_{0i}, \alpha_{0i})}. \quad (24)$$

Материал	Направление фильтрации	k_1		k_0		$ k_0/k_1 $		Источники литературы	Данные авторов [2]
		k_1' Кп $\leq 10^{-2}$	k_1'' Кп > <math>10^{-2}< math><="" th=""> <th>k_0' Кп <math>\leq 10^{-2}</math></th> <th>k_0'' Кп > <math>10^{-2}< math><="" th=""> <th>Кп <math>\leq 10^{-2}</math></th> <th>Кп > <math>10^{-2}< math><="" th=""> </math>10^{-2}<></th></math>10^{-2}<></th></math>10^{-2}<>	k_0' Кп $\leq 10^{-2}$	k_0'' Кп > <math>10^{-2}< math><="" th=""> <th>Кп <math>\leq 10^{-2}</math></th> <th>Кп > <math>10^{-2}< math><="" th=""> </math>10^{-2}<></th></math>10^{-2}<>	Кп $\leq 10^{-2}$	Кп > <math>10^{-2}< math><="" th=""> </math>10^{-2}<>		
Древолит	перпендикулярно пласти	4351,99	4361,6	123,66	433,49	2,84 · 10 ⁻²	9,94 · 10 ⁻²		
	параллельно пласти	192,85	192,76	24,59	136,37	1,28 · 10 ⁻¹	7,07 · 10 ⁻¹		
Древесно-стружечный пакет	перпендикулярно пласти	886	—	12,42	—	1,4 · 10 ⁻²	—		
	параллельно пласти	1,71	—	1,02	—	5,96 · 10 ⁻¹	—		

Гидродинамическое сопротивление как функцию числа Re (где Re — критерий Рейнольдса), получим после соответствующих преобразований уравнения (11) для Кп <math>< 10^{-2}</math>, Re >

$$f = \frac{1}{\text{Re}} + 1, \quad (25)$$

где
$$f = \frac{\Delta p \langle p \rangle}{R_r T l \mu_B q m^2}; \quad (26)$$

$$\text{Re} = \frac{\delta q m}{a \mu_B}; \quad (27)$$

$$\text{Кп} = \frac{\lambda}{d_3}; \quad (28)$$

$$d_3 = k_s R_s; \quad (29)$$

$$k_s = \frac{k_0'}{2k_1 A l \Pi_3}. \quad (30)$$

В формулах (25) — (30) введены обозначения:

- f — гидродинамический коэффициент сопротивления;
- d_3 — эффективный диаметр пор, м;
- k_s — коэффициент соотношения между R_s и d_3 .

Исходя из соотношения $\text{Кп} \approx \frac{M}{\text{Re}}$ [4], а также учитывая, что диапазон исследуемых скоростей потока в микропористых материалах соответствует $10^{-4} < M < 10^{-2}$, то при $10^{-2} < \text{Кп} < 1$ режим течения со скольжением ограничен $\text{Re} < 1$.

Для указанных выше условий коэффициент гидродинамического сопротивления определим из уравнения

$$f = \frac{1}{\text{Re}} - 1, \quad (31)$$

а в интервале чисел $10^{-2} < \text{Kn} < 1$, $\text{Re} > 1$, согласно данным работы [1]:

$$f = \frac{a}{\text{Re}}. \quad (32)$$

Здесь a — эмпирический коэффициент.

Экспериментальные исследования проводили на установке, включающей систему подачи и контроля параметров рабочего агента, измерительной аппаратуры и рабочей камеры. Образцы пористых композиционных материалов продували азотом в направлениях, перпендикулярном и параллельном пласти, в стационарных условиях. Изготавливали образцы из древолита плотностью $\rho = 600 \dots 1200 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, древесины различных пород и пористой керамики.

Представленные на рис. 2 расходные характеристики для древолита различной плотности качественно отличны по виду.

