



Д. І. Бідолах¹, А. М. Білоус², В. С. Кузьович¹

¹ ВП НУБіП України "Бережанський агротехнічний інститут", м. Бережани, Україна
² Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

ВИМІРЮВАННЯ ВИСОТИ ДЕРЕВ І ЧАГАРНИКІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ КВАДРОКОПТЕРА

Опрацьовано можливість використання безпілотного літального апарата (квадрокоптера) для вимірювання висоти дерев і чагарників. Встановлено, що візування прицілу безпілотного літального апарата з розміщеною на ньому камерою на основу дерева і його верхівку перпендикулярно до прямовисної осі стовбура дає змогу фіксувати його параметри за допомогою GPS-приймача у тривимірній системі координат x, y, z . Цю інформацію можна використати для визначення висоти вимірюваного об'єкта зі збереженням просторової та висотної атрибутивної інформації в цифровому вигляді разом із фотознімком верхівки. Апробацію запропонованого способу вимірювання висоти проведено на базі змішаних насаджень лісових масивів ДП "Бережанське лісомисливське господарство" та паркових насаджень у Бережанському призамковому парку на Тернопільщині. При цьому, для порівняння точності вимірювання, виконано одночасне визначення висот дерев і чагарників за допомогою лазерного висотоміра Nikon Forestry 550, оптичного висотоміра ВА та лісового висотоміра-кутоміра ВУЛ-1. Виявлено, що запропонований спосіб визначення висоти дерев та чагарникових порід дає змогу отримувати результати високої точності (з відхиленням до 2 %) без необхідності встановлення базисної віддалі під час вимірювань. Окрім цього, такий підхід дає змогу проводити візування на дійсну верхівку дерева та полегшує визначити висоту в умовах загущених деревостанів.

Ключові слова: визначення висоти дерев; безпілотний літальний апарат; висотомір; GPS; Phantom 3 Advanced.

Вступ. Важливою складовою польових робіт лісовпорядкування та парковпорядкування є висока якість і точність вимірювань лісівничо-таксаційних показників у процесі лісо- та парковпорядкування, інвентаризації деревно-чагарникових рослин та проведенні інших пов'язаних досліджень.

Сучасний розвиток таксації зелених насаджень набув вектору широкого залучення новітніх способів вимірювання з використанням сучасного інструментарію для одержання, оброблення, передачі та зберігання біометричних даних і формування системи інформаційного забезпечення сталого управління лісовими та садово-парковими об'єктами. При цьому, технологічно, цей процес повинен охоплювати одержання як атрибутивної, так і картографічної інформації про стан зелених насаджень з метою створення геоінформаційної бази даних та автоматизації лісо- та парковпорядкування (Degerickx, Hermy & Somers, 2017). Використання для досліджень у лісовому та садово-парковому господарстві сучасних вимірювальних приладів дало змогу не тільки істотно підвищити точність отриманої інформації, але й забезпечити її оперативність, автоматизацію та універсальність (Phelps, Webb & Agrawal, 2010), що є важливою умовою сталого управління лісами та виконання міжнародних екологічних зобов'язань.

Загальновідомими сучасними напрямками розвитку новітніх технологій в лісовому та садово-парковому господарстві є використання безконтактних методів вимірювань, таких як: методи дистанційного зондування, пристрої глобального позиціонування, 3d сканування, лазерні висото- та далекоміри тощо. Перелічений інструментарій дає змогу отримувати високу точність вимірювань зі зменшенням кількості докладеної ручної праці, скорочення термінів виконання робіт та мінімізації витрат часу на опрацювання даних.

Одним із перспективних напрямів розвитку сучасних технологій є залучення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для виконання різних досліджень (Markham, 2017). Тому вивчали можливість використовувати БПЛА для вимірювання лісівничо-таксаційних показників у процесі інвентаризації зелених насаджень і для потреб лісо- та парковпорядкування, зокрема, для вимірювання висоти деревно-чагарникових видів.

Матеріали та методи дослідження. Дослідження проводили на базі лісових масивів ДП "Бережанське лісомисливське господарство" в 65-річному лісовому сосново-грабовому насадженні та паркових різновікових насадженнях зі змішаним видовим складом у Бережанському призамковому парку на Тернопільщині. Вимірювання висот дерев і чагарників проводили трьома

Інформація про авторів:

Бідолах Дмитро Ілліч, канд. с.-г. наук, доцент кафедри лісового і садово-паркового господарства. **Email:** dimbid@ukr.net

Білоус Андрій Михайлович, д-р с.-г. наук, професор кафедри лісової таксації та лісовпорядкування. **Email:** bilous@nubip.edu.ua

Кузьович Василь Степанович, канд. с.-г. наук, доцент, завідувач кафедри лісового і садово-паркового господарства.

