

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ВЕКОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ *PINUS PINEA* L., ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ КРЫМА

© 2023

Корниенко В.О.¹, Клименко Н.И.², Павлов С.И.³

¹Донецкий государственный университет (г. Донецк, Российская Федерация)

²Крымский литературно-художественный мемориальный музей-заповедник
(г. Ялта, Республика Крым, Российская Федерация)

³Самарский государственный социально-педагогический университет (г. Самара, Российская Федерация)

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы оценки механической устойчивости и аварийности сосны итальянской, на примере 120-летнего дерева, произрастающего в условиях рекреационно нагруженной территории дома-музея А.П. Чехова в городе Ялта, Республика Крым. Установлено, что жизнеспособность исследуемого растения составляет 1 балл – здоровое растение без признаков ослабления, повреждений ствола и кроны. Проведены биомеханические исследования: вычислена надземная фитомасса ствола исследуемого дерева и основных скелетных ветвей с хвоей, определены физико-механические свойства тканей и произведены модельные расчеты механической устойчивости дерева. Установлено, что размеры основных скелетных ветвей представляют собой отдельные самостоятельные деревья, а рассчитанный вес является дополнительной статической нагрузкой на ствол и при действии динамического фактора, который дополнительно снижает критическую нагрузку на ~20% и повышает аварийность всего дерева. Большой угол наклона с учетом длины ветвей, также увеличивает степень аварийности. В итоге наблюдается смещение центра масс и наклон всего организма с высокой вероятностью вывала дерева с плитой. Для снижения аварийности дерева необходимо произвести обрезку основных ветвей и снизить нагрузку на ствол с учётом центра масс, а в случае невозможности проведения необходимой обрезки – произвести работы по крепежу скелетных массивных ветвей на металлоконструкции.

Ключевые слова: *Pinus pinea* L.; механическая устойчивость; аварийность; жизнеспособность; аварийное состояние дерева; вековые деревья.

SOME ASPECTS OF MECHANICAL STABILITY OF CENTURIES-OLD *PINUS PINEA* L. TREES GROWING IN THE CRIMEA

© 2023

Kornienko V.O.¹, Klimenko N.I.², Pavlov S.I.³

¹Donetsk State University (Donetsk, Russian Federation)

²Crimean Literary and Art Memorial Museum Reserve (Yalta, Republic of Crimea, Russian Federation)

³Samara State University of Social Sciences and Education (Samara, Russian Federation)

Abstract. The paper considers the issues of assessing the mechanical stability and accident rate of the Italian pine, using the example of a 120 year-old tree growing in the conditions of the recreationally loaded territory of the A.P. Chekhov House-Museum in the city of Yalta, Republic of Crimea. It was found that the viability of the studied plant is 1 point – this is a healthy plant without damage to the trunk and crown. Biomechanical studies were carried out: the aboveground phytomass of the trunk of the tree under study and the main skeletal branches with needles were calculated, the physico-mechanical properties of tissues were determined and model calculations of the mechanical stability of the tree were performed. It was found that the dimensions of the main skeletal branches are separate independent trees, and the calculated weight is an additional static load on the trunk and under the action of a dynamic factor, which additionally reduces the critical load by ~ 20% and increases the accident rate of the entire tree. A large angle of inclination, taking into account the length of the branches, also increases the degree of accident. As a result, there is a shift in the center of mass and a tilt of the entire body with a high probability of falling out of the tree with the slab. To reduce the accident rate of a tree, it is necessary to trim the main branches and reduce the load on the trunk, taking into account the center of mass, and if it is impossible to carry out the necessary trimming, it is necessary to fix dangerous skeletal branches to metal structures.

Keywords: *Pinus pinea* L.; mechanical stability; accident rate; viability; emergency condition of the tree; old trees.

