

Прибор для определения плотности твердых тел

А.Р. Бирман^а, С.А. Угрюмов^б, Н.А. Белоногова^с, О.М. Матер^д, Н.А. Вохмянин^е

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова,
Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, Россия

^а birman1947@mail.ru, ^б ugr-s@yandex.ru, ^с tlzp@inbox.ru, ^д tlzp@inbox.ru, ^е 7520910@gmail.com

^а <https://orcid.org/0000-0002-1693-0515>, ^б <https://orcid.org/0000-0002-8077-3542>, ^с <https://orcid.org/0000-0003-3967-6174>,

^д <https://orcid.org/0000-0002-2990-9117>, ^е <https://orcid.org/0000-0002-8306-1032>

Статья поступила 24.01.2020, принята 08.02.2020

В статье рассмотрен вопрос разработки аппаратного оформления процесса точного оперативного определения объема тел неправильной формы, обладающих как отрицательной, так и положительной плавучестью, например, цельной, измельченной древесины и иных тел. Известные способы оценки плотности путем измерения объема вытесненной воды обладают рядом недостатков, одним из которых является невозможность их использования для тел, имеющих положительную плавучесть. Это в полной мере относится к образцам из цельной или измельченной древесины. Предложенная новая конструкция плотномера включает прозрачный цилиндрический вертикальный сосуд с жидкостью и исследуемым образцом, при этом сосуд разделен на две равные по объему полости жесткой перегородкой с отверстием. В ходе измерения в сосуд вливают жидкость в объеме, равном половине емкости сосуда, а на жесткую перегородку размещают исследуемый образец. После герметизации поворачивают сосуд в вертикальной плоскости на 180°, при этом жидкость через отверстия в жесткой перегородке перетекает в полость сосуда с исследуемым образцом. В этом положении в верхней полости сосуда оказывается объем жидкости, вытесненный образцом из противоположной полости сосуда и равный объему образца. Величина этого объема определяется визуально по показаниям шкалы вертикальной линейки, градуированной в единицах объема. Прибор является простым в изготовлении и удобным в эксплуатации, обеспечивает возможность исследования образцов или проб вещества как в лабораторных, так и в полевых условиях. Влажность образцов не влияет на результаты измерений.

Ключевые слова: древесина; проба вещества; плотность; полнодревесность; измерение; плотномер.

The device for determining the density of solids

A.R. Birman^а, S.A. Ugryumov^б, N.A. Belonogova^с, O.M. Mater^д, N.A. Vokhmyanin^е

St. Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov; 5, Institutsky Per., St. Petersburg, Russia

^а birman1947@mail.ru, ^б ugr-s@yandex.ru, ^с tlzp@inbox.ru, ^д tlzp@inbox.ru, ^е 7520910@gmail.com

^а <https://orcid.org/0000-0002-1693-0515>, ^б <https://orcid.org/0000-0002-8077-3542>, ^с <https://orcid.org/0000-0003-3967-6174>,

^д <https://orcid.org/0000-0002-2990-9117>, ^е <https://orcid.org/0000-0002-8306-1032>

Received 24.01.20, accepted 08.02.2020

The article considers the issue of developing the hardware design for the process of accurately determining the volume of bodies of irregular shape, possessing both negative and positive buoyancy, for example, whole, shredded wood and other bodies. Known methods for estimating density by measuring the volume of displaced water have several disadvantages, one of which is the inability to use them for bodies with positive buoyancy. This fully applies to samples of solid or ground wood. The proposed new design of the densitometer includes a transparent cylindrical vertical vessel with a liquid and a test sample, while the vessel is divided into two, equal in volume, cavities by a rigid partition with a hole. During the measurement, liquid is poured into the vessel in a volume equal to half the capacity of the vessel, and the test sample is placed on a rigid partition. After sealing, the vessel is turned in a vertical plane by 180°, while the liquid flows through the holes in the rigid partition into the cavity of the vessel with the test sample. In this position, in the upper cavity of the vessel there is the volume of fluid displaced by the sample from the opposite cavity of the vessel and equal to the volume of the sample. The value of this volume is determined visually by the reading of the scale of the vertical ruler, graduated in units of volume. The device is simple to manufacture and convenient to operate. Moreover, it provides the ability to study samples or prills of substances in both laboratory and field conditions. The humidity of the samples does not affect the measurement results.

