

Региональная таблица объемов опробована с помощью контрольных измерений бревен в лесу. Длина бревен 1,0 ... 6,1 м соответствовала длинам сортиментов, вырабатываемых предприятиями. Результаты измерений приведены в табл. 4.

Таблица 4

Порода бревен	Число измеренных бревен, шт.	Объем бревен, м <sup>3</sup>			Отклонение	
		расчетный Q	по ГОСТ 2708-75 Q	табличный Q <sub>1</sub>	Q <sub>1</sub> - Q, м <sup>3</sup>	%
Ель	433	51,129	46,574	50,852	- 0,277	- 0,54
Сосна	320	52,037	50,428	52,257	+0,220	+0,42
Береза	465	48,339	47,219	48,471	+0,132	+0,30
Осина	216	48,855	50,782	48,573	- 0,282	- 0,58
Итого	1434	200,360	195,003	200,153	- 0,207	- 0,10

Ошибка в измерении объема бревен по настоящей таблице не превышает допустимой точности  $\pm 3\%$ .

В настоящее время региональная таблица объемов круглых лесоматериалов находится в стадии внедрения на предприятиях, ведущих заготовку леса в границах Карпогорского, Холмогорского и Емецкого лесхозов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Леонтьев Н. Л. Техника статистических вычислений. - 2-е изд., дополн. - М.: Лесн. пром-сть, 1966. - 250 с. [2]. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. - М.: Наука, 1971. [3]. ОСТ 13-303-92. Лесоматериалы круглые. Методы поштучного измерения объема.- М., 1992.

Поступила 4 апреля 1994 г.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.8 : 631.571.004.8

*В. Е. ВОСКРЕСЕНСКИЙ*

С.-Петербургская лесотехническая академия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ  
ПРИ ОТДЕЛЕНИИ ЛУБА ОТ БЕРЕСТЫ ФРЕЗЕРОВАНИЕМ

Получены зависимости для определения мощности, расходуемой в процессе отделения луба от бересты приводами фрезерующего и подающего роторов.

The functions for determining power consumption in the process of milling-and-feeding rotor-driven separation of bast from birch bark have been derived.

Одним из основных показателей, характеризующих эксплуатационные затраты и эффективность работы установки для отделения луба от бересты [1], являются ее энергозатраты.

В данной статье получены зависимости для определения мощности, расходуемой приводами фрезерующего  $N_{\phi\Sigma}$  и подающего  $N_{п\Sigma}$  роторов при отделении луба от бересты с вращательной подачей рабочей фракции коры (РФК) и одновременным фрезерованием луба и бересты (рис. 1).

Мощность, расходуемая приводом ротора:

фрезерующего

$$N_{\phi\Sigma} = (N_{\phi} + N_{\tau1}) / \eta_1 ; \tag{1}$$

подающего

$$N_{п\Sigma} = (N_{п} + N_{\tau2}) / \eta_2 , \tag{2}$$

где  $N_{\phi}$ ,  $N_{п}$  – активная мощность фрезерования и подачи, кВт;

$N_{\tau1}$ ,  $N_{\tau2}$  – мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения в подшипниках фрезерующего и подающего роторов, кВт;

$\eta_1$ ,  $\eta_2$  – КПД приводов фрезерующего и подающего роторов.

Активная мощность [2]:

