

Совершенствование методов измерения плотности жидкости в винодельческой продукции

Тимофеев Р.Г.✉

Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН, г. Ялта, Республика Крым, Россия

✉Russ1970@mail.ru

Аннотация. Работа посвящена обзору существующих методологических подходов к измерению плотности жидкости в практике виноделия и смежных областях пищевой промышленности. Приведены описание и анализ существующих методов и технических решений по определению плотности продуктов виноделия, их область применения, особенности и недостатки. Предложен оригинальный метод измерения плотности жидкости, когда она выше, чем плотность воды, при помощи ареометра для спирта АСП-1 с набором грузиков для изменения его массы. Проведена оценка метрологических характеристик двух методов измерения плотности: разработанного экспериментального способа с применением ареометра для спирта АСП-1 с набором грузиков, и с применением вибрационного плотномера ВИП-2МР на виноматериалах и дистиллятах из них. В качестве арбитражного метода был применен пикнометрический метод согласно ГОСТ 18995.1-73. Теофретические и практические результаты работы могут быть основой для создания методик выполнения измерений плотности продуктов виноделия с плотностью выше, чем плотность воды на основе использования ареометра для спирта АСП-1, а также с применением отечественного вибрационного плотномера ВИП-2МР.

Ключевые слова: виноделие; объемная доля этилового спирта; массовая концентрация экстракта; методы измерения плотности.

Для цитирования: Тимофеев Р.Г. Совершенствование методов измерения плотности жидкости в винодельческой продукции // «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2023;25(4):383-389. DOI 10.34919/IM.2023.44.88.009.

O R I G I N A L R E S E A R C H

Improving the methods of measuring liquid density in wine products

Timofeev R.G.✉

All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking Magarach of the RAS, Yalta, Republic of Crimea, Russian Federation

✉Russ1970@mail.ru

Abstract. This work is dedicated to the review of existing methodological approaches to measuring the density of liquid in the practice of winemaking and related areas of food industry. The description and analysis of existing methods and technical solutions to determine the density of winemaking products, their functional area, features and disadvantages are given. The original method to measure liquid density, when it is more than the density of water, is proposed using areometer for alcohol ASP-1 with a set of weights to change its mass. Metrological characteristics of two methods to measure liquid density were assessed: the developed experimental method using areometer for alcohol ASP-1 with a set of weights, and using VIP-2MR vibration density tester for base wines and distillates. As a reference, the picnometric method was used in accordance with GOST 18995.1-73. Theoretical and practical results of work can be the basis for creating methods to measure the density of winemaking products, higher than that of water, based on the use of areometer for alcohol ASP-1, and vibration density meter VIP-2MR of domestic production.

Key words: winemaking; volume fraction of ethyl alcohol; mass concentration of extract; methods of measuring the density.

For citation: Timofeev R.G. Improving the methods of measuring liquid density in wine products. Magarach. Viticulture and Winemaking. 2023;25(4):383-389. DOI 10.34919/IM.2023.44.88.009 (in Russian).

Введение

Плотностью называют физическую величину, определяющую массу вещества, содержащуюся в единице объема. Денсиметрия – измерение плотности является одним из старейших методов исследования вещества и широко применяется в различных областях народного хозяйства для оценки концентрации веществ в продуктах с детерминированным составом. В частности, в пищевой промышленности для определения массовой концентрации растворимых сухих веществ согласно ГОСТ 29030, оценки содержания сахаров в виноградо-винодельческом сырье по ГОСТ 27198, объемной доли этилового спирта и мас-

совой концентрации экстракта согласно ГОСТ 32095 и ГОСТ 32000 в продуктах виноделия. Кроме того, измерение плотности в виноделии и смежных областях пищевой промышленности осуществляется для целей выполнения операций учета количества сырья, спирта в процессе переработки сырья, получения и отгрузки сырьевых и вспомогательных материалов, а также готовой продукции.

К наиболее широко применяемой группе лабораторных методов измерения плотности жидкости относится прямое определение массы жидкости при заранее известном (из геометрических соображений или найденном из калибровки устройства) объеме [1]. В них для измерения массы применяют непосредственное взвешивание жидкости, занимающей заранее известный объем [2, 3]. В энохимической практике

при количественном анализе определение плотности проводится либо пикнометрическим методом, основанном на точном взвешивании определенного объема жидкости в сравнении с таким же объемом жидкости с известными параметрами, например воды, либо гидростатическим и его модификацией ареометрическим, основанным на законе Архимеда [1, 4], согласно ГОСТ 32081. Оба эти метода имеют практическое значение, но обладают своими достоинствами и недостатками. Пикнометрический метод весьма точен, но требует большой аккуратности, так как связан с необходимостью термостатирования пикнометра и наличия аналитических весов. Точность метода оценивается величиной до 10^{-5} г/см³ (0,01 кг/м³) [4]. К основным достоинствам пикнометрического метода определения плотности можно отнести следующие:

- высокую точность измерений (до 10^{-5} г/см³);
- возможность использования малых количеств вещества (0,5–100 см³);
- малую площадь свободной поверхности жидкости в пикнометре, что практически исключает испарение жидкости и поглощение влаги из воздуха;
- раздельное проведение операций термостатирования и последующего взвешивания.