Keywords: wood; alloy substance; density; wood laying density; measurement; densitometer.

Введение. Одной из важнейших физических характеристик древесины является ее плотность ρ , которая определяется отношением массы древесного образца к его объему [1] и выражается формулой:

$$\rho = m/V, \quad (1)$$

где m — масса древесины; V — объем древесины.

В международной системе единиц измерения СИ плотность имеет размерность «кг/м³». Различают следующие виды плотности древесины: плотность цельной древесины, плотность ее твердой фракции и плотность древесинного вещества.

Как правило, в технологических измерениях определяется плотность цельной древесины, численное выражение которой показывает, какое количество древесины (вместе с древесным соком) содержится в ее единичном объеме при определенной влажности. На практике влажность древесины изменяется в широких пределах, при этом меняется и масса древесины. Изменение влажности, особенно в интервале предела насыщения клеточных стенок (0–30 %), изменяет и объем древесины, вследствие чего для одного и того же образца древесины при испытаниях можно зафиксировать значения плотности, изменяющейся в значительном интервале [2; 3].

В практических расчетах не учитывают температуру древесины, так как она не оказывает существенного влияния на плотность исследуемых образцов.

Зная вес и плотность цельной древесины определенной влажности, можно осуществлять учет древесины в кубических метрах плотной массы, что необходимо для определения производительности оборудования, контроля количества отгружаемой потребителю продукции. Также возможно определять и насыпной объем древесины, что важно при расчетах вместимости складских помещений и транспортных единиц при поставках полуфабрикатов или готовой продукции потребителю. В производственных условиях подсчет объема древесины ведут с учетом коэффициента полндревесности (табличная величина) [4].

Методы определения плотности древесины. Для определения плотности твердых тел существует несколько основных методов — вытеснение воды или ртути, гидростатическое взвешивание, измерение выталкивающей силы при погружении образцов в жидкость, методы пикнометрический, ультразвуковой, вибрационный и т. д. [5–7]. На практике наиболее точным и доступным является способ, основанный на измерении объема вытесненной воды. При этом отбор необходимого числа образцов цельной древесины или щепы для испытаний проводится в соответствии с отраслевой нормативной технической документацией [8]. Отметим, что масса относится к числу физических величин, значение которых может быть определено непосредственными измерениями посредством взвешивания. Напротив, объем тела определяется путем косвенных измерений. В случае образцов правильной геометрической формы объем находим из измерения линейных размеров.

При определении плотности вещества образцов неправильной формы вычислить объем образца через линейные размеры невозможно.

Наиболее часто измерения плотности твердых тел неправильной формы осуществляются пикнометрическим методом, который осуществляют в следующей последовательности [3]. Пикнометр (стеклянный сосуд, объем которого известен с большой точностью) заполняют дистиллированной водой (до метки) и взвешивают. Масса пикнометра с водой M_0 равна:

$$M_0 = \rho_0 \cdot V_p + m_p, \quad (2)$$

где ρ_0 — плотность воды; V_p — объем сосуда; m_p — масса сосуда.

Затем взвешивают исследуемый образец. Его масса m равна:

$$m = \rho V, \quad (3)$$

где ρ — искомая плотность образца; V — объем образца.

Взвешенный образец погружают в пикнометр с водой, излишек воды удаляют, чтобы ее уровень снова совпал с меткой на сосуде пикнометра, и определяют массу M пикнометра с водой и образцом:

$$M = \rho V + \rho_0 (V_p - V) + m_p = m + \rho_0 (V_p - V) + m_p. \quad (4)$$

Затем, вычитая (4) из (2) и прибавляя (3), определяют массу вытесненной воды и, определив отсюда объем V , получают выражение для искомой плотности:

$$\rho = m / V = m \rho_0 / M_0 - M + m. \quad (5)$$

Недостатками этого способа являются значительное число необходимых последовательных операций, потребность в привлечении высококвалифицированного обслуживающего персонала, трудность реализации в полевых условиях.

