

DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2020.1.04
УДК 630.521

Инструмент для измерения диаметра стволов деревьев на основе оптических закономерностей

Д. С. Южаков

Сибирская лесная опытная станция, филиал Всероссийского научно-исследовательского института лесоводства и механизации лесного хозяйства, инженер I категории, Тюмень, Российская Федерация, yuzhakov@vniilm.ru

А. И. Николаев

Сибирская лесная опытная станция, филиал Всероссийского научно-исследовательского института лесоводства и механизации лесного хозяйства, заместитель директора по научной работе, Тюмень, Российская Федерация, nikolaev@vniilm.ru

Измерение диаметра ствола дерева традиционными измерительными инструментами при таксации лесных насаждений приводит к возникновению погрешности субъективного характера, выходящей за пределы допустимых значений. В статье обосновывается применение основных геометрических и оптических знаний при разработке нового инструментария, позволяющего проводить измерения диаметров деревьев с большей эффективностью.

Ключевые слова: таксация, оптический инструмент, диаметр ствола дерева, абберация.

Для ссылок: <http://dx.doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2020.1.04>
Южаков, Д. С. Инструмент для измерения диаметра стволов деревьев на основе оптических закономерностей / Д. С. Южаков, А. И. Николаев. – DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2020.1.04. – Текст : электронный // Лесхоз. информ. : электронный сетевой журнал. – 2020. – № 1. – С. 40–47. URL: <http://lhi.vniilm.ru/>

При проведении лесоучетных и таксационных работ в практике лесного хозяйства применяют разные приборы и инструменты, с помощью которых таксатор или учетчик получают необходимую информацию о лесных насаждениях. Одна из основных технологических операций – измерение диаметра ствола. На основе этого показателя по соответствующим формулам рассчитываются другие таксационные параметры, например: площадь поперечного сечения ствола, его объем [1]. Значения диаметров применяют и для сверки с массовыми таблицами объемов стволов, составления разрядных шкал и таблиц объёмов [2]. Основным инструментом, используемым в лесном хозяйстве и таксации, – механическая лесная мерная вилка. Её неоднократно модифицировали и дополняли различными конструктивными решениями, целью которых было повышение качества проведения работ и производительности труда, удобство эксплуатации, улучшение стандартной конструкции, например, мерная вилка со встроенным маркировочным устройством [3]. Однако каких-либо кардинальных изменений в её конструкцию так и не было внесено. Основные недостатки механической мерной вилки – громоздкость и, как следствие, сложности, возникающие при её транспортировке и эксплуатации на таксируемом участке. Кроме того, отмечена высокая степень субъективности работника, проводящего измерения (вероятность отнесения диаметра к большей или меньшей ступени толщины обуславливает погрешность ± 4 см).

Для повышения точности измерения диаметров стволов предлагается инструмент, базирующийся на оптических принципах. В отличие от механической мерной вилки, он обладает меньшими габаритами и отличается простотой использования.

Данный инструмент представляет собой небольшую заготовку из органического стекла с размерами 100×45 – 175×5 мм, по одной из длинных сторон которой вырезают диоптры в той последовательности и тех размеров, которые указаны на рис. 1. В нижней центральной части инструмента есть сквозное отверстие диаметром