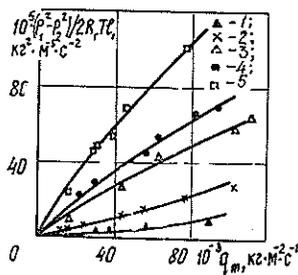


Рис. 2. Зависимость перепада давления от расхода азота на образцах из древолита при фильтрации перпендикулярно пласти (кривые — расчет по формулам, точки — эксперимент): 1 — $\rho = 697 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$; 2 — 768; 3 — 916; 4 — 934; 5 — 1026 $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$

Существующие на данный момент мнения по поводу изменения формы расходной характеристики весьма противоречивы. Некоторые авторы считают это следствием неустановившегося режима фильтрации либо относят изменение формы расходной характеристики за счет изменения проницаемости и вязкости от давления [10]. Другие же авторы, не придавая значения указанному явлению, используют экспериментально полученные коэффициенты гидродинамического сопротивления для определения характерного размера пор. В результате получен противоречивый вывод [9] об их увеличении при деформации (сжатии) пористого композиционного материала.

Анализ расходных характеристик свидетельствует о том, что их вид зависит от режима фильтрации. При числах $\text{Kn} < 10^{-2}$ в потоке преобладают силы инерции, а влияние эффекта скольжения несущественно. Тогда в уравнениях (15), (17) перед вторым членом будет стоять знак «+», а расходная характеристика обращена выпуклостью к оси расхода.

Если $10^{-2} < \text{Kn} < 1$, $\text{Re} < 1$, то в потоке существенно влияние эффекта скольжения, и расходная характеристика меняет свой вид: выпуклостью к оси ординат, а перед вторым членом появляется знак «—», что подтверждается в результате обработки экспериментальных данных по уравнению (22).

Анализируя уравнение (31) (рис. 3), можно сделать вывод, что в микропористых средах при $10^{-2} < \text{Kn} < 1$ и $\text{Re} < 1$ гидродинамическое сопротивление уменьшается вследствие скольжения газа на поверхности капилляров, поэтому использование двучленного уравнения фильтрации либо закона Дарси и соответствующих им критериальных зависимостей (25), в указанных диапазонах чисел Kn и Re , приводит к существенным погрешностям.

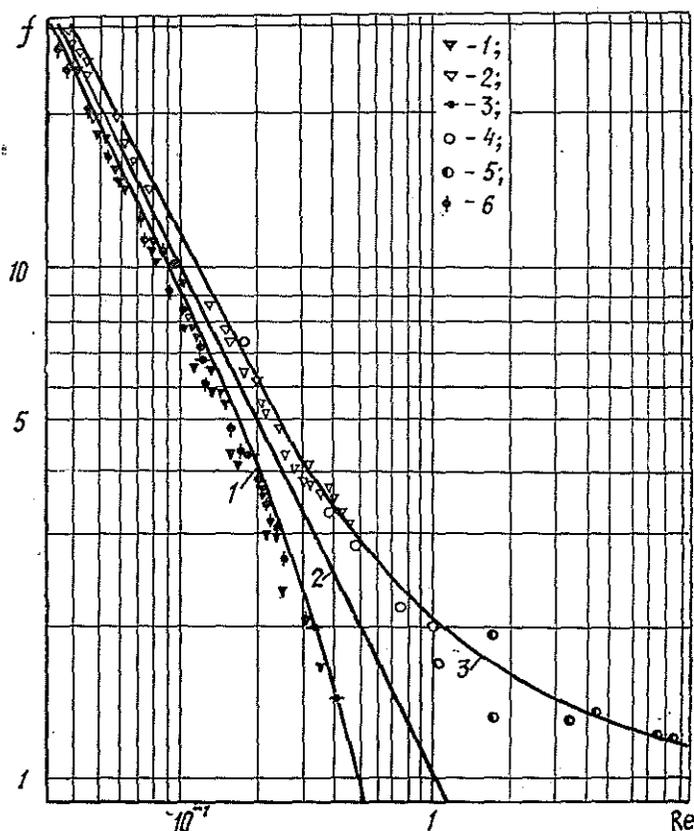


Рис. 3. Гидродинамическое сопротивление капиллярно-пористых тел (кривая 1 — расчет по уравнению $f = \frac{1}{Re} - 1$; кривая 2 — $f = \frac{1}{Re}$; кривая 3 — $f = \frac{1}{Re} + 1$): 1 — древолит, $\rho = 800 \dots 1200$ кг · м⁻³; 2 — древолит, $\rho = 600 \dots 800$ кг · м⁻³; 3 — древесина березы; 4 — пористая шамотно-силикатная керамика, пористость 0,25...0,35; 5 — древесностружечный пакет, данные [2]; 6 — древесина березы, липы, бука, данные [7]

В ряде работ [6, 12] отмечено снижение гидродинамического сопротивления, за счет действия эффекта скольжения газа на границе раздела двух сред, как для внутренней, так и для внешней задач газодинамики.

