

12. Olas, B. Sea buckthorn as a source of important bioactive compounds in cardiovascular diseases. *Food Chem. Toxicol.* 2016, 97, 199–204.
13. Guo, R.; Guo, X.; Li, T.; Fu, X.; Liu, RH Comparative assessment of phytochemical profiles, antioxidant and antiproliferative activities of Sea buckthorn (*Hippophaë ramnoides* L.) berries. *Food Chem.* 2017, 221, 997–1003.
14. Ranard, KM; Erdman, JW Effects of dietary RRR  $\gamma$ -tocopherol vs all-racemic  $\gamma$ -tocopherol on health outcomes. *Nutr. Rev.* 2018, 76, 141–153.
15. Olas, B.; Skalski, B.; Ulanowska, K. The anticancer activity of sea buckthorn [*Elaeagnus ramnoides* (L.) A. Nelson]. *Front. Pharmacol.* 2018, 9, 232.
16. Hamuŷka, J.; Gornicka, M.; Sulich, A.; Frŷackiewicz, J. Weight loss program is associated with a decrease in  $\gamma$ -tocopherol status in obese adults. *Clin. Nutr.* 2019, 38, 1861–1870.
17. Hao, W.; He, Z.; Zhu, H.; Liu, J.; Kwek, E.; Zhao, Y.; Ma, K.Y.; He, W.S.; Chen, ZY Sea buckthorn seed oil reduces blood cholesterol and modulate gut microbiota. *Food Funct.* 2019, 10, 5669–5681.
18. Safin R, Safin R, Razumov E, Timerbaev N, Ziatdinova D, Voronin A, Nazmutdinova L, Ziatdinov A, Mindubaev R 2011 [Method of harvesting fruits, mainly sea buckthorn] Patent RU 2009 141 644 A, applicant - Limited Liability Company "Scientific and Technical Center for the Development of Advanced Equipment" (LLC "NTC RPO") (In Russ.)
19. Korotkiy I.A., Korotkaya E.V., Kireev V.V. The change of the thermal and physical characteristics of seabuckthorn berries during freezing. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2016, vol. 41, no. 2, pp. 108–112 (In Russ.).

© **Ismailov L.Yu.** – postgraduate student of the Department of Architecture and Design of Wood Products, Kazan National Research Technological University (KNRTU), e-mail: lenar-2015@mail.ru; **Safina A.V.** – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Architecture and Design of Wood Products, KNRTU, e-mail: alb\_saf@mail.ru.

УДК 531.754 615.322

## СРАВНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ КАЖУЩЕЙСЯ ПЛОТНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

**Ренат Х. Гайнуллин, А.В. Романов, Ришат Х. Гайнуллин, Е.М. Цветкова, М.Ю. Смирнов**

*В статье приведены результаты исследований по измерению кажущегося объема и определению кажущейся плотности древесины различных пород с помощью различных методов. В результате критического анализа способов и конструкций для измерения кажущегося объема и определения кажущейся плотности пористых материалов предложены способ и устройство, основанные на методе газовой пикнометрии. Исследованию подвергались образцы высушенной древесины осины, сосны, березы, ели и дуба. Кажущиеся плотности в зависимости от давления составили для осины 1,428–1,483 г/см<sup>3</sup>, сосны 1,369–1,423 г/см<sup>3</sup>, березы 1,384–1,404 г/см<sup>3</sup>, ели 1,301–1,355 г/см<sup>3</sup>, дуба 1,153–1,159 г/см<sup>3</sup>. Максимальная величина ошибки в пределах одной породы в зависимости от давления составила 4,33 %.*

*Аналогичные исследования проведены для этих же образцов с применением ранее известного способа. Согласно этим исследованиям, кажущиеся плотности в зависимости от давления составили для осины 1,331–1,419 г/см<sup>3</sup>, сосны 1,308–1,389 г/см<sup>3</sup>, березы 1,343–1,394 г/см<sup>3</sup>, ели 1,255–1,341 г/см<sup>3</sup>, дуба 1,118–1,166 г/см<sup>3</sup>. Максимальная величина ошибки в пределах одной породы в зависимости от давления составила 6,41 %. Разница в значениях при определении кажущейся плотности сравниваемыми способами составляет от -1,1 до 7,32 %. Экспериментально определено, что происходит снижение кажущейся плотности и увеличение значений погрешностей при переходе от режима разрежения к режиму избыточного давления для обоих сравниваемых способов.*

**Ключевые слова:** древесина, кажущаяся плотность, методы определения кажущейся плотности, сравнение.

### Введение

Из большого числа методов определения кажущейся плотности пористых материалов [1-15], в том числе древесины, невозможно выбрать однозначно наилучший. Этому есть множество причин: одни способы сложны в осуществлении [7-9], вторые продолжительны по времени [10-12], третьи имеют низкую точность получаемого конечного результата [13-15]. В этой ситуации выбор того или иного метода обусловлен потребностями исследователя, а также кругом задач, которые необходимо решить. При осуществлении научных исследований в данном случае во главу угла, безусловно, ставится получение достоверных и адекватных экспериментальных данных. Это позволит дать требуемую математическую оценку и эффективно провести анализ сущности происходящих физических явлений.