Точность гидростатического метода находится на уровне пикнометрического, но требует специального оборудования – гидростатических весов и подходит для материалов и жидкостей с плотностью выше, чем эталонная жидкость [4]. Большого распространения гидростатический метод определения плотности в энохимической практике не нашел. Ареометрический (разновидность гидростатического) – менее точен, порядка $0,5 \cdot 10^{-3}$ г/см³ (1–0,5 кг/м³), требует большего количества жидкости (порядка 200–250 мл), но менее трудоемок и поэтому принят в виноделии. Существуют два типа ареометров – это ареометры постоянной массы, к которым относятся практически все стеклянные ареометры, а также ареометры постоянного объема, менее распространенные, обычно металлические, масса которых регулируется путем добавления грузиков. К металлическим ареометрам относится металлический спиртомер, для которого разработаны соответствующие таблицы [5, 6]. В энохимии наиболее распространены серия ареометров, согласно ГОСТ 18481, АОН (ареометры общего назначения): АОН-1, АОН-2 и др., для оценки винограда-винодельческого сырья по ГОСТ 27198, также могут быть задействованы ареометры для нефти типа АНТ и АН. Последние отличаются несколько большими габаритами, длиной шкалы, меньшей ценой деления, а также тем, что снимать их показания следует по верхнему мениску в отличие от ареометров серии АОН, которые градуируются по нижнему мениску. Отдельную категорию представляют ареометры для измерения объемной доли этилового спирта серии АСП и АСПТ, шкала которых отградуирована непосредственно в единицах объемной доли этилового спирта при 20° С. По таблицам плотности водно-спиртовых растворов, используя спиртометрические таблицы [5, 6], с помощью спиртомера можно оценить плотность

продукта с плотностью ниже, чем плотность дистиллированной воды, например столового вина. Ввиду специально подобранных параметров ареометров для спирта АСП-1 и АСП-2 (большой объем прибора и тонкая шкала) разрешение метода определения объемной доли этилового спирта ареометрическим методом оценивается 0,1 % об., что в единицах плотности составляет величину порядка 0,12–0,15 кг/м³, в зависимости от диапазона измерений, а абсолютная погрешность определения оценивается величиной порядка 0,2 % об., что в единицах плотности составляет величину порядка 0,2–0,3 кг/м³. При тщательном соблюдении методики измерения объемной доли этилового спирта точность измерения плотности ареометром АСП-1 может быть доведена до 0,12 кг/м³, но это является уже физическим пределом данного метода ввиду высокой зависимости плотности жидкости от температуры, различной смачиваемости стекла и ограничено ценой деления прибора. Кроме того, данный подход применим только для жидкостей с плотностью ниже, чем плотность дистиллированной воды. Изменение атмосферного давления оказывает некоторое влияние на показания ареометра, но его, как правило, не учитывают. Влияние температуры на плотность продукта нивелируется стандартными условиями измерения плотности, путем доведения температуры испытуемого раствора до заданной температуры либо корректируется соответствующими таблицами или коэффициентами, при условии целевого назначения прибора. При оценке плотности жидкости неизвестного состава измерение следует производить строго при стандартных условиях, при температуре 20°С.

Еще одним подходом к решению проблемы измерения плотности жидких сред в лабораторной энохимической практике является применение вибрационных плотномеров, основанных на зависимости резонансной частоты колебаний U-образной трубки, заполненной исследуемой жидкостью, от ее плотности. Первый вибрационный плотномер был выпущен в 1967 году компанией Anton Paar. Ганс Штабингер и Ганс Леопольд, известные австрийские ученые, изобрели принцип и разработали прототип, а Ульрих Сантнер, глава компании Anton Paar, наладил производство: так появился первый плотномер DMA [7]. Современные модели, результат долгого развития плотномеров DMA, снабжены встроенным высокоточным платиновым термометром и полной линейкой коррекции вязкости, что позволяет измерять плотность жидкости при заданной температуре с точностью до 10^{-5} – $5 \cdot 10^{-6}$ г/см³ [7]. Данные разработки совместно с методом БИК [8–10] положены в основу работы приборов для определения объемной доли этилового спирта и массовой концентрации общего экстракта в пивоваренной, винодельческой промышленности и производстве крепких напитков. Так, у анализатора типа Alex 500 от Anton Paar GmbH (Австрия) [11] определение этилового спирта осуществляется методом ИК-спектроскопии в ближней ИК-области, а вычисление общего экстракта –

по разности плотностей анализируемого продукта и плотности водно-спиртовой смеси, соответствующей концентрации этилового спирта, полученной на основании ИК-анализа.