Введение

Вопросы оценки степени аварийности деревьев в городской среде являются актуальными на сегодняшний день по всему миру [1–7]. Для территории России это связано, в первую очередь, с учащением падений, как целых деревьев, так и их массивных скелетных ветвей после действия природно-климатических факторов – динамических нагрузок в виде сильных порывов ветра вплоть до ураганов, снежных и ледяных бурь. Большинство таких растений, как правило, имеют скрытую стволовую гниль [1; 2]. Однако также часто наблюдаются и необрати-

мые деформации стволов и скелетных ветвей, даже их обломы, без поражения тканей гнилью, т.е. со здоровой древесиной [7; 8]. Связаны такие необратимые последствия для растения с изменением модели роста в условиях антропогенных нагрузок, по сравнению с естественной средой обитания, а также физико-механических свойств тканей (имеющими видовую специфичность на действие природно-климатических факторов), которые в итоге отражаются на общей механической устойчивости живых организмов. В связи с тем, что падение дерева носит вероятностный характер, диагностика его состояния, а так-

же выносимое экспертное решение является сложным процессом [1], требующим применение большого количества современных методов, как инструментальных (например, Arbotom, Resistograph [9]) так и методов математического моделирования (оценка фитомассы различных фракций дерева, параметров механической устойчивости ствола и скелетных ветвей и т.д.).

Цель работы: провести анализ механической устойчивости и аварийности векового дерева *Pinus pinea* L., произрастающего в условиях Республики Крым.

Материалы и методы

Объект исследования. Сосна итальянская – дерево среднего размера с зонтикообразной, большой и плоской кроной, распространенное по всему Средиземноморскому бассейну, главным образом в прибрежных районах, и особенно распространенное в Юго-Западной Европе (рис. 1, 2 по [10; 11]).

Вид обитает в широком диапазоне климатических и почвенных условий, хотя и демонстрирует низкую генетическую изменчивость [11]. Сосна итальянская хорошо переносит сухую погоду, высокую температуру и затенение, особенно на ранних стадиях своего роста.

Территория исследований. Объект исследований произрастает на рекреационно нагруженной территории (рис. 3) дома-музея А.П. Чехова в городе Ялта (Республика Крым, Российская Федерация), ул. Кирова, д. 112. Рядом расположен пансионат Ялта – круглый год.

Методика проведения исследований. Общую аварийность дерева оценивали с использованием многофакторного анализа [12], включающего как классический визуальный осмотр (оценка: общей жизнеспособности, повреждений ствола, кроны, измерение углов наклона ствола и скелетных ветвей и т.д.), оценку фитомассы, так и биомеханические исследования на устойчивость к действию динамических и статических нагрузок.

Оценку жизнеспособности проводили согласно интегральной шкале В.А. Алексеева [13], где 1 балл – здоровое дерево без повреждений кроны и ствола; 2 балла – ослабленное дерево, наблюдалось изреживание скелетной части кроны, её густоты, а также наличие 30% мертвых или усыхающих ветвей в верхней половине кроны (контроль – нет; эксперимент 59% (10 деревьев)); 3 балла – сильно ослабленное дерево, наблюдали изреживание скелетной части кроны, наличие 60% мертвых и (или) усыхающих ветвей в верхней половине кроны, отмирание верхушки кроны (не наблюдался на исследованных территориях); 4 балла – отмирающее дерево, крона разрушена, её густота – не менее 15–20% по сравнению со здоровой, 70% ветвей, в том числе в верхней половине, сухие или бледно-зеленого, желтоватого, оранжево-красного цвета, в комлевой и средней части ствола возможны признаки заселения стволовыми вредителями (не наблюдался на исследованных территориях); 5 баллов – сухостой (не наблюдался на исследованных территориях).

Результаты визуального осмотра исследуемых древесных растений фиксировались с помощью фотоаппарата, дальнейшую обработку и анализ изображений проводили в программе AxioVision Rel. 4.8 с учетом эталонной мерки. В программе AxioVision Rel. 4.8. углы измерялись с точностью до 1°. Диаметр ствола измеряли мерной вилкой.