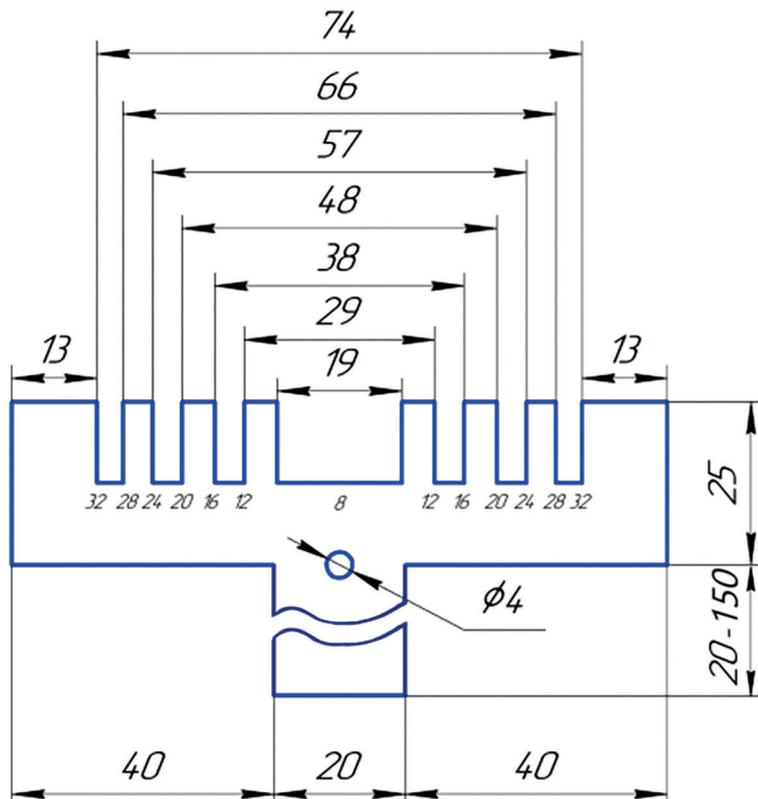


Рис.1. СХЕМА ПРЕДЛАГАЕМОГО ИНСТРУМЕНТА

4 мм для крепления цепочки-ограничителя, имеющей длину 500 мм. Она обеспечивает постоянное расстояние между глазом наблюдателя и диоптрами инструмента при измерениях.

Принцип работы инструмента основан на первом признаке подобия треугольников: если два угла одного треугольника равны двум углам другого треугольника, то такие треугольники подобны. Представим подобные треугольники ABC и ADG, при условии, что ABC вписан в ADG. Если перенести эти треугольники в природу, то точка A будет являться глазом наблюдателя; отрезок LM – диаметром ствола, измеренным мерной вилкой; отрезок AN – расстоянием от глаза наблюдателя до измеряемого объекта (ствола дерева) и одновременно линией визирования, которая имеет постоянную длину 2 000 мм; отрезок BC – размером диоптра; отрезок АК – длиной цепочки-ограничителя с постоянным размером 500 мм (рис. 2).