Следует отметить, что Международной организацией винограда и вина признаются все три подхода к измерению плотности для измерения объемной доли этилового спирта, что отражено в соответствующих методиках [12].

В последнее десятилетие появились отечественные аналоги лабораторных плотномеров, например цифровой вибрационный плотномер ВИП-2МР, выпускаемый ООО «ТЕРМЭКС», который уверенно измеряет плотность жидкости в диапазоне от 0,65 г/см³ до 2 г/см³ с точностью до 1*10⁻⁴ г/см³, снабжен внутренним термостатом для поддержания стандартной температуры измерений в диапазоне значений от 15 °С до 60 °С [13], что полностью отвечает требованиям методик по измерению объемной доли этилового спирта и массовой концентрации экстракта в продуктах виноделия согласно ГОСТ 32095 и ГОСТ 32000.

Целью настоящей публикации является сравнительное изучение и анализ различных подходов к измерению плотности в энохимическом анализе, а также усовершенствование ареометрического метода измерения плотности на основе использования спиртомера АСП-1.

Объекты и методы исследований

Объектами исследований являлись методы определения плотности: модифицированный нами ареометрический на основе использования ареометра для спирта АСП-1 с набором грузиков, а также применением отечественного вибрационного плотномера ВИП-2МР. В качестве образцов для исследования в работе были использованы виноматериалы различного состава и дистилляты из них.

Теория разработанного нами метода измерения плотности жидкости с плотностью большей, чем плотность воды с помощью спиртомера АСП-1 по ГОСТ 18481 с набором специально изготовленных грузиков, а также теоретические основы измерения плотности жидкости на основе измерения частоты собственных колебаний U-образной трубки, заполненной исследуемой жидкостью, также приведены ниже.

Измерение массы пикнометров, ареометров и грузиков проводили на аналитических весах по ГОСТ OIML R 76-1 с учетом аэростатического эффекта.

Обработку результатов измерения проводили стандартными методами математической статистики с использованием программы MS Excel 2007, оценку качества методик проводили согласно РМГ 61-2010 «Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Методы оценки» [14]. Для проведения оценки показателя внутрилабораторной (промежуточной) прецизионности методов был применен метод оценки показателей качества методик анализа с применением методики с известными (оцененными) значениями показателя точности (методики сравнения) согласно п.7 РМГ 61-2010. В качестве методики сравнения из-

мерение плотности был использован пикнометрический метод по ГОСТ 18995.1-73.

Описание методов измерения плотности, примененных в работе

Теория и практика измерения плотности жидкости с помощью спиртомера АСП-1.

При ареометрическом методе определения плотности, на котором, в частности, основано и действие стеклянного и металлического спиртомера, согласно закону Архимеда, масса жидкости, вытесненная свободно плавающим телом, равна массе вытесненной жидкости. Плотность водно-спиртовых растворов меньше, чем плотность дистиллированной воды. Для измерения плотности жидкости, с плотностью больше, чем плотность воды можно использовать стеклянный спиртомер АСП-1, предназначенный для измерения объемной доли этилового спирта от 0,0 до 10,0 % об., если увеличить его массу за счет использования внешних грузиков, как это реализовано у металлического спиртомера. Если опустить ареометр АСП-1 в цилиндр с дистиллированной водой при температуре 20 °С, то исправный прибор должен показывать 0,0 % об. Затем следует подобрать грузик таким образом, чтобы для дистиллированной воды при +20 °С показания спиртомера соответствовали 10,0 % об. Грузик следует навешивать на верхний конец шкалы спиртомера, не допуская его погружения в жидкость. Для плотности жидкости, в данном случае воды, можно записать следующее выражение:

$$\frac{m_z}{V_2} = \frac{m + m_z}{V_1 + V_2} = \frac{m}{V_1} = 0,998203 \text{ г/см}^3, \quad (1)$$

где m – масса спиртомера, m_z – масса грузика, г, V_1 – объем воды вытесненный спиртомером, $V_1 + V_2$ – объем воды вытесненный спиртомером с грузиком, а V_2 – объем шкалы спиртомера от 0,0 до 10,0% об., см³. Экспериментально установленные нами значения массы и объема для спиртомера АСП-1 приведены в табл. 1.

