

## Разработка рефрактоденсиметрического метода определения содержания этилового спирта и общего экстракта вин на ЭВМ

Канд. техн. наук **Р.Г. Тимофеев**, Russ1970@mail.ru

*Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН  
298600, Россия, Республика Крым, Ялта, ул. Кирова, 31*

Работа посвящена совершенствованию методологических основ рефрактоденсиметрического метода анализа применительно к жидким спиртосодержащим продуктам виноградно-винодельческого виноделия. На основании обработки данных измерения показателя преломления и плотности различных спиртосодержащих продуктов виноделия, винных дистиллятов и модельных растворов на их основе, а также анализа данных официальных денсиметрических и рефрактометрических таблиц для определения концентрации водных растворов этилового спирта и общего экстракта сусле были установлены закономерности изменения плотности и удельной рефракции этилового спирта и веществ экстракта винограда и вина от их концентрации. Предложена усовершенствованная математическая модель алкогольного напитка, адекватно описывающая зависимость показателя преломления и плотности напитка от содержания этилового спирта и экстракта, основанная на использовании свойства аддитивности удельной рефракции и массы компонентов его составляющих. На основе предложенной математической модели напитка разработан алгоритм определения объемной доли этилового спирта и массовой концентрации общего экстракта для продуктов виноделия, основанный на измерении плотности и показателя преломления, как основа метода определения объемной доли этилового спирта и массой концентрации общего экстракта. Проведена предварительная метрологическая аттестация метода определения массовой концентрации общего экстракта и объемной доли этилового спирта в спиртосодержащих продуктах виноградно-винодельческого виноделия. Результаты работы могут стать основой не только для разработки неразрушающего экспресс-метода определения объемной доли этилового спирта и массовой концентрации общего экстракта на базе стандартного оснащения лаборатории винодельческих предприятий, но и технического задания на изготовление портативного прибора для определения концентрации спирта и экстракта, основанного на одновременном измерении показателя преломления и плотности жидких сред.

**Ключевые слова:** виноделие; методы анализа; показатель преломления; плотность; объемная доля этилового спирта; массовая концентрация экстракта.

DOI: 10.17586/2310-1164-2020-10-4-3-11

---

## Development of a refractodensimetric method for determining the content of ethyl alcohol and total wine extract by a computer

Ph.D. **Ruslan G. Timofeev**, Russ1970@mail.ru

*All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking Magarach of RAS  
31, Kirov str., Yalta, Republic of Crimea, 298600, Russia*

The work is devoted to the improvement of the methodological foundations of the refractodensimetric method of analysis as applied to liquid alcohol-containing products of grape winemaking. The regularities of changes in density and specific refraction of ethyl alcohol and substances of the extract of grapes and wine depending on their concentration based on the processing of the data of measuring the refractive index and density of various alcohol-containing products of winemaking and model solutions based on them, as well as based on the analysis of data from official densimetric and refractometric tables to determine the concentration of aqueous solutions of ethyl alcohol and total extract of the must, has been determined. The improved mathematical model of an alcoholic drink is proposed, which adequately describes the dependence of the refractive index and density of the drink on the content of ethyl alcohol and extract, based on the use of the additivity property of the specific refraction and the mass of the components of its constituents. On the basis of the proposed mathematical model of the drink, an algorithm has been developed for determining the volume fraction of ethyl alcohol and the mass concentration of the total extract for winemaking products, based on measuring the density and refractive index as the basis for the method for determining the volume fraction of ethyl alcohol and the mass concentration of the total extract. Preliminary metrological certification of the method for determining the mass concentration of the total extract and the volume fraction of ethyl alcohol in alcohol-containing products of grape winemaking has been carried out. The results of the work can be the basis for the development of a non-destructive express

**method for determining the volume fraction of ethyl alcohol and the mass concentration of the total extract based on the standard equipment of the laboratory of wineries, as well as the development of technical specifications for the manufacture of a portable device for determining the concentration of alcohol and extract based on the simultaneous measurement of the refractive index and density of liquid media.**

**Keywords:** winemaking; methods of analysis; refractive index; density; volume fraction of ethyl alcohol; mass concentration of the extract.

## Введение

Общепринятые методы определения объемной доли этилового спирта по ГОСТ 32095-2013 и массовой концентрации экстракта по ГОСТ 32000-2012 основаны на измерении плотности продукта и дистиллята того же объема, полученного из этого продукта. Данные методы являются арбитражными, но довольно трудоемки ввиду наличия стадии дистилляции. В связи с этим, получение оперативной информации без проведения рутинного разрушающего анализа невозможно. Отдельную проблему представляет анализ уникальных образцов, либо образцов ограниченного объема. В этом ключе на передний план выходят инструментальные методы анализа, основанные на различных принципах, из которых ключевыми являются газовая и жидкостная хроматография [1, 2], модификации оптических методов, в том числе ИК спектроскопия в ближнем и среднем ИК диапазоне [3–5], модификации Фурье-спектроскопии в ИК области [6–8], изучение колебательных спектров молекул [9], а также оптические методы, основанные на многопараметрическом анализе спектров поглощения в ультрафиолетовом видимом и ИК диапазоне длин волн [10]. Они так же не лишены недостатков, в основном по причине проблемы обеспечения точности, повторяемости, воспроизводимости, а также соответствия получаемых результатов арбитражным методам, принятым в виноделии. Кроме того, применение многих методов анализа недоступно и нецелесообразно для использования на предприятиях винодельческой отрасли в ходе оперативного контроля технологического процесса.