Боковые линии визирования соприкасаются в диаметрально противоположных сторонах

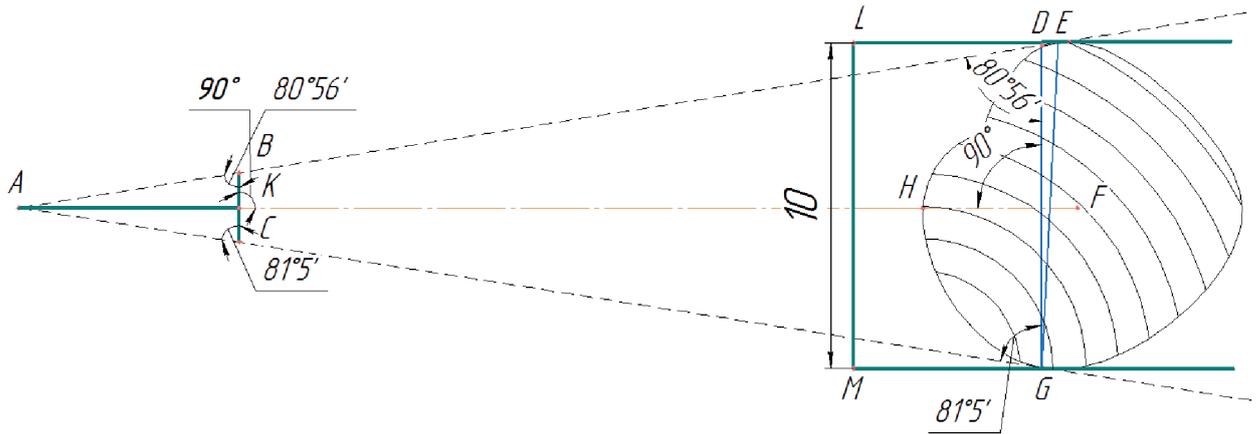


Рис. 2. СХЕМА ПРИНЦИПА ИЗМЕРЕНИЯ ДИАМЕТРА СТВОЛА ИНСТРУМЕНТОМ

измеряемого объекта в точках Е и G. Длина этого отрезка воспринимается глазом человека искаженно за счет отсутствия перпендикулярности к линии визирования АН и, исходя из анатомических особенностей строения глаза человека, кажется равной отрезку DG. Этот отрезок определим как видимый диаметр, или угловой размер, который имеет систематическую погрешность к истинному диаметру ствола дерева. В результате серии математических расчетов, основанных на случайном подборе формы поперечного сечения ствола, установлено, что данная погрешность варьирует в пределах $\pm 10\%$ и в соответствии с требованиями лесоустроительной инструкции, утверждённой приказом Минприроды России от 29.03.2018 № 122, является допустимой величиной.

Для расчета диоптров по первому признаку подобия треугольников необходимо было доказать, что $\angle ABC = \angle ADG$; $\angle ACB = \angle AGD$. Для доказательства используется одно из свойств параллельных прямых, согласно которому – если две параллельные прямые пересечены третьей прямой, то соответственные углы равны. В нашем случае параллельными являются отрезки BC и DG, а секущими – боковые линии визирования. Исходя из этого можно сказать, что углы $\angle ABC$ и $\angle ADG$ при данных параллельных и секущей являются подобными и, как следствие, равными. Аналогичный вывод можно сделать и для углов $\angle ACB$ и $\angle AGD$.

Далее, основываясь на вышеописанном примере, в идеальных условиях (форма поперечного сечения ствола – окружность), исходя из принципа работы инструмента, были рассчитаны размеры диоптров, наносимых на инструмент.

Основание треугольника ADG, т.е. видимого диаметра, см	8	12	16	20	24	28	32
Основание треугольника ABC, т.е. размер диоптров, см	1,9	2,9	3,8	4,8	5,7	6,6	7,4

Учитывая аберрацию оптического измерения, возникающую при применении инструмента, имеющего толщину, отличную от нуля, были рассчитаны поправочные углы между центральной линией визирования и плоскостями инструмента (передней и задней). Данные углы изменяют правило вырезки диоптров, отклоняя перпендикулярную внутреннюю грань диоптра на указанный поправочный угол, позволяющий нивелировать оптическую аберрацию визирования (рис. 3) и не контролировать толщину изготавливаемого инструмента.

Ниже приведены поправочные углы вырезки диоптров инструмента:

Степень толщины, см	8	12	16	20	24	28	32
Угол поправки, град.	1°7'	1°40'	2°12'	2°43'	3°14'	3°44'	4°15'

