

Научная статья
УДК 630.52:587/588

ПРИНЦИП РАЗРАБОТКИ ИЗМЕРИТЕЛЯ ВЫСОТЫ ДЕРЕВА

Никита Андреевич Бобин¹, Сергей Петрович Санников²

^{1, 2} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ lofilevy@bk.ru

² sannikovsp@m.usfeu.ru

Аннотация. В работе представлен анализ методов и средств измерения высоты дерева и представлены их недостатки. Проведены результаты исследования по применению дальномера в качестве измерения высоты. Результаты представлены в таблице. Предложены перспективные сведения для разработки автоматического высотомера.

Ключевые слова: лес, дерево, высотомер, сбег дерева

Для цитирования: Бобин Н. А., Санников С. П. Принцип разработки измерителя высоты дерева // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. С. 595–599.

Original article

TREE HEIGHT MEASURING DEVICE DEVELOPMENT PRINCIPLE

Nikita A. Bobin¹, Sergey P. Sannikov²

^{1, 2} Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

¹ lofilevy@bk.ru

² sannikovsp@m.usfeu.ru

Abstract. The paper presents an analysis of methods and means of measuring the height of a tree and presents their disadvantages. The results of a research on the use of a rangefinder as an altitude measurement have been carried out. The results are shown in the table. Promising information is proposed for the development of an automatic altimeter.

Keywords: forest, tree, altimeter, tree rise

For citation: Bobin N. A., Sannikov S. P. (2026) Princip razrabotki izmeritelya vy'soty` dereva [Tree height measuring device development principle]. Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii [Scientific

creativity of youth to the forest complex of Russia] : materials of the XXII All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of undergraduate and postgraduate students. Ekaterinburg : USFEU, 2026. P. 595–599. (In Russ).

В статье рассматривается актуальная проблема измерения высоты деревьев в условиях густого леса. Измерение высоты необходимо для таксационных характеристик древостоев, т. е. порода деревьев и их объем древесины для лесозаготовки.

Сомкнутый полог крон древостоев не делает возможность применения визуальных средств измерения высоты дерева. Традиционные высотомеры и большинство электронных оптических измерителей высоты построены на визуальном методе, который в густом древостое становится неэффективным.

В работе предложена концепция комбинированного устройства, основанного на использовании наземного лазерного сканирования (LiDAR) для анализа видимой части ствола с последующей математической экстраполяцией полной высоты на основе моделей сбежистости ствола. Рассмотрены теоретические основы метода, а также возможная простая аппаратная реализация и алгоритм работы. Измерительное устройство предназначено работать в автоматическом режиме.

Для этого в работе поставлена **цель** по исследованию методов и средств измерительных устройств высоты деревьев.

Для успешного решения поставленной цели сформулированы следующие **задачи исследования**:

- изучить основные измерители высоты дерева и возможность их работы в автономном автоматическом режиме;
- провести анализ существующих методов, способов измерения высоты дерева;
- предложить возможные пути решения выявленных проблем.

Материалы и методы средств исследования

В работе применен анализ методов исследования опубликованных материалов по технологии авиационного мониторинга лесов. В работе применили метод *абстрагирования* по выявленным отдельным признакам точности параметров мониторинга.

Обсуждение результатов исследования

Определение характеристик древостоя, включая высоту деревьев, является ключевой задачей лесоустройства и лесной таксации. Высота дерева играет важную роль в оценке запаса древесины, определении качества природных объектов насаждения и в анализе скорости его развития (прирост древесины).

Опыт применения портативного лазерного дальномера Disto A5 фирмы-изготовителя Leica (Швейцария) для определения высот деревьев использовали Б. В. Селезнев, Д. В. Панов [1]. Особенность дальномера

Disto A5 заключается в том, что если невозможно прямое измерение размера, например, высоты объекта, то Disto позволяет косвенное определение путем построения пространственных треугольников, в которых измеряются катет и гипотенуза, что и требуется для измерения высоты дерева. Вычисление второго катета (высоты) обеспечивает встроенная в дальномер Disto A5 функция «Теорема Пифагора». Производитель гарантирует точность измерения $\pm 1,5$ мм на расстоянии до 200 м [1].

В работе О. С. Артемьева предложили методику и провели ее апробацию во время полевых работ [2]. Результат высоты деревьев получили по материалам цифровой съемки [2]. В эксперименте использовали 100 деревьев высотой до 10 м трех пород: лиственница сибирская, береза повислая, яблоня сибирская. Предложенная методика получила хорошие результаты по формуле

$$H_d = (T/P) L_{\text{ч}},$$

где H_d – высота дерева, м;

T – разность относительных координат между основанием дерева и его вершиной;

P – разность относительных координат между основанием дерева и головой человека, стоящего рядом с деревом;

$L_{\text{ч}}$ – рост человека, м.

Разница в оценке высоты дерева по материалам цифровой фотосъемки колеблется от 0,9 м до 1,0 м. Среднее отклонение абсолютных значений составляет 0,436 м. Средняя систематическая ошибка измерений – 0,68 %.