Оценку фитомассы различных фракций деревьев дуба черешчатого и моделирования их динамики проводили по Ю.П. Демакову с соавт. [14].

Надземную фитомассу ($M_{общ.}$, кг) дерева с листовой рассчитывали согласно формуле:

$$M_{общ.} = a \times 10^{-2} \times h^b \times (d + 1)^2,$$

где, a , b – параметры из уравнения (константы); h – высота дерева, м; d – диаметр ствола на высоте 1,3 м, см.

Расчет параметров механической устойчивости (EI , P_{cr} и m_{cr}) проводили по следующим формулам.

Сопrotивление древесного ствола растения или его скелетных ветвей изгибу, при действии динамических или статических нагрузок [15]:

$$\text{Сопrotивление изгибу} = EI,$$

где E – модуль упругости тканей живой древесины, $H \times m^2$; I – второй момент сечения, который равен $\pi r^4/4$; r – радиус ствола, м.

m_{cr} – критическая масса и P_{cr} – предельно допустимая нагрузка – параметры, которые отражают конкретные значения массы (кг или Н), при действии которой ствол древесного растения или его скелетные ветви начинают деформироваться или обламываться при действии ветровых или гравитационных нагрузках [16]:

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

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

где EI – сопротивление изгибу; l – длина, м; g – ускорение силы тяжести, m/s^2 .

Результаты и обсуждения

На первом этапе исследований оценили жизнеспособность сосны итальянской. Дерево здоровое без повреждений кроны и ствола, а также признаков ослабления оценили (1 балл). Наличие стволовой гнили не зафиксировано. Архитектоника кроны имеет особенности: наблюдается асимметрия по расположению массивных скелетных ветвей относительно оси (ствола), что станет предметом отдельных исследований приведенных ниже. Ствол имеет небольшой наклон в сторону здания, вследствие неравномерного распределения фитомассы кроны.

При расчёте надземной фитомассы исследуемого дерева по методике Ю.П. Демаков с соавт. [14] определили, что его вес составляет 5505,6 кг (рис. 4).

Вес основных скелетных ветвей с хвоей, в сторону объекта рекреационной нагрузки – пансионата Ялта, составляет: скелетная ветвь № 1 – 1392,5 кг и скелетная ветвь № 2 – 737,2 кг, что соответствует 39% общей надземной массы всего дерева.

Размеры этих скелетных ветвей представляют собой отдельные самостоятельные деревья с параметрами $d = 55,38$ см, $H = 18$ м (рис. 5) и $d = 42,6$ см, $H = 17$ м. Такой вес является дополнительной статической нагрузкой на ствол и при действии динамического фактора, который дополнительно снижает критическую нагрузку на ~20% [17], повышает аварийность такого дерева. Большой угол наклона с учетом длины ветви, также увеличивает степень аварийности. В итоге наблюдается смещение центра масс и наклон всего организма с высокой вероятностью вывала дерева с плитой (уже имеется поднятие покрытия на 30–35 см, рис. 6).

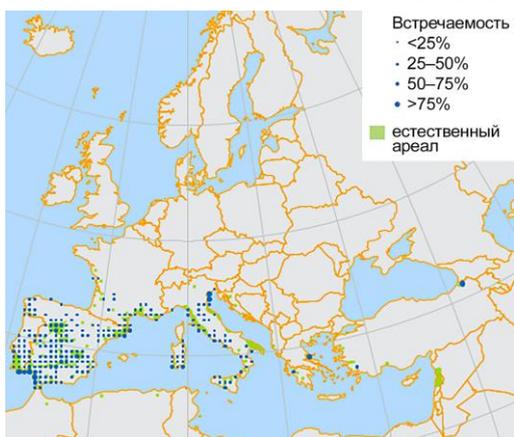


Рисунок 1 – Частота встречаемости *Pinus pinea* L. в Европе согласно EUFORGEN (2008) (по: [10])



