

УДК 543.068.8

**КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД В ИССЛЕДОВАНИИ  
КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РАЗЛИЧНЫХ ПИЩЕВЫХ СРЕД**



**CONDUCTOMETRIC METHOD IN RESEARCH  
QUANTITATIVE CHARACTERISTICS  
CHEMICAL COMPOSITION OF VARIOUS FOOD ENVIRONMENTS**

**Ольховатов Е.А.**

кандидат технических наук,  
доцент ВАК,  
действительный член Российской инженерной академии –  
секретарь Кубанского отделения;  
доцент кафедры технологии хранения  
и переработки растениеводческой продукции,  
Кубанский государственный аграрный университет  
имени И.Т. Трубилина  
olhovatov\_e@inbox.ru

**Щербакова Е.В.**

доктор технических наук,  
доцент ВАК,  
профессор кафедры технологии хранения  
и переработки растениеводческой продукции,  
Кубанский государственный аграрный университет  
имени И.Т. Трубилина  
sherbakova.1965@inbox.ru

**Полин Н.В.**

обучающийся 3-го курса бакалавриата,  
факультет пищевых производств и биотехнологий,  
Кубанский государственный аграрный университет  
имени И.Т. Трубилина  
poliin.nik@mail.ru

**Аннотация.** Определено особое место электрохимических методов анализа. Рассмотрены основные аспекты применения кондуктометрии, преимущества и недостатки метода. Описан принцип действия лабораторного кондуктометра. Приведены виды анализов, проводимых с его использованием.

**Ключевые слова:** аналитическая химия, электрохимический анализ, кондуктометрический метод, количественные характеристики, химический состав, пищевые среды.

**Olkhovatov E.A.**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor  
of the Higher Attestation Commission,  
Full Member of the Russian Academy  
of Engineering – Secretary  
of the Kuban branch;  
Associate Professor of the Department  
of Technology of Storage  
and Processing of Plant Products,  
Kuban State Agrarian University  
named after I.T. Trubilin  
olhovatov\_e@inbox.ru

**Shcherbakova E.V.**

Doctor of Technical Sciences,  
Associate Professor  
of the Higher Attestation Commission,  
Professor of the Department  
of Technology of Storage  
and Processing of Crop Products,  
Kuban State Agrarian University  
named after I.T. Trubilin  
sherbakova.1965@inbox.ru

**Polin N.V.**

3rd year Bachelor's Student,  
Faculty of Food Production  
and Biotechnology,  
Kuban State Agrarian University  
named after I.T. Trubilin  
poliin.nik@mail.ru

**Annotation.** The special place of electrochemical methods of analysis has been determined. The main aspects of the application of conductometry, the advantages and disadvantages of the method are considered. The operating principle of a laboratory conductivity meter is described. The types of analyzes carried out using it are given.

**Keywords:** analytical chemistry, electrochemical analysis, conductometric method, numerous characteristics, chemical composition, food media.

**3** адача аналитической химии состоит в оценке фактического содержания отдельных веществ в исследуемом образце с использованием наиболее быстрых, точных и эффективных методов. Прикладной спрос на химические анализы крайне высок: они требуются промышленности – пищевой, фармацевтической, химической, нефтеперерабатывающей, металлургической и электронной. Электрохимические методы анализа играют особую роль в аналитической химии, поскольку они основаны на связи между составом химической системы и ее физическими свойствами. Эта особенность обусловлена сложностью вопросов, стоящих сегодня перед современной

наукой. Разнообразие электродных процессов обуславливает широкий список изучаемых объектов.

Широкое распространение получила кондуктометрия. Она используется для анализа ионных частиц и мониторинга химической реакции путем изучения электролитической проводимости реагирующих веществ или продуктов реакции. Кондуктометрический анализ характеризуется простотой выполнения, возможностью осуществления в окрашенных и непрозрачных системах, относительно высокими точностью и надежностью, значимым показателем сходимости параллельных измерений и доступностью оборудования. Недостатком является низкая селективность. Этот метод способствует решению важных научно-исследовательских и прикладных задач, находя применение в решении задач, стоящих перед промышленными лабораториями – анализе растворов различных солей, оценке концентраций кислот, щелочей и органических соединений [1].

Кондуктометр – это прибор, который измеряет электрическую проводимость раствора или жидкости. Он состоит из двух главных частей: кондуктометрической ячейки и устройства для измерения. Кондуктометрическая ячейка – это корпус с электродами, помещенными в исследуемый раствор. Ячейка формирует определенный объем этого раствора, обеспечивая стабильность условий измерения. Низковольтный переменный ток пропускается через этот раствор и электроды, и электрическое сопротивление тока измеряется устройством для измерения. Постоянная кондуктометрической ячейки определяется формой электродов, площадью их поверхностей и расстоянием между ними. Эта постоянная сохраняет свое значение в границах определенного диапазона электрической проводимости раствора, который обычно приведен в технической документации к прибору. Материалом электродов могут служить нержавеющая сталь, платина, графит и подобные. Выбор материала зависит от условий измерения и требований к точности. Шкала кондуктометра обычно градуируется в единицах удельной электрической проводимости – Сименсах (S/cm) или миллиСименсах (mS/cm). Удельная электрическая проводимость показывает способность раствора проводить электрический ток и зависит от концентрации растворенных веществ, температуры и других параметров.