Рефрактометрия как метод определения концентрации бинарных растворов имеет широкое применение в ряде областей деятельности человека, в том числе фармацевтической, пищевой и винодельческой промышленности [11–13], в частности, для определения растворимых сухих веществ (ГОСТ 28562-90, ГОСТ ISO 2173-2013), а также определения массовой концентрации сахаров (ГОСТ 27198-87) при приемке винограда. Это один из старейших оптических методов исследований вещества, применяемых в аналитической химии [13]. Сочетание рефрактометрических методов с измерением других физических свойств или физико-химической обработкой пробы вещества позволяет анализировать тройные или более сложные смеси и определять состав важных продуктов промышленности и биологических объектов [12]. Впервые в отечественной энохимической практике попытки одновременного использования данных прецизионной рефрактометрии и денсиметрии для определения объемной доли этилового спирта и массовой концентрации общего экстракта в различных продуктах виноделия было предложено и осуществлено А.С. Вечером еще в 50-х годах прошлого века [14], однако отсутствие вычислительных возможностей привело к тому, что полученные им линеаризованные расчетные формулы были видоспецифичны для каждой группы продуктов виноделия и давали систематическую ошибку, вызванную их несовершенством. В этой связи данный подход не нашел отражения в методах анализа, регламентированных для применения в винодельческой отрасли, и лишь в пивоваренной промышленности данный подход ограниченно используется для определения объемной доли этилового спирта, действительного экстракта в пиве и расчета начального экстракта сусла по ГОСТ 12787-81.

Как показал анализ зарубежных источников, рефрактоденсиметрические методы для определения объемной доли этилового спирта и массовой концентрации общего экстракта алкогольных напитков не применяют. Данную проблему решают путем измерения плотности продукта в комбинации со спектроскопией в ближней инфракрасной области с целью предварительного определения концентрации этанола по интенсивности поглощения специфических длин волн, что повышает селективность анализа по отношению к этиловому спирту, но значительно усложняет и удорожает аналитическую часть прибора. Таким техническим решением, представленным на современном рынке аналитического оборудования, является анализатор типа Alex 500 от Anton Paar GmbH (Австрия). Однако и он не решает вопрос обеспечения достаточной точности измерения концентрации этилового спирта и соответствия результатов анализа методам, принятым Международной организацией винограда и вина.

В этой связи данный прибор, несмотря на все усилия и рекламные компании фирмы-производителя, нашел лишь ограниченное применение для плодово-ягодного виноделия, а также для внутризаводского контроля производства пива и крепких напитков.

В более ранних наших публикациях была предпринята попытка разработки физической математической модели вина, адекватно описывающей его физические свойства (плотность и показатель преломления) в зависимости от объемной доли этилового спирта и массовой концентрации общего экстракта. Модель основана на свойстве аддитивности удельной рефракции и массы входящих в состав вина компонентов [15], а в публикации [16] эта же задача решалась созданием аналогичной феноменологической математической модели путем двумерной интерполяции экспериментальных данных, полученных измерением показателя преломления и плотности модельных растворов сахарозы и этилового спирта различной концентрации. Оба рассмотренных подхода дали достаточно близкие результаты, но не могли конкурировать по точности с аттестованными в виноделии и принятыми в мировой практике методами.

Цель настоящей работы – усовершенствование методологических подходов к решению задачи определения объемной доли этилового спирта и массовой концентрации общего экстракта в продуктах виноделия с использованием данных рефрактометрии и денсиметрии на основе математического моделирования состава и физических свойств продукции виноделия для создания метода определения этих величин с метрологическими характеристиками, близкими к аттестованным в виноделии методикам определения объемной доли этилового спирта и массовой концентрации экстракта.

