

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ СТОВБУРА ДЕРЕВА ПІД ЧАС ЗВАЛЮВАННЯ

Виконано аналіз напруженого стану стовбура дерева під час звалювання. Визначено зусилля, які необхідно прикласти гідроклином або елементами звалювальних машин для звалювання дерева в заданому напрямі, наведено рекомендації для вибору основних параметрів гідроклина.

Assoc. prof. V.V. Gomonay – NUFWT of Ukraine, L'viv

The analysis of the stress state of a tree when it is being felled

There has been analyzed the stress state of a tree when it is being felled. Determined are the efforts which are necessary to apply by a hydrowedge or elements of felling machines in order to fell the tree in the required direction. Also, there have been given recommendation for choosing main characteristics of the hydrowedge.

Звалювання дерев є трудомісткою та небезпечною операцією, яка вимагає від звалювальника високої кваліфікації та уваги [1-3]. Для забезпечення повної безпеки звалювальник повинен виконувати направлене звалювання дерев надійним звалювальним засобом. Стовбури дерев, як правило, не є вертикальними, а крони не симетричними відносно стовбура, тому важливо дослідити напружений стан стовбура і правильно вибрати зусилля, які прикладені спеціальними елементами для забезпечення направленого звалювання дерева та досягнення мінімального сколювання в площині зрізу дерева при його падінні. Величини моментів, необхідні для звалювання дерева, визначено в роботах [1, 2].

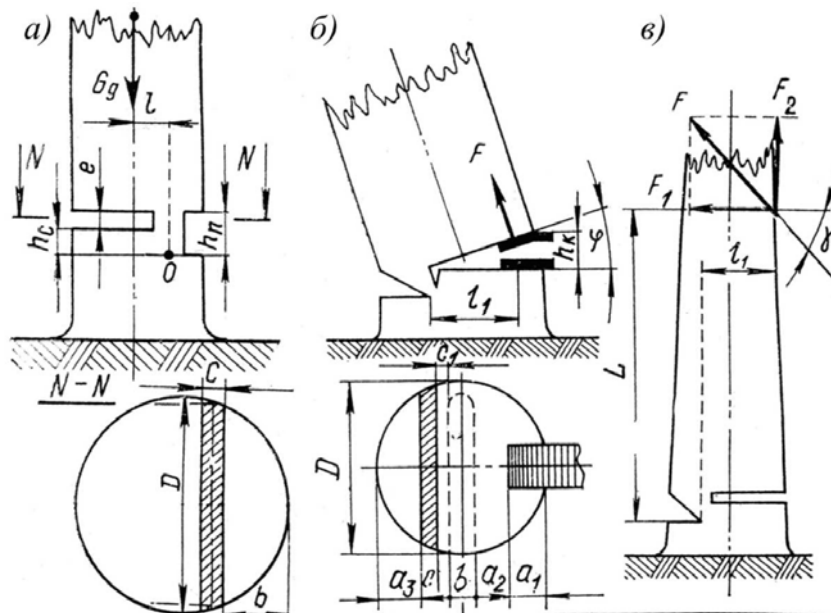


Рис. 1. Розрахункові схеми стовбура дерева при зрізанні: а – схема для визначення моменту, створюваного недорізом дерева; б – схема для звалювання дерева звалювальним засобом, що діє в площині зрізання; в – схема для визначення моменту, створюваного звалювальною вилкою

Розрахункову схему при зрізанні дерева представлено на рис. 1.

Припустимо, що при повалі зрізаного дерева зусилля діють у площині руху осі стовбура під час падіння. Тоді в поперечному перерізі стовбура виникають нормальні напруження, які можна визначити з залежності [3].

$$G = \frac{M_{32} \cdot y^*}{I_{xc}}, \quad (1)$$

де: M_{32} – згинальний момент, що виникає в поперечному перерізі стовбура під дією зовнішніх сил; y^* – координата точки поперечного перерізу, в якій визначаються напруження; I_{xc} – момент інерції поперечного перерізу відносно центральної осі.

На величину напружень, як видно з формули (1), в основному впливає згинальний момент і момент інерції перерізу, який змінюється в процесі зрізування дерева. Згинальний момент залежить від величини зовнішніх зусиль, що діють на дерево, і може бути визначений на основі розрахункової схеми (рис. 1) з умови рівноваги всіх сил. Попереднє напруження деревини створюється зіштовхуючим засобом.