Email: vasyi.kuzovych@ukr.net

Цитування за ДСТУ: Бідолах Д. І., Білоус А. М., Кузьович В. С. Вимірювання висоти дерев і чагарників із використанням квадрокоптера. Науковий вісник НЛТУ України. 2018, т. 28, № 1. С. 24–27.

Citation APA: Bidolakh, D. I., Bilous, A. M., & Kuzovych, V. S. (2018). Measurement of the Tree and Shrub Height With the Help of Unmanned Aerial Vehicles. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(1), 24–27. <https://doi.org/10.15421/40280104>

інструментальними способами, один з яких надалі використовували як контроль.

Перший спосіб виконували шляхом використання сучасного лазерного висотоміра (Nikon Forestry 550), який дає змогу визначати висоту ростучого дерева за допомогою функцій розрахунку лінійних та кутових величин, отриманих лазерним далекоміром (Forestry Pro, 2017). Результати вимірювання висот цим приладом, як найбільш точним, надалі використовували як контроль.

Другий підхід передбачав використання оптичного висотоміра (висотомір Анучина, В. А.), вимірювання яким проводили шляхом наведення приладу на кореневу шийку та верхівку дерева з базисної віддалі та читання результатів згідно з інструкцією щодо використання цього інструментарію (Anuchin, 1982). Недоліками цього способу є його невисока точність (похибка $\pm 4\%$), складність візування приладу на верхівку та кореневу шийку в умовах загущеного деревостану та необхідність визначення базисної віддалі.

Для вимірювання висот дерев за третім способом використовували лісовий висотомір-кутомір ВУЛ-1. Для отримання інформації про висоту дерев наводили окуляр приладу на верхівку дерева та зчитували відлік, що відповідає висоті дерева від рівня ока спостерігача. До отриманого відліку додавали висоту спостерігача до рівня ока. До недоліків даного способу віднесемо його невисоку точність (похибка $\pm 5\%$), залежність від рельєфу, потребу візування приладу на верхівку дерева, яку досить часто складно визначити в умовах загущеного деревостану та необхідність визначення базисної віддалі, що не завжди є можливим у насадженні.

Запропонований спосіб із використанням БПЛА наведено нижче. Після калібрування компаса дрона та отримання чіткого супутникового сигналу в системах GPS/Глонасс проводимо фіксацію висоти точки 0. Для цього БПЛА встановлюємо на рівні кореневої шийки ростучого дерева (h_1), що підлягає вимірюванню висоти. Після чого літальний апарат піднімаємо в ручному режимі на орієнтовну висоту дерева та направляємо центр прицілу його камери в режимі зйомки 90° на найвищу точку дерева (h_2), здійснюючи її точне візування та фіксацію у тривимірній системі координат x, y, z з одночасним фотографуванням камерою безпілотно-го літального апарата.

При цьому як атрибуту кожної збереженої фотографії верхівки дерева зберігається інформація про його координати та висоту, яку розраховуємо GPS-модулем автоматично.

Результати дослідження та їх обговорення. Запропонований підхід вимірювання висоти деревно-чагарникових порід із використанням квадрокоптера розроблено з метою створення способу, який дав би змогу усунути основні недоліки існуючих висотомірів: необхідність закладання базисної віддалі, підвищення зручності та точності візування на верхівку дерева, усунення впливу рельєфу місцевості, кривизни деревної рослини на результати та забезпечення більшої точності вимірювань.

Поставлене завдання досягаємо шляхом використання сучасних досягнень у сфері техніки та електроніки. Так, використання як вимірювальний прилад GPS-приймача, розташованого на БПЛА, який здатний фіксувати положення коптера у тривимірному просторі (точність вертикального позиціонування становить $\pm 0,1$ м) (DJI Phantom 4 – Specs, FAQ, Tutorials and

Downloads, 2017), дає змогу отримувати досить точні результати вимірювань ($0,5\%$ – за висоти дерева 20 м). Водночас точному наведенню прилада на верхівку дерева сприяє можливість керування безпілотним літальним апаратом із земної поверхні під час одночасної зйомки за допомогою камери та передачі зображення на дисплей.

Визначення перевищення H , яке відповідає висоті вимірюваного об'єкта, обчислюємо шляхом реєстрації зміщень камери у вертикальній (Δh) та горизонтальній (Δx та Δy) площинах за формулою:

$$H = \sqrt{(\Delta h^2 - \Delta x^2 + \Delta y^2)},$$

де: H – висота дерева або чагарника, м; Δh – зміщення камери БПЛА за висотою, м; Δx та Δy – зміщення камери дрона у горизонтальній площині під час підняття його до верхівки, м (рис.).