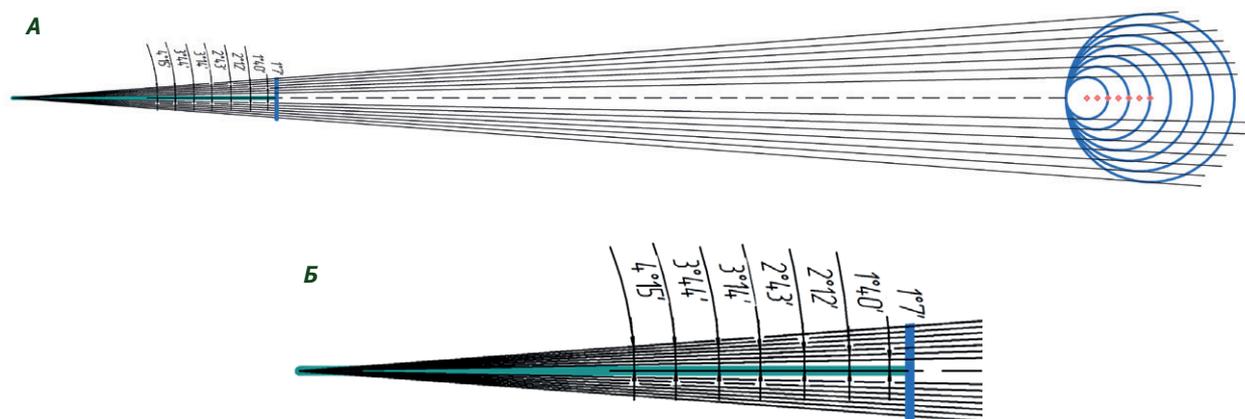


Рис. 3. Поправочные углы между центральной и боковыми линиями визирования
А – общий вид; Б – масштабированный вид

Порядок измерения диаметра ствола инструментом следующий. Сначала необходимо отметить расстояние, равное 2 м от измеряемого дерева. Данное измерение, как показали натурные испытания, удобнее и быстрее всего определять лазерным дальномером. Затем основание цепочки ограничителя приставляют к глазу и проводят прицеливание на ствол на высоте 1,3 м, определяемой глазомерно, с сопоставлением видимого диаметра ствола с диоптрами. По совпадению видимого диаметра дерева с границами диоптров и вспомогательной шкале определяют диаметр ствола.

Для выявления трудоемкости измерений и точности инструмента была проведена его апробация в полевых условиях на территории дендропарка Сибирской ЛОС филиала ФБУ «ВНИИЛМ»

(Тюмень). Для экспериментальных измерений случайным образом были подобраны 20 учетных деревьев различных диаметров. В первую очередь замер проводили предлагаемым инструментом, затем замеряли длину окружности ствола для определения диаметра ствола по длине окружности, в последнюю очередь измеряли диаметр стволов механической мерной вилкой. По результатам обмера были рассчитаны средние значения диаметров по 5-ти измерениям (μ), абсолютная Δ ПИ (погрешность предлагаемого инструмента), Δ МВ (погрешность мерной вилки) и относительная погрешность (δ) (таблица). За истинное значение принимали диаметр, определяемый по длине окружности ($D - C/\pi$, см). Графическое отображение апробации приведено на рис. 4.

РЕЗУЛЬТАТЫ АПРОБАЦИИ ПРЕДЛАГАЕМОГО ИНСТРУМЕНТА

№ УЧЕТНОГО ДЕРЕВА	С, см	D (C/π), см	D, ИЗМЕРЕННЫЙ ПРЕДЛАГАЕМОМ ИНСТРУМЕНТОМ, см							δ	D, ИЗМЕРЕННЫЙ МЕРНОЙ ВИЛКОЙ, см							δ
			№ ИЗМЕРЕНИЯ					μ	ΔПИ		№ ИЗМЕРЕНИЯ					μ	ΔМВ	
			1	2	3	4	5				1	2	3	4	5			
1	62	19,7	20	20	22	20	20	20,4	0,7	3,4%	20	20	20	20	20	20	0,3	1,3%
2	67	21,3	22	22	22	22	22	22	0,7	3,2%	22	22	21	22	21	21,6	0,3	1,3%
3	107	34,1	32	33	33	33	34	33	-1,1	3,1%	32	33	33	33	33	32,8	-1,3	3,7%
4	90	28,6	26	28	29	28	30	28,2	-0,4	1,6%	27	27	27	27	27	27	-1,6	5,8%
5	102	32,5	28	32	33	33	33	31,8	-0,7	2,1%	31	32	32	32	32	31,8	-0,7	2,1%