фрезерования

$$N_{\phi} = 10^{-3} F_x \text{окр} v_1 ; \tag{3}$$

подачи

$$N_{п} = 10^{-3} F_{п} v_2 , \tag{4}$$

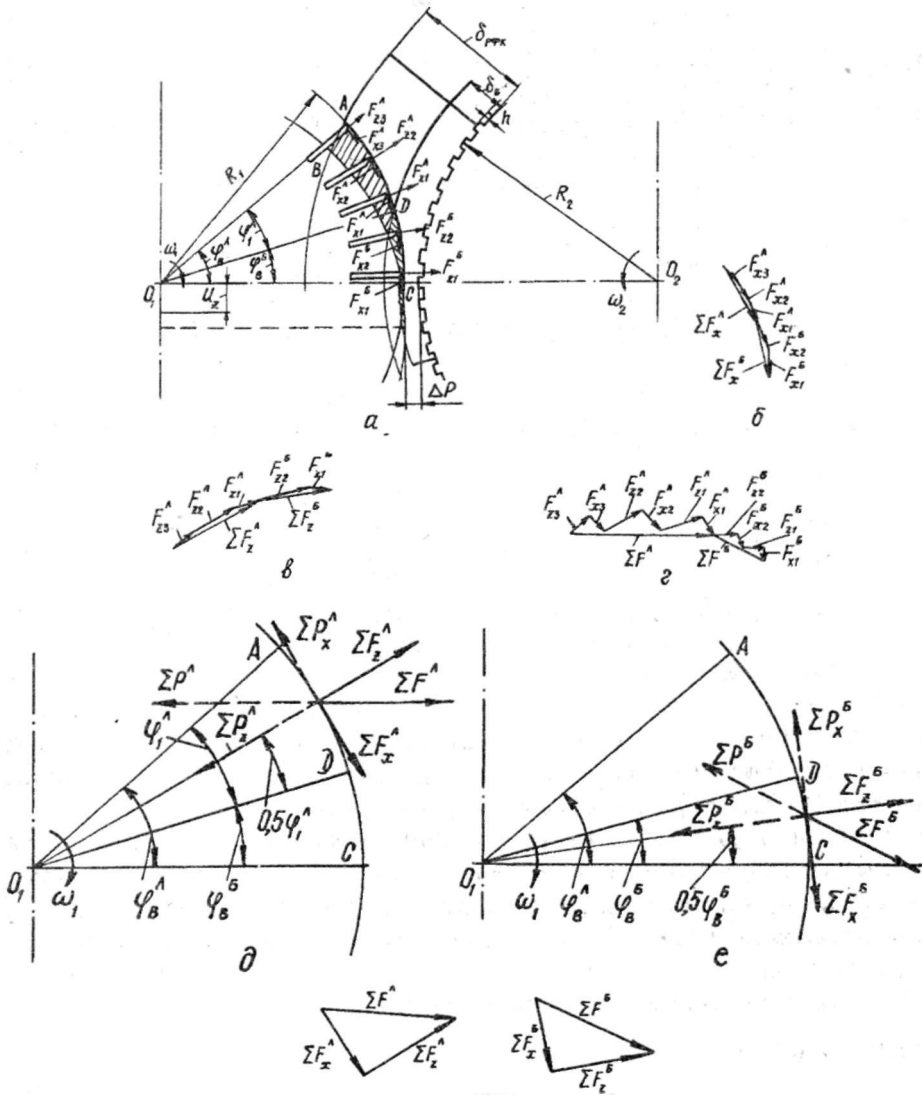


Рис. 1. Силовое воздействие группы ножей фрезерующего ротора на луб (Л) и бересту (Б) РФК в отделяющих роторах: а – касательные  $F_{x(i)}^A, F_{x(i)}^B$  и нормальные  $F_{z(i)}^A, F_{z(i)}^B$  составляющие силы резания; б – равнодействующая касательных составляющих сил резания  $\Sigma F_x^A, \Sigma F_x^B$ ; в – равнодействующая нормальных составляющих сил резания  $\Sigma F_z^A, \Sigma F_z^B$ ; г – суммарная сила резания  $\Sigma F^A, \Sigma F^B$ ; д – суммарная сила резания луба  $\Sigma F^A$  с составляющими  $\Sigma F_x^A, \Sigma F_z^A$  и сила сопротивления резанию луба  $\Sigma P^A$  с составляющими  $\Sigma P_x^A, \Sigma P_z^A$  приведенные к среднему углу контакта ножей  $\varphi_{ср}^A = 0,5 \varphi_1^A$ ; е – сила резания бересты  $\Sigma F^B$  и ее составляющие  $\Sigma F_x^B, \Sigma F_z^B$ , приведенные к среднему углу выхода  $\varphi_{ср}^B = 0,5 \varphi_2^B$ ; ж – силовые треугольники, показывающие направление действия сил сопротивления резанию  $\Sigma P^A, \Sigma P^B$

где  $F_{x \text{ окр}}$  – средняя окружная касательная сила резания, Н,

$$F_{x \text{ окр}} = F_{x \text{ ср}} \frac{l z_1}{2\pi R_1} = F_{x \text{ ср}} \frac{\varphi_b z_1}{2\pi}; \quad (5)$$