С другой стороны, для произвольного значения показания спиртомера можно записать выражение:

$$\frac{m + m_z}{\rho_x} = \frac{m}{\rho_{sp}} = V, \quad (2)$$

где ρ_x – плотность жидкости, ρ_{sp} – плотность жидко-

Таблица 1. Некоторые конструктивные характеристики ареометра АСП-1

Table 1. Some design characteristics of areometer for alcohol ASP-1

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение показателя
Масса ареометра	г	97,262
Масса ареометра с учетом плотности воздуха, m	г	97,597
Масса грузика, m _г	г	1,321
Объем шкалы спиртомера от 0,0 до 10,0	см ³	1,3234
Объем спиртомера до отметки 0,0	см ³	97,7727

Примечание – установленные экспериментально величины относятся к конкретному спиртомеру использованному в настоящей работе и могут отличаться для других спиртомеров АСП-1

сти соответствующая показаниям ненагруженного спиртомера, V – объем жидкости вытесненный спиртомером, m – масса спиртомера, m_r – масса грузика, г откуда получим выражение:

$$\rho_x = \frac{(m + m_r) \times \rho_{sp}}{m}, \quad (3)$$

связывающее плотность исследуемой жидкости ρ_x с плотностью водно-спиртового раствора, соответствующей показаниям стеклянного спиртомера без грузика ρ_{sp} . Это было положено в основу разработки метода определения плотности жидкости с плотностью выше, чем плотность воды с использованием стеклянного спиртомера АСП-1.

Как видно из выражения (3), плотность измеряемой жидкости у спиртомера, нагруженного грузиком массы m_r пропорциональна плотности жидкости, измеренной ненагруженным спиртомером. Для проведения определения плотности жидкости с плотностью выше, чем у воды, необходимо взять спиртомер АСП-1 с диапазоном измерения от 0,0 до 10,0 % об. по спирту, погрузить его в дистиллированную воду при температуре $+20 \pm 0,1^\circ\text{C}$. Спиртомер должен показывать 0,0 % об. Затем экспериментальным путем следует подобрать массу грузика m_r , необходимого для погружения спиртомера до отметки 10,0 % об. Полученный таким образом грузик, можно использовать для измерения плотности жидкости от $998,2 \text{ кг/м}^3$ до $1011,9 \text{ кг/м}^3$. При необходимости измерять плотность жидкости при еще более высоких ее значениях необходимо изготовить грузики для других диапазонов измерения плотности. Для этого необходимо определить массу полученного грузика m_r , обеспечивающего погружение спиртомера до отметки 10,0 % об. в дистиллированной воде, путем его взвешивания на аналитических весах с точностью до 1,0 мг. Затем следует изготовить грузики из кусков медной проволоки из соображений, чтобы начало следующего диапазона измерений плотности совпадало с концом предыдущего. Для этого были подобраны коэффициенты, на которые нужно умножить m_r , чтобы получить массу грузиков для последующих диапазонов измерений. Численные значения этого коэффициента для каждого диапазона измерения плотности приведены в табл.2.

Данный подход позволяет охватить диапазон измерения плотности от $984,7 \text{ кг/м}^3$ до 1083 кг/м^3 при помощи спиртомера АСП-1 и шести специально подобранных грузиков, что полностью охватывает диапазон плотности различных типов вин от сухих до крепленых (ликерных).

Грузики можно изготовить из медной лакированной проволоки диаметром 0,6-0,8 мм путем ее наматывания на кониче-

скую палочку с диаметром, чуть большим, чем диаметр шкалы спиртомера. Предварительно следует определить массу 1 м проволоки на аналитических весах и для намотки использовать отмеренную линейкой длину проволоки с последующим доведением массы грузика до требуемой массы путем отрезания кусочков проволоки ножницами. При отсутствии аналитических весов можно использовать грузики с массой m_r , кратной номеру диапазона, но тогда диапазоны измерений будут перекрываться, а пользоваться для определения плотности нужно будет данными табл. 3. В этом случае практический верхний диапазон метода измерения плотности снижается до величины 1081 кг/м^3 за счет частичного перекрытия диапазонов измерения при использовании грузиков кратной диапазону массы.

