

давление, сжимающее ствол, с учетом наклона дерева равно

$$p' = \frac{N' \cos \alpha}{\pi R^2} = \rho g h' \cos \alpha .$$

Оказывается, что напряжения, возникающие в стволе за счет компенсирующих моментов, гораздо больше напряжений, вызванных нормальным сжатием силой тяжести. Как видно из рисунка 2,б, чтобы создать момент, верхняя сторона ствола растягивается, а нижняя сжимается. Для грубой оценки попробуем считать, что возникающие при этом усилия равномерно распределены по половинкам сечения. Пусть на верхней половине среза в среднем действует растягивающее давление p'_M , а на нижней – такое же среднее сжимающее давление. Считая, что плечо пары сил по порядку величины равно R , запишем

$$M'_N \sim \frac{1}{2} \pi R^2 p'_M \cdot R .$$

Отсюда ничего не стоит выразить сами напряжения:

$$p'_M \sim \frac{2M'_N}{\pi R^3} = \frac{\rho g (h')^2 \sin \alpha}{R} .$$

Сравнивая со сжатием за счет силы тяжести, мы видим, что

$$p'_M \sim p' \frac{h'}{R} \operatorname{tg} \alpha \sim p' \frac{h}{R} \operatorname{tg} \alpha = 200 p' \operatorname{tg} \alpha .$$

Практически для всех заметных глазу углов ($\alpha > 1^\circ$) напряжения, связанные с моментами, многократно превосходят однородное сжатие. Скажем, при сильном ветре угол вполне может достигать $\alpha = 5^\circ$, что соответствует $p'_M \approx 17,5 p' \approx 35$ атм. Усилие такое, как будто дерево, оставшись стоять вертикально, вытянулось на целых 350 метров вверх. К слову сказать, нагрузки, возникающие из-за напора ветра, еще больше. Немудрено, что настоящая буря крушит вековые сосны, как спички!

Усиление напряжений происходит благодаря множителю h/R . Причина его появления понятна. Вспомните правило рычага. Плечо сил, действующих на срезе, не больше диаметра ствола, а центр масс находится на заметной высоте. В итоге напряжения возрастают пропорционально h/R .

Точный расчет показывает, что напряжения, возникающие в однородном цилиндре под действием приложенного момента, распределены линейно. Они равны нулю на оси и доходят до $\pm 8M/(\pi R^3)$ на периферии, т.е. реально максимальные значения превосходят нашу среднюю оценку в 4 раза. Немало!

Ступенька на пне

Итак, мы показали, что при уходе от вертикали внутри ствола возникают неоднородные напряжения. Причем речь идет об эффекте недюжинной важности. Усилия, возникающие в наклонных деревьях, могут быть во много раз больше, чем в вертикальных. Более того, при мало-мальски значительном наклоне в теле дерева возникают не только сжатия, но и растяжения.

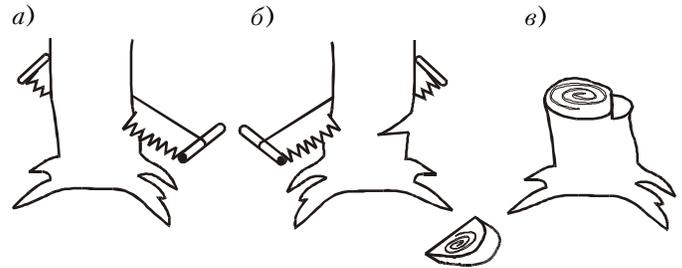


Рис.3. Толстое дерево валют в несколько приемов

При этом противоположная наклону сторона ствола обязательно оказывается растянута, а со стороны наклоняется дерево, наоборот, сжато.

Это свойство хорошо знают лесорубы. Пилить ствол (разумеется, если нет ветра) начинают оттуда, куда хотят повалить дерево (рис.3,а). Когда пила углубится примерно на треть толщины ствола, ее вынимают, не дожидаясь, пока дерево начнет наклоняться в сторону надпила и «зажимать» полотно. Сделав второй пропил под углом к первому, вынимают похожий на ломоть дыни клинообразный кусок. После этого начинают пилить с другой стороны чуть выше (почему?), чем в первый раз (рис.3,б). Как вы знаете, сторона, противоположная наклону, растянута, и по мере продвижения полотна наклон, а с ним и растяжение нарастают. Наконец, тонкая перемычка не выдерживает, и дерево падает точно в нужную сторону. А на пне, там где встретились два пропила, остается небольшая ступенька (рис.3,в).

Говорят, на соревнованиях умелый дровосек умеет положить древесный хлыст под углом к ветру, да так метко, что загонит в землю заранее вбитый судьями колышек.

Пружина замедленного действия

Однако, мы отвлеклись.

Итак, стоит дереву хоть чуточку наклониться, как внутри ствола возникают огромные напряжения. Сила тяжести стремится пригнуть дерево к земле, при этом одна сторона ствола растягивается, другая сжимается. Какой же механизм противостоит этому изгибу?

Предположим, что рост дерева происходит неравномерно и его скорость зависит от внутренних напряжений. Пусть, например, в сжатых областях ствола клетки делятся интенсивнее, чем в растянутых. Тогда обращенная в сторону наклона сжатая сторона будет обгонять в росте растянутую противоположную сторону. Сжатие возобладает, и ствол начнет выгибаться против наклона, т.е. вверх. Сомнений в том, что усилий, которые возникают при росте дерева, хватит, чтобы выправить ствол, нет. Если в городе, взламывая нежными шляпками асфальт, прорастают шампиньоны, что уж тут говорить о древесине!

Таким образом, мы с вами придумали механизм, который стремится выровнять ствол при уходе от вертикали. Этот механизм дополняет обычную упругость и включается, когда возникли значительные необратимые изменения (скажем, корни подмыло тальными водами, ствол надломило ветром и т.п.). Он