

при изгибе. Для практического ее использования достаточно на графике взять три точки, по возможности полно охватывающие весь диапазон нагружения, и по формулам найти коэффициенты уравнения (3), имеющие определенный физический смысл. Анализ полученной зависимости позволяет установить изменчивость модуля упругости в ходе деформирования, найти минимальный и максимальный модули упругости, а также предельный модуль упругости в момент разрушения образца и рассчитать работу деформирования. Предложенная математическая модель может найти применение для детального изучения процессов, протекающих при изгибе древесины и других материалов, а также при определении их деформационных показателей.

Поступила 9 октября 1990 г.

УДК 630*323.4

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РАСКРЯЖЕВКИ ПРИ ВРАЩАТЕЛЬНОЙ ПОДАЧЕ КРУГЛОЙ ПИЛЫ

А. С. ТОРОПОВ

Марийский политехнический институт

В работе [2] приведена математическая модель процесса раскряжевки при вращательной подаче цепной пилы. В данной работе предложена программа, позволяющая определять необходимые параметры механизма резания для конкретных производственных условий.

Для процесса раскряжевки при вращательной подаче круглой пилы характерно вращательное движение элементов резания (зубьев пи-

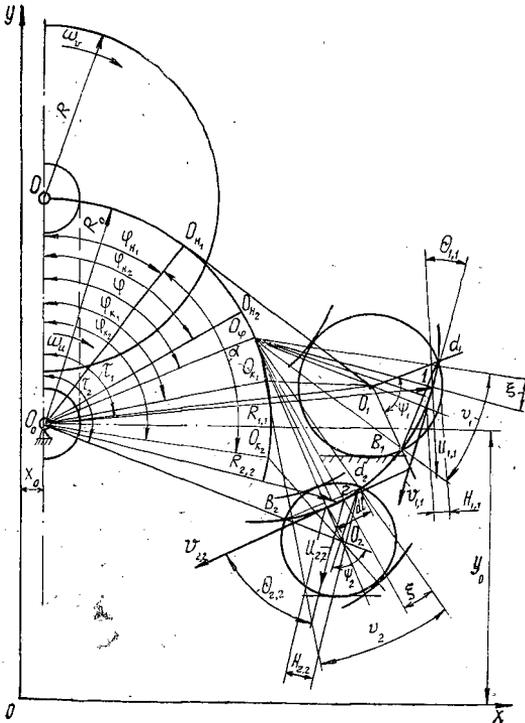


Рис. 1

лы) с угловой скоростью ω_v и вращательное движение механизма подачи со скоростью ω_u . На рис. 1 представлена расчетная схема механизма резания (МРКВ).

Процесс резания характеризуют следующие основные величины: X_0Y_0 — координаты оси вращения механизма подачи в системе XOY ; X_i, Y_i, d_i — соответственно, координаты центра и диаметр i -го предмета раскряжевки; n — количество обрабатываемых лесоматериалов; φ — угол между осями Y и OO_1 в рассматриваемый момент раскряжевки; $\varphi_{нi}, \varphi_{кi}$ — углы в начальный и конечный моменты резания; τ_i — угол между осью Y и линией, соединяющей точку O_0 с центром поперечного сечения; α — угол подачи механизма резания при одновременном поперечном пилении лесоматериалов с центрами O_1 и O_2 ; R_{ij} — радиус вращения j -го элемента при резании i -го предмета раскряжевки; u_{ij} — скорость подачи в определенный момент подачи; v_{ij} — скорость резания в определенный момент подачи; Θ_{ij} — кинематический угол встречи, угол между векторами u_{ij} и v_{ij} ; H_{ij} — высота пропила в определенный момент подачи; $K_{ij}, P_{p ij}, P_{o ij}$ — соответственно, удельная работа резания, сила сопротивления резанию, сила сопротивления отжиму (затягиванию) при раскряжевке в определенный момент подачи; Z_i — количество элементов резания в определенный момент подачи при раскряжевке; dl — длина резания одним зубом; R — радиус пилы; R_0 — радиус вращения точки O ; S_n — толщина диска пилы; c — развод зубьев на сторону.