№ УЧЕТНОГО ДЕРЕВА	С, СМ	D (C/π), СМ	D, ИЗМЕРЕННЫЙ ПРЕДЛАГАЕМЫМ ИНСТРУМЕНТОМ, СМ							μ	ΔПИ	δ	D, ИЗМЕРЕННЫЙ МЕРНОЙ ВИЛКОЙ, СМ							μ	ΔМВ	δ
			№ ИЗМЕРЕНИЯ					μ	ΔПИ				№ ИЗМЕРЕНИЯ					μ	ΔМВ			
			1	2	3	4	5						1	2	3	4	5					
6	80	25,5	23	28	27	25	27	26	0,5	2,1%	25	25	25	25	25	25	-0,5	1,8%				
7	79	25,1	20	27	26	26	28	25,4	0,3	1,0%	24	26	26	26	26	25,6	0,5	1,8%				
8	97	30,9	32	32	32	32	32	32	1,1	3,6%	31	30	29	30	30	30	-0,9	2,8%				
9	101	32,2	32	32	33	32	33	32,4	0,2	0,8%	32	31	31	32	32	31,6	-0,6	1,7%				
10	52	16,6	16	16	16	16	16	16	-0,6	3,3%	16	16	16	16	16	16	-0,6	3,3%				
11	34	10,8	8	11	11	11	12	10,6	-0,2	2,1%	10	10	10	10	10	10	-0,8	7,6%				
12	45	14,3	16	15	14	14	14	14,6	0,3	1,9%	14	14	14	14	14	14	-0,3	2,3%				
13	56	17,8	18	18	18	18	18	18	0,2	1,0%	18	17	17	17	17	17,2	-0,6	3,5%				
14	85	27,1	26	28	28	27	28	27,4	0,3	1,3%	26	26	26	26	26	26	-1,1	3,9%				
15	46	14,6	15	14	16	14	15	14,8	0,2	1,1%	14	14	14	14	14	14	-0,6	4,4%				
16	71	22,6	22	22	22	22	22	22	-0,6	2,7%	22	22	22	22	22	22	-0,6	2,7%				
17	45	14,3	14	15	15	14	15	14,6	0,3	1,9%	14	14	14	14	14	14	-0,3	2,3%				
18	74	23,6	23	24	23	24	24	23,6	0,0	0,2%	23	22	22	22	22	22,2	-1,4	5,8%				
19	68	21,6	23	24	22	20	22	22,2	0,6	2,6%	21	21	21	20	21	20,8	-0,8	3,9%				
20	67	21,3	22	22	21	22	22	21,8	0,5	2,2%	20	20	21	20	20	20,2	-1,1	5,3%				
Средняя погрешность:										0,1	2,0%						-0,6	3,4%				

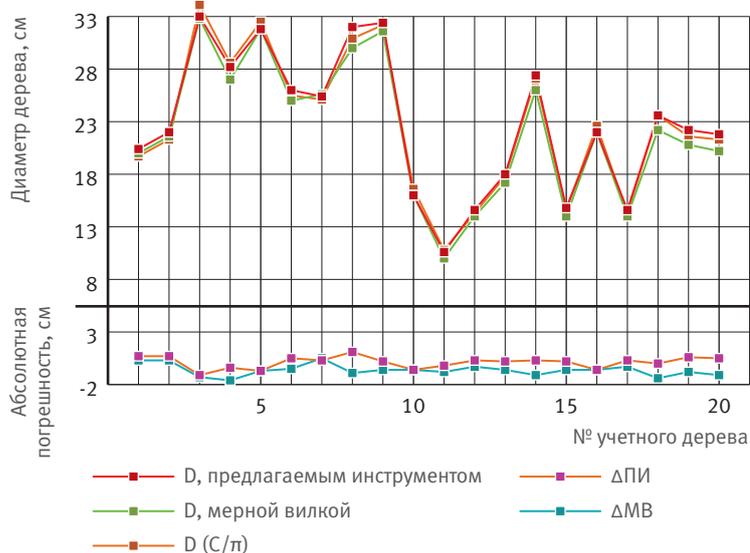


Рис. 4. РАСХОЖДЕНИЕ ДИАМЕТРОВ, ИЗМЕРЕННЫХ МЕРНОЙ ВИЛКОЙ И ПРЕДЛАГАЕМЫМ ИНСТРУМЕНТОМ ПО ОТНОШЕНИЮ К ИСТИННОМУ ДИАМЕТРУ

Данные таблицы и графиков на рис. 4 свидетельствуют о высокой точности измерения диаметра ствола предлагаемым инструментом. Средняя относительная погрешность составила

2% с колебаниями от 0,2 до 3,6%; средняя погрешность измерения диаметра стволов мерной вилкой – 3,4% с колебаниями от 1,3 до 7,6%. В ходе апробации не выявлена зависимость варьирования точности измерений от диаметра ствола.