Показатель кажущейся плотности играет важную роль при моделировании процессов экстракции, пропитки и сушки пористых материалов [16-18]. От него зависит показатель пористости и, как следствие, значение коэффициента эффективной диффузии, а также ряда других показателей, характеризующих процесс массопереноса. Сложность математического описания указанных процессов обусловлена влиянием большого количества разнообразных факторов. В настоящее время накопленных знаний о внутреннем массопереносе недостаточно для теоретического или аналитического определения коэффициента эффективной диффузии. Кроме того, большая вариативность является следствием растительного происхождения материалов, используемых в качестве сырья для переработки.

В сложившейся ситуации необходима разработка новых методов определения кажущейся плотности пористых материалов. Они должны одновременно сочетать в себе малую трудоемкость, низкий показатель затрат времени, простоту конструкции и необходимую точность. В этом контексте особое внимание заслуживает пневмометрический метод определения кажущейся плотности пористых материалов. Аппаратное оформление этого метода достаточно разнообразно и просто. Так, в работах [19, 20] предложены способ и устройство для определения кажущейся плотности пористых материалов. Способ предусматривает взвешивание исследуемого тела, помещение его в сосуд для проб, который последовательно через вентили соединен с аналогичным по объему измерительным сосудом и пневмонасосом, создающий изменение давления одновременно в двух сосудах, с последующим перекрытием вентиля и последовательным обратным перепуском воздуха открыванием вентиля сначала в измерительный сосуд до достижения в нем атмосферного давления с одновременным измерением и фиксацией расходомером величины изменения объема воздуха, а затем в сосуд для проб также с измерением и фиксацией расходомером величины изменения объема воздуха, при этом объем тела вычисляется по уравнению прямой  $V_T = k(1 - \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2})$ , полученной путем построения тарировочного графика, по оси абсцисс которого отсчитывается отношение  $\frac{\Delta V_1}{\Delta V_2}$ , а по оси ординат – соответствующий этому отношению объем  $V_T$ , причем прямая проходит по двум точкам с координатами  $[1; 0]$ , при выполнении условия равенства объемов измерительного сосуда и сосуда для проб  $\Delta V_1 = \Delta V_2$ , и  $[\frac{\Delta V_{13}}{\Delta V_{23}}; V_3]$  – соответствующая характеристикам эталонного тела, где  $V_T$  – искомый объем тела,  $k$  – коэффициент уравнения прямой,  $\Delta V_1$  – величина изменения объема воздуха в сосуде для проб,  $\Delta V_2$  – величина изменения объема воздуха в измерительном сосуде,  $\Delta V_{13}$ ,  $\Delta V_{23}$  – величины изменения объемов воздуха в сосудах в процессе тарировки,  $V_3$  – объем эталонного тела, а плотность исследуемого пористого тела определяется по формуле  $\rho = \frac{m}{k(1 - \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2})}$ . Недостатком данного способа является сложная процедура тарировки, обусловленная необходимостью определения объемов двух сосудов, а также использования балластного объема в случае неравенства их объемов. Для осуществления способа применяется устройство, содержащее пневмонасос, соединенный посредством вентиля с измерительной емкостью, которая в свою очередь соединена через перепускной вентиль с емкостью для проб аналогичного объема, а для измерения и регистрации параметров в систему между пневмонасосом и измерительным сосудом дополнительно включен расходомер. Недостатком данного устройства является сложность конструкции ввиду наличия двух цилиндров, объемы которых необходимо уравнивать.

В рамках настоящей работы поставлены следующие задачи:

- 1) разработать и обосновать способ измерения объема и определения кажущейся плотности пористых материалов;
- 2) спроектировать экспериментальную установку, провести исследования и определить значения кажущейся плотности древесины различных пород;
- 3) сравнить полученные экспериментальные данные с результатами, полученными другими способами.

### Методы и материалы

Проведенный критический анализ показал, что для совершенствования способа измерения объема и определения плотности пористых материалов необходимо идти по пути упрощения используемой конструкции. Следуя этой логике, была разработана и изготовлена экспериментальная установка, представленная на рисунке 1. Конструкция состоит из пневмонасоса 1 и расходомера 2, которые через вентили 3, 4 соединены с сосудом для проб 5, снабженный датчиком давления 6 и герметично закрывающейся крышкой 7.