Используя рис. 1 и данные работы [2], получаем

$$\varphi_{нi} = \arcsin \frac{X_i - X_0}{B_i} - \arccos \left\{ \left[R_0^2 + B_i^2 - \left(R + \frac{d_i}{2} \right)^2 \right] / 2R_0B_i \right\}; \quad (1)$$

$$\varphi_{кi} = \arcsin \frac{X_i - X_0}{B_i} - \arccos \left\{ \left[R_0^2 + B_i^2 - \left(R - \frac{d_i}{2} \right)^2 \right] / 2R_0B_i \right\}; \quad (2)$$

$$v_i = 2 \arccos \left[\left(R^2 + R_0^2 + B_i^2 - 2R_0B_iC_i - \frac{d_i^2}{4} \right) / \left(2R \sqrt{R_0^2 + B_i^2 - 2R_0B_iC_i} \right) \right]; \quad (3)$$

$$R_{ij} = \sqrt{ \frac{R_0^2 + R^2 - 2R_0R \cos \left\{ \arccos \left[\frac{R_0 - B_iC_i}{\sqrt{R_0^2 + B_i^2 - 2R_0B_iC_i}} \right] \right\} + \frac{v_i(2j-1)\xi}{4} }{ \sqrt{R_0^2 + B_i^2 - 2R_0B_iC_i} } }; \quad (4)$$

$$\Theta_{ij} = \arccos \left[\frac{R^2 + R_{ij}^2 - R_0^2}{2RR_{ij}} \right]; \quad Z_i = Rv_i/dl; \quad (5)$$

$$\alpha = \max(\varphi_{кi}) - \min(\varphi_{нi}); \quad u_{ij} = R_{ij}\omega_u; \quad H_{ij} = dl \sin(\Theta_{ij}), \quad (6)$$

где $B_i = \sqrt{(X_i - X_0)^2 + (Y_i - Y_0)^2}$; $C_i = \cos \left(\arcsin \frac{X_i - X_0}{B_i} - \varphi \right)$;

v_i — угол сектора пилы, определяющего длину дуги резания лесоматериала;

ξ — половина угла сектора пилы, определяющего длину дуги резания лесоматериала одним зубом.

Равенства (1) — (6) имеют смысл при $\varphi_{нi} < \varphi < \varphi_{кi}$, иначе $Z_i = 0$.

Производительность механизма резания характеризуется площадью резания в единицу времени. Площадь S_2 резания предмета раскряжевки с центром O_2 (рис. 1) может быть определена с учетом следующих выражений:

$$S_2 = S'_2 + S''_2 = (S'_{c_2} - S'_{r_2}) + (S''_{c_2} - S''_{r_2}),$$

где S'_2 и S''_2 — площади сегмента $d_2 B_2$ для лесоматериала и инструмента соответственно (d_2 — диаметр лесоматериала с центром O_2);

S'_{c_2} и S''_{c_2} — площади секторов $O_2 d_2 B_2$ и $O_\varphi d_2 B_2$ для лесоматериала и инструмента соответственно,

$$S'_{c_2} = d_2^2 \psi_2 / 8; \quad S''_{c_2} = R^2 \nu_2 / 2;$$

S'_{r_2} и S''_{r_2} — площади треугольников $O_2 d_2 B_2$ и $O_\varphi d_2 B_2$ для лесоматериала и инструмента соответственно,

$$S'_{r_2} = (d_2^2 \sin \psi_2) / 8; \quad S''_{r_2} = (R^2 \sin \nu_2) / 2.$$

Здесь ψ_2 — угол сектора лесоматериала, определяющего длину дуги резания,

$$\psi_2 = 2 \arcsin [2R \sin (\nu_2/2) / d_2],$$

Если

$$\varphi \leq \arcsin \frac{X_i - X_0}{B_i} - \arccos \left[\left(R_0^2 + B_i^2 - R^2 + \frac{d_i^2}{4} \right) / 2R_0 B_i \right], \quad (7)$$

то

$$S_i = S'_i + S''_i = (S'_{c_i} - S'_{r_i}) + (S''_{c_i} - S''_{r_i});$$

если

$$\psi_i = 2 \arcsin [2R \sin (\nu_i/2) / d_i],$$

то

$$S_i = \pi d_i^2 / 4 - S'_i + S''_i,$$

где

$$S'_{c_i} = d_i^2 \psi_i / 8; \quad S'_{r_i} = (d_i^2 \sin \psi_i) / 8;$$

$$S''_{c_i} = R^2 \nu_i / 2; \quad S''_{r_i} = (R^2 \sin \nu_i) / 2.$$

Площадь резания S_k , производительность механизма резания Π_k , среднюю и максимальную производительности резания Π_c и Π_{max} , а также высоты резания H_i ; H_k ; H_c ; H_{max} найдем по формулам, предложенным в работе [2].

