

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕРЕВЬЕВ ПРИ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКИХ НАСАЖДЕНИЙ

В.О. КОРНИЕНКО

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», Донецк (dayterry@rambler.ru)

USE OF BIOMECHANICAL PROPERTIES OF TREES AT THE ESTIMATION OF THE STATE OF URBAN PLANTS

V.O. KORNIYENKO

SEI HPE «Donetsk National University», Donetsk (dayterry@rambler.ru)

Резюме. В работе проанализированы современные методы оценки древесных насаждений в городских условиях и выявлены наиболее приемлемые к использованию на территории г. Донецка. Изучение биомеханики дерева даёт возможность оценивать его устойчивость на урбанизированных территориях. Метод «Pulling test» на основе знаний биомеханических свойств древесины отличается от всех предыдущих тем, что напрямую испытывается способность дерева противостоять нагрузкам и является единственным прямым достоверным методом. Недостаток – невозможность определения наличия скрытой стволовой гнили и установления масштаба её распространения.

Ключевые слова: устойчивость, критическая нагрузка, городские насаждения, метод оценки.

Abstract. The modern methods of tree valuation in urban environments are analyzed in this article and the most acceptable of them for use on the territory of Donetsk are identified. The study of tree biomechanics enables us to assess its sustainability in urban areas. The method of «Pulling test» is based on knowledge of the wood biomechanical properties. Unlike previously used methods, it allows to directly test the ability of wood to resist loads, thus being the only reliable method. The disadvantage is the impossibility of determining the presence of occult stem rot and the extent of its distribution.

Key words: stability, critical load, urban areas, valuation method.

Древесные насаждения являются важнейшей составляющей современных городов. Они участвуют в поддержании жизнедеятельности и формировании облика города, очищении воздушной среды, улучшении микроклимата, создании комфортных условий жизни горожан. Выполнению рекреационных, эстетических, санитарно-гигиенических, санационных и других функций зелёных насаждений способствуют свойства растений и их сообществ, среди которых:

1. Поглощение углекислого газа и выделение кислорода в ходе фотосинтеза.
2. Испарение влаги при транспирации, в результате которой регулируется водный и температурный режимы.
3. Выделение фитонцидов – биологически активных веществ, которые подавляют или полностью прекращают рост и развитие болезнетворных микроорганизмов.
4. Фиксирование пылевых частиц на поверхности листьев и поглощение ими газов.
5. Формирование электрического поля и образование отрицательных аэроионов кислорода.
6. Изменение температуры и влажности воздуха и почвы под пологом насаждений.
7. Поглощение энергии ветра, вибраций почвы и акустического шума, накопление снега.
8. Положительное влияние на эмоциональное состояние человека.

Эффективное использование и полноценное выполнение функций зелёных насаждений возможно лишь в случае, если составляющие их растения обладают высокой жизнеспособностью, а условия произрастания в городской среде соответствуют их биологическим потребностям и экологическим особенностям. В промышленных городах степной зоны часто экстремальные для древесной растительности природные условия произрастания сочетаются со значительной техногенной нагрузкой: запылением, загазованностью,

загрязнением и засолением почв, грунтовых и почвенных вод. В результате ослабленные деревья теряют жизнеспособность, постепенно усыхают и отмирают значительно раньше, чем в естественной среде обитания.

Вовремя не убранные повреждённые растения или их части могут обламываться под действием собственного веса или ветровых нагрузок, становятся опасными для здоровья и жизни горожан, приносят экономические убытки.

В мире существует современная система контроля состояния зелёных насаждений, предусматривающая комплекс организационных мероприятий, обеспечивающий эффективный контроль, прогноз состояния зелёных насаждений с учётом экологической ситуации региона.

При оценке древесных насаждений используют 3 метода:

1. Визуальный (осмотр дерева с земли, осмотр дерева с подъёмом на ствол, осмотр местности).

2. Ретроспективный (опрос строителей, владельцев участка о произведенных работах, изучение исполнительной и проектной документации по строительным и ландшафтными работам, изучение ветровой особенности и нагруженности данного участка местности, выявление предыдущих случаев падения деревьев).