Но главным недостатком пикнометрического способа, а также всех вышеупомянутых способов, является невозможность их использования для определения плотности образцов, имеющих плотность ниже плотности дистиллированной воды (или иной жидкости, заливаемой в сосуд пикнометра), так как образец, имеющий положительную плавучесть, вытесняет при погружении объем жидкости меньший, чем собственный объем [9]. Данный аспект в полной мере относится к образцам из цельной или измельченной древесины.

Для полного погружения древесных образцов в жидкость плотномера необходимо использовать некий толкатель, попадание которого в жидкость с погруженным образцом искажает результат по измерению объема исследуемого образца [10].

Разработка новой конструкции плотномера. Нами предлагается новая конструкция плотномера (см. рис. 1), которая лишена недостатков известных плотномеров и может быть использована для точного оперативного определения объема образцов неправильной формы, обладающих как отрицательной, так и положительной плавучестью. При этом прибор может использоваться при исследовании как цельных образцов, так и измельченных, например, щепы.

Прибор включает прозрачный цилиндрический вертикальный сосуд 1 с жидкостью 2 и исследуемым образцом 3, разделенный на две равные по объему полости жесткой перегородкой 4 с отверстием 5. Сосуд 1 снабжен двумя герметичными геометрически одинаковыми пробками 6 с фиксаторами 7, вертикальной линейкой 8 и жестко скрепленными с сосудом 1 двумя наружными цилиндрическими пальцами 9, ось которых проходит через центр тяжести сосуда 1. Пальцы 9 лежат на опорах вращения 10 вертикальных стоек 11 станины 12, снабженной горизонтальным уровнем 13 и регулируемые по высоте ножками 14.

Установив прибор на горизонтальной поверхности, добиваются горизонтального положения в пространстве его станины 12 с помощью стандартного уровня 13 и регулируемых по высоте ножек 14.

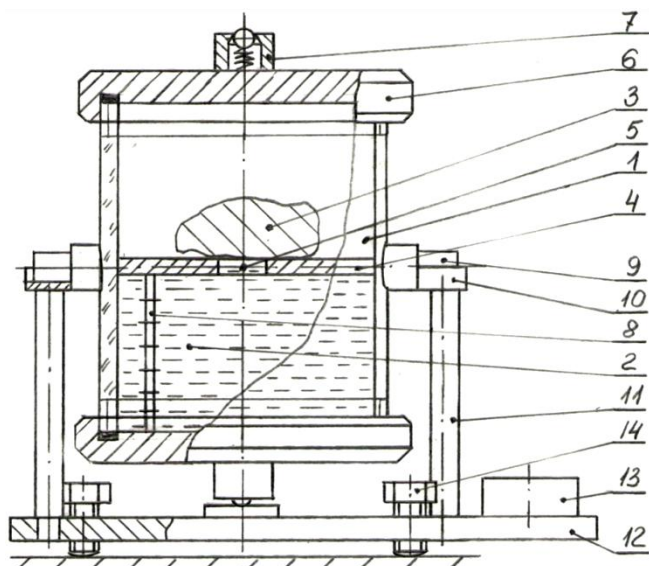


Рис. 1. Снаряженное устройство перед проведением исследований

В сосуд 1, вертикально зафиксированный нижним фиксатором 7, со снятой, например, резьбовой верхней герметичной пробкой 6 вливают жидкость 2 в объеме, равном половине емкости сосуда 1. На жесткую перегородку 4 размещают исследуемый образец 3 (или пробу вещества) и герметизируют сосуд 1 пробкой 6. Затем поворачивают сосуд 1 в вертикальной плоскости на 180° на цилиндрических пальцах 9, расположенных на опорах вращения 10 вертикальных стоек 11, и фиксируют вертикальное положение сосуда 1 с помощью фиксатора 7 перевернутой вниз верхней пробки 6.

По завершению вращения сосуда 1 жидкость 2 через отверстие 5 в жесткой перегородке 4 перетекает в ту полость сосуда 1, где и размещен исследуемый образец, или проба вещества. На рис. 2а представлен вид

прибора в период проведения исследований с образцом, обладающим отрицательной плавучестью (образец лежит на дне нижней полости сосуда).