### Объекты и методы исследований

За основу построения математической модели продукта виноделия была взята математическая модель, связывающая плотность и показатель преломления с массовой долей этилового спирта и общего экстракта вина, приведенная в [15], основанная на свойстве аддитивности удельной рефракции смеси из допущения, что продукт является трехкомпонентной системой (вода–этиловый спирт–экстракт). В качестве объектов исследований были использованы табличные данные официальных методик определения массовой концентрации общего экстракта по ГОСТ 32000-2012 и объемной доли этилового спирта по ГОСТ 32000-2012, а также методы определения массовой концентрации общего экстракта в продуктах переработки винограда с применением рефрактометрических и денсиметрических методов анализа [12]. Построение модели продукта виноделия, связывающего его показатель преломления и плотность с объемной долей этилового спирта и массовой концентрацией общего экстракта, а также метрологическая оценка метода определения объемной доли этилового спирта и массовой концентрации экстракта на основании данных рефрактометрии и денсиметрии осуществлялась методами математического моделирования на ЭВМ с использованием программы MS Excel. Измерение показателя преломления проводили согласно ГОСТ ISO 2773-2013 на рефрактометре УРЛ-1, плотности – по ГОСТ 18995.1-73 (СТ СЭВ 1504-79) ареометрами общего назначения типа АОН-2 по ГОСТ 18481-81, отградуированным в кг/м<sup>3</sup>, для прецизионных измерений плотности – пикнометрический метод, а для жидкостей с плотностью ниже, чем плотность воды были использованы спиртомеры типа АСП-1 по ГОСТ 18481-81 с последующим нахождением плотности по спиртометрическим таблицам [17].

Удельную рефракцию вина и чистой воды вычисляли по формуле Лоренц–Лоренца [13]

$$r = \frac{n^2 - 1}{(n^2 + 2) \cdot \rho}, \quad (1)$$

где  $n$  – показатель преломления;

$\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup> при +20 °С.

Удельную рефракцию растворенных веществ и спирта вычисляли по формуле

$$r_x = r_{cm} \cdot \frac{100}{m_x} - r_b \cdot \frac{(100 - m_x)}{m_x}, \quad (2)$$

где  $r_x$  – искомая удельная рефракция растворенного вещества;

$r_{cm}$  – удельная рефракция раствора;

$m_x$  – массовая доля растворенного вещества;

$r_B$  – удельная рефракция воды, вычисленная по формуле (1).

Предварительная метрологическая аттестация метода проводилась по ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 и ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 путем статистической обработки результатов сравнительного определения объемной доли этилового спирта по ГОСТ 32095-2013, массовой концентрации общего экстракта по ГОСТ 32000-2012 и разрабатываемому методу на виноматериалах различного происхождения и состава.

### Результаты исследований и их обсуждение

В основу построения математической модели вина были положены следующие постулаты и допущения.

1. Состав вина (продукта виноделия) упрощенно можно представить как смесь (вода+этиловый спирт+вещества экстракта), в этом случае можно записать, что

$$m_B + m_{сп} + m_э = 100, \tag{3}$$

где  $m_B$ ,  $m_{сп}$  и  $m_э$  – массовая доля воды, этилового спирта и экстракта соответственно, % масс.

2. Удельная рефракция смеси равна сумме удельных рефракций компонентов смеси, умноженных на их массовую долю из допущения, что при смешении не происходит изменения поляризуемости компонентов смеси

$$r_{см} = \frac{r_B \cdot m_B}{100} + \frac{r_{сп} \cdot m_{сп}}{100} + \frac{r_э \cdot m_э}{100}, \tag{4}$$

где,  $r_{см}$ ,  $r_B$ ,  $r_{сп}$  и  $r_э$  – удельная рефракция вина, воды, спирта и веществ экстракта, соответственно.

3. Объем вина равен сумме объемов воды, спирта и веществ экстракта, которые они занимают в системе

$$V_{см} \cdot 100 = V_B + V_{сп} + V_э. \tag{5}$$

Учитывая, что  $V = \frac{m}{\rho}$ , формулу (5) можно записать в следующем виде

$$\frac{100}{\rho_{см}} = \frac{m_B}{\rho_B} + \frac{m_{сп}}{\rho_{сп}} + \frac{m_э}{\rho_э}, \tag{6}$$

где  $\rho_{см}$ ,  $\rho_B$ ,  $\rho_{сп}$  и  $\rho_э$  – плотность смеси, воды, спирта и экстракта, соответственно.

Таким образом, путем объединения формул (3), (4) и (6), получим систему линейных алгебраических уравнений относительно переменных  $m_B$ ,  $m_{сп}$  и  $m_э$ , связывающих массовые доли воды, спирта и веществ экстракта с показателем преломления  $n$  вина (посредством величины удельной рефракции смеси  $r_{см}$ , вычисленной по формуле (1)) и его плотностью  $\rho_{см}$ .

$$\begin{cases} \frac{m_B}{100} + \frac{m_{сп}}{100} + \frac{m_э}{100} = 1 \\ r_B \cdot \frac{m_B}{100} + r_{сп} \cdot \frac{m_{сп}}{100} + r_э \cdot \frac{m_э}{100} = r_{см} \\ \frac{1}{\rho_B} \cdot \frac{m_B}{100} + \frac{1}{\rho_{сп}} \cdot \frac{m_{сп}}{100} + \frac{1}{\rho_э} \cdot \frac{m_э}{100} = \frac{1}{\rho_{см}} \end{cases} \tag{7}$$

Система уравнений (7) с точностью до обозначений соответствует системе уравнений, приведенных нами в [15]. Однако здесь следует сделать следующие замечания.