Учитывая небольшое расстояние до измеряемого ствола дерева, равное 2 м, и пределы прямой видимости, острота зрения наблюдателя не влияет на точность измерения диаметра дерева и легко корректируется проведением пробного замера.

* *
*

Выполненные исследования свидетельствуют о простоте проведения измерений предлагаемым инструментом, а точность измерений позволяет более объективно относить измеряемые диаметры к той или иной ступени толщины.

Предлагаемый инструмент имеет практическое преимущество перед традиционными мерными вилками: простоту использования, компактные габариты. Инструмент удобен не только

для транспортировки, но и для проведения таксационных полевых работ. Его можно использовать для измерения диаметра стволов деревьев с точностью, предъявляемой к лесоучетным работам.

Список использованных источников

1. Третьяков, Н. В. Определение объема древесного ствола с помощью трех обмеров / Н. В. Третьяков // Сб. ст. по лесному хозяйству. – Петроград, 1916. – С. 99–163.
2. Демиденко, С. А. Объемные таблицы по разрядам высот в чистых березовых древостоях северной и средней подзона тайги Архангельской области / С. А. Демиденко // Arctic Environmental Research. – 2011. – № 4. – С. 56.
3. Мерная вилка со встроенным маркером / А. С. Васильев, В. М. Лукашевич, И. Р. Шегельман, Ю. В. Суханов // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 2. – Ч. 2.

References

1. Tret'yakov, N. V. Opredelenie ob»ema drevesnogo stvola s pomoshch'yu trekh obmerov / N. V. Tret'yakov // Sb. st. po lesnomu hozyajstvu. – Petrograd, 1916. – S. 99–163.
2. Demidenko, S. A. Ob'emnye tablicy po razryadam vysot v chistykh berezovykh drevostoyah severnoj i srednej podzon tajgi Arhangel'skoj oblasti / S. A. Demidenko // Arctic Environmental Research. – 2011. – № 4. – S. 56.
3. Mernaya vilka so vstroennym markerom / A. S. Vasil'ev, V. M. Lukashevich, I. R. Shegel'man, Yu. V. Suhanov // Inzhenernyj vestnik Dona. – 2015. – № 2. – Ch. 2.

Optical Patterns Measurement of the Diameters of the Trunks of Trees

D. Yuzhakov

Siberian Forest Experiment Station Branch Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry, Engineer, Tyumen, Russian Federation, yuzhakov@vniilm.ru

A. Nikolaev

Siberian Forest Experiment Station Branch Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry, Deputy Director for research, Tyumen, Russian Federation, nikolaev@vniilm.ru

Keywords: *taxation, optical instrument, barrel diameter, aberration*

The article analyzes the problems of increasing the accuracy of measuring the diameter of tree trunks and ways to solve them using the developed optical tool. The article describes the way of modeling and creating a new optical instrument. This development is related to the imperfection of the currently widely used tools That lead to errors related to the human factor. The reasons for errors when measuring the diameter of trunks with a forest measuring fork are considered. The results of measuring the diameter of the barrels with the proposed tool are presented. It is proved that the internal walls of diopters are made at a certain angle, which will allow to level the error of the observer's visual acuity to maintain the accuracy of measurements within 2% .

The use of the developed optical tool will increase the accuracy of measuring the diameter of the trunk by almost 2 times, which will have a positive impact on the accuracy of determining a number of taxational characteristics of trees associated with the diameter of the trunk. This is confirmed by field experiments.