По способу реализации среди существующих современных методов кондуктометрического анализа выделяются:

- прямая кондуктометрия – когда концентрация электролита оценивается по значению электропроводности раствора с известным составом;
- хронокондуктометрия – предполагающая определение количества анализируемого вещества по затраченному на его титрование времени, регистрируемому автоматически.

Кондуктометрическое титрование основано на измерении электрической проводимости растворов, когда используются реакции, которые происходят между анализируемым веществом и титрантом (реактивом). В результате реакции изменяется электрическая проводимость раствора, и это изменение возможно измерить. Титрант выбирается таким образом, чтобы он реагировал только с определенным ионом в растворе. Это позволяет повысить селективность метода и сделать его более точным.

В кондуктометрическом титровании используются реакции нейтрализации, осаждения, комплексообразования и окислительно-восстановительные реакции. Каждая из этих реакций приводит к изменению электрической проводимости раствора, которое можно зарегистрировать с помощью кондуктометра. Градуировочная кривая строится на основе зависимости между изменением проводимости и количеством добавленного титранта. Построив эту кривую, можно определить концентрацию анализируемого вещества в растворе.

Точность кондуктометрического титрования выше, чем титрования с использованием индикаторов, потому что изменение электрической проводимости является более объективным и надежным показателем, чем изменение цвета индикатора. Кроме того, кондуктометрическое титрование имеет преимущество перед потенциометрическим титрованием, так как оно не требует использования электродов, которые могут долго стабилизироваться после добавления каждой порции титранта. Это делает кондуктометрическое титрование более быстрым и эффективным методом анализа [2].

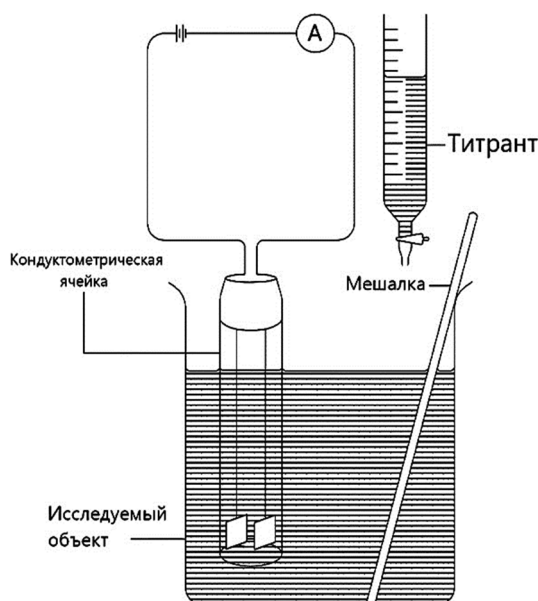


Рисунок 1 – Кондуктометрическое титрование

Развитие технологий позволило создать кондуктометры, которые могут автоматически измерять электрическую проводимость растворов и на основе этих данных вычислять концентрацию различных веществ в растворе. Эти приборы могут показывать результаты в режиме реального времени, что делает процесс измерения более удобным и быстрым (рис. 2). Благодаря своей точности и эффективности, кондуктометрия становится все более популярной в научных исследованиях и промышленных процессах [3].

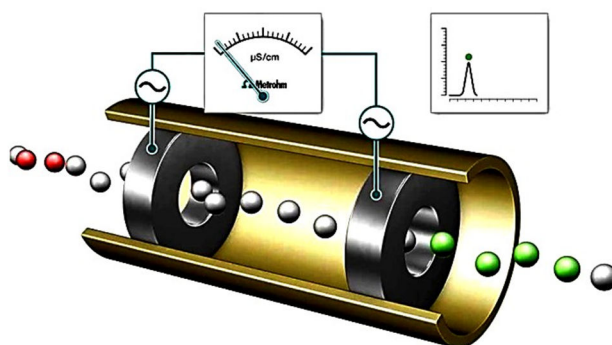


Рисунок 2 – Оценка концентрации растворенных веществ в потоке

Ведётся работа по усовершенствованию кондуктометрии. Разрабатываются математические обработки результатов, различные технические решения, увеличивающие и обеспечивающие точность измерений. В 2022 году был зарегистрирован патент на регулируемый кондуктометр. Авторы указывают на недостатки классической конструкции, приводящие к нестабильным результатам. Предложенная модель исключает случайные ошибки и существенно расширяет диапазон контроля параметров [4]. Данное решение является недорогим и позволяет получать наиболее точные результаты.

Кондуктометрия в пищевой промышленности используется для измерения электропроводности различных продуктов и сред. Основные области применения кондуктометрии в пищевой промышленности:

1. Контроль продовольственного сырья и готовых пищевых продуктов: измерение электропроводности позволяет определить наличие и концентрацию различных добавок.