Згинальний момент, що виникає у небезпечному перерізі дерева при зрізанні, визначається як сума моментів, що діють у протилежному напрямку падіння дерева:

$$M_{32} = M_{\partial} + M_{\epsilon} + M_n, \quad (2)$$

де: M_{∂} – момент, що створюється вагою наземної частини дерева; M_{ϵ} – момент, створений вітровим навантаженням; M_n – момент, створений недорізом стовбура.

$$M_{\partial} = \pm G_{\partial} \cdot l, \quad (3)$$

де: M_{∂} – вага наземної частини дерева; l – віддаль від осі обертання наземної частини дерева до напрямку дії рівнодіючої від ваги дерева.

Знак "–" приймається для дерева, що має нахил у бік зіштовхування.

Для прямого стовбура l визначається із залежностей:

$$\text{або} \quad \left. \begin{aligned} l &= \frac{D}{2} - b - c/2 \\ l &= 0.5(D - c - 2b) \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

де: D – діаметр стовбура в площині зрізання дерева; c – середня ширина недорізу; b – глибина підпили.

$$M_B = P_w \cdot h_g, \quad (5)$$

де: h_g – віддаль від площини зрізання до напрямку дії рівнодіючої від сили вітру P_w :

$$h_g = H_g - 0,5 H_k, \quad (6)$$

де: H_g – висота дерева; H_k – висота крони, що залежить від породи та висоти дерева.

Рівнодіюча сили вітру може бути визначена з залежності [1]:

$$P_w = S_k \cdot c_k \cdot \rho_b \cdot \frac{v_b}{2} k_g \cdot g, \quad (7)$$

де: S_k – площа лобового опору крони; c_k – коефіцієнт лобового опору, $c_k = 1,11c^2/m$; ρ_b – густина повітря, $\rho_b = 0,125 \text{ кг/м}^3$; v_b – швидкість вітру, м/с; k_g – коефіцієнт, що враховує динамічний характер вітрового навантаження, $k_g = 1,2$; g – прискорення вільного падіння.

Площа лобового опору дорівнює:

$$S_k = \xi_\phi \cdot \xi_z \cdot D_{кр} \cdot H_k, \quad (8)$$

де: ξ_ϕ – коефіцієнт форми крони (0,5-0,8); ξ_z – коефіцієнт густоти крони (0,1-0,2 – взимку; 0,5-0,75 – влітку); $D_{кр}$ – умовний діаметр крони за середнім перерізом ($D_{кр} = (0,25 \dots 0,6 H_k)$).

Момент, що створюється недорізом стовбура, може бути визначений з залежності [2]:

$$M_n = \frac{E \cdot c^3}{3(h_c + h_n)} \sqrt{\frac{D}{\cos \beta} \cdot \left(b + \frac{c}{2}\right) - \left(b + \frac{c}{2}\right)^2} \cdot \gamma, \quad (9)$$

де: E – модуль пружності при статичному згині дерева вздовж волокон; h_n – висота підпили; γ – кут відхилення осі стовбура дерева від першочергового положення при його звалюванні.

Визначаємо положення центральної осі перерізу з залежності:

$$\begin{aligned} y_c &= \frac{y_1 \cdot A_1 - y_2 \cdot A_2}{A_1 - A_2} = - \frac{\frac{2D \cdot \sin^3 \alpha}{3(2\alpha - \sin 2\alpha)} \cdot A_2}{\frac{\pi D^2}{4} - \frac{D^2}{2}(2\alpha - \sin 2\alpha)} = \frac{-2D \cdot \sin^3 \alpha \cdot A_2}{\frac{D^2}{4}(\pi - 2 \cdot (2\alpha - \sin 2\alpha)) \cdot 3(2\alpha - \sin 2\alpha)} = \\ &= \frac{-8 \cdot \sin^3 \alpha \cdot A_2}{3D \cdot (2\alpha - \sin 2\alpha) \cdot [\pi - 2(2\alpha - \sin 2\alpha)]} = \frac{-8 \cdot \sin^3 \alpha \cdot A_2}{6D(2\alpha - \sin 2\alpha) \cdot [\pi/2 - 2\alpha - \sin 2\alpha]} = \\ &= \frac{-4}{3} \frac{\sin^3 \alpha \cdot \frac{D^2}{8}(2\alpha - \sin 2\alpha)}{D \cdot (2\alpha - \sin 2\alpha) \cdot [\pi/2 - 2\alpha - \sin 2\alpha]} = \frac{-D \cdot \sin^3 \alpha}{6(0,5\pi - 2\alpha - \sin 2\alpha)}, \end{aligned}$$

де A_1 і A_2 – площі відповідно масивної і зрізаної частини перерізу дерева.