Рисунок 2 – Сформированные деревья сосны итальянской в Европе [11]



Рисунок 3 – Территория проведения исследований. *Примечание:* точкой отмечен исследуемый объект



Рисунок 4 – Диаметр ствола сосны итальянской у основания составляет 97,4 см, возраст 120 лет



Рисунок 5 – Скелетная ветвь № 1, $d = 55,38$ см, $H = 18$, угол наклона $55,4^\circ$



Рисунок 6 – Нарушение покрытия возле места произрастания *Pinus pinea* L. из-за начала процесса вывала дерева с плитой

Результаты биомеханических исследований показали, что при снятии асимметрии и снижении центра масс, критическая масса дерева ($m_{cr} = 1,9 \times 10^5$ кг) и жесткость на изгиб ствола ($EI = 1,8 \times 10^8 \times H \times m^2$) имеют высокие показатели в условиях региона, и растение вполне способно выдерживать в дальнейшем нагрузки, даже с учетом уже начавшихся повреждений. Без проведения обрезки растение оценено как аварийное.

Заключение

В данной ситуации существует несколько вариантов решения проблемы для снижения аварийности дерева:

1. Произвести обрезку основных ветвей и снизить статическую нагрузку на ствол с учетом центра масс, а также динамическую нагрузку (более опасную) при порывах ветра, по схеме которая практикуется дендрологами на родине данного вида растения (рис. 2) согласно Abad Viñas с соавторами (2016).

2. В случае невозможности проведения необходимой обрезки – следует произвести работы по креплению скелетных массивных ветвей на подпорки/металлоконструкции в первую очередь со стороны пансионата Ялта.

Список литературы:

1. Румянцев Д.Е., Фролова В.А. Проблемы диагностики аварийности деревьев в урбанизированной среде // Принципы экологии. 2021. № 2. С. 102–119. DOI: 10.15393/j1.art.2021.11162.
2. Анциферов А.В. Судебные экспертизы по установлению причин падения деревьев // Теория и практика судебной экспертизы. 2020. Т. 15, № 2. С. 62–69. DOI: 10.30764/1819-2785-2020-2-62-69.
3. Царалунга В.В., Царалунга А.В., Короткая А.В. Проблема выявления и назначения в рубку аварийных деревьев на территории Гослесфонда // Лесотехнический журнал. 2020. № 3 (39). С. 86–94. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.3/9.
4. Nock C.A., Lecigne B., Taugourdeau O., Greene D.F., Dauzat J., Delagrangé S., Messier C. Linking ice accretion and crown structure: towards a model of the effect of freezing rain on tree canopies // Annals of Botany. 2016. Vol. 117, iss. 7. P. 1163–1173. DOI: 10.1093/aob/mcw059.
5. Kane B. Determining parameters related to the likelihood of failure of red oak (*Quercus rubra* L.) from winching tests // Trees. 2014. Vol. 28. P. 1667–1677. DOI: 10.1007/s00468-014-1076-0.
6. Kane B., Clouston P. Tree pulling tests of large shade trees in the genus *Acer* // Arboriculture & Urban Forestry. 2008. Vol. 34, iss. 2. P. 101–109. DOI: 10.48044/jauf.2008.013.
7. Корниенко В.О. Влияние природно-климатических факторов на механическую устойчивость и аварийность древесных растений на примере *Juniperus virginiana* L. // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2020. Вып. 134. С. 93–100. DOI: 10.36305/0513-1634-2020-134-93-100.
8. Korniyenko V.O., Kalaev V.N. Impact of natural climate factors on mechanical stability and failure rate in silver birch trees in the city of Donetsk // Contemporary Prob-

lems of Ecology. 2022. Vol. 15, № 7. P. 806–816. DOI: 10.1134/s1995425522070150.