$F_{x \text{ ср}}$  – среднее значение мгновенной касательной силы резания на дуге резания, Н;

$l$  – длина дуги резания, мм;

$z_1$  – число ножей фрезы;

$R_1$  – радиус вершины ножей фрезы, мм;

$\varphi_b$  – угол выхода ножа, рад;

$F_n = \Sigma F$  – сила подачи РФК, Н;

$\Sigma F$  – суммарная сила резания, Н,

$$\Sigma F = \sqrt{F_{x \text{ ср}}^2 + F_{z \text{ ср}}^2}; \quad (6)$$

$F_{z \text{ ср}}$  – среднее значение нормальной составляющей силы резания на дуге резания, Н;

$v_1, v_2$  – скорость резания при фрезеровании и скорость подачи РФК, м/с.

Однако фрезерование луба в отделяющих роторах при вращательной подаче РФК [1] и использовании профиля рабочей поверхности подающего ротора (рис. 1) по сравнению с фрезерованием древесных материалов и поступательной подачей [2] имеет следующие особенности, которые необходимо учитывать в процессе определения сил резания  $F_{x \text{ окр}}$  и  $\Sigma F$ . При наличии условия  $\delta_b > \Delta_p$  ( $\delta_b$  – толщина бересты;  $\Delta_p$  – рабочий зазор в отделяющих роторах) и подпоре на бересту со стороны подающего ротора одновременно с фрезерованием луба происходит частичное фрезерование приграничного с лубом слоя бересты, что необходимо учитывать для нахождения средней силы резания:

касательной окружной

$$F_{x \text{ окр}} = F_{x \text{ окр}}^{\text{л}} + F_{x \text{ окр}}^{\text{б}}; \quad (7)$$

суммарной

$$\Sigma F = \Sigma F_{\text{ср}}^{\text{л}} + \Sigma F_{\text{ср}}^{\text{б}}, \quad (8)$$

где  $F_{x \text{ окр}}^{\text{л}}, F_{x \text{ окр}}^{\text{б}}$  – средняя касательная окружная сила резания луба и бересты, Н;

$\Sigma F_{\text{ср}}^{\text{л}}, \Sigma F_{\text{ср}}^{\text{б}}$  – суммарная средняя сила резания луба и бересты, Н.

2. На дуге резания  $\cup AC$  несколько ножей одновременно участвуют в фрезеровании луба

$$z_1^{\text{л}} = \frac{l_1}{S_1} = \frac{R_1 \varphi_1^{\text{л}}}{S_1} = \frac{R_1 (\varphi_b^{\text{л}} - \varphi_b^{\text{б}})}{S_1}; \quad (9)$$

бересты

$$z_1^b = \frac{l_b}{S_1} = \frac{R_1 \varphi_1^b}{S_1}, \quad (10)$$

где  $z_1^л, z_1^б$  – число одновременно режущих ножей при фрезеровании луба и бересты;

$l_л, l_б$  – длина дуги резания луба и бересты, мм,  $l_л = \cup AD$ ;  
 $l_б = \cup DC$ ;

$S_1$  – длина дуги окружности между соседними ножами, мм;

$R_1$  – радиус вершины ножей фрезерующего ротора, мм;

$\varphi_1^л$  – угол контакта ножей с лубом, соответствующий дуге резания  $\cup AD$ , рад;

$\varphi_в^л, \varphi_в^б$  – угол выхода ножа при резании луба и бересты, рад.

Угол выхода ножа при резании:

луба [1]

$$\varphi_в^л = \sqrt{\frac{(R_2 + \delta_{р\text{ФК}} - h)^2 - (R_2 + \Delta_p)^2}{R_1(R_1 + R_2 + \Delta_p)}}; \quad (11)$$

бересты [1]

$$\varphi_в^б = \sqrt{\frac{(R_2 + \delta_г - h)^2 - (R_2 + \Delta_p)^2}{R_1(R_1 + R_2 + \Delta_p)}} \quad (12)$$

Угол контакта ножей с лубом

$$\varphi_1^л = \sqrt{\frac{(R_2 + \delta_{р\text{ФК}} - h)^2 - (R_2 + \delta_с - h)^2}{R_1(R_1 + R_2 + \Delta_p)}} \quad (13)$$

где  $R_2$  – радиус выступов подающего ротора, мм;

$\delta_{р\text{ФК}}$  – толщина РФК, мм;

$h$  – глубина пазов рабочей поверхности подающего ротора, мм.