Таблица 2. Практическая таблица для определения плотности жидкости по показаниям стеклянного спиртомера АСП-1 (γ) нагруженного грузиками разной массы

Table 2. Practical table for determining liquid density according to the readings of areometer for alcohol ASP-1 (γ) loaded with weights of different mass

γ	$m_r \times$						
	0	1,0	2,0137	3,0412	4,0828	5,1386	6,2089
0,0	998,20	1011,85	1025,69	1039,72	1053,94	1068,35	1082,96
1,0	996,74	1010,37	1024,18	1038,19	1052,39	1066,78	1081,37
2,0	995,24	1008,85	1022,64	1036,63	1050,80	1065,18	1079,74
3,0	993,84	1007,43	1021,20	1035,17	1049,33	1063,68	1078,22
4,0	992,44	1006,01	1019,77	1033,71	1047,85	1062,18	1076,70
5,0	991,05	1004,60	1018,34	1032,26	1046,38	1060,69	1075,20
6,0	989,75	1003,28	1017,00	1030,91	1045,01	1059,30	1073,79
7,0	988,45	1001,96	1015,67	1029,56	1043,64	1057,91	1072,38
8,0	987,15	1000,65	1014,33	1028,20	1042,26	1056,52	1070,96
9,0	985,92	999,40	1013,07	1026,92	1040,96	1055,20	1069,63
10,0	984,74	998,20	1011,85	1025,69	1039,72	1053,94	1068,35

Таблица 3. Практическая таблица для определения плотности жидкости по показаниям стеклянного спиртомера АСП-1 (γ), нагруженного грузиками кратной диапазону массы m_r

Table 3. Practical table for determining liquid density according to the readings of areometer for alcohol ASP-1 (γ) loaded with weights multiple of the mass m_r

γ	$m_r \times$						
	0	1	2	3	4	5	6
0,0	998,2	1011,9	1025,5	1039,2	1052,8	1066,5	1080,1
1,0	996,7	1010,4	1024,0	1037,6	1051,3	1064,9	1078,5
2,0	995,2	1008,8	1022,5	1036,1	1049,7	1063,3	1076,9
3,0	993,8	1007,4	1021,0	1034,6	1048,2	1061,8	1075,4
4,0	992,4	1006,0	1019,6	1033,2	1046,7	1060,3	1073,9
5,0	991,0	1004,6	1018,2	1031,7	1045,3	1058,8	1072,4
6,0	989,7	1003,3	1016,8	1030,4	1043,9	1057,4	1071,0
7,0	988,4	1002,0	1015,5	1029,0	1042,5	1056,0	1069,6
8,0	987,1	1000,6	1014,1	1027,6	1041,1	1054,6	1068,1
9,0	985,9	999,4	1012,9	1026,4	1039,8	1053,3	1066,8
10,0	984,7	998,2	1011,7	1025,1	1038,6	1052,1	1065,5

Измерение плотности жидкости методом осциллирующей U-образной трубки

Еще одним подходом к измерению плотности жидких сред в лабораторной практике виноделия является применение вибрационных плотномеров, основанных на зависимости резонансной частоты колебаний U-образной трубки, заполненной исследуемой жидкостью, от ее плотности.

Период собственных колебаний U-образного капилляра, заполненного жидкостью, и плотность этой жидкости связаны между собой следующим соотношением [12, 13]:

$$\rho = A \cdot T^2 + B, \quad (4)$$

где ρ — плотность исследуемой жидкости, г/см³; T — период колебаний капилляра, мс; A, B — калибровочные коэффициенты. Для определения значений коэффициентов A и B проводится процедура калибровки по двум веществам известной плотности. Как правило, в качестве таких веществ используются сухой воздух и дегазированная дистиллированная вода.

Непосредственные значения коэффициентов A и B можно получить по формулам:

$$A = (T_w^2 - T_a^2) / (d_w - d_a), \quad (5)$$

$$B = T_a^2 - A \times d_a, \quad (6)$$

где T_w — наблюдаемый период колебаний ячейки с водой, мкс; T_a — наблюдаемый период колебаний ячейки с воздухом, мкс; d_w — плотность воды при температуре испытания, кг/м³; d_a — плотность воздуха при температуре испытания, кг/м³.

Если прибор оснащен устройством вычисления плотности, то значения коэффициентов A и B и измеренное значение T вводятся в память прибора и используется в вычислениях плотности, если нет, то используют измеренное значение T для вычисления плотности по формуле (4). В вибрационном плотномере ВИП-2МР, который мы использовали, реализован именно такой алгоритм работы прибора. Внутренний термостат поддерживает температуру капилляра и жидкости внутри него при измерении, что освобождает от необходимости покупки оборудования для термостатирования образца, необходимым при проведении определения плотности ареометрическим и пикнометрическим методами.

Пикнометрический метод определения плотности (арбитражный метод)

Пикнометрический метод измерения жидкости считается классическим методом определения ее плотности. Он весьма трудоемок и требует большого набора вспомогательных материалов и оборудования, что позволяет определить плотность продукта относительно плотности стандартной жидкости с известными параметрами, например дистиллированной воды. В России виды и характеристики пикнометров регулируется ГОСТ 22524-77 «Пикнометры стеклянные. Технические условия».

