

УДК 629.735.4-519:630\*5

**А. А. Петровская, С. П. Мохов**

Белорусский государственный технологический университет

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРНО-КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
ДРЕВОСТОЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДРОНОВ И МЕТОДОВ  
НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ**

В настоящее время для решения задач мониторинга и оценки лесных насаждений использование измерительных методов и средств лазерного сканирования является одним из наиболее актуальных и приоритетных направлений. Такое измерение может выполняться самостоятельно или в комплексе с воздушной видеосъемкой, а также может осуществляться наземными исследованиями на пробных площадях. По ряду показателей лазерное сканирование превосходит другие известные на сегодняшний день дистанционные методы оценки качественных и количественных характеристик лесного фонда, такие как аэрофотосъемка, зондирование земли и др. Использование воздушного и наземного мониторинга лесных насаждений с применением лазеров позволяет достигать высокой точности измерения основных лесотаксационных параметров.

Сформированные методические принципы и приемы целесообразно использовать при разработке конкретных методик определения показателей как отдельных факторов, указывающих на соответствующие виды доступности лесов. Так как рубки ухода требуют более детального исследования (а именно: необходимо выяснить данные по распределению деревьев в древостое и его доступности, получить более точные размерно-качественные показатели с учетом расположения деревьев), в данной публикации рассмотрен способ определения размерно-качественных показателей древостоя с помощью беспилотных летательных аппаратов совместно с наземными лазерными сканерами. Они позволяют с высокой точностью устанавливать: породный (видовой) состав лесного фонда, измерять диаметры древесного ствола на любой высоте, высоту деревьев, выявлять основные пороки древесины, площадь поперечного сечения, сортиментный общий и видовой запас древесины.

**Ключевые слова:** размерно-качественные показатели древостоя, дрон, лазерные сканеры.

**Для цитирования:** Петровская А. А., Мохов С. П. Определение размерно-качественных показателей древостоя с применением дронов и методов наземного лазерного сканирования // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 1 (276). С. 120–124. DOI: 10.52065/2519-402X-2024-276-16.

**A. A. Petrovskaya, S. P. Mokhov**

Belarusian State Technological University

**DETERMINATION OF DIMENSIONAL AND QUALITY INDICATORS  
OF THE TREE STAND USING DRONES AND METHODS  
GROUND-BASED LASER SCANNING**

Currently, the use of measuring methods and laser scanning tools is one of the most relevant and priority areas for solving the problems of monitoring and evaluation of forest plantations. Such measurement can be carried out independently or in combination with aerial video shooting, and can also be carried out by ground studies on test areas. According to a number of indicators, laser scanning surpasses others known today, such as aerial photography, earth sounding, etc., remote methods for assessing the qualitative and quantitative characteristics of the forest fund. The use of aerial and ground laser scanning in combination will allow achieving high accuracy in determining the main forest taxation parameters.

It is advisable to use the formed methodological principles and techniques when developing specific methods for determining indicators as separate factors determining the appropriate types of forest availability. Since logging of machine complexes requires more detailed research, namely, it is necessary to have data on the distribution of trees in the stand, their availability, more accurate dimensional and quality indicators taking into account the location of trees, this article discusses a method for measuring the size and quality indicators of a stand based on the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) in conjunction with ground-based laser scanners. They allow to measure with high accuracy the main forest taxational characteristics: the species (species) composition of the forest fund, the diameters of the tree trunk at any height, the height of trees, the main defects of wood, the cross-sectional area, the sortable total and sortable stock of wood.

**Keywords:** dimensional and quality indicators of the tree stand, drone, laser scanners.

**For citation:** Petrovskaya A. A., Mokhov S. P. Determination of dimensional and quality indicators of the tree stand using drones and ground-based laser scanning methods. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 1 (276), pp. 120–124 (In Russian). DOI: 10.52065/2519-402X-2024-276-16.