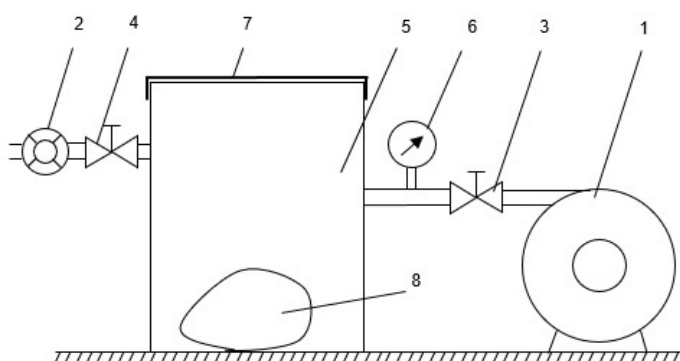


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – пневмонасос, 2 – расходомер, 3, 4 – вентили, 5 – сосуд для проб, 6 – датчик давления, 7 – крышка, 8 – исследуемый образец

Непосредственно сам способ может реализовываться при использовании данного устройства в режимах избыточного давления и разрежения следующим образом. На первоначальном этапе осуществляют определение координат и построение первой точки тарировочного графика (рис. 2), соответствующей моменту, когда сосуд для проб пуст. Для этого при закрытом вентиле 4 и открытом вентиле 3 в герметично закрытом крышкой 7 сосуде для проб 5 с помощью пневмонасоса 1 создают фиксируемое датчиком давления 6 изменение давления величиной  $P$ , и закрывают вентиль 3. Затем открывают вентиль 4, в результате чего происходит перепуск воздуха между атмосферой и сосудом для проб 5 и выравнивание давления с атмосферным. В это время расходомером 2 осуществляют измерение и фиксацию объема  $\Delta V_c$  воздуха, перемещающегося между атмосферой и сосудом для проб 5.

На следующем этапе осуществляют определение координат и построение второй точки тарировочного графика. Для этого в сосуд для проб 5 помещают эталонное тело известного объема  $V_0$  и повторяют вышеописанную процедуру измерения величины  $\Delta V_0$ .

Полученные на предыдущих этапах точки соединяют прямой, которая для удобства может быть описана уравнением

$$V_T = b - k \cdot \Delta V, \quad (1)$$

где  $V_T$  – объем исследуемого тела,

$b, k$  – коэффициенты уравнения прямой,

$\Delta V$  – величина изменения объема воздуха в сосуде для проб.

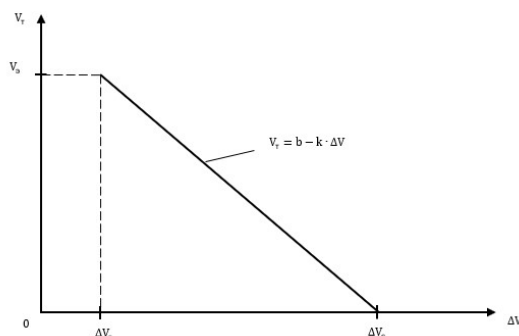


Рис. 2. Тарировочный график для определения объема пористого тела

Таким образом, упрощается процедура тарировки и последующего измерения объема исследуемого образца. Для измерения объема исследуемого образца осуществляют процедуру аналогичную с эталонным телом с получением значения  $\Delta V$ , а затем рассчитывают объем тела по выражению (1).

В свою очередь, плотность исследуемого образца после его взвешивания определится по формуле

$$\rho = \frac{m}{b - k \cdot \Delta V} \quad (2)$$

Для проведения экспериментальных исследований по определению кажущейся плотности были подготовлены образцы (рис. 3) высушенной древесины различных пород. Для облегчения проведения опытов указанные образцы были разрезаны на пять частей, размеры которых 20x20x10 мм (последний размер вдоль волокон). Все образцы взвешивались на электронных весах с точностью до 0,001 г.

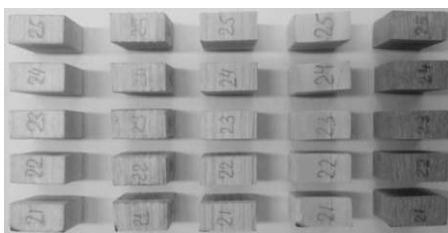


Рис. 3. Образцы древесины (породы расположены по столбцам слева направо): осина, сосна, береза, ель, дуб

### Результаты

Первоначально были получены тарировочные графики (рис. 4) для определения объема пористых тел при давлениях -90, -70, +70 и +90 кПа. В качестве эталонных тел использовались концевые меры длины.