Экспериментальные данные (рис. 1—3) удовлетворительно совпадают с расчетными, полученными по уравнениям (17), (22), (25), (31).

Таким образом, нами получены выражения для аналитического определения гидродинамических характеристик композиционных пористых материалов в широком диапазоне чисел Re и Кп. Представленные в работе уравнения могут быть использованы для расчетов процессов теплообмена при горячем прессовании, а также расчетов технологического оборудования, позволяющего регулировать парогазовое давление внутри древесностружечного пакета.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Белов С. В. Пористые металлы в машиностроении.—М.: Машиностроение, 1976.—184 с. [2]. Воскресенский А. К., Обливин А. Н., Сагаль С. З. Гидродинамические характеристики пористых тел // Вопросы теплопередачи: Науч. тр. МЛТИ, 1981.—Вып. 130.—С. 5—21. [3]. Голубев И. Ф. Вязкость газов и газовых смесей.—М.: Физматгиздат, 1959.—375 с. [4]. Гухман А. А. Применение теории подобия к исследованию процессов тепло-массообмена.—М.: Высш. школа, 1974.—327 с. [5]. Короткий В. В., Сагаль С. З. Определение структурных характеристик древесностружечного пакета // Технология древесных плит и пластиков: Науч. тр. МЛТИ, 1986.—Вып. 179.—С. 23—27. [6]. Лыков А. В. Явление переноса в капиллярно-пористых телах.—М.: Гостехиздат, 1954. [7]. Оснач Н. А. Проницаемость и проводимость древесины.—М.: Лесн. пром-сть, 1964.—184 с. [8]. Прасолов Р. С. Массо- и теплоперенос в топочных устройствах.—М.; Л.: Энергия, 1964.—236 с. [9]. Пустогаров А. В. и др. Исследование проницаемости деформированных пористых металлов // Порошковая металлургия.—1978.—№ 4.—С. 30—33. [10]. Чарный И. А. Подземная гидрогазодинамика.—М.: Гостоптехиздат, 1963.—396 с. [11]. Adzumi H. // Bull. Chem. Soc. (Japan).—1937.—12.—304. [12]. Tsien H. // Journ. of the Aeronaut. Scien.—1946.—13.—N 12.

Поступила 3 августа 1987 г.

УДК 674.093.2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ОБЪЕМНОГО ВЫХОДА ОБРЕЗНЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

В. С. ШАЛАЕВ

Московский лесотехнический институт

Традиционные рекомендации по сортировке и учету пиловочного сырья предполагают составление и расчет поставок для распиловки бревен четных диаметров. Результаты исследований, выполненные в ряде вузов, в том числе в Московском лесотехническом институте, обосновывают целесообразность сортировки бревен на группы в зависимости от размеров вырабатываемых досок. В этом случае расчет поставок будет выполняться для различных, «плавающих» размеров диаметров бревен, что затрудняет использование традиционных методов.

При определении выхода пиломатериалов обычно пользуются формулой, включающей отношение объема получаемой продукции к объему затраченного на ее выработку сырья. Объем сырья при расчете конкретного постава определяется по таблицам объемов круглых лесоматериалов из ГОСТ 2708—75. Использование табличных значений объемов при расчете поставок для бревен различных, необязательно четных, диаметров приведет к значительным погрешностям.

Для их устранения и упрощения реализации на ЭВМ расчета поставок можно пользоваться формулой [1]

$$V_6 = (0,87L + 0,01L^2)(d + 0,0001L^2)^2 + 0,00002L^3, \quad (1)$$

где V_6 — объем бревна, м³;

L — длина бревна, м;

d — диаметр в вершинной части бревна, м.

Формула (1) была выведена интерполированием функции $V_6 = V(d, L)$ с помощью полиномов Лагранжа — Ньютона. Отклонение значений объемов пиловочных бревен по формуле (1) от стандартных (по ГОСТ 2708—75) не превышает 5%. Однако, как известно, интерполирование не всегда дает удовлетворительное решение задачи о приближении функции с заданной точностью на данном отрезке, так как совпадение искомой функции $V_6 = F(x)$ с полиномом $V_6 = f(x)$ даже в близких