Считается, что единица массы растворенного сухого вещества занимает в растворе один и тот же объем независимо от его концентрации. Нормативной величиной, принятой при технологических расчетах в виноделии, длительное время была величина 0,623 дм<sup>3</sup> на каждый килограмм растворенной сахарозы, в пересчете на которую и определяют концентрацию экстрактивных веществ в сусле и продуктах виноделия [18]. Однако анализ зависимости плотности растворов сахарозы от ее концентрации показал, что объем, который занимает килограмм сахарозы в растворе, составляет от 0,614 дм<sup>3</sup> для низких концентраций сахарозы и достигает величины 0,637 дм<sup>3</sup> для растворов с массовой долей сахарозы 84%. В среднем этот объем для продуктов виноделия с массовой долей сухих веществ до 20% составляет

величину 0,616 дм<sup>3</sup> на каждый килограмм веществ экстракта или 0,616 см<sup>3</sup> на каждый г/дм<sup>3</sup> массовой концентрации экстракта. Зависимость кажущегося объема единицы массы сахарозы от ее концентрации в водных растворах приведена на рисунке 1.

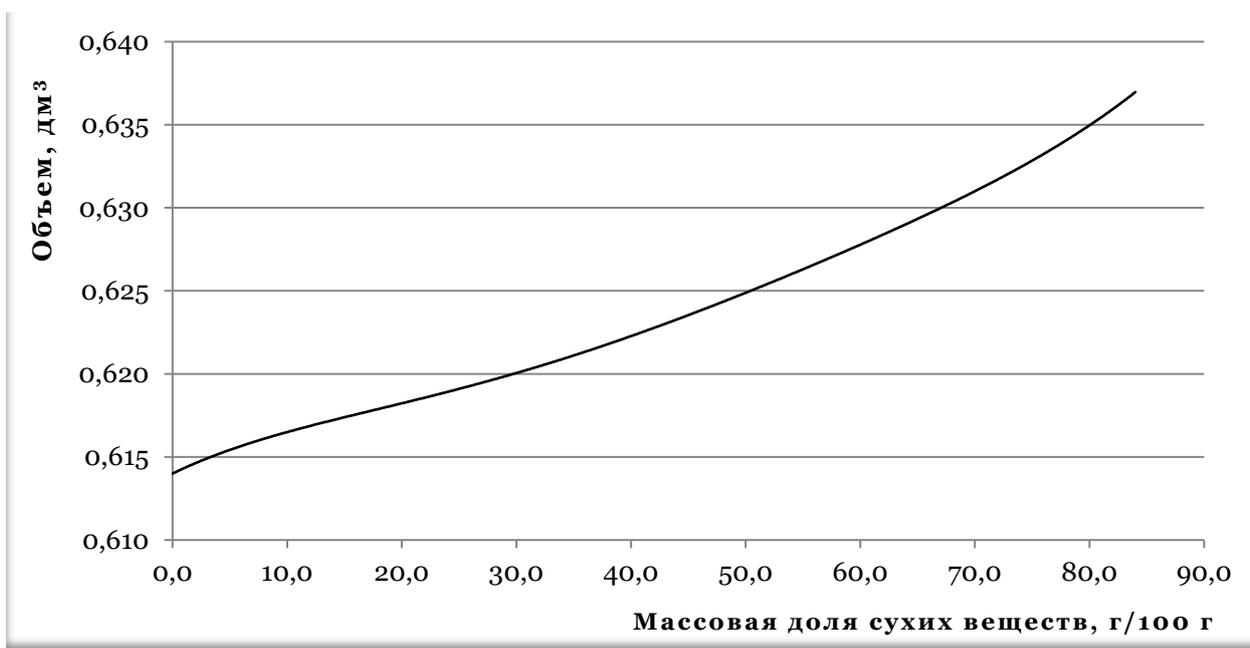


Рисунок 1 – Зависимость кажущегося объема 1 кг сахарозы в водном растворе от массовой доли сухих веществ  
 Figure 1. Dependence of the apparent volume of 1 kg of sucrose in aqueous solution on the mass fraction of dry substances

Конечно, данное допущение не отражает реальные объемы молекул, которые они занимают в растворе, и изменение плотности воды в гидратных оболочках молекул, однако, с точки зрения моделирования зависимости плотности растворов сахарозы от ее концентрации, дает удовлетворительные результаты.

Анализ данных плотности водно-спиртовых растворов показал, что величина сжатия водно-спиртовых растворов зависит от концентрации и хорошо аппроксимируется функцией вида  $1 - \gamma(m_{сп})$ . Зависимость коэффициента  $\gamma$  от массовой доли этилового спирта в водно-спиртовых растворах, полученная обработкой данных спиртометрических таблиц [17], приведена на рисунке 2.