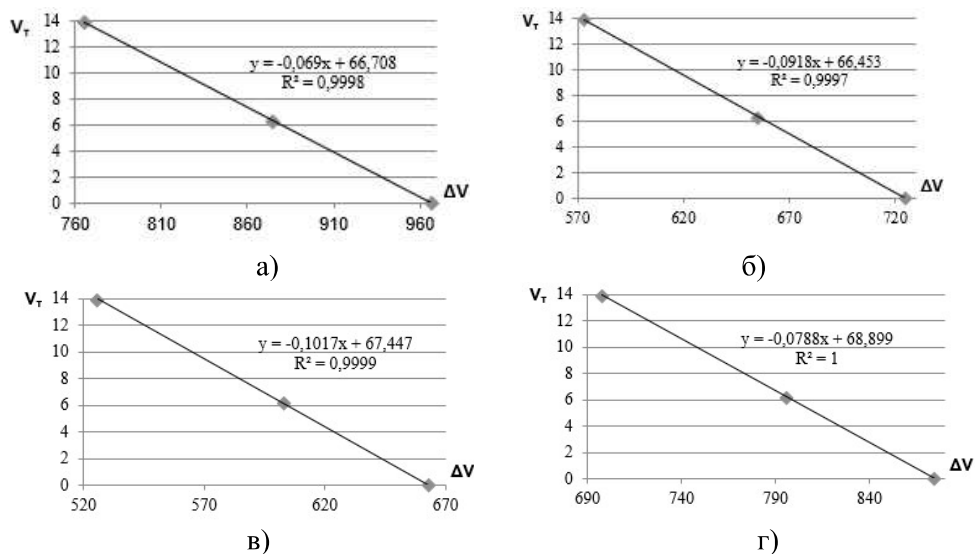


Рис. 4. Тарировочные графики для определения объема пористого тела: а) для давления -90 кПа, б) для давления -70 кПа, в) для давления +70 кПа, г) для давления +90 кПа

Далее были измерены объемы всех образцов согласно предлагаемому способу с использованием разработанной экспериментальной установки и полученных тарировочных графиков. По результатам измерения объемов образцов и их масс были определены значения кажущейся плотности. Сравнительные результаты экспериментальных данных, полученных с использованием предлагаемого способа и разработанной установки, а также полученных по известному ранее способу [19, 20] приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных данных способов определения объемов и кажущихся плотностей образцов древесины

Порода	Масса, г	Давление, кПа	Кажущийся объем, см <sup>3</sup>		Кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup>		Отклонение, %
			по предлагаемому способу	по известному ранее способу	по предлагаемому способу	по известному ранее способу	
Осина	9,495	-90 кПа	6,402	6,691	1,483	1,419	4,52
Сосна	8,522		5,988	6,155	1,423	1,384	2,83
Береза	13,538		9,645	9,707	1,404	1,394	0,69
Ель	9,422		6,954	7,027	1,355	1,341	1,04
Дуб	13,271		11,508	11,382	1,153	1,166	-1,10
Осина	9,495	-70 кПа	6,600	6,949	1,439	1,366	5,33
Сосна	8,522		5,957	6,136	1,431	1,389	3,00
Береза	13,538		9,629	9,750	1,406	1,388	1,30
Ель	9,422		6,967	7,130	1,352	1,321	2,38
Дуб	13,271		11,465	11,467	1,158	1,157	0,05
Осина	9,495	+70 кПа	6,630	7,131	1,432	1,335	7,27
Сосна	8,522		6,224	6,517	1,369	1,308	4,69
Береза	13,538		9,783	9,986	1,384	1,356	2,05
Ель	9,422		7,241	7,509	1,301	1,255	3,69
Дуб	13,271		11,512	11,869	1,153	1,118	3,11
Осина	9,495	+90 кПа	6,647	7,112	1,428	1,331	7,32
Сосна	8,522		6,174	6,510	1,380	1,309	5,44
Береза	13,538		9,720	10,083	1,393	1,343	3,71
Ель	9,422		7,200	7,442	1,323	1,266	4,53
Дуб	13,271		11,454	11,870	1,159	1,118	3,64

Распределение кажущихся плотностей по способам определения, породам древесины и давлению приведено в таблице 2. Кроме этого также отражены отклонения в пределах одной породы при определении плотности при различных давлениях.

Таблица 2 – Распределение кажущихся плотностей по способам определения

Распределение кажущихся плотностей, г/см <sup>3</sup>											
Предлагаемый способ						Известный ранее способ					
Порода	Давление, кПа				Отклонение Δ, %	Порода	Давление, кПа				Отклонение Δ, %
	-90	-70	+70	+90			-90	-70	+70	+90	
Осина	1,483	1,439	1,432	1,428	3,71	Осина	1,419	1,366	1,335	1,331	6,20
Сосна	1,423	1,431	1,369	1,380	4,33	Сосна	1,384	1,389	1,308	1,309	5,83
Береза	1,404	1,406	1,384	1,393	1,56	Береза	1,394	1,388	1,356	1,343	3,66
Ель	1,355	1,352	1,301	1,323	3,99	Ель	1,341	1,321	1,255	1,266	6,41
Дуб	1,153	1,158	1,153	1,159	0,52	Дуб	1,166	1,157	1,118	1,118	4,12

Приведенное в таблице 2 распределение отображено на графиках (рис. 5).