**Введение.** Для оценки и учета древостоев разработаны таксационные показатели, которые отражены в ряде таблиц: сортиментные и товарные таблицы (Н. П. Анучин), таблицы хода роста насаждений (В. В. Загреев), бонитетная шкала (М. М. Орлов) [1–3] и др. Данные показатели способствуют распределению лесного фонда по классам возраста, классам бонитета, полнотам, типам леса, среднему диаметру древостоя, средней высоте и распределению запасов по классам товарности. Лесоводственно-таксационная характеристика насаждений состоит из общей характеристики лесов лесохозяйственных учреждений, для которых разрабатываются проектируемые мероприятия, характеристики и анализ насаждений на пробных площадях, закладываемых для оценки эффективности мероприятий (технологий), их влияния на рост, развитие и продуктивность насаждений и т. д. Общая характеристика включает анализ видовой, типологической, возрастной, полнотной структуры рассматриваемой части (или всех) лесов лесничества и других показателей.

Также ранее разработаны методики определения данных показателей, методы таксации, учета, отвода лесосек, которые регламентируются такими документами, как ТКП 622-2018 «Технические требования при лесоустройстве. Отвод и таксация лесосек в лесах Республики Беларусь», правила отвода и таксации лесосек, санитарные правила, в том числе с использованием информационных систем и технологий в АРМ «Лесопользование» [4–6]. Они включают в себя таблицы на основе проводимых ранее экспериментальных исследований, которые позволяют проводить отвод и таксацию лесосек, оценку показателей древостоя и т. д. Комплекс таксационных показателей достаточно эффективно отображает характеристики древостоев и позволяет планировать лесохозяйственные мероприятия.

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что в настоящее время существует

достаточное количество различных методов определения показателей древостоя, которые имеют свои особенности.

Однако для планирования рубок ухода машинными способами с учетом доступности древостоя кроме имеющихся показателей необходимо знать особенности распределения деревьев в древостое и зависящие от этого детальные размерно-качественные показатели, для определения которых в нашей работе использовались беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и наземные лазерные сканеры (НЛС).

**Основная часть.** В настоящее время при оценке доступности древостоя подразумевают произрастание деревьев по закону нормального распределения. Если для планирования работы на сплошных рубках этого может быть достаточно, то на рубках ухода машинными комплексами это является спорным моментом и требует более детального проведения данного исследования [7].

Распределение показателей древостоя может зависеть от разных факторов, в связи с чем для установления более точной закономерности необходимо провести большое количество измерений (рис. 1). Исходя из этого с целью сокращения трудозатрат данные измерения предлагается осуществлять с использованием беспилотных летательных аппаратов (дронов) и методов наземного лазерного сканирования [8].

В последнее время технология НЛС все шире используется для решения задач в лесном хозяйстве [9, 10]. Она представляет собой активный метод съемок, который работает аналогично воздушному лазерному сканированию, но со статических положений [11]. Принцип работы НЛС заключается в получении трехмерных моделей исследуемого участка лесного фонда. Технология основана на излучении-приеме лазерного луча, который отклоняется зеркалом и автоматически сканирует местность, при этом лазер отражается от первого встреченного объекта.



Рис. 1. Показатели, влияющие на доступность древостоя

В результате съемки лазерным сканером получается несколько облаков точек. Для того чтобы измерить объект полностью и получить точные результаты, его нужно отсканировать со всех сторон. Основной формой представления результатов наземного лазерного сканирования является массив (облако) точек. Результатом работы НЛС является трехмерная модель участка лесонасаждения, которая описывается множеством точек, с пространственными координатами  $X, Y, Z$ . С помощью наземных лазерных сканеров определяются основные лесотаксационные характеристики: породный (видовой) состав лесного фонда, диаметры древесного ствола на любой высоте, высота деревьев, основные пороки древесины, площадь поперечного сечения, сортиментный общий и видовой запас древесины [12–14]. На сегодняшний день выпускаются НЛС таких производителей, как RIEGL (Австрия), Leica (Швеция), Trimble (США) и др. Принцип действия наземных лазерных сканеров показан на рис. 2.