3. Инструментальный:

3.1 Инструментальный инвазивный контроль:

а) Взятие керна прирастным буром (Бурав Пресслера);

б) Исследование Резистографом (RESISTOGRAPH).

3.2 Инструментальный неинвазивный контроль:

а) Исследование ультразвуковым томографом (ARBOTOM, ARBORADIX).

3.3 Прямое испытание биомеханических свойств дерева (прочность и устойчивость) – «Pulling test» (помимо инструментальной, этот метод имеет наиболее значимую составляющую числового моделирования).

Все методы, кроме последнего, определяют лишь факторы (их наличие, локализация, геометрические параметры, временные рамки), влияющие на прочность и устойчивость дерева, то есть являются косвенными методами.

Инструментальные методы требуют больших финансовых вложений, однако, на сегодняшний день определить наличие скрытой стволовой гнили и установить масштаб её распространения с доказанной степенью достоверности невозможно без их применения (3.1 б) и 3.2 а).

На сегодняшний день, в Донецком ботаническом саду нами разрабатываются методики оценки древесных насаждений без использования дорогого оборудования, на основе комплекса методов (1,2 и 3.3). Большое значение имеет расчёт биомеханических свойств древесных растений, а именно прочности и механической устойчивости.

Существует три основных вида аварий больших деревьев, вызванных динамическими (например, ветер) и статическими (налипание снега, льда) нагрузками:

1. Выворачивание дерева с корнями, опрокидывание с корневой плитой (*Uprooting*) в результате повреждения якорных корней деревьев во время застройки, снижение механической прочности корней под действием корневых гнилей и корневых барьеров.

2. Переламывание ствола из-за снижения механической прочности ствола в местах образования дупел, центральностволовых гнилей, периферийных заболонных гнилей, в результате деформации ствола (и, как следствие, уменьшения осевых моментов инерции поперечного сечения в этом месте) под действием болезней или врастающих элементов.

3. Расщепление развилки с отщеплением содоминантных стволов, или крупных ветвей, по причине неправильной V-образной структуры развилки, развилки с трещинами, морозобоинами.

Большое значение имеют комбинации видов и причин аварий, например – угол наклона ствола и как следствие его крушение; в результате циклических процессов изме-

нение архитектоники кроны, изгибание ветвей вследствие потери упругости (в результате повреждения морозом), выставление дерева на ветер в результате вырубki окружающего древостоя; окружающая застройка, способствующая образованию ветровых коридоров, или локальных турбулентностей с существенным превышением средней скорости потока; породные особенности, локальная и общая лесопатологическая ситуация.

Для оценки прочности и механической устойчивости древесных растений в урбанизированных городах мы рекомендуем использовать следующие параметры:

1) P_{cr} и m_{cr} – предельно допустимая нагрузка и масса, при действии которых ствол начинает деформироваться или обламывается [Niklas, Spatz, 2012]:

$$P_{cr} = \pi^2 EI / 2l^2,$$

$$m_{cr} = P_{cr} / g,$$

где I – момент инерции сечения, l – длина ствола, g – ускорение силы тяжести.

2) H_{cr} – критическая высота ствола, при достижении которой действие собственного веса привело бы к необратимой деформации или облому:

$$H_{cr} = C(E/\rho)^{1/3} d^{2/3},$$

где C – коэффициент соотношения массы кроны и ствола, d – диаметр основания ствола.

3) Критическая длина ствола или побега, при достижении которой действие собственного веса или минимальной нагрузки привело бы к деформации или крушению [Goldstein et al., 2016]:

$$\text{Для цилиндра } L_{crit} = 0,79(E/\rho g)^{1/3} d^{2/3},$$

$$\text{Для конуса } L_{crit} = 1,25(E/\rho g)^{1/3} d^{2/3},$$

4) RRB – относительное сопротивление изгибу [Niklas, 2010]:

$$RRB = r^2 E / 4\rho,$$

где r – радиус основания ствола, E – модуль упругости, ρ – плотность древесины.