Согласно расчетной схеме, приведенной на рис. 2, раскряжевка круглых лесоматериалов возможна при условии:

$$B_i \geq (D_{ш} + 2m_i + d_i) / 2; \quad B_i + d_i / 2 + m_i \leq R_0 + R - \Delta_3, \quad (8)$$

где $D_{ш}$ — максимальное значение диаметра прижимной шайбы или шкива;

m_i — отклонение от правильной формы в поперечном сечении i -го лесоматериала;

Δ_3 — запас на заточку пилы.

Возможный угол поворота механизма резания

$$\varphi_{в} = \min (\varphi_{вi}). \quad (9)$$

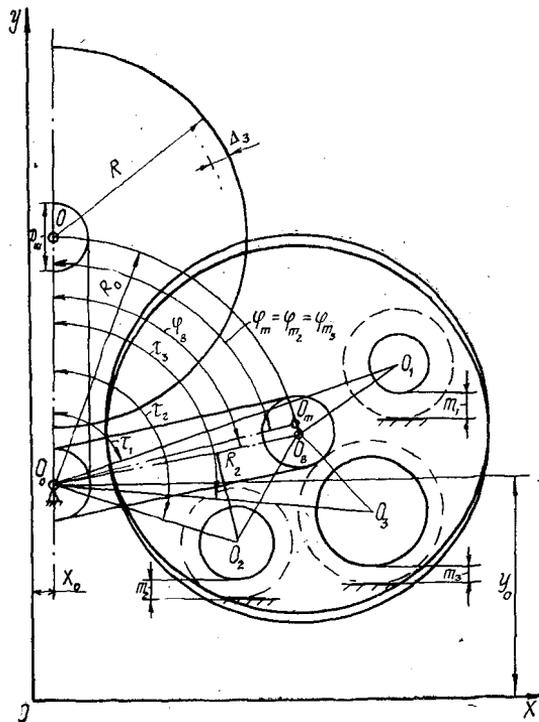
Здесь $\varphi_{вi}$ — возможный угол поворота механизма резания при раскряжевке отдельно i -го предмета труда.

Для случая

$$\sqrt{B_i^2 - [(d_i + D_{ш}) / 2 + m_i]^2} \leq R_0$$

имеем

Рис. 2



$$\varphi_{вi} = \arcsin \frac{X_i - X_0}{B_i} - \arcsin \left[\frac{(d_i + D_{ш})/2 + m_i}{B_i} \right].$$

Если это условие не выполняется, то

$$\varphi_{вi} = \arcsin \frac{X_i - X_0}{B_i} - \arccos \left\{ \frac{R_0^2 + B_i^2 - [(d_i + D_{ш})/2 + m_i]^2}{2R_0 B_i} \right\}. \quad (10)$$

Необходимый угол поворота механизма резания

$$\varphi_m = \max (\varphi_{m_i}), \quad (11)$$

где φ_{m_i} — необходимый угол поворота механизма резания при раскрывке отдельно i -го предмета труда.

Нетрудно доказать, что

$$\varphi_{m_i} = \arcsin \frac{X_i - X_0}{B_i} - \arccos \{ [R_0^2 + B_i^2 - (R - d_i/2 - m_i)^2 / 2R_0 B_i] \}. \quad (12)$$

Следовательно, раскрывка осуществима при условии

$$\varphi_m \leq \varphi_{в}. \quad (13)$$

Представляет также интерес определение наименьших (необходимых) параметров для конкретной ситуации раскрывки (радиусы пилы R_n и механизма подачи $R_{он}$):

$$R_n = \max (R_{ni}); \quad R_{он} = \max (R_{они}), \quad (14)$$

где $R_{ni}, R_{они}$ — необходимые радиусы пилы и механизма подачи пилы для раскрывки i -го лесоматериала при конкретной ситуации.