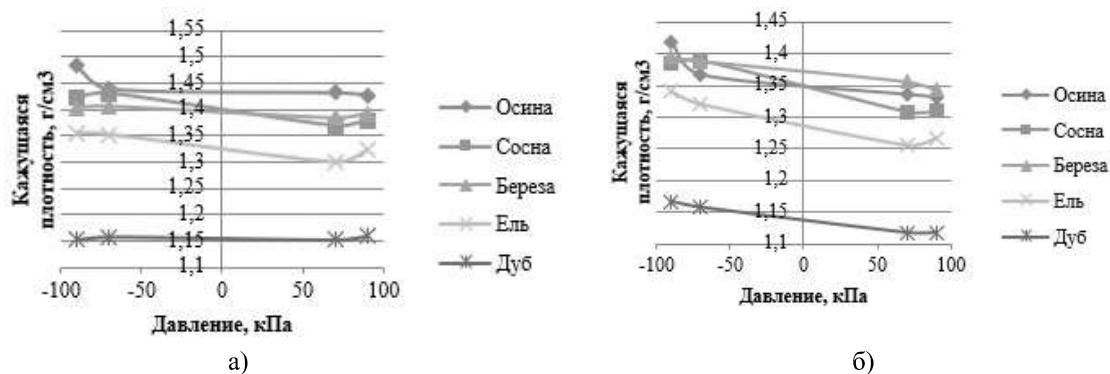


Рис. 5. Графики изменения кажущихся плотностей: а) по предлагаемому способу, б) по известному ранее способу

Согласно данным таблиц 1, 2 и рисунка 5 показатель кажущейся плотности при определении в режиме разрежения выше, чем при определении в режиме избыточного давления. Такая тенденция характерна для обоих способов определения кажущейся плотности. Следует отметить, что максимальная величина отклонения при измерениях для предлагаемого и известного ранее способов составляет, соответственно, 4,33 и 6,41 %.

Величины отклонений, приведенные в таблице 1, отражают различия значений кажущихся плотностей между предлагаемым и известным ранее способом. На рисунке 6 отображен график изменения отклонений для разных пород древесины в зависимости от давления.

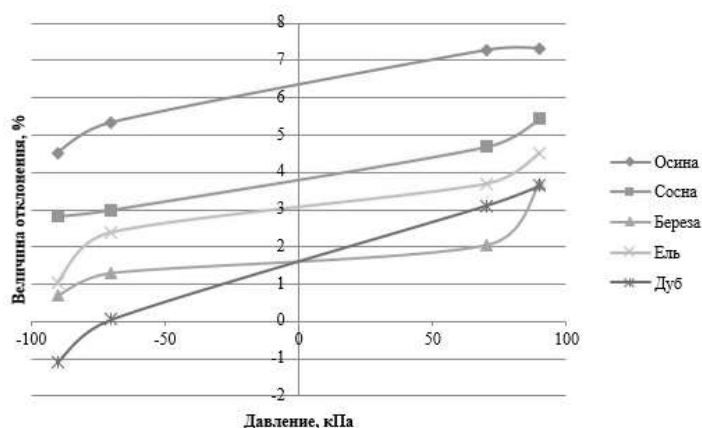


Рис. 6. График изменения величины отклонения

Из графика величин отклонений однозначно следует, что погрешность при измерениях возрастает с переходом от режима разрежения к режиму избыточного давления. Положительные значения отклонений свидетельствуют о том, что значения кажущихся плотностей, полученных по методике нового способа, выше значений, полученных по методике ранее известного способа.

### Заключение

Растительное происхождение и разнообразие пород древесины обуславливают ее сложное строение и пористую структуру. Анализ существующих способов показал, что для измерения кажущегося объема и определения кажущейся плотности пористых материалов наиболее распространенным является метод газовой пикнометрии. Проведенные исследования в рамках данной работы позволили разработать и обосновать способ измерения объема и определения кажущейся плотности пористых материалов, спроектировать экспериментальную установку, провести исследования и определить значения кажущейся плотности древесины различных пород.