В этом положении в верхней полости сосуда оказывается объем жидкости, вытесненный образцом (или пробой вещества) из противоположной полости сосуда и, очевидно, равный объему образца (или пробы вещества). Величина этого объема определяется визуально по показаниям шкалы вертикальной линейки, градуированной в единицах объема.

Плотность вещества ρ предварительно взвешенного образца 3 с массой m определяется по формуле (1), где V — показания шкалы линейки 8.

По окончании процесса исследования образца (или пробы вещества) поворотом сосуда 1 на 180° возвращают прибор в исходное положение, снимают пробку 7, удаляют образец и приступают к очередному исследованию.

В случае определения плотности образцов с положительной плавучестью образец 3 будет плавать в объеме жидкости нижней полости сосуда 1, а точнее — будет прижат выталкивающей силой к нижней плоскости жесткой перегородки 4 (рис. 2б).

При исследовании проб вещества жесткая перегородка 4 выполняется с одним или большим количеством отверстий для обеспечения свободного перетекания жидкости 2 из одной полости сосуда 1 в его противоположную полость. При этом диаметр отверстий в перегородке 4 должен быть меньше наименьшей из частиц, составляющих пробу вещества.

Условие прохождения оси пальцев 9 через центр тяжести сосуда 1 должно выполняться для обеспечения надежной работы фиксаторов 7. Нижняя герметичная пробка 6 выполнена съемной для возможности периодической очистки сосуда 1.

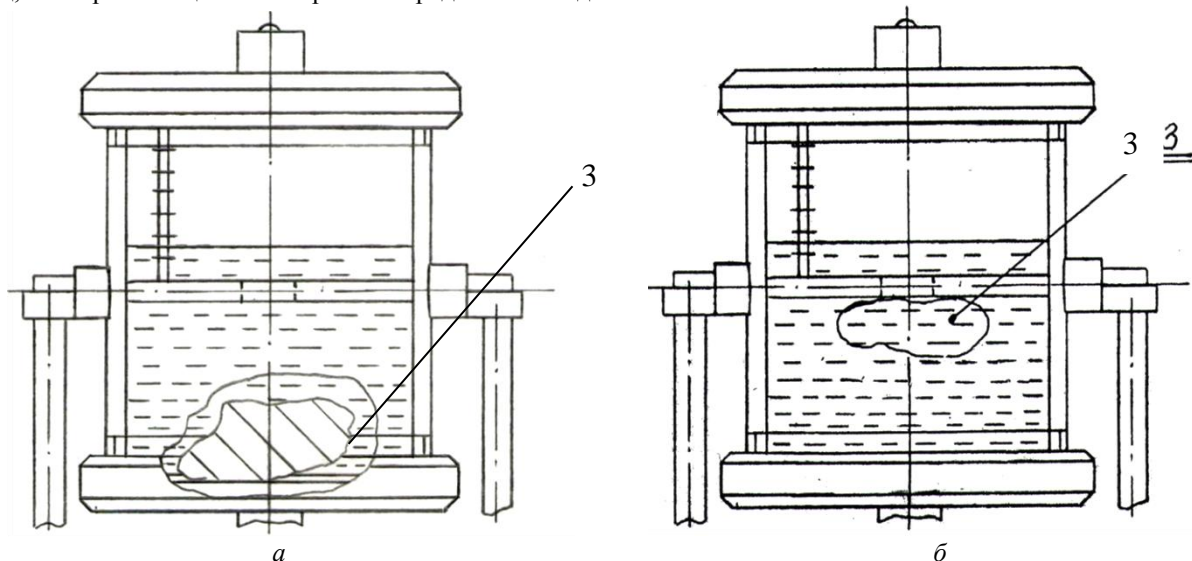


Рис. 2. Устройство в период проведения исследований с образцом, обладающим: а — отрицательной плавучестью; б — положительной плавучестью

Жидкость, используемая в устройстве, может быть непрозрачной или подкрашенной с целью более точной визуальной фиксации ее уровня по отношению к рис-

кам градуировки линейки 8. Жидкость подлежит замене в случае ее загрязнения частицами, отделившимися

ся от образца или пробы вещества в период проведения исследований.