3. Число одновременно режущих ножей  $z_1^л$  и  $z_1^б$  на дугах резания  $\cup AD$  и  $\cup DC$  необходимо учитывать при определении

$F_{\text{л о к р}}^л, F_{\text{л о к р}}^б, \Sigma F_{\text{ср}}^л, \Sigma F_{\text{ср}}^б$ .

С учетом замены в (3)  $z_1 = \frac{2\pi R_1}{S_1}$  получаем следующие выра-

жения для определения средней касательной окружной силы резания при фрезеровании:

луба ( $\varphi_1^n = \varphi_b^n - \varphi_b^b$ )

$$F_{\text{х ок р}}^n = F_{\text{х ср}}^n \frac{R_1 \varphi_1^n}{S_1} = F_{\text{х ср}}^n z_1^n; \quad (14)$$

бересты ( $\varphi_1^b = \varphi_b^b$ )

$$F_{\text{х ок р}}^b = F_{\text{х ср}}^b \frac{R_1 \varphi_1^b}{S_1} = F_{\text{х ср}}^b z_1^b. \quad (15)$$

Суммарная средняя сила резания при фрезеровании:

луба

$$\begin{aligned} \sum F_{\text{ср}}^n &= z_1^n \sqrt{(F_{\text{х ср}}^n)^2 + (F_{\text{з ср}}^n)^2} = z_1^n \sqrt{(F_{\text{х ср}}^n)^2 + (m_n F_{\text{х ср}}^n)^2} = \\ &= z_1^n F_{\text{х ср}}^n \sqrt{1 + m_n^2} = z_1^n F_{\text{х ср}}^n K_3 = F_{\text{х ок р}}^n K_3; \end{aligned} \quad (16)$$

бересты

$$\begin{aligned} \sum F_{\text{ср}}^b &= z_1^b \sqrt{(F_{\text{х ср}}^b)^2 + (F_{\text{з ср}}^b)^2} = z_1^b \sqrt{(F_{\text{х ср}}^b)^2 + (m_b F_{\text{х ср}}^b)^2} = \\ &= z_1^b F_{\text{х ср}}^b \sqrt{1 + m_b^2} = z_1^b F_{\text{х ср}}^b K_4 = F_{\text{х ок р}}^b K_4, \end{aligned} \quad (17)$$

где  $F_{\text{х ср}}^n, F_{\text{х ср}}^b$  – среднее значение нормальной составляющей силы фрезерования луба и бересты, Н;

$m_n, m_b$  – коэффициент пропорциональности для луба и бересты;

$$K_3 = \sqrt{1 + m_n^2}; \quad (18)$$

$$K_4 = \sqrt{1 + m_b^2}. \quad (19)$$

4. При определении среднего значения мгновенной касательной составляющей силы резания луба  $F_{\text{х ср}}^n$  и бересты  $F_{\text{х ср}}^b$  для условий вращательной подачи РФК и подпоре на бересту со стороны подающего ротора (рис. 1) необходимо учитывать следующее:

а) увеличение толщины снимаемой стружки за счет вращательной подачи путем введения в расчет [1] коэффициента

$$K = (R_1 + R_2) / R_2; \quad (20)$$

б) деление дуги резания  $\cup AC$  на две части:

$\cup AD$  – фрезерование луба с углом контакта  $\varphi_1^n = \varphi_b^n - \varphi_b^b$ ;

$\cup DC$  – фрезерование бересты с углом контакта  $\varphi_1^b = \varphi_b^b$ ;

в) наличие переменных сил  $F_{\text{х ср}}^n$  и  $F_{\text{х ср}}^b$  от одновременно режущих ножей  $z_1^n$  и  $z_1^b$  на соответствующих дугах резания;  $F_{\text{х ср}}^n$

и  $F_{\text{х ср}}^b$  рассчитаны по средней толщине стружки  $a_{\text{ср}}$  и среднему углу контакта  $\varphi_{\text{ср}}$ , который при фрезеровании луба равен  $\varphi_1 / 2$  и бересты –  $\varphi_b / 2$ .