На основании экспериментальных данных определено, что разница в определении кажущейся плотности составляет от -1,1 до 7,32 %, причем по предлагаемому способу значение плотности почти во всех случаях выше. В пределах каждого способа максимальная величина отклонения при различных

давлениях для предлагаемого и известного ранее составляет, соответственно, 4,33 и 6,41 %. Особенно примечательна тенденция снижения кажущейся плотности и увеличения значений погрешностей при переходе от режима разрежения к режиму избыточного давления. Данный факт характерен для других методов определения кажущейся плотности и объясняется тем, что разреженный воздух по характеристикам больше похож на идеальный газ. В целом, проведенные исследования подтвердили работоспособность предлагаемого способа измерения кажущихся объемов и определения кажущихся плотностей пористых материалов, в том числе, древесины. Разработанная экспериментальная установка продемонстрировала свою простоту и надежность в эксплуатации, а также возможность получения достоверных данных, чему свидетельствует небольшая величина отклонений результатов.

### Литература

1. Полубояринов О. И. Плотность древесины. М.: Лесная промышленность, 1976. 160 с.
2. ISO 12154:2014. Determination of density by volumetric displacement. Skeleton density by gas pycnometry. – URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:12154:ed-1:v1:en>.
3. ГОСТ Р 57844-2017. Композиты. Определение плотности методом замещения – кажущаяся плотность, определенная газовой пикнометрией // Национальный стандарт Российской Федерации, ФГУП «Стандартинформ».
4. Гайнуллин Рен.Х., Цветкова Е.М., Гайнуллин Риш.Х. К вопросу об истинной плотности древесины // Деревообрабатывающая промышленность. 2020. № 2. С. 11-20.
5. Zauer M., Pfriem A., Wagenführ A. Toward improved understanding of the cell-wall density and porosity of wood determined by gas pycnometry // *Wood science and technology*. 2013. № 47. P. 1197-1211. Doi 10.1007/s00226-013-0568-1.
6. Гайнуллин Рен.Х., Гайнуллин Риш.Х., Цветкова Е.М., Голубев М.И., Цуркан А.А. Способ измерения объема и определения плотности пористых материалов // Системы. Методы. Технологии, 2021. № 2 (50). С. 106–110. <https://doi.org/10.18324/2077-5415-2021-2-106-110>.
7. Stayton C.L., Hart C.A. Determining pore size distribution in softwoods with a mercury porosimeter // *Forest products journal*. 1965. № 15(10). P. 435-440.
8. Plötze M., Niemz P. Porosity and pore size distribution of different wood types as determined by mercury intrusion porosimetry // *European journal of wood and wood products*. 2010. № 69. P. 649-657. Doi 10.1007/s00107-010-0504-0.
9. Pfriem A., Zauer M., Wagenführ A. Alteration of the pore structure of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and maple (*Acer pseudoplatanus* L.) due to thermal treatment as determined by helium pycnometry and mercury intrusion porosimetry // *Holzforschung*. 2009. № 63. P. 94–98. Doi 10.1515/HF.2009.027.
10. Sachs J. Ueber die porosität des holzes // *Botanisches Institut Würzburg*. 1879. № 2. P. 291-332.
11. Hartig R. Ueber die vertheilung der organischen substanz, des wassers und luftraumes in den bäumen, und über die ursache der wasserbewegung in transpirirenden pflanzen // *Untersuch. forstbot. inst.* 1882. № 2. 112 p.
12. Dunlap F. Density of wood substance and porosity of wood // *Journal of agricultural research*. 1914. № II(6). P. 423-428.
13. Yiannos P.N. The apparent cell-wall density of wood and pulp fibers // *Tappi*. 1964. № 47. P. 468-471.
14. Grzeczynski T., Rybarczyk W. Investigations on the relation between cell-wall density and wood density // *Prace instytutu technologii drewna*. 1972. № 19(1/2). P. 165-183.
15. Decoux V., Varcin E., Leban J.-M. Relationships between the intra-ring wood density assessed by X-ray densitometry and optical anatomical measurements in conifers. Consequences for the cell wall apparent density determination // *Annals of forest science*. 2004. № 61. P. 251-262. Doi: 10.1051/forest:2004018.
16. Климов А.М., Рудобашта С.П., Тепляков Ю.А., Нечаев В.М. Расчет кинетики процессов экстрагирования из однородно-пористых материалов // *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. 2010. Том 15. № 2. С. 594-598.
17. Тепляков Ю.А., Рудобашта С.П., Нечаев В.М., Климов А.М. Внутренний массоперенос веществ при экстрагировании из однородно-пористых материалов // *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. 2010. Том 16. № 2. С. 319-325.
18. Кузнецов В.Г., Кузнецов Р.К., Аминова Г.А. О связи коэффициентов свободной и стесненной диффузии в процессах массопереноса в системах с твердой фазой // *Вестник Казанского технологического университета*. 2011. № 19. С. 77-80.

19. Способ и устройство для измерения объема и определения плотности пористых материалов: пат. 2757167 Рос. Федерация. № 2021109374 / Гайнуллин Рен.Х., Гайнуллин Риш.Х., Цветкова Е.М., Цуркан А.А.; заявл. 06.04.2021; опубл. 11.10.2021, Бюл. № 29.