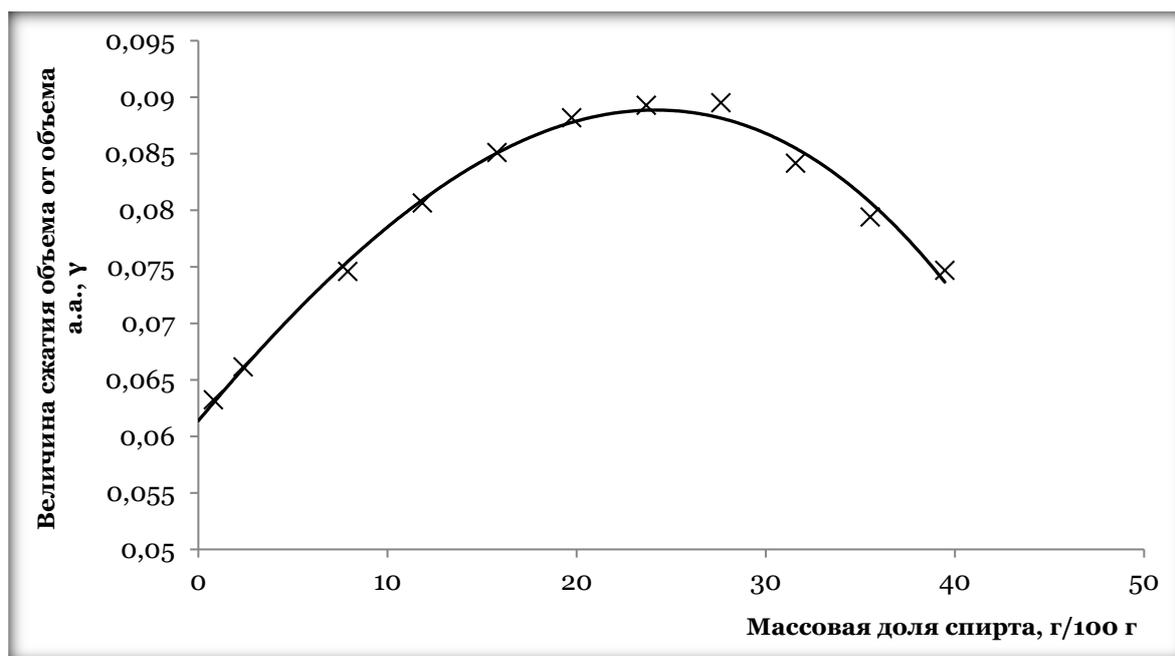


Рисунок 2 – Величина кажущегося сжатия объема спирта в зависимости от массовой доли спирта в водных растворах

Figure 2. The value of the apparent volume of alcohol compression depending on the mass fraction of alcohol in aqueous solutions

Анализ зависимости удельной рефракции этилового спирта  $r_{сп}$  от его концентрации показал, что в области концентраций спирта до 30% об. удельная рефракция этилового спирта практически не изменяется, и в практических целях этим изменением можно пренебречь. При увеличении объемной доли этилового спирта свыше 32,5% об. уже требуется корректировка ее значения. Удельная рефракция веществ экстракта вина  $r_э$ , вычисленная по (2), уменьшается с увеличением концентрации, что также следует учитывать при особо точных вычислениях. Экспериментально установленная зависимость удельной рефракции веществ винограда и вина от их содержания в водных растворах представлена на рисунке 3.