С учетом указанных особенностей среднее значение мгновенной касательной силы резания при фрезеровании принимает следующий вид:

для луба ( $\cup AD$ )

$$F_{x\text{cp}}^n = F_{\text{уд}}^n B a_{\text{cp}}^n = K F_{\text{уд}}^n B u_z \frac{\varphi_1^n}{2}; \quad (21)$$

для бересты ( $\cup DC$ )

$$F_{x\text{cp}}^b = F_{\text{уд}}^b B a_{\text{cp}}^b = K F_{\text{уд}}^b B u_z \frac{\varphi_b^b}{2}, \quad (22)$$

где  $F_{\text{уд}}^n$  и  $F_{\text{уд}}^b$  – удельная сила резания луба и бересты, Н/мм<sup>2</sup>;

$B$  – ширина фрезерования, мм,

$$B = 0,5 L K_1; \quad (23)$$

0,5 – коэффициент, учитывающий наличие в установке двух пар отделяющих роторов;

$L$  – длина рабочей пары отделяющих роторов, мм;

$K_1$  – коэффициент, учитывающий заполнение РФК подающего ротора по его длине в пределах  $0,5L$ ;

$u_z$  – продольная подача РФК на один нож, мм,

$$u_z = \frac{v_z}{v_1} t_1; \quad (24)$$

$t_1$  – шаг расположения ножей в фрезерующем роторе, мм,  $t_1 \approx S_1$ .

После подстановки значений (21) и (22) соответственно в (14) и (15) получаем выражения для определения средней касательной окружной силы резания при фрезеровании:

луба

$$F_{x\text{окр}}^n = K F_{\text{уд}}^n B u_z \frac{R_1 (\varphi_1^n)^2}{2S_1}; \quad (25)$$

бересты

$$F_{x\text{окр}}^b = K F_{\text{уд}}^b B u_z \frac{R_1 (\varphi_b^b)^2}{2S_1}. \quad (26)$$

После подстановки (25) и (26) соответственно в (16) и (17) имеем суммарную среднюю силу резания при фрезеровании:

луба

$$\sum F_{\text{cp}}^n = K_3 K F_{\text{уд}}^n B u_z \frac{R_1 (\varphi_1^n)^2}{2S_1}; \quad (27)$$

бересты

$$\sum F_{\text{cp}}^b = K_3 K F_{\text{уд}}^b B u_z \frac{R_1 (\varphi_b^b)^2}{2S_1}. \quad (28)$$

После подстановки (25), (26) и (27), (28) соответственно в (7) и (8) при одновременном фрезеровании луба и бересты получаем среднюю силу резания:

касательную окружную

$$F_{x_{окр}} = K B u_z \frac{R_1}{2S_1} \left[ F_{уд}^n (\varphi_1^n)^2 + F_{уд}^b (\varphi_b^b)^2 \right]; \quad (29)$$

суммарную

$$\sum F = K B u_z \frac{R_1}{2S_1} \left[ K_3 F_{уд}^n (\varphi_1^n)^2 + K_4 F_{уд}^b (\varphi_b^b)^2 \right]. \quad (30)$$

Подставив (29), (30) соответственно в (3), (4) с учетом (23), получаем выражение для определения активной мощности для одной пары отделяющих роторов:

при фрезеровании луба и бересты

$$N_{\phi} = 0,5 \cdot 10^{-3} K K_1 K_2 v_1 \frac{u_z L R_1}{2S_1} \left[ F_{уд}^n (\varphi_1^n)^2 + F_{уд}^b (\varphi_b^b)^2 \right]; \quad (31)$$

при вращательной подаче РФК

$$N_n = 0,5 \cdot 10^{-3} K K_1 K_2 v_2 \frac{u_z L R_1}{2S_1} \left[ K_3 F_{уд}^n (\varphi_1^n)^2 + K_4 F_{уд}^b (\varphi_b^b)^2 \right]. \quad (32)$$

Мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения в подшипниках ротора: фрезерующего

$$N_{T1} = 10^{-3} T_{T1} \omega_1; \quad (33)$$

подающего

$$N_{T2} = 10^{-3} T_{T2} \omega_2, \quad (34)$$

где  $T_{T1}, T_{T2}$  – моменты трения в подшипниках фрезерующего и подающего роторов, Н·м,

$$T_{T1} = 0,5 \cdot 10^{-3} F_{r1} f_r d_1; \quad (35)$$

$$T_{T2} = 0,5 \cdot 10^{-3} F_{r2} f_r d_2; \quad (36)$$

$F_{r1}, F_{r2}$  – результирующая сила, действующая на подшипники фрезерующего и подающего роторов, Н (рис. 2, в, з);

$f_r$  – условный коэффициент трения, приведенный к посадочному диаметру внутреннего кольца подшипника (для радиальных подшипников с цилиндрическими роликами – 0,0010, с шариками – 0,0015);

$d_1, d_2$  – посадочный диаметр внутреннего кольца подшипника вала фрезерующего и подающего роторов, мм,  $d_1 = d_2 = d$ ;

$\omega_1, \omega_2$  – угловые скорости фрезерующего и подающего роторов, рад/с.

Для определения результирующих сил  $F_{r1}, F_{r1}$  приводим составляющие сил сопротивления резанию луба  $\sum P^n$  и бересты  $\sum P^b$  к валу фрезерующего ротора (рис. 2, а), а составляющие сил резания луба  $\sum F_{ср}^n$  и бересты  $\sum F_{ср}^b$  к валу подающего ротора (рис. 2, б). Силы тяжести  $G_1$  и  $G_2$  приложим к подшипникам вала фрезерующего и подающего роторов.



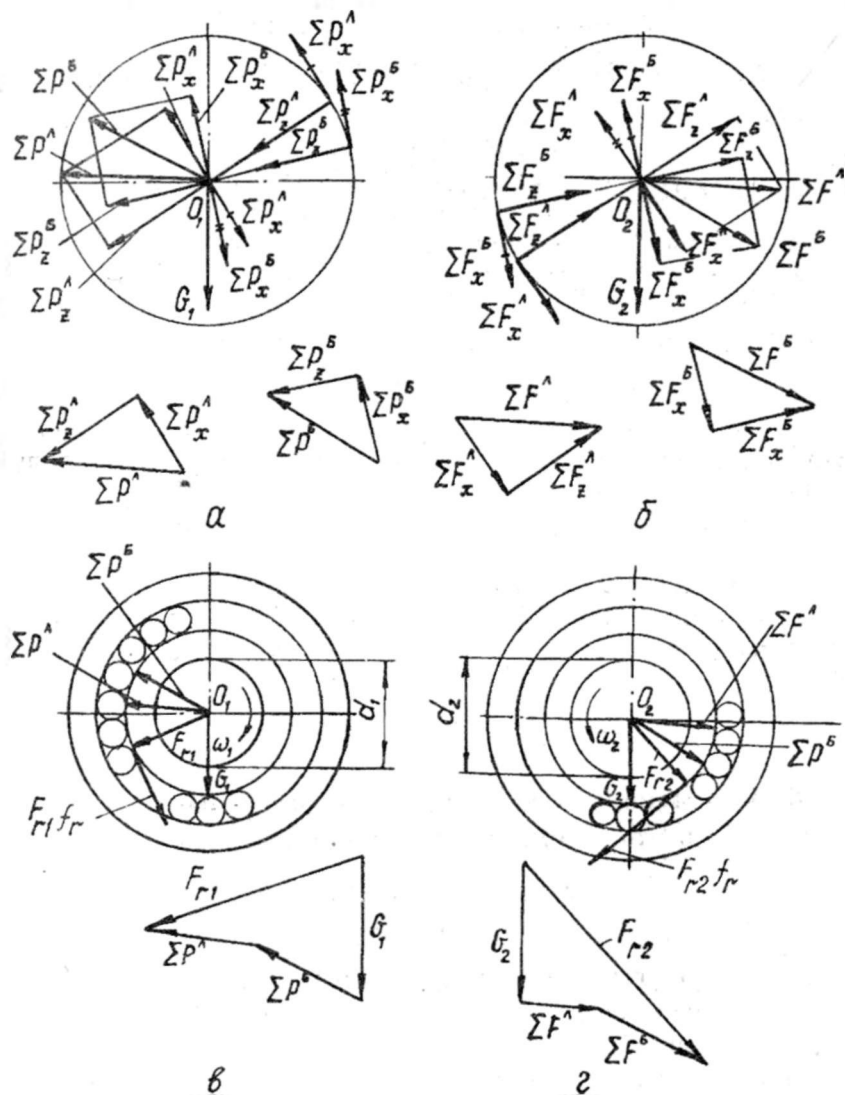


Рис. 2. Силы, приведенные к валу (а, б), и силы трения в подшипниках отделяющих роторов (в, з): а, в – фрезерующий ротор; б, з – подающий ротор