Станина 12 устройства может быть установлена на весах, что позволит осуществлять измерение массы образцов или пробы вещества одновременно с определением их объема. Определение емкости сосуда 1 с установленной перегородкой 4 для каждого отдельного устройства предлагаемой конструкции осуществляется перед началом его первой эксплуатации с помощью мерной емкости. Габариты устрой-

ства зависят от размеров исследуемого образца (или пробы вещества).

Выводы. Предложенный прибор для определения плотности древесины и иных твердых тел, в том числе неправильной формы, является простым в изготовлении и удобным в эксплуатации, обеспечивает возможность исследования образцов или проб вещества как в лабораторных, так и в полевых условиях, при этом влажность образцов не влияет на результаты измерений.

Литература

1. Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение. М.: Академия, 2011. 272 с.
2. Тамби А.А., Юркова О.В., Куницкая О.А., Степанисчева М.В. Исследование влияния физических свойств и строения древесины сосны на ее прочность // Системы. Методы. Технологии. 2017. № 4 (36). С. 157–161.
3. Технология целлюлозно-бумажного производства: справ. материалы. В 3 т. / гл. ред. П.С. Осипов. СПб.: ЛТА, 2002. Т. 1. 425 с.
4. Шегельман И.Р., Полежаев К.В., Васильев А.С. Коэффициент полндревесности круглых лесоматериалов в условиях Северной Карелии // Глобальный научный потенциал. 2012. № 9 (18). С. 31–33.
5. Анисович А.Г., Буйницкая А.С. Стандартные методы определения пористости материалов (обзор) // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. 2015. № 2. С. 30–36.
6. Чубинский А.Н., Тамби А.А., Теппов А.В., Ананьева Н.И., Семишкур С.О., Бахшиева М.А. Физические неразрушающие методы испытания и оценка структуры древесных материалов // Дефектоскопия. 2014. № 11. С. 76–84.
7. Домостроев А.В. Определение плотности твердых тел методом уравнивания в жидкости // Измерительная техника. 2009. № 9. С. 23–26.
8. ОСТ 81-119-79. Инструкция по нормированию расхода древесины в производстве целлюлозы и древесной массы. М.: Лесн. промышленность, 1982. 106 с.
9. Кивилис С.С. Плотномеры. М.: Энергия, 1980. 279 с.
10. Никишов В.Д. Комплексное использование древесины. М.: Лесная промышленность, 1985. 264 с.

References

1. Ugolev B.N. Wood science and forest commodity management. M.: Akademiya, 2011. 272 p.
2. Tambi A.A., Yurkova O.V., Kunickaya O.A., Stepanishcheva M.V. Research of influence of physical properties and structure of pine wood on its strength // Systems. Methods. Technologies. 2017. № 4 (36). P. 157–161.
3. Technology of pulp and paper production: sprav. materialy. V 3 t. / Gl. red. P.S. Osipov. SPb.: LTA, 2002. V. 1. 425 p.
4. SHegel'man I.R., Polezhaev K.V., Vasil'ev A.S. Coefficient of density of laying of round timber in the conditions of Northern Karelia // Global Scientific Potential. 2012. № 9 (18). P. 31–33.
5. Anisovich A.G., Bujnickaya A.S. Standard methods of determining the porosity of materials (review) // Vesci Nacyyanal'naj akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-tekhnichnyh navuk. 2015. № 2. P. 30–36.
6. CHubinskij A.N., Tambi A.A., Teppov A.V., Anan'eva N.I., Semishkur S.O., Bahshieva M.A. Physical methods of nondestructive testing and evaluation of the structure of wood-based materials // Russian Journal of Nondestructive Testing. 2014. № 11. P. 76–84.
7. Domostroeov A.V. Determination of density of solids by the method of equilibration in the fluid of the measuring equipment // Measurement Techniques. 2009. № 9. P. 23–26.
8. OST 81-119-79. Instructions for rationing wood consumption in the production of pulp and wood pulp. M.: Lesn. promyshlennost', 1982. 106 p.
9. Kivilis S.S. Densitometers. M.: Energiya, 1980. 279 p.
10. Nikishov V.D. Complex use of wood. M.: Lesnaya promyshlennost', 1985. 264 p.