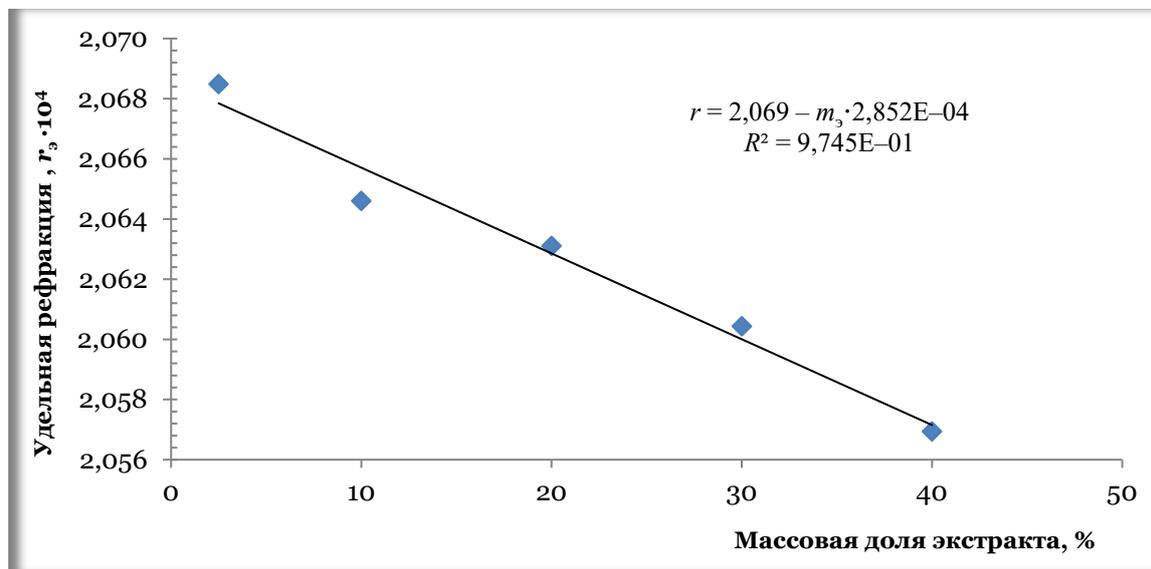


Рисунок 3 – Зависимость удельной рефракции веществ винограда и вина от их содержания в водных растворах  
 Figure 3. Dependence of the specific refraction of grape and wine substances on their content in aqueous solutions

Таким образом, после данных замечаний система линейных уравнений (7) приняла следующий вид

$$\begin{cases} \frac{m_в}{100} + \frac{m_{сп}}{100} + \frac{m_э}{100} = 1 \\ r_в \cdot \frac{m_в}{100} + r_{сп} \cdot \frac{m_{сп}}{100} + r_э \cdot \frac{m_э}{100} = r_{см} \\ \frac{1}{\rho_в} \cdot \frac{m_в}{100} + \frac{(1 - \gamma(m_{сп}))}{\rho_в} \cdot \frac{m_{сп}}{100} + V_э \cdot \frac{m_э}{100} = \frac{1}{\rho_{см}} \end{cases}, \quad (8)$$

где  $r_в = 2,0605 \cdot 10^{-4}$  – удельная рефракция воды, вычисленная по (1) при  $n = 1,33297$  и  $\rho_в = 998,203$  кг/м<sup>3</sup>;

$r_{сп} = 2,7732 \cdot 10^{-4}$  – удельная рефракция этилового спирта, вычисленная по (2) на основании данных эксперимента;

$r_э = 2,069 - m_э \cdot 2,852 \cdot 10^{-4}$  – зависимость удельной рефракции веществ экстракта вина от их концентрации, вычисленная по (2) на основании данных эксперимента;

$\rho_{сп} = 789,27$  кг/м<sup>3</sup>;

$\gamma = 0,0614 + 2,01 \cdot 10^{-3} \cdot m_{сп} - 2,51 \cdot 10^{-5} \cdot m_{сп}^2 - 2,54 \cdot 10^{-7} \cdot m_{сп}^3$  – аппроксимирующая функция для  $\gamma$ , полученная из обработки данных спиртометрических таблиц [16] (рисунок 2);

$V_э = 0,6144 - 1,9196 \cdot 10^{-8} \cdot m_э^3 - 8,3271 \cdot 10^{-7} \cdot m_э^2 + 2,0171 \cdot 10^{-4} \cdot m_э$  – объем, дм<sup>3</sup> (см<sup>3</sup>), который занимает 1 кг(г) веществ экстракта в растворе (рисунок 1).

Таким образом, алгоритм определения объемной доли этилового спирта и массовой концентрации экстракта по данным рефрактометрии и денсиметрии может быть следующим:

1. проводят измерение плотности  $\rho_{см}$  и показателя преломления  $n$  продукта виноделия;
2. используя полученные значения  $\rho_{см}$  и  $n$ , по (1) определяют удельную рефракцию смеси  $r_{см}$ ;

3. решают систему уравнений (8) относительно переменных  $m_b$ ,  $m_{сп}$  и  $m_э$  при  $\gamma = 0,07$ ,  $V_э = 0,616$  и  $r_э = 2,0575 \cdot 10^{-4}$ ;
4. используя полученные значения  $m_{сп}$  и  $m_э$  из зависимостей, представленных на рисунках 1, 2 и 3, получают уточненные значения  $\gamma$ ,  $V_э$  и  $r_э$ , и повторно решают систему уравнений (8), относительно переменных  $m_b$ ,  $m_{сп}$  и  $m_э$ .

Непосредственные значения объемной доли этилового спирта  $K$  и массовой концентрации экстракта  $\Xi$  получают из следующих формул

$$K = \frac{m_{сп} \cdot \rho_{см}}{789,27}, \%об; \quad \Xi = \frac{m_э \cdot \rho_{см}}{100}, \text{ г/дм}^3.$$

Проверка данного алгоритма на различных продуктах виноделия с объемной долей этилового спирта в диапазоне (0–30)% об. и массовой концентрацией экстракта в диапазоне (10–400) г/дм<sup>3</sup> в сравнении с аттестованной методикой определения этилового спирта по ГОСТ 32095-2013 и массовой концентрации общего экстракта по ГОСТ 32000-2012 показало хорошую сходимость. Экспериментально установленное абсолютное значение ошибки определения объемной доли этилового спирта и массовой концентрации общего экстракта в сравнении с аттестованными методиками при доверительной вероятности 0,95 приведено в таблице 1.