20. Гайнуллин Рен.Х., Сафина А.В., Гайнуллин Риш.Х., Цветкова Е.М. Определение плотности клеточных стенок древесины и других пористых материалов методом газовой пикнометрии в среде атмосферного воздуха / Рен.Х. Гайнуллин, А.В. Сафина, Риш.Х. Гайнуллин, Е.М. Цветкова // Лесотехнический журнал. 2021. Том 11. № 3(43). С. 74-85. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.3/6>.

© **Гайнуллин Ренат Х.** – канд. техн. наук, доцент кафедры деревообрабатывающих производств, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» (ФГБОУ ВО «ПГТУ»), e-mail: gainullinrh@yandex.ru; **Романов А.В.** – студент ФГБОУ ВО «ПГТУ», e-mail: RomanovAleks0@yandex.ru; **Гайнуллин Ришат Х.** – канд. техн. наук, доцент кафедры деревообрабатывающих производств, ФГБОУ ВО «ПГТУ», e-mail: rishat\_000@mail.ru; **Цветкова Е.М.** – ст. препод. кафедры стандартизация, сертификация и товароведение, ФГБОУ ВО «ПГТУ», e-mail: Ekaterinadudina@mail.ru; **Смирнов М.Ю.** – д-р техн. наук, профессор кафедры «Транспортно-технологических машин», ФГБОУ ВО «ПГТУ», e-mail: SmirnovMY@volgategh.net.

UDC 531.754 615.322

## COMPARISON THE VALUES OF THE APPARENT DENSITY OF WOOD WHEN DETERMINING BY VARIOUS METHODS

Renat Kh. Gainullin, A.V. Romanov, Rishat Kh. Gainullin, E.M. Tsvetkova, M.Y. Smirnov

*The article presents the results of research on measuring the apparent volume and determining the apparent density of wood of various species using various methods. As a result of a critical analysis of methods and structures for measuring the apparent volume and determining the apparent density of porous materials, a method and device based on the gas pycnometry method are proposed. Samples of dried aspen, pine, birch, spruce and oak wood were examined. The apparent densities depending on the pressure were for aspen 1,428-1,483 g/cm<sup>3</sup>, pine 1,369-1,423 g/cm<sup>3</sup>, birch 1,384-1,404 g/cm<sup>3</sup>, spruce 1,301-1,355 g/cm<sup>3</sup>, oak 1,153-1,159 g/cm<sup>3</sup>. The maximum error value within one rock, depending on the pressure, was 4.33%.*

*Similar studies were carried out for the same samples using a previously known method. According to these studies, the apparent densities, depending on pressure, were for aspen 1,331-1,419 g/cm<sup>3</sup>, pine 1,308-1,389 g/cm<sup>3</sup>, birch 1,343-1,394 g/cm<sup>3</sup>, spruce 1,255-1,341 g/cm<sup>3</sup>, oak 1,118-1,166 g/cm<sup>3</sup>. The maximum error value within one rock, depending on the pressure, was 6.41%. The difference in values when determining the apparent density by the compared methods ranges from -1.1 to 7.32%. It has been experimentally determined that there is a decrease in the apparent density and an increase in the error values during the transition from the rarefaction mode to the overpressure mode for both compared methods.*

**Key words:** wood, apparent density, methods for determining apparent density, comparison.

### References

1. Poluboiarinov O. I. [Wood density]. M.: Lesnaya promyshlennost' [M.: Forest industry]. 1976. 160 p. (In Russ).
2. ISO 12154:2014. Determination of density by volumetric displacement. Skeleton density by gas pycnometry. – URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:12154:ed-1:v1:en>.
3. GOST R 57844-2017. Kompozity. Opredelenie plotnosti metodom zameshcheniya – kazhushchayasya plotnost', opredelennaya gazovoj piknometriej [Composites. Determination of density by volumetric displacement – skeleton density by gas pycnometry] // Nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii. Moskva: Standartinform. (In Russ).
4. Gainullin Ren.Kh., Tsvetkova E.M., Gainullin Rish.Kh. K voprosu ob istinnoj plotnosti drevesiny [The study of the real specific gravity of wood] // Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost' [Woodworking industry]. 2020. № 2. P. 11–20. (In Russ).
5. Zauer M., Pfriem A., Wagenführ A. Toward improved understanding of the cell-wall density and porosity of wood determined by gas pycnometry // *Wood science and technology*. 2013. № 47. P. 1197-1211. Doi 10.1007/s00226-013-0568-1.
6. Gainullin Ren.Kh., Gainullin Rish.Kh., Tsvetkova E.M., Golubev M.I., Curcan A.A. Sposob izmereniya



ob"ema i opredeleniya plotnosti poristykh materialov [A method for measuring the volume and determining the density of porous materials]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2021, no. 2(50), pp. 106–110. <https://doi.org/10.18324/2077-5415-2021-2-106-110>. (In Russ).