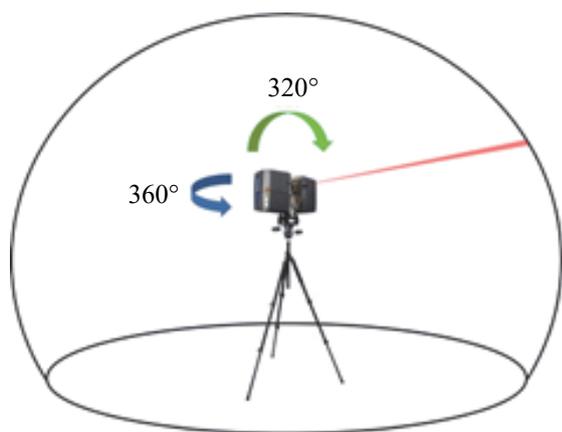


Рис. 2. Принцип действия наземного лазерного сканера

Рубки ухода машинным способом требуют качественного подхода в организации работы, выборке и применении машин, чтобы с минимальными повреждениями древостоя обеспечить необходимое изъятие худших деревьев [15].

Предложен способ измерения размерно-качественных показателей древостоя на основе использования БПЛА и НЛС. Работа заключается в следующем: на делянке отводится участок (выдел), где будут закладываться временные пробные площадки (ВПП) (размер пробной площадки зависит от породы, возраста насаждений, полноты и условий роста). После чего по периметру пробной площадки устанавливаются наземные лазерные сканеры, которые оценивают и фиксируют древостой, выполняя измерения различных геометрических параметров (расстояния, углы, диаметры, радиусы кривизны и т. д.). Особенно

важным является тот факт, что системы НЛС позволяют производить высокоточные измерения удаленных объектов с недоступной ранее скоростью до 976 000 точек/с на расстоянии до 153 м со следующими углами поля зрения: вертикальный – до 320°, горизонтальный – 360°. При этом величина углового шага сканирования может достигать 0,01° с точностью измерения до 0,009°. Разрешение измерительного блока составляет 0,07 мм [16]. Далее над участком запускается дрон для съемки пробной площади сверху. После чего совмещаются и сравниваются показатели дрона и лазерных сканеров, их данные обрабатываются с использованием средств программного обеспечения (ПО). После первичной обработки выполняется построение векторных моделей (рис. 3).

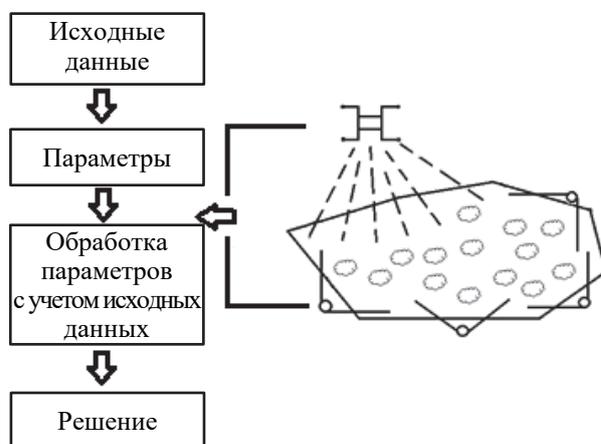


Рис. 3. Способ измерения размерно-качественных показателей древостоя

Полученные векторные данные переносятся в программы трехмерной векторной графики, такие как AutoCad, ArcView и др.

Данный способ позволяет получить наиболее точные размерно-качественные показатели лесных насаждений, которые будут влиять на доступность древостоя. В дальнейших исследованиях планируется провести апробацию данного метода с учетом рассматриваемых выше показателей.

Для контроля данных единичные участки могут проверяться стандартными методами таксации, после чего сравниваются измеренные показатели.

**Заключение.** При установлении таксационных показателей насаждений рекомендуется применять предложенный в данной статье способ определения размерно-качественных показателей древостоя с применением БПЛА и методов наземного лазерного сканирования. Для решения задач лесоустройства, осуществления различного вида мониторинга, моделирования динамики древостоя наиболее перспективным методом оценки лесных насаждений

является НЛС в сочетании с воздушной съемкой БПЛА. Использование методов и средств воздушной съемки и сканирования для оценки лесного покрова позволят в значительной мере

повысить эффективность и точность определения основных лесотаксационных показателей лесных насаждений при оценке качественных и количественных характеристик лесного фонда.