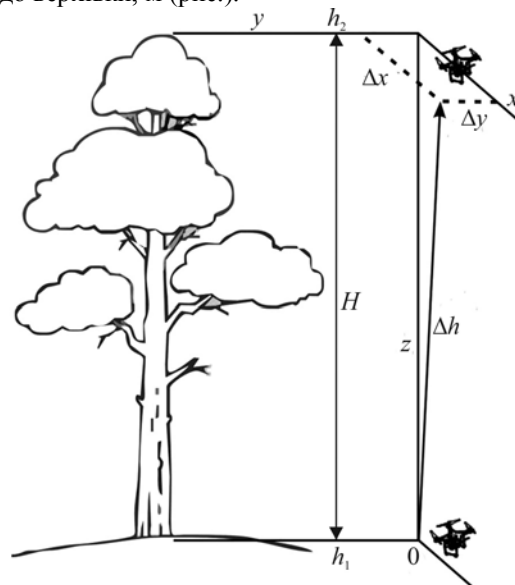


Рис. Схема визначення висоти деревно-чагарникових видів рослин із використанням БПЛА

Отримані дані про висоти дерев і чагарників можна використовувати для потреб лісо- та парковпорядкування, для встановлення розряду висот під час відведення ділянок у рубки, створення бази даних вимірів, а також для виконання інших наукових досліджень.

Для порівняння способу з аналогами результати вимірювання висот дерев і чагарників за допомогою лазерного висотоміра Nikon Forestry 550, оптичного висотоміра ВА та лісового висотоміра-кутоміра ВУЛ-1 проведено аналіз у вигляді таблиці.

Таблиця. Результати вимірювань висоти дерев у лісових та садово-паркових насадженнях

№ з/п	Варіант дослідження	Кількість вимірювань	Середня висота, м	Відхилення, %
1	Контроль (лазерний висотомір Nikon Forestry 550)	19	20,7	–
		19	18,6	–
2	Аналог висотомір Анучина ВА (оптичний висотомір)	19	21,9	+ 5,80
		19	19,9	+ 6,99
3	Аналог висотомір лісовий ВУЛ-1 (тригонометричний висотомір)	19	22,2	+ 7,25
		19	20,1	+ 8,06
4	Пропоноване рішення з використанням БПЛА	19	20,5	– 0,97
		19	18,8	+ 1,08

Під час вимірювання висот лазерним висотоміром, як найбільш точним приладом, отримано такі результати, які подальшому надалі будемо використовувати як

контроль: у дослідному 65-річному лісовому сосново-грабовому насадженні середня висота рослин становила 20,7 м, а в садово-парковому різновіковому насадженні зі змішаним складом деревно-чагарникових видів – 18,6 м.

Аналіз даних зведеної таблиці вимірювань, визначених за аналогами та запропонованим способом, свідчить, що спосіб визначення висоти дерев чагарникових видів із використанням БПЛА дає змогу отримувати результати високої точності (з відхиленням до 2 %). При цьому у процесі вимірювання оптичним та тригонометричним висотомірами в лісовому масиві виникали труднощі із встановленням базисної відстані через сусідні ростучі дерева, що також свідчить про недоліки аналогів. Використання дрона обмежене погодними умовами та густотою деревостану.

На підставі проведених досліджень отримали патент на корисну модель "Спосіб вимірювання висоти дерев і чагарників" (Bidolakh, Kuzovych & Bilous, 2017).

Висновки. Вимірювання висоти дерев і чагарників із використанням безпілотного літального апарата дає змогу проводити виміри з досить високою точністю. Такий підхід допомагає уникнути більшості недоліків існуючих аналогів. Запропонований спосіб усуває необхідність закладання базисної віддалі, дає змогу проводити візування на дійсну верхівку дерева та полегшує визначення висоти в умовах складного рельєфу. Використання при цьому сучасного інструментарію створює умови для збереження просторової та висотної атрибутивної інформації в цифровому вигляді разом із фотоз-

німками верхівок. Такий підхід можна використати для потреб лісо- та парковпорядкування, для встановлення достовірного розряду висот під час відведення ділянок у рубки, створення бази даних вимірів із цифровою, графічною та атрибутивною інформацією, а також для виконання інших наукових досліджень.