Момент інерції змінюється в процесі зрізання і може бути визначений на основі розрахункової схеми рис. 2.

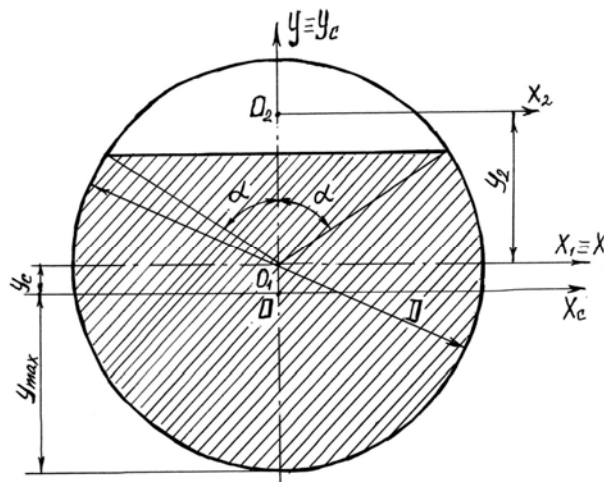


Рис. 2. Схема поперечного перерізу дерева при зрізанні

Момент інерції такого перерізу можна визначити за виразом:

$$I_{xc} = I_{xc}^I - I_{xc}^{II}, \quad (11)$$

$$I_{xc}^I = \frac{\pi D^4}{64} + y_c^2 \cdot A_1 = \frac{\pi D^4}{64} + \frac{D^2 \cdot \sin^6 \alpha \cdot \pi D^2}{36 \cdot (0,5\pi - 2\alpha - \sin \alpha)^2 \cdot 4} =$$

$$= \frac{\pi D^4}{16} \left(\frac{1}{4} + \frac{\sin^6 \alpha}{9(0,5\pi - 2\alpha - \sin \alpha)^2} \right). \quad (12)$$

$$I_{xc}^{II} = 2D^4 (2\alpha - \sin 2\alpha + 4 \cos \alpha \cdot \sin^3 \alpha) + \left(\frac{2D \cdot \sin^3 \alpha}{3 \cdot (2\alpha - \sin 2\alpha)} + \frac{D \cdot \sin^3 \alpha}{6(0,5\pi - 2\alpha - \sin 2\alpha)} \right)^2 \times$$

$$\times \frac{D^2}{8} \cdot (2\alpha - \sin 2\alpha) = \frac{D^4}{16} \cdot (2\alpha - \sin 2\alpha + 4 \cos \alpha \cdot \sin^3 \alpha) + \frac{D^2 \sin^6 \alpha}{36} \times$$

$$\times \left(\frac{4}{2\alpha - \sin 2\alpha} + \frac{1}{0,5\pi - 2\alpha - \sin 2\alpha} \right)^2 \cdot \frac{D^2}{8} (2\alpha - \sin 2\alpha) =$$

$$= \frac{D^4}{16} \left[(2\alpha - \sin 2\alpha + 4 \cos \alpha \cdot \sin^3 \alpha) + \frac{\sin^6 \alpha}{18} \left(\frac{4}{2\alpha - \sin 2\alpha} + \frac{1}{0,5\pi - 2\alpha - \sin 2\alpha} \right)^2 \right],$$

Тоді максимальні напруження, що виникають у перерізі дерева, дорівнюватимуть:

$$G_{\max} = \frac{M_{3z}}{I_{xc}} \cdot y_{\max}, \quad (14)$$

де $y_{\max}$ – віддаль від центральної осі x_c , до найбільш віддаленої точки перерізу.

Для запобігання руйнування дерева в процесі зрізання:

$$G_{\max} \leq G_n, \quad (15)$$

де G_n – небезпечні напруження, за яких проходить руйнування (визначаються породою дерева).

Використавши залежності 2; 11; 15 для певного діаметра і породи дерева, можна графічно встановити закон зміни максимальних напружень і регулювати зовнішні сили, що створюються звалювальним засобом, для забезпечення попереднього напруження деревини і запобігання її руйнування в процесі зрізання.

Література

1. Шкіря Т.М. Технологія і машини лісосічних робіт. – Львів: Тріада плюс, 2003. – 352 с.
2. Матвейко А.П. Технология и машины лесосечных работ. – Минск: Вышэйшая школа, 1984. – 334 с.
3. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. – К.: Наук. думка, 1988. – 734 с.