Относительная плотность, согласно ГОСТ 18995.1-73, находят из следующего выражения:

$$d_{20}^{20} = \frac{m_1 - m_0 + A}{m_2 - m_0 + A}, \quad (7)$$

где m_1 — масса пикнометра с испытуемой жидкостью, г; m_0 — масса пустого пикнометра, г; m_2 — масса пикнометра с водой, г; A — поправка на выталкивающую силу воздуха, вычисляемую по формуле:

$$A = 0,0012 \cdot V, \quad (8)$$

где 0,0012 — плотность воздуха при 20 °С, г/см³; V — объем пикнометра, см³.

Плотность жидкости, кг/м³ при 20 °С в системе СИ вычисляют по формуле:

$$\rho_{20} = d_{20}^{20} \times 998,203 = \frac{m_1 - m_0 + A}{m_2 - m_0 + A} \times 998,203, \quad (9)$$

где 998,203 кг/м³ — плотность воды при 20 °С.

Здесь следует сделать следующую ремарку: относительная плотность, измеренная согласно ГОСТ 32081-2013 «Продукция алкогольная и сырье для ее производства. Метод определения относительной плотности», будет незначительно отличаться от относительной плотности, измеренной по ГОСТ 18995.1-73 «Продукты химические жидкие. Методы определения плотности», которую мы использовали в настоящей работе в качестве арбитражного метода. Это вызвано тем, что в ГОСТ 32081 аэростатический эффект не учитывается, т.е. значение поправки A на выталкивающую силу воздуха в формуле (7) берется равным нулю, в ГОСТ 18995.1-73 вычисляется по формуле (8). Данный вопрос может быть поднят при пересмотре ГОСТ 32081.

Результаты исследований и их обсуждение

Сравнительные данные по измерению плотности продуктов виноделия и дистиллятов из них пикнометрическим методом, с применением ареометра для спирта АСП-1 с грузиками и с применением отечественного вибрационного плотномера ВИП-2 МР, а также достигнутые показатели точности и прецизионности измерения продуктов виноделия приведены в табл. 4 и 5.

Таблица 4. Результаты измерений винопродукции различными методами

Table 4. The results of measuring wine products using various methods

№ обр.	Плотность продукта, D ₂₀ ²⁰			Плотность дистиллята, D ₂₀ ²⁰		
	Пикнометр по ГОСТ 18995.1-73	АСП-1	ВИП-2МР	Пикнометр по ГОСТ 18995.1-73	АСП-1	ВИП-2МР
1	0,99810	0,99819	0,99799	0,97452	0,97444	0,97455
2	0,99691	0,99687	0,99685	0,97377	0,97384	0,97372
3	0,99780	0,99775	0,99765	0,97461	0,97450	0,97455
4	1,00074	0,99967	1,00041	0,97591	0,97586	0,97596
5	1,00300	1,00294	1,00282	0,97538	0,97541	0,97533
6	1,00151	1,00149	1,00142	0,97580	0,97578	0,97585
7	1,02404	1,02399	1,02384	0,97736	0,97738	0,97733
8	1,02284	1,02281	1,02300	0,97775	0,97771	0,97776
9	1,02373	1,02370	1,02343	0,97787	0,97801	0,97784
10	1,02274	1,02270	1,02244	0,97780	0,97784	0,97784
11	1,02866	1,02861	1,02836	0,97753	0,97659	0,97754
12	1,02554	1,02567	1,02540	0,97739	0,97732	0,97741

Таблица 5. Метрологические характеристики методов определения плотности относительно пикнометрического метода по ГОСТ 18995.1-73**Table 5.** Metrological characteristics of methods for determining the density relative to the reference picnometric method in accordance with GOST 18995.1-73

Наименование метрологической характеристики метода	Плотность продукта		Плотность дистиллята	
	АСП-1	ВИП-2МР	АСП-1	ВИП-2МР
среднее значение расхождения между методиками, г/см ³	-1,0×10 ⁻⁴	-1,7×10 ⁻⁵	-8,42×10 ⁻⁵	-8,3×10 ⁻⁷
СКО	3,1×10 ⁻⁴	1,38×10 ⁻⁴	2,8×10 ⁻⁴	4,1×10 ⁻⁵
внутрилабораторная методическая погрешность определения плотности, г/см ³	1,84×10 ⁻⁴	8,2×10 ⁻⁵	1,65×10 ⁻⁵	2,6×10 ⁻⁵
воспроизводимость метода измерения плотности, г/см ³	2,6×10 ⁻⁴	1,2×10 ⁻⁴	2,3×10 ⁻⁴	3,7×10 ⁻⁵