Выше рассмотренные и другие визуальные методы, а также способы измерения высоты дерева основаны на геометрии, а именно геометрии прямоугольного треугольника с двумя катетами, гипотенузой и синусом угла между ними. Недостаток этих методов заключается в том, что наблюдатель должен стоять на расстоянии примерно равном высоте наблюдаемого дерева. Если взрослое дерево со спелой древесиной имеет высоту 25...28 м и более, то и расстояние до наблюдателя составит от 20 до 30 м. В густом лесу это практически невозможно.

Есть сведения, что имеется взаимосвязь между высотой дерева и линейного снижения диаметра для каждой породы. Коэффициент сбega может отличаться, но в среднем имеется корреляция данных. Результаты исследования в своей работе показали П. М. Верхунов, В. Л. Черных [3]. Авторы посвятили целый параграф сбегу древесного ствола и его показателям [3].

Сбег ствола дерева давно и успешно используется в лесной таксации для определения объема срубленной древесины через систему коэффициентов формы, представлено в таблице.

Основные показатели, характеризующие сбеги ствола

Показатель	Сущность	Математическое выражение/Описание	Применение в модели
Действительный сбеги	Разность диаметров двух конкретных сечений ствола	$S = d_1 - d_2$, где d_1 и d_2 – диаметры на разных высотах	Точно описывает форму ствола. Позволяет строить его профиль (образующую)
Средний сбеги	Уменьшение диаметра в среднем на 1 м длины ствола	$S_{\text{ср}} = (d_n - d_v)/l$ где d_n – диаметр нижнего сечения; d_v – верхнего; l – длина	Дает общую характеристику, но не отражает деталей формы
Коэффициенты формы	Отношение диаметра на определенной высоте к диаметру на высоте 1,3 м (грудной высоте)	$q_2 = (d_{1/2})/(d_{1,3})$ $d_{1/2}$ – диаметр на половине высоты дерева; $d_{1,3}$ – диаметр на высоте груди	Используется в объемных и сортиментных таблицах. Для основных пород находится в известных диапазонах (например, сосна – 0,66, дуб – 0,68)
Таблицы сбега	Таблицы, где для данных диаметра на высоте 1,3 м и высоты ствола приведены средние диаметры для 2-метровых секций	Основаны на эмпирических данных для разных пород и разрядов высот	Позволяют определить диаметр в любой точке ствола и его объем

Аппаратная реализация измерительного прибора

Чтобы прибор мог самостоятельно собрать измеренные данные высоты дерева и произвести расчет, ему потребуется комплекс сенсоров и процессор для обработки информации.

Модуль сбора данных

Это «органы чувств» нашего прибора. Нам потребуется комбинация нескольких параметров полученными устройствами (элементами) модуля:

1. Лидар (LiDAR): это основа нашей идеи. Лидар позволит с высокой точностью построить 3D-облако точек видимой части ствола. Отсюда будут получены:

2. Расстояние до дерева: критически важно для любых угловых измерений.

3. Высота видимой части ствола: путем анализа облака точек определяется, до какой высоты ствол хорошо просматривается.

4. Диаметры на разных высотах: анализируя сечение облака точек, можно измерить диаметр ствола на различных участках видимой части.

5. Электронный клинометр/угломер: этот датчик будет измерять вертикальные углы. Он необходим для того, чтобы точно определить, под каким углом прибор «видит» основание и верхнюю границу видимой части ствола.

6. Камера с компьютерным зрением: может использоваться для дополнительного уточнения породы дерева путем анализа текстуры коры, что повысит точность выбора коэффициента формы.

Блок обработки и алгоритм работы

Собранные данные поступают в вычислительный модуль (микропроцессор), работающий со следующим алгоритмом:

1) определение базовых параметров: на основе данных лидара и клинометра прибор точно определяет расстояние до дерева (L) и высоту видимой части ствола ($h_{\text{видимая}}$);

2) построение профиля видимой части: по облаку точек лидара строится профиль изменения диаметра видимой части ствола. Это позволяет рассчитать действительный сбег на начальном участке;

3) прогнозирование полного профиля: на основе полученного начального сбega и предполагаемого коэффициента формы q_2 (взятого из базы данных для идентифицированной породы) математическая модель достраивает профиль ствола до вершины (где диаметр равен нулю);

4) расчет полной высоты: интегрируя полученную кривую сбega, процессор вычисляет полную высоту дерева (H).

Заключение и перспективы

Предложенная концепция объединяет проверенные временем модели и современные технологии дистанционного измерения.

Сильная сторона: модель позволяет обойти фундаментальную проблему закрытой кроны дерева, не прибегая к дорогостоящим и не всегда доступным методам, наподобие аэрофотосъемки.

Область для развития: точность метода будет напрямую зависеть от полноты и качества базы данных «порода – коэффициент формы» и от совершенства математической модели, описывающей сам сбег.

Список источников

1. Селезнев Б. В., Панов Д. В. Опыт применения портативного лазерного дальномера для определения высот деревьев // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2009. Т. 4, № 2. С. 185–189.

2. Артемьев О. С., Вайс А. А., Найдено Е. А. Методика измерения высот деревьев по материалам цифровой наземной фотосъемки // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2013. № 8. С. 122–125.

3. Верхунов П. М., Черных В. Л. Таксация леса. 2-е изд., стер. Йошкар-Ола : Марийский государственный технический университет, 2009. 396 с.