7. Stayton C.L., Hart C.A. Determining pore size distribution in softwoods with a mercury porosimeter // *Forest products journal*. 1965. № 15(10). P. 435-440.

8. Plötze M., Niemz P. Porosity and pore size distribution of different wood types as determined by mercury intrusion porosimetry // *European journal of wood and wood products*. 2010. № 69. P. 649-657. Doi 10.1007/s00107-010-0504-0.

9. Pfriem A., Zauer M., Wagenführ A. Alteration of the pore structure of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and maple (*Acer pseudoplatanus* L.) due to thermal treatment as determined by helium pycnometry and mercury intrusion porosimetry // *Holzforschung*. 2009. № 63. P. 94–98. Doi 10.1515/HF.2009.027.

10. Sachs J. Ueber die porosität des holzes // *Botanisches Institut Würzburg*. 1879. № 2. P. 291-332.

11. Hartig R. Ueber die vertheilung der organischen substanz, des wassers und luftraumes in den bäumen, und über die ursache der wasserbewegung in transpirirenden pflanzen // *Untersuch. forstbot. inst.* 1882. № 2. 112 p.

12. Dunlap F. Density of wood substance and porosity of wood // *Journal of agricultural research*. 1914. № II(6). P. 423-428.

13. Yiannos P.N. The apparent cell-wall density of wood and pulp fibers // *Tappi*. 1964. № 47. P. 468-471.

14. Grzeczynski T., Rybarczyk W. Investigations on the relation between cell-wall density and wood density // *Prace instytutu technologii drewna*. 1972. № 19(1/2). P. 165-183.

15. Decoux V., Varcin E., Leban J.-M. Relationships between the intra-ring wood density assessed by X-ray densitometry and optical anatomical measurements in conifers. Consequences for the cell wall apparent density determination // *Annals of forest science*. 2004. № 61. P. 251-262. Doi: 10.1051/forest:2004018.

16. Klimov A.M., Rudobashta S.P., Tepliakov Y.A., Nechaev V.M. Raschet kinetiki processov ekstragirovaniya iz odnorodno-poristykh materialov [Calculation of the kinetics of extraction processes from homogeneous porous materials]. // *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Tambov State Technical University]. 2010. № 2. P. 594-598.

17. Tepliakov Y.A., Rudobashta S.P., Nechaev V.M., Klimov A.M. Vnutrennij massoperenos veshchestv pri ekstragirovanii iz odnorodno-poristykh materialov [Internal mass transfer of substances during extraction from homogeneous porous materials] // *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Tambov State Technical University]. 2010. № 2. P. 319-325.

18. Kuznecov V.G., Kuznecov R.K., Aminova G.A. O svyazi koefficientov svobodnoj i stesnennoj diffuzii v processah massoperenosa v sistemah s tverdoj fazoj [The relationship between the coefficients of free and constrained diffusion in mass transfer processes in systems with a solid phase] // *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University]. 2011. № 19. P. 77-80.

19. Gainullin Ren.Kh., Gaynullin Rish.Kh., Tsvetkova E.M., Tsurkan A.A. Sposob i ustroystvo dlya izmereniya ob"ema i opredeleniya plotnosti poristykh materialov [Method and device for measuring the volume and determining the density of porous materials]. Patent RF, no. 2757167, 2021.

20. Gainullin Ren.Kh., Safina A.V., Gainullin Rish.Kh., Tsvetkova E.M. Opredelenie plotnosti kletochnykh stenok drevesiny i drugih poristykh materialov metodom gazovoj piknometrii v srede atmosfernogo vozduha [Determination of the density of the cell walls of wood and other porous materials by gas pycnometry in atmospheric air]. *Lesotekhnicheskij zhurnal*, 2021, v. 11, no. 3(43), pp. 74–85. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.3/6>.

---

©Gainullin Renat Kh. – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Woodworking Industries, Volga State University of Technology (VSUT), e-mail: gainylinrh@yandex.ru; Romanov A.V. – Student of the Department of Woodworking Industries, VSUT, e-mail: RomanovAleks0@yandex.ru; Gainullin Rishat Kh. – PhD in Engineering sciences, Associate Professor of the Department of Woodworking Industries, VSUT, e-mail: rishat\_000@mail.ru; Tsvetkova E.M. – Lecturer of the Department of Standardization, Certification and Merchandising, VSUT, e-mail: Ekaterinadudina@mail.ru; Smirnov M.Y. – Grand PhD in Engineering, Professor of the Department of Transport and Technological Machines, VSUT, e-mail: SmirnovMY@volgatech.net.