Радиусы R_{ni} и R_{0ni} при заданном угле φ_b определяются зависимостями:

$$R_{ni} = \sqrt{R_0^2 + B_i - 2R_0B_i \cos \left| \arcsin \left(\frac{X_i - X_0}{B_i} \right) - \varphi_b \right|} + d_i/2 + m_i; \quad (15)$$

$$R_{0ni} = B_i \sin [\pi - (\sigma_i + \beta_i)] / \sin \beta_i,$$

где $\sigma_i = \left| \arcsin \left(\frac{X_i - X_0}{B_i} \right) - \varphi_b \right|;$

$$\beta_i = \pi - \arcsin \{ (B_i \sin \sigma_i) / [R - (d_i/2 + m_i)] \}.$$

Исходя из представленной на рис. 3 расчетной схемы взаимодействия МРКВ с древесиной, видим, что с помощью крутящего момента M_{uk} осуществляется вращательное движение механизма резания:

$$M_{uk} = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^{Z_i} P_{rij} R_{ij} (\alpha_0 \sin \theta_{ij} \pm \cos \theta_{ij}) \right] - R_0 (G_1 + G_2/2) \sin \varphi \cos \nu + M_{dk}, \quad (16)$$

где M_u , M_d — крутящий и демпфирующий моменты подачи рамы механизма резания;

G_1 , G_2 — вес пилы и рамы соответственно.

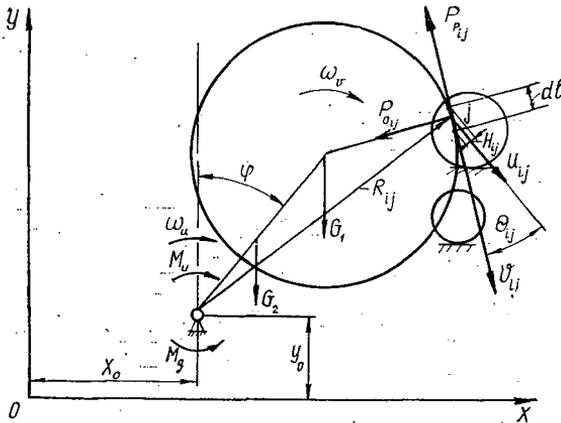


Рис. 3

Величины P_{oij} и P_{rij} , входящие в уравнение (16), находим по формулам:

$$P_{oij} = 0,2a_p^2 P_{rij}; \quad P_{rij} = K_{ij} (S_n + 2C) H_{ij} \frac{u_{ij}}{v_{ij}},$$

где

a_p — коэффициент, учитывающий затупляемость зубьев пилы;

$$K_{ij} = 8,5 \cdot 10^5 a_{ni} a_{wi} a_{ti} a_{ci} a_p / [u_{zij}^{0,15} (S_n + 2C)^{0,5}];$$

a_{ni} , a_{wi} , a_{ti} , a_{ci} — соответственно коэффициенты, учитывающие породу, влажность, температуру, сучковатость i -го предмета раскряжевки;

u_{zij} — подача на j -й зуб при раскряжевке i -го лесоматериала в определенный момент подачи;

$$u_{zij} = dl_{ij} / v_{ij};$$

$$v_{ij} = v_0 - 0,2v_0 [\varphi - \min(\varphi_{нi})][\max(\varphi_{кi}) - \min(\varphi_{нi})]^{-1} + \\ + 0,1v_0 [\varphi - \min(\varphi_{нi})][\max(\varphi_{кi}) - \min(\varphi_{нi})]^{-2} \left[\varphi - \frac{\max(\varphi_{кi}) + \min(\varphi_{нi})}{2} \right];$$

v_0 — скорость резания в начале раскряжевки.

Суммарная мощность механизма резания складывается из мощностей, затрачиваемых на резание ($N_{pк}$) и подачу ($N_{uк}$). В свою очередь, $N_{pк}$ и $N_{uк}$ определим по формулам:

$$N_{pк} = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^{Z_i} P_{p_{ij}} v_{ij} \right); \quad N_{uк} = M_{uк} \omega_u. \quad (17)$$

Выражение для определения скорости резания v_{ij} в зависимости от подачи механизма резания φ получено по интерполяционной формуле Ньютона с учетом результатов теоретических и экспериментальных исследований. При $\varphi = \min(\varphi_{нi})$ скорость резания равна v_0 , при $\varphi = 0,5 [\min(\varphi_{нi}) + \max(\varphi_{кi})]$ составляет $0,9v_0$, а при $\varphi = \max(\varphi_{кi})$ равна $0,85 v_0$.

Мощность двигателя N_v , приводящего во вращение пилу, согласно [1], определим по формуле

$$N_v = A_v / (t_{п} \eta_{п} K_{н}), \quad (18)$$

где A_v — работа сил, действующих на двигатель;
 $t_{п}$ — продолжительность пиления;
 $\eta_{п}$ — кпд привода;
 $K_{н}$ — коэффициент перегрузки двигателя.