### Список литературы

1. Анучин Н. П. Лесная таксация. М.: Лесная пром-сть, 1982. 552 с.
2. Общесоюзные нормативы для таксации лесов / В. В. Загребов [и др.]. М.: Колос, 1992. 495 с.
3. Нормативные материалы для таксации леса Белорусской ССР / под общ. ред. В. Ф. Багинского. М.: ЦБНТИ-лесхоз, 1984. 300 с.
4. Технические требования при лесоустройстве. Отвод и таксация лесосек в лесах Республики Беларусь: ТКП 622-2018. Минск: Белгипролес, 2018. 110 с.
5. Об утверждении Правил отвода и таксации лесосек в лесах Республики Беларусь: постановление М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 26.12.2016, № 84 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21631598> (дата обращения: 20.10.2023).
6. Об утверждении санитарных норм и правил: постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь, 13.07.2023, № 113 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21631598> (дата обращения: 20.10.2023).
7. Давыдов А. В. Рубки ухода за лесом. М.: Лесная пром-сть, 1971. 184 с.
8. Варыгин К. А., Данилин И. М., Рыльский И. А. Инвентаризация и мониторинг лесов на основе лазерной локации, цифровой аэро- и космической фотосъемки и спутникового геопозиционирования // Материалы 3-й Междунар. практ. конф. по лесоустройству. Новосибирск, 29 нояб. – 1 дек. 2012 г. Новосибирск, 2012. С. 56–59.
9. Данилин И. М., Медведев Е. М. Некоторые результаты международного проекта по исследованию возможностей лазерной, радарной и цифровой аэросъемки лесов // Лесной журн. 2008. № 1. С. 15–23.
10. Рыльский И. А., Малеванная М. С. Наземные лазерные методы – новые подходы к информационному обеспечению географических исследований // Геодезия и картография. 2014. № 5 (4). С. 23–34.
11. Медведев Е. М., Данилин И. М., Мельников С. Р. Лазерная локация земли и леса. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Геолидар: Геокосмос; Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2007. 230 с.
12. Calculation of live tree timber volume based on particle swarm optimization and support vector regression / J. Youquan [et al.] // Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2013. Vol. 29. P. 160–167.
13. New hybrid algorithms for estimating tree stem diameters at breast height using a two dimensional terrestrial laser scanner / J. Kong [et al.] // Sensors. 2015. Vol. 15. P. 15661–15683.
14. Данилин И. М., Фаворская М. Н. Трехмерное моделирование лесных ландшафтных сцен на основе данных дистанционного зондирования // География и природные ресурсы. 2013. № 2. С. 151–159.
15. Духовник А. А., Мохов С. П. Оценки методов и приемов проведения рубок ухода за лесом системой машин «харвестер – форвардер» в Республике Беларусь // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2023. № 1 (264). С. 88–97.
16. Технические характеристики FARO Laser Scanner Photon 120/20 // FARO Sphere XG. URL: [http://metrologiold.metrolog.tnweb.ru/img/flash/browyri/trexmer\\_kontr/laser\\_scanner/techsheet\\_photon120\\_ru\\_fin.pdf](http://metrologiold.metrolog.tnweb.ru/img/flash/browyri/trexmer_kontr/laser_scanner/techsheet_photon120_ru_fin.pdf) (дата обращения: 20.10.2023).

### References

1. Anuchin N. P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest Taxation]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 552 p. (In Russian).
2. Zagreev V. V., Sukhoi V. I., Shvidenko A. Z., Gusev N. N., Moshkalev A. G. *Obshchесоyuznyye normativy dlya taksatsii lesov* [All-Union standards for forest taxation]. Moscow, Kolos Publ., 1992. 495 p. (In Russian).
3. Baginskiy V. F. *Normativnyye materialy dlya taksatsii lesa Belorusskoy SSR* [Normative materials for forest taxation of the Belarusian SSR]. Minsk, CBNTI-forestry Publ., 1984. 300 p. (In Russian).
4. ТКП 622-2018. Technical requirements for forest management. Allotment and taxation of cutting areas in the forests of the Republic of Belarus. Minsk, Belgiproles Publ., 2018. 110 p. (In Russian).
5. On the approval of the Rules of allotment and taxation of cutting areas in the forests of the Republic of Belarus: resolution of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus, 26.12.2016, no. 84. Available at: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21631598> (accessed 20.10.2023) (In Russian).