Как видно из представленных в табл. 5 данных, применение для измерения плотности ареометра для спирта АСП-1 по предложенной методике дает точность определения плотности продукта порядка $\pm 0,26$ кг/м³, а плотности дистиллятов $\pm 0,23$ кг/м³. Применение вибрационного плотномера типа ВИП-2МР позволяет получать значение плотности для недистиллированных продуктов виноделия с точностью до 0,12 кг/м³, а для плотности дистиллятов 0,04 кг/м³. Такая разница в точности определения плотности объясняется, скорее всего, различной вязкостью образцов винопродукции, которая нивелируется при измерении плотности дистиллятов. Достигнутая точность измерения плотности дистиллятов при помощи ВИП-2МР позволяет определять объемную долю этилового спирта с точностью до 0,05 % об.

Выводы

Разработанная методика определения плотности с применением стеклянного спиртомера АСП-1 с набором 6 грузиков позволяет перекрыть диапазон измерения плотности от 984,74 кг/м³ до 1083 кг/м³ с погрешностью не более 0,26 кг/м³ при единичном измерении, что вполне достаточно для измерения плотности при определении экстракта вин в соответствии ГОСТ 32000 с гарантированной точностью порядка 0,8 г/дм³. Данная методика может представлять интерес для небольших фермерских хозяйств, а также производителей ареометров для спирта, с целью расширения области применения их продукции.

Достигнутая в эксперименте точность определения плотности продуктов виноделия при помощи плотномера ВИП-2МР позволяет определять значение плотности недистиллированных продуктов виноделия с абсолютной погрешностью не больше 0,12 кг/м³, а плотности дистиллятов – не более 0,04 кг/м³, что позволяет оценить концентрацию общего экстракта по ГОСТ 32000 с точностью не хуже 0,3 г/дм³. Достигнутая точность измерения плотности дистиллятов при помощи ВИП-2МР позволяет определять объемную долю этилового спирта с абсолютной погрешностью не ниже 0,05 % об., что дает основание на включение данного прибора в средства

измерения при определении объемной доли этилового спирта, согласно ГОСТ 32095 и массовой концентрации экстракта по ГОСТ 32000, как альтернативу пикнометрическому методу и определению объемной доли этилового спирта при помощи ареометра для спирта АСП-1.

Источник финансирования

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0833-2019-0022.

Financing source

The work was conducted under public assignment No. 0833-2019-0022.

Конфликт интересов

Не заявлен.

Conflict of interests

Not declared.

Список литературы

1. Кузьмин В.Я., Торопин С.И., Тарбеев Ю.В. и др. Измерения массы, плотности и вязкости. М.: Изд-во стандартов. 1988:1-175.
2. Ермолаев А.Н., Мельничук О.В. Современные средства измерения плотности жидких дисперсных сред // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2017;13(4):92-97.
3. Гашенко Ю.В., Астапов В.Н. Аналитический обзор и исследование устройств и методов измерения плотности жидкости // Научное обозрение. Технические науки. 2019;6:21-27. Электронный ресурс. Режим доступа: URL: <https://science-engineering.ru/ru/article/view?id=1265> (дата обращения: 10.11.2023).
4. Торопин С.И. Измерение плотности жидкостей, массы и объемов твердых тел при помощи усовершенствованных ареометрических весов. Измерительная техника. 1971;1:25-79.
5. Янчевский В.К. и др. Таблицы спиртометрические. Справочное пособие. Киев. Украинский НИИ спирта. 2002;1-587.
6. Таблицы для определения содержания этилового спирта в водно-спиртовых растворах. М.: ИПК Издательство стандартов. 1999;1:1-144.
7. Paar A. Digital density measurement redefined. Electronic resource. Access mode: https://www.anton-paar.com/corp-en/density-redefined/?utm_campaign=hq_gc.density.2019&utm_medium=print&utm_source=brochure (date of access 10.11.2023).
8. Fu Q., Wang J., Lin G., Suo H., Zhao C. Short-wave near-infrared spectrometer for alcohol determination and temperature correction. Journal of Analytical Methods in Chemistry. Volume 2012, Article ID 728128, 7 pages. DOI 10.1155/2012/728128.
9. Peng B., Ge N., Cui L., Zhao H. Monitoring of alcohol strength and titratable acidity of apple wine during fermentation using near-infrared spectroscopy. LWT – Food Science and Technology. 2016;66:86-92.
10. Нехорошев С.В., Клименко Л.С., Нехорошева Д.С. Определение этанола в водных средах методом ИК-фурье спектроскопии // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности. Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. Бийск, 22-24 мая 2019 г. 2019:93-97.