Работу A_v найдем по формуле

$$A_v = \sum_{k=1}^{g_0} (N_{pк} d\varphi / \omega_u) - 1528,8 D_{п}^2 S_{п} S_0^2 \mathcal{E}_s (2 - \mathcal{E}_s), \quad (19)$$

где g_0 — необходимое количество шагов варьирования φ ;
 $D_{п}$ — диаметр пилы;
 \mathcal{E}_s — скольжение двигателя.

Мощность двигателя подачи пилы N_u выразим, как

$$N_u = A_u / (t_{п} \eta_u K_{н}). \quad (20)$$

Здесь A_u — работа двигателя,

$$A_u = \sum_{k=1}^{g_0} (N_{uк} d\varphi / \omega_u); \quad (21)$$

η_u — кпд подачи.

С учетом изложенного разработана программа расчета параметров механизма резания (МРКВ) для варианта подачи $\omega_u = \text{const}$.

Таким образом, математические зависимости (1)–(21) могут быть рекомендованы для обоснования и расчета параметров круглой пилы с вращательным (качательным) движением подачи при поштучной и пачковой раскряжевке лесоматериалов.

Разработанная программа МРКВ позволяет определять необходимые параметры механизма резания для конкретных производственных условий, исследовать процесс резания с учетом взаимодействия каждого элемента механизма резания с древесиной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Торопов А. С. Необходимая мощность привода пил большого диаметра при групповой раскряжке хлыстов // Лесн. журн.—1980.— № 5.— С. 96—100.— (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Торопов А. С. К определению параметров процесса раскряжки цепной пилой с вращательным движением подачи // Лесн. журн.—1988.— № 4.— С. 43—48.— (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 11 декабря 1990 г.

УДК 536.24

ТЕПЛООБМЕН И АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ШАХМАТНЫХ СТЕСНЕННЫХ ПУЧКОВ ИЗ ТРУБ С НАКАТНЫМИ РЕБРАМИ

В. Б. КУНТЫШ

Архангельский лесотехнический институт

Трубы с накатными алюминиевыми ребрами применяют в калориферах лесосушильных камер, паровых котлов, системах вентиляции и отопления промышленных цехов и зданий, в теплообменниках воздушного охлаждения технологических продуктов. При этом обеспечивается заметное улучшение массогабаритных характеристик аппарата и экономия цветного металла. Теплорекуператоры из подобных труб (коэффициент оребрения $\varphi = 11 \dots 16$; внутренний диаметр 35...38 мм) с насыщенной зоной охлаждения паровоздушной смеси (ПВС) используют в сушильной части бумаго- и картоноделательных машин [2]. Ограниченные потери напора ПВС в межтрубном пространстве удовлетворяются компоновкой оребренных труб в шахматном пучке со свободным поперечным S_1 и поджатым продольным S_2 шагами. При таком размещении наиболее загроможденным (сжатым) межтрубным сечением является диагональное. Шахматные пучки, удовлетворяющие этому условию, называются стесненными.

Теплоаэродинамические характеристики стесненных пучков оребренных труб мало изучены [5]. Существующие экспериментальные данные не позволяют с достаточной надежностью проверить возможность применения обобщенных уравнений подобия [1, 3, 5] шахматных компоновок к расчету конвективной теплоотдачи и аэродинамического сопротивления.

Цель настоящей работы — восполнить обнаруженные пробелы в проектировании компактных теплорекуператоров, что послужило основой при выборе геометрических размеров и характеристик объектов исследования.

Опыты проводили на биметаллических трубах Талинского машиностроительного завода им. Лауристана с накатными однозаходными алюминиевыми ребрами. Геометрические размеры ребер и трубы в мм: наружный диаметр ребра $d = 69,5$; высота $h = 14,8$; шаг $s = 3$; средняя толщина ребра $\Delta = 0,6$; диаметр трубы у основания ребра $d_0 = d - 2h = 39,9$; $\varphi = 14,67$. Из этих труб собирали шахматные шестирядные пучки I—V, обтекаемые снаружи перпендикулярным потоком воздуха. При этом $S_1 = 133$ мм, что соответствует относительному поперечному шагу $\sigma_1 = S_1/d = 1,914$. Пучки устанавливали вертикально в центре рабочего участка сечением 400×400 мм разомкнутой аэродинамической трубы [4]. Теплоотдачу изучали локальным тепловым моделированием при помощи парозлектрического калориметра с температурой кипения воды ≈ 100 °С.

Методика исследования и обработки опытных данных изложена в работе [4]. Полученные геометрические характеристики пучков приведены в табл. 1.