Таблица. Метрологическая характеристика рефрактоденсиметрического метода определения объемной доли этилового спирта и массовой концентрации общего экстракта

Table. Metrological characteristics of the refractodensimetric method for determining the volume fraction of ethyl alcohol and the mass concentration of the total extract

Диапазон определяемой величины		Расхождение с аттестованными методами, не более*	
по объемной доле этилового спирта, % об.	по массовой концентрации экстракта, г/дм <sup>3</sup>	по объемной доле этилового спирта, % об.	по массовой концентрации экстракта, г/дм <sup>3</sup>
0,0–30,0	0–200	±0,12 (0,3)	±0,7 (1,4)
0,0–30,0	200–300	±0,15 (0,4)	±1,2 (1,6)
0,0–30,0	300–400	±0,15 (0,4)	±1,4 (1,8)

\*) – значение величины расхождения при использовании для измерения плотности пикнометрического метода или образцового спиртомера типа АСП-1, в скобках ( ) – при использовании ареометров общего назначения типа АОН-2

### Выводы

Таким образом, в результате проведенных исследований было установлено, что удельная рефракция молекул этилового спирта не зависит от его концентрации в области концентраций от 0 до 30% об. Удельная рефракция веществ экстракта виноградной ягоды и сахарозы линейно уменьшается с повышением концентрации общего экстракта в области концентраций 1–40% масс.

На основании установленных закономерностей были разработаны:

- ✓ редуцированная математическая модель содержащего этиловый спирт напитка, связывающая объемную долю этилового спирта и массовую концентрацию общего экстракта с фундаментальными физическими свойствами вещества: плотностью и показателем преломления;
- ✓ методологическое обеспечение метода определения объемной доли этилового спирта и массовой концентрации общего экстракта для продуктов виноделия, основанного на измерении плотности и показателя преломления с метрологическими характеристиками, близкими к аттестованным в виноделии методам определения.

Результаты исследования могут быть основой для разработки экспрессного метода определения объемной доли этилового спирта и массовой концентрации общего экстракта в рамках стандартного оснащения лабораторий винодельческих предприятий, а также основы для технического задания на создание портативного прибора для определения содержания этилового спирта и общего экстракта в жидких однородных продуктах винодельческого производства, основанного на одновременном измерении плотности и показателя преломления жидкости.

Работа выполнена в рамках № ГЗ 0833-2019-0022.

### Литература

1. Адаменко Г.В., Бурак И.И., Колков М.А. Методика определения спирта этилового методом газожидкостной хроматографии // Вестник Витебского государственного медицинского университета. 2014. Т. 13. № 4. С. 178–183.
2. Якуба Ю.Ф., Темердашев З.А. Хроматографические методы в анализе и идентификации виноградных вин // Аналитика и контроль. 2015. Т. 19. № 4. С. 288–301.
3. Коршунова Н.А., Романов В.А., Евелева В.В. Применение спектроскопии для оценки качества виноградных вин // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2019. № 3. С. 42–51.
4. 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, V. 66, pp, 86–92.
5. Fu Q., Wang J., Lin G., Suo H., Zhao C. Short-wave near-infrared spectrometer for alcohol determination and temperature correction. *J. Anal. Methods Chem.* 2012:728128.
6. 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: сб. тр. Барнаул, 2019. С. 93–97.
7. Regmi U., Rai K.P., Palma M. Determination of organic acids in wine and spirit drinks by fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy. *J. Food Sci. & Technol. Nepal*. 2012, V. 7, pp. 36–43.
8. Debebe A., Redi-Abshiro M., Chandravanshi B.S. Non-destructive determination of ethanol levels in fermented alcoholic beverages using Fourier transform mid-infrared spectroscopy. *Chem. Cent. J.* 2017, V. 11, article no. 27.
9. Dos Santos C.A.T., Pascoa R.N.M.J., Lopes J.A. A review on the application of vibrational spectroscopy in the wine industry: From soil to bottle. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2017, V. 88, pp. 100–118.
10. Ходасевич М.А., Скорбанова Е.А., Роговая М.В. Применение многопараметрического анализа широкополосных спектров пропускания для калибровки физико-химических показателей вин // Приборы и методы измерений. 2019. Т. 10. № 2. С. 198–206.
11. Березина Е.С., Киселева А.А., Филиппова Ю.В. Рефрактометрическое определение концентрации спирта в лекарственных формах // Вестник Пермской государственной фармацевтической академии. 2007. № 2. С. 123–125.
12. Гержикова В.Г. Методы теххимического контроля в виноделии. Симферополь: Таврида, 2009. 304 с.
13. Иоффе Б.В. Рефрактометрические методы химии. Л.: Химия, 1983. 352 с.
14. Вечер А.С. К применению прецизионной рефрактометрии в виноделии // Труды Краснодарского института пищевой промышленности. 1958. № 18. С. 176–196.
15. Тимофеев Р.Г. Методика определения объемной доли этилового спирта и общего экстракта вин на основе использования комбинированных систем для измерения плотности и коэффициента преломления жидкостей // Магарац. Виноградарство и виноделие. 2011. № 2. С. 24–25.
16. Тимофеев Р.Г. Совершенствование рефрактоденсиметрического метода определения спирта и общего экстракта вин и напитков // Магарац. Виноградарство и виноделие. 2016. № 1. С. 41–44.
17. Таблицы для определения содержания этилового спирта в водно-спиртовых растворах М.: Изд-во стандартов. 1999. Т.1. 144 с.
18. Саривилили Н.Г. (ред.) Сборник основных правил, технологических инструкций и нормативных материалов по производству винодельческой продукции. М.: Пищепромиздат, 1998. 244 с.