11. Alcohol and extract meter: Alex 500. Electronic resource. Operating mode: <https://www.anton-paar.com/corp-en/products/details/alcohol-and-extract-meter-alex-500/> (date of access 11.10.2023).
 12. Method OIV-MA-AS312-01A Alcoholic strength by volume (Resolution Oeno 566/2016). Compendium of international analysis of methods-OIV Alcoholic strength by volume – Type I methods p.57-84.
 13. Измерители плотности жидкостей вибрационные ВИП-2М, ВИП-2МР. Руководство по эксплуатации. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.mashprom-zvd.ru/wp-content/uploads/2019/10/ВИП-2МР-Руководство-по-эксплуатации.pdf> (дата обращения 15.11.2023).
 14. РМГ 61-2010 «Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Методы оценки». М.: Стандартинформ. 2012:1-58.
- ### References
1. Kuzmin V.Ya., Toropin S.I., Tarbeyev Yu.V. et al. Mass, density and viscosity measurements. М.: Izdatelstvo standartov. 1988:1-175 (*in Russian*).
 2. Ermolaev A.N., Melnichuk O.V. Modern technologies for measuring density of liquid dispersion media. Electrical and Data Processing Facilities and Systems. 2017;13(4):92-97 (*in Russian*).
 3. Gashenko Yu.V., Astapov V.N. Analytical review and research of devices and methods for measuring liquid density. Scientific review. Technical Sciences. 2019;6:21-27. Electronic resource. Access mode: <https://science-engineering.ru/ru/article/view?id=1265> (date of access 10.11.2023) (*in Russian*).
 4. Toropin S.I. Measuring the density of liquids, mass and volume of solids using improved hydrometric balances. Measuring Technology. 1971;1:25-79 (*in Russian*).
 5. Yanchevskiy V.K. et al. Alcoholometer tables. Reference Guide. Kiev. Ukrainian SRI of spirits. 2002:1-587 (*in Russian*).
 6. Tables for determining the content of ethyl alcohol in water-alcohol solutions. М.: ИПК Izdatelstvo standartov. 1999;1:1-144 (*in Russian*).
 7. Paar A. Digital density measurement redefined. Electronic resource. Access mode: https://www.anton-paar.com/corp-en/density-redefined/?utm_campaign=hq_gc.density.2019&utm_medium=print&utm_source=brochure (date of access 10.11.2023).
 8. Fu Q., Wang J., Lin G., Suo H., Zhao C. Short-wave near-infrared spectrometer for alcohol determination and temperature correction. Journal of Analytical Methods in Chemistry. Volume 2012, Article ID 728128, 7 pages. DOI 10.1155/2012/728128.
 9. Peng B., Ge N., Cui L., Zhao H. Monitoring of alcohol strength and titratable acidity of apple wine during fermentation using near-infrared spectroscopy. LWT – Food Science and Technology. 2016;66:86-92.
 10. Nekhoroshev S.V., Klimenko L.S., Nekhorosheva D.S. Determination of ethanol in aqueous media by IR-Fourier spectroscopy. In the Collection: Technologies and equipment of the chemical, biotechnological and food industries. Materials of the XII All-Russian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists with International Participation. Biysk. 2019:93-97 (*in Russian*).
 11. Alcohol and extract meter: Alex 500. Electronic resource. Operating mode: <https://www.anton-paar.com/corp-en/products/details/alcohol-and-extract-meter-alex-500/> (date of access 11.10.2023).
 12. Method OIV-MA-AS312-01A Alcoholic strength by volume (Resolution Oeno 566/2016). Compendium of international analysis of methods-OIV Alcoholic strength by volume – Type I methods p.57-84.
 13. Liquid density meters vibrational VIP-2М, VIP-2МР Operating Guide. Electronic resource. Access mode: <https://www.mashprom-zvd.ru/wp-content/uploads/2019/10/ВИП-2МР-Руководство-по-эксплуатации.pdf> (date of access 15.11.2023) (*in Russian*).
 14. РМГ 61-2010 «Indicators of accuracy, correctness, precision of the methods of quantitative chemical analysis. Methods of evaluation». М.: Standartinform. 2012:1-58 (*in Russian*).

Информация об авторе

Руслан Генрихович Тимофеев, канд. техн. наук, доцент, заведующий лабораторией тихих вин; e-мейл: Russ1970@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6105-944X>.

Information about author

Ruslan G. Timofeev, Cand. Techn. Sci., Assistant Professor, Head of the Laboratory of Still Wines; e-mail: Russ1970@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6105-944X>.

Статья поступила 11.11.2023, одобрена после рецензии 18.11.2023, принята к публикации 22.11.2023.