Перелік використаних джерел

- Anuchin, N. P. (1982). *Lesnaia taksatsiia Uchebnik dlia vuzov*. (5th ed.). Moscow: Lesnaia promyshlennost. 552 p. [In Russian].
- Bidolakh, D. I., Kuzovych, V. S., Bilous, A. M. (2017). Pat. 115874 UA, MPK G01C 3/20 (2006.01) B64S 17/08 (2006.01) B64D 47/08 (2006.01) A01G 23/00 (2017.01) Sposib vymiruvannia vysoty derev i chaharnykyv; zaiavn. Natsionalnyi universytet biore-sursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. № u 2016 12520; zaiavl. 09.12.2016; opubl. 25.04.2017, Biul. № 8, 2017 r. [In Ukrainian].
- Degerickx, J., Hermy, M., & Somers, B. (2017). Mapping functional urban green types using hyperspectral remote sensing. 2017 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE). <https://doi.org/10.1109/jurse.2017.7924553>
- DJI Phantom 4 – Specs, FAQ, Tutorials and Downloads. (2017). December 18. Retrieved from: <https://www.dji.com/phantom-4/info>
- Forestry Pro. (2017). November 06. Retrieved from: <http://imaging.nikon.com/lineup/sportoptics/laser/forestrypro/>
- Markham, D. (2017, September 12). This startup will use drones to map forests and plant trees at 1/10th of the usual cost. November 06. Retrieved from: <https://www.treehugger.com/clean-technology/startup-using-drones-plant-trees-110th-usual-cost.html>
- Phelps, J., Webb, E. L., & Agrawal, A. (2010). Does REDD Threaten to Recentralize Forest Governance? *Science*, 328(5976), 312–313. <https://doi.org/10.1126/science.1187774>

Д. І. Бидолах¹, А. М. Билоус², В. С. Кузєвич¹

¹ ПП НУБіП України "Бережанський агротехнічний інститут", г. Бережани, Україна
² Національний університет біоресурсів і природопольовання України, г. Київ, Україна

ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОТЫ ДЕРЕВЬЕВ И КУСТАРНИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КВАДРОКОПТЕРА

Исследована возможность использования беспилотного летательного аппарата (квадрокоптера) для измерения высоты деревьев и кустарников. Установлено, что наведение прицела беспилотного летательного аппарата с размещенной на нем камерой на основание дерева и его вершину перпендикулярно отвесной оси ствола, позволяет фиксировать его параметры с помощью GPS-приемника в трехмерной системе координат x, y, z. Эту информацию можно использовать для определения высоты измеряемого объекта с сохранением пространственной и высотной атрибутивной информации в цифровом виде вместе с фотоснимком верхушки. Апробация предложенного способа измерения высоты проведена на базе смешанных насаждений лесных массивов ГП "Бережанское лесохозяйственное хозяйство" и парковых насаждений в Бережанском призмковом парке на Тернопольщине. При этом, для сравнения точности измерения, выполнено одновременное определение высот деревьев и кустарников с помощью лазерного высотомера Nikon Forestry 550, оптического высотомера ВА и лесного высотомера-угломера УЛ-1. Выявлено, что предложенный способ определения высоты деревьев и кустарниковых пород позволяет получать результаты высокой точности (с отклонением до 2 %) без необходимости установки базового расстояния при измерениях. Кроме того, такой подход позволяет проводить визирование на действительную вершину дерева и облегчает определение высоты в условиях загущенных древостоев.

Ключевые слова: высота; дерево; беспилотный летательный аппарат; высотомер; GPS; Phantom 3 Advanced.

Д. І. Бидолах¹, А. М. Билоус², В. С. Кузєвич¹

¹ Berezhany Agrotechnical Institute of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Berezhany, Ukraine
² National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

MEASUREMENT OF THE TREE AND SHRUB HEIGHT WITH THE HELP OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

An important factor in maintaining modern forestry and park gardening is high quality and accuracy of forestry and tax indicators in the process of inventory and forest and park management and other related studies. One of the promising directions for development of the modern technologies is the involvement of unmanned aerial vehicles (UAVs) to undertake various researches. Therefore, we worked out the possibility of quadrocopter application to measure forestry and taxis indicators in the process of inventory of greenery and for the needs of forest and park management, including for tree and shrub height measuring. An experiment was conducted by the authors of this research. In this work researchers used Phantom 3 Advanced quadrocopter to get the information about the tree height by guiding the sight of the UAV camera to the bottom and top of the tree trunk. The shooting was carried out perpendicularly to the pivotal axis of the trunk. This approach allows fixing its parameters with a GPS receiver in a three-dimensional coordinate

system. This information can be used to determine the height of the measured object with getting the spatial and high-altitude attributive information in digital form together with the photograph of the top of trees. Approbation of the proposed method of height measurement was carried out on the basis of mixed tree plantation of the State Berezhany Forestry and park plantations in the Berezhany Prizamkovyj Park in the Ternopil region. At the same time, in order to compare the accuracy of the measurement, we simultaneously determined tree and shrub heights using a Nikon Forestry 550 laser altimeter, an optical altimeter VA, and a forest altimeter-goniometer VUL-1. It is revealed that the proposed method for determining the height of trees and shrubby species allowed obtaining results of high accuracy (with a deviation of up to 2 %) without the need to define a reference distance in measurements. In addition, this approach allows making a precise sight at the actual top of the tree and makes it easier to determine the height in conditions of the thickened stands.

Keywords: height; tree; unmanned aerial vehicle; altimeter; GPS; Phantom 3 Advanced.