6. On the approval of sanitary norms and rules: Resolution of the Ministry of Health Republic of Belarus, 13.07.2023, no. 113. Available at: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21631598> (accessed 20.10.2023) (In Russian).
7. Davydov A. V. *Rubki ukhoda za lesom* [Forest thinning]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1971. 184 p. (In Russian).
8. Varygin K. A., Danilin I. M., Rylskiy I. A. Forest Inventory and Monitoring Based on Laser Detection and Ranging, Digital Aerial and Space Photography and Satellite Geolocation. *Materialy 3-y Mezhdunarodnoy prakticheskoy konferentsii po lesoustroystvu* [Proceedings of the 3rd International Practical Conference on Forest Management]. Novosibirsk, 2012, pp. 56–59 (In Russian).
9. Danilin I. M., Medvedev E. M. Some Results of International Project on Investigation of Possibilities for Laser, Radar and Digital Aerial Survey of Forests. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2008, no. 1, pp. 15–23 (In Russian).
10. Rylskiy I. A., Malevannaya M. S. Terrestrial laser methods – new approaches to information support for geographical research. *Geodeziya i kartografiya* [Geodesy and cartography], 2014, no. 5 (4), pp. 23–34 (In Russian).
11. Medvedev E. M., Danilin I. M., Melnikov S. R. *Lazernaya lokatsiya zemli i lesa* [Laser location of land and forests]. Moscow, Geolidar Publ., Geokosmos Publ.; Krasnoyarsk, Sukachev Institut of Forest Publ., 2007. 230 p. (In Russian).
12. Youquan J., Lixi Z., Ou D., Weiheng X., Zhongke F. Calculation of live tree timber volume based on particle swarm optimization and support vector regression. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, vol. 29, pp. 160–167.
13. Kong J., Ding X., Liu J., Yan L., Wang J. New hybrid algorithms for estimating tree stem diameters at breast height using a two dimensional terrestrial laser scanner. *Sensors*, 2015, vol. 15, pp. 15661–15683.
14. Danilin I. M., Favorskaya M. N. *Trekhmernoye modelirovaniye lesnykh landshaftnykh stsen na osnove dannykh distantsionnogo zondirovaniya* [Three-dimensional modeling of forest landscape scenes, based on remote sensing data], 2013, no. 2, pp. 151–159 (In Russian).
15. Dukhovnik A. A., Mokhov S. P. Evaluation of methods and techniques for preparation felling behind the forest with system of machines “harvest – forwarder” in the Republic of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2023, no. 1 (264), pp. 88–97 (In Russian).
16. Technical characteristics of FARO® Laser Scanner Photon 120/20. Available at: [http://metrologiold.lmetrolog.tmweb.ru/img/flash/browyri/trexmer\\_kontr/laser\\_scanner/techsheet\\_photon120\\_ru\\_fin.pdf](http://metrologiold.lmetrolog.tmweb.ru/img/flash/browyri/trexmer_kontr/laser_scanner/techsheet_photon120_ru_fin.pdf) (accessed 20.10.2023) (In Russian).

#### Информация об авторах

**Петровская Аlesia Александровна** – аспирант кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [alesya.duhovnik@mail.ru](mailto:alesya.duhovnik@mail.ru)

**Мохов Сергей Петрович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [limitlz@belstu.by](mailto:limitlz@belstu.by)

#### Information about the authors

**Petrovskaya Alesya Aleksandrovna** – PhD student, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [alesya.duhovnik@mail.ru](mailto:alesya.duhovnik@mail.ru)

**Mokhov Sergey Petrovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [limitlz@belstu.by](mailto:limitlz@belstu.by)

*Поступила 23.10.2023*