5) Модуль упругости древесных волокон определяется по величине изгиба цилиндра, обрезанной ветви, горизонтально закреплённой в тисках, в ответ на приложение силы F на её свободном конце по формуле [Niklas, 1992; Нецветов, Сулова, 2009]:

$$E = 64Cl^3 / 3\pi d^4,$$

где C – жёсткость цилиндра, l – его длина, d – диаметр.

6) Жёсткость ствола, побега (C) рассчитывается как:

$$C = mg/x,$$

где m – масса приложенного груза, g – ускорение силы тяжести, x – смещение свободного конца цилиндра.

7) Модуль разрыва тканей ствола или живых ветвей [Van Gelder et al., 2006]:

$$MOR = (M_{max} z) / I = (1/4 F_{max} l g) / (1/4 \pi r^4),$$

где F_{max} – максимальная нагрузка (Н); l – длина побега, ствола (мм); g – радиус (мм).

В частности, способность сопротивляться изгибу определяется как произведение модуля упругости (E) и второго момента сечения (I) ствола. Аналогичным образом, способность к сопротивлению скручивания определяется как произведение модуля сдвига G и полярного момента инерции площади J , который называется жёсткостью при кручении [Niklas, 2016]:

$$\text{Сопротивление изгибу} = EI,$$

$$\text{Сопротивление скручиванию} = GJ.$$

где $I = \pi r^4 / 4$, $J = \pi r^4 / 2$, r – радиус.

При увеличении длины ветвей увеличивается и угол отхождения от ствола, что ведёт к изменению кроны дерева. Внешний вид кроны зависит от направления роста ветвей:

- при росте сучьев под углом менее 45° развиваются пирамидальные кроны, которые бывают высокими, сжатыми и густыми;
- округлые кроны развиваются при росте сучьев под углом до 60°
- пониклые и раскидистые – 60–90°.

Так, если рост ветви в радиальном направлении будет замедлен по отношению к росту в длину, механическая устойчивость будет уменьшаться. В результате потеря жёсткости при действии климатических факторов может привести к изменению архитектоники.

Тем не менее, при работе с ассортиментом растений следует учитывать, что некоторые виды деревьев с большой парусностью кроны (например, дуб черешчатый, клён остролиственный) обладают достаточно прочной древесиной, чтобы выдерживать существенные нагрузки, например, в виде ветра. У некоторых видов и форм растений с округлой кроной, например, клён остролиственный (ф. шаровидная), характер ветвления делает их устойчивыми к ветровым нагрузкам вследствие взаимного гашения колебаний побегов.

Используя приведенные формулы для определения биомеханических свойств древесных растений и визуальный метод, с большой вероятностью возможно оценить их устойчивость на урбанизированных территориях.

ЛИТЕРАТУРА

Нецветов М.В., Суслова Е.П. 2009. Механическая устойчивость деревьев и кустарников к вибрационным нагрузкам. *Промышленная ботаника*. 9: 60–67.

Goldstein, Guillermo, Santiago, Louis S. (Eds.) 2016. *Tropical Tree Physiology. Adaptations and Responses in a Changing Environment*. 6: 467 p.

Niklas K.J. 1992. *Plant biomechanics: an engineering approach to plant form and function*. Chicago: University of Chicago Press: 622 p.

Niklas K.J. 2010. Worldwide correlations of mechanical properties and green wood density. *American Journal of Botany*. 97(10): 1587–1594.

Niklas K.J. 2016. Pars.V: Tree Biomechanics with Special Reference to Tropical Trees. *In: Tropical Tree Physiology. Adaptations and Responses in a Changing Environment*. Springer.: 413–435.

Niklas K.J., Spatz H-C 2012. *Plant physics*. University of Chicago Press. Chicago-II: 448 p.

Van Gelder H.A., Poorter L., Sterck F.J. 2006. Wood mechanics, allometry, and life-history variation in a tropical rain forest tree community. *New Phytologist*. 171: 367–378.