Из рис. 2, в, з и приведенных на них многоугольников сил следует

$$F_{r1} = G_1 - (\Sigma P_{cp}^n + \Sigma P_{cp}^b); \quad (37)$$

$$F_{r1} = G_2 + (\Sigma F_{cp}^n + \Sigma F_{cp}^b), \quad (38)$$

где  $G_1, G_2$  – сила тяжести фрезерующего и подающего роторов, Н,

$$G_1 = m_{p1} g; \quad (39)$$

$$G_2 = m_{p2} g; \quad (40)$$

$m_{p1}, m_{p2}$  – масса фрезерующего и подающего роторов, кг;  
 $g$  – ускорение силы тяжести,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ;

$\sum P_{c.p.}^n, \sum P_{c.p.}^b$  – суммарная средняя сила сопротивления резанию луба и бересты, Н,

$$\sum P_{c.p.}^n = -\sum F_{c.p.}^n; \quad \sum P_{c.p.}^b = -\sum F_{c.p.}^b$$

Проверочные расчеты показывают, что

$$(\sum P_{c.p.}^n + \sum P_{c.p.}^b) \ll G_1; \quad (\sum F_{c.p.}^n + \sum F_{c.p.}^b) \ll G_2.$$

С учетом этого можно принять

$$F_{r1} \approx G_1 = m_{p1}g; \quad (41)$$

$$F_{r2} \approx G_2 = m_{p2}g. \quad (42)$$

После подстановки (41), (42) соответственно в (35), (36) и далее в (33), (34) с учетом замены  $\omega_1 = v_1/R_1$  (43) и  $\omega_2 = v_2/R_2$  (44) получаем следующие уравнения для определения мощности трения в подшипниках роторов: фрезерующего

$$N_{r1} = 0,5 \cdot 10^{-3} m_{p1} g f_r d \frac{v_1}{R_1}; \quad (45)$$

подающего

$$N_{r2} = 0,5 \cdot 10^{-3} m_{p2} g f_r d \frac{v_2}{R_2}. \quad (46)$$

После подстановки (31), (32) и (45), (46) соответственно в (1) и (2) с учетом (20), (24) имеем выражения для определения расходуемой приводами роторов мощности: фрезерующего

$$N_{\Phi\Sigma} = 0,5 \cdot 10^{-3} \frac{v_1}{\eta_1 R_1} \left\{ K_1 K_2 \frac{L R_1^2 (R_1 + R_2) v_2}{2 R_2 v_1} [F_{y\lambda}^n (\varphi_1^n)^2 + F_{y\lambda}^b (\varphi_b^b)^2] + m_{p1} g f_r d \right\}; \quad (47)$$

подающего

$$N_{n\Sigma} = 0,5 \cdot 10^{-3} \frac{v_2}{\eta_2 R_2} \left\{ K_1 K_2 \frac{L R_1 (R_1 + R_2) v_2}{2 v_1} [K_3 F_{y\lambda}^n (\varphi_1^n)^2 + K_4 F_{y\lambda}^b (\varphi_b^b)^2] + m_{p2} g f_r d \right\}. \quad (48)$$

### Выводы

1. Полученные зависимости для определения мощности, расходуемой приводами фрезерующего  $N_{\Phi\Sigma}$  и подающего  $N_{n\Sigma}$  роторов, позволяют без проведения эксперимента определять энергозатраты при различных режимах работы и параметрах отделяющих роторов.

2. Мощность, расходуемая приводами фрезерующего и подающего роторов, прямо пропорциональна произведению управляемых конструктивных параметров  $R_1(R_1+R_2)$  и обратно пропорциональна  $R_2$ .