### References

1. Adamenko G.V., Burak I.I., Kolkov M.A. Method for determination of ethyl alcohol by gas-liquid chromatography. *Vestnik of Vitebsk State Medical University*. 2014. V. 13, no. 4, pp. 178–183 (In Russian).
2. Yakuba Yu.F. Temerdashev Z.A. Chromatographic methods in the analysis and identification of grape wines. *Analytics and Control*. 2015, V. 19, no. 4, pp. 288–301 (In Russian).
3. Korshunova N.A., Romanov V.A., Eveleva V.V. The application of spectroscopy to assess the quality of grape wines. *Processes and Food Production Equipment*. 2019, no. 3, pp. 42–51 (In Russian).
4. 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, V. 66, pp, 86–92.
5. Fu Q., Wang J., Lin G., Suo H., Zhao C. Short-wave near-infrared spectrometer for alcohol determination and temperature correction. *J. Anal. Methods Chem.* 2012:728128.
6. Nekhoroshev S.V., Klimenko L.S., Nekhorosheva D.S. Determination of ethanol in aqueous media by infrared Fourier spectroscopy. *Technologies and Equipment for Chemical, Biotechnological and Food Industries*. Collection of works. Barnaul, 2019. pp. 93–97 (In Russian).
7. Regmi U., Rai K.P., Palma M. Determination of organic acids in wine and spirit drinks by fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy. *J. Food Sci. & Technol. Nepal*. 2012, V. 7, pp. 36–43.

8. Debebe A., Redi-Abshiro M., Chandravanshi B.S. Non-destructive determination of ethanol levels in fermented alcoholic beverages using Fourier transform mid-infrared spectroscopy. *Chem. Cent. J.* 2017, V. 11, article no. 27.
9. Dos Santos C.A.T., Pascoa R.N.M.J., Lopes J.A. A review on the application of vibrational spectroscopy in the wine industry: From soil to bottle. *TrAC Trends in Analytical Chemistry.* 2017, V. 88, pp. 100–118.
10. Khodasevich M.A., Scorbanov E.A., Rogovaya M.V. Application of multivariate analysis of broadband transmission spectra for calibration of physico-chemical parameters of wines. *Devices and Methods of Measurements.* 2019, V. 10, no. 2, pp. 198–206 (*In Russian*).
11. Berezina E.S., Kiseleva A.A., Filippova Yu.V. Refractometric determination of the concentration of alcohol in dosage forms. *Bulletin of the Perm State Pharmaceutical Academy.* 2007, no. 2, pp. 123–125 (*In Russian*).
12. Gerzhikova V.G. *Methods of techno-chemical and microbiological control in winemaking.* Simferopol, Tavrida Publ., 2002. 259 p. (*In Russian*).
13. Ioffe B.V. *Refractometric methods of chemistry.* Leningrad, Chemistry Publ., 1983. 352 p. (*In Russian*).
14. Vecher A.S. To the application of precision refractometry in winemaking. *Trudyi Krasnodarskogo instituta pischevoy promyshlennosti.* 1958, V. 18, pp. 176–196 (*In Russian*).
15. Timofeev R.G. A methodology to determine the volume fractions of ethyl alcohol and total soluble solids based on the use of combined systems for measuring density and refraction coefficient of liquids. *Magarach. Viticulture and Winemaking.* 2011, no. 2, pp. 24–25 (*In Russian*).
16. Timofeev R.G. Improving the refracto-densimetric method for determining alcohol and the general extract content of wines and drinks. *Magarach. Viticulture and Winemaking.* 2016, no. 1, pp. 41–44.
17. *Tables for determining the content of ethyl alcohol in water-alcohol solutions.* Moscow, Standards Publ., 1999. V.1, 144 p. (*In Russian*).
18. Collection of fundamental principles, progress guidelines and standards on wine production. Moscow, Pischepromizdat Publ., 1998. 244 p. (*In Russian*).

*Статья поступила в редакцию 09.10.2020*