9. Пальчиков С.Б., Анциферов А.В. Оценка состояния деревьев, пораженных ксилотрофными грибами, с помощью приборов Resistograph и Arbotom // Евразийский союз ученых. 2016. № 4 (25), ч. 4. С. 121–125.

10. *Pinus pinea*. Stone pine [Internet] // European Forest Genetic Resources Programme. <https://www.euforgen.org/species/pinus-pinea>.

11. Abad Viñas R., Caudullo G., Oliveira S., de Rigo D. *Pinus pinea* in Europe: distribution, habitat, usage and threats // European atlas of forest tree species / eds. J. San-Miguel-Ayanz, D. de Rigo, G. Caudullo, T. Houston Durrant, A. Mauri. Luxembourg, 2016. P. 130–131.

12. Корниенко В.О., Калаев В.Н. Механическая устойчивость древесных пород и рекомендации по предотвращению их аварийности в городских насаждениях. Воронеж: Роза Ветров, 2018. 92 с.

13. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.

14. Демаков Ю.П., Пуряев А.С., Черных В.Л., Черных Л.В. Использование аллометрических зависимостей для оценки фитомассы различных фракций деревьев и моделирования их динамики // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 2(26). С. 19–36.

15. Niklas K.J., Spatz H.-C. Worldwide correlations of mechanical properties and green wood density // American Journal of Botany. 2010. Vol. 97, iss. 10. P. 1587–1594. DOI: 10.3732/ajb.1000150.

16. Niklas K.J. Tree biomechanics with special reference to tropical trees // Tropical Tree Physiology / eds. G. Goldstein, L. Santiago. Cham: Springer, 2016. P. 413–435. DOI: 10.1007/978-3-319-27422-5_19.

17. Sellier D., Fourcaud T. Crown structure and wood properties: influence on tree sway and response to high winds // American Journal of Botany. 2009. Vol 96, iss. 5. P. 885–896. DOI: 10.3732/ajb.0800226.

Информация об авторе(-ах):	Information about the author(-s):
<p>Корниенко Владимир Олегович, кандидат биологических наук, доцент кафедры биофизики; Донецкий государственный университет (г. Донецк, Российская Федерация). E-mail: kornienkovo@mail.ru.</p> <p>Клименко Николай Иванович, кандидат сельскохозяйственных наук, агроном отдела хозяйственного и технического обеспечения; Крымский литературно-художественный мемориальный музей-заповедник (г. Ялта, Республика Крым, Российская Федерация). E-mail: klymenko.gnbs@mail.ru.</p> <p>Павлов Сергей Иванович, кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии, экологии и методики обучения; Самарский государственный социально-педагогический университет (г. Самара, Российская Федерация). E-mail: pavlov@sgspsu.ru.</p>	<p>Kornienko Vladimir Olegovich, candidate of biological sciences, associate professor of Biophysics Department; Donetsk State University (Donetsk, Russian Federation). E-mail: kornienkovo@mail.ru.</p> <p>Klymenko Nicolay Ivanovich, candidate of agricultural sciences, agronomist of Equipment and Technical Support Department; Crimean Literary and Art Memorial Museum Reserve (Yalta, Republic of Crimea, Russian Federation). E-mail: klymenko.gnbs@mail.ru.</p> <p>Pavlov Sergey Ivanovich, candidate of biological sciences, associate professor of Biology, Ecology and Methods of Teaching Department; Samara State University of Social Sciences and Education (Samara, Russian Federation). E-mail: pavlov@sgspsu.ru.</p>

Для цитирования:

Корниенко В.О., Клименко Н.И., Павлов С.И. Некоторые аспекты механической устойчивости вековых деревьев *Pinus pinea* L., произрастающих в условиях Крыма // Самарский научный вестник. 2023. Т. 12, № 3. С. 75–79. DOI: 10.55355/snv2023123110.