2. Контроль воды, используемой в производстве: измерение электропроводности воды позволяет определить содержание в ней примесей, таких как соли, кислоты, щелочи и другие, что важно для обеспечения качества и безопасности выпускаемой продукции [5].

В списке работ, связанных с кондуктометрией, выделяются прикладные исследования, применяющие данный метод для анализа пектиновых веществ. Впервые этот метод был использован в изучении количественных и качественных показателей пектина более 50 лет назад [6] и остаётся самым удобным. В 2011 г. сотрудниками кафедры технологии хранения и переработки растениеводческой продукции КубГАУ были разработаны методики определения массовой доли пектиновых веществ [7] и оценки их фракционного состава [8] с применением кондуктометрического титрования. Подчёркнуты удобство и скорость проведения испытаний.

Комплексное изучение влияния различных технологических обработок виноматериалов на изменение значений их электропроводности было проведено работниками Всероссийского Национального Научно-Исследовательского института виноградарства и виноделия «Магарач», который находится в ведении РАН. Результаты утверждают, что высокое значение электропроводности свидетельствует о склонности виноматериала к образованию помутнений. Разработан контактный метод прогнозирования стабильности вин к кристаллическим помутнениям, основанный на измерении изменения значений электропроводности при температуре насыщения вина винным камнем. Полученные данные позволяют осуществлять оценку эффективности той или иной технологической обработки виноматериалов и позволяют выпускать вина с гарантированным сроком хранения [9].

На основе трудов С. Перова и Ю. Андрианова сотрудниками БГТУ был разработан контроль качества молока путём контроля удельной электропроводности и составления эталонных графиков. Данный метод позволяет получить результат в течение 1 мин, что очень важно для оперативного анализа при приемке [10]. Фальсификация молока уменьшает не только его пищевую, но и биологическую ценность и чрезвычайно опасна в эпидемиологическом отношении. В научной статье журнала «Пищевая промышленность» от 2018 года приводится факт того, что кондуктометрия «СОМ-100» обладает максимальной чувствительностью по сравнению с остальными методами и позволяет выявить в молоке уже 2–3 % воды. Экономическое обоснование показало, что внедрение метода кондуктометрии позволит сократить время на проведение анализа и расходы предприятия на покупку оборудования [11]. Кондуктометрическое титрование предложено в качестве основного в контроле важнейшего показателя качества растительного масла – кислотного числа [12]. Это свидетельствует об интересе к данному методу исследователей, занимающихся вопросами пищевой промышленности.

Таким образом, применение кондуктометрического метода представляется весьма эффективным и рациональным. Проведённый обзор свидетельствует о том, что кондуктометрический метод анализа активно применяется в отечественных исследованиях. Наиболее часто исследователи прибегают к кондуктометрическому титрованию. Созданные ранее кондуктометры совершенствуются, разрабатываются алгоритмы, расширяющие список объектов, подлежащих анализу.

## Литература

1. Анисимова Ж.П. Электрохимические методы анализа : методические указания / Ж.П. Анисимова, Л.М. Рагузина, Е.В. Сальникова. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2009. – 38 с.
2. Комиссаренков А.А. Кондуктометрия и высокочастотное титрование : учебно-метод. пособие / А.А. Комиссаренков, Г.Ф. Пругло. – СПб. : ГОУ ВПО СПбГТУРП, 2009. – 42 с.
3. Овчинников Ю.А. Кондуктометрические концентратометры для жидких сред. Проблемы калибровки и поверки // Альманах современной метрологии. – 2016. – № 6. – С. 129–134.
4. Мингазетдинов И.Х. Разработка токового регулируемого кондуктометра / И.Х. Мингазетдинов, О.С. Сибгатуллина, Т.А. Ибрагимов // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования: Сборник докладов Всероссийской научной конференции. – Белгород : БГТУ, 2023. – С. 177–178.
5. Коренман Я.И. Практикум по аналитической химии. Анализ пищевых продуктов : учебное пособие / Я.И. Коренман, Р.П. Лисицкая. – Воронеж : ВГУИТ, 2002. – 408 с.
6. Алтуньян М.К. Метод количественного и качественного определения свободных и метоксилированных карбоксильных групп в пектиновом экстракте / М.К. Алтуньян, А.В. Овчинников // Известия вузов. Пищевая технология. – 2001. – № 5–6. – С. 91.
7. Патент № 2434532 С1 Российская Федерация, МПК А23L 1/0524. Способ определения массовой доли пектиновых веществ в растительном сырье: № 2010119897/13; заявл. 18.05.2010; опубл. 27.11.2011 / Е.А. Ольховатов, Л.Я. Родионова, Е.В. Щербакова; заяви-

- тель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет».
8. Патент № 2489899 С2 Российская Федерация, МПК А23L 1/0524, С08В 37/06, G01N 27/06. Способ определения массовой доли фракций пектиновых веществ в растительных объектах кондуктометрическим титрованием: № 2011138126/13: заявл. 16.09.2011: опубл. 20.08.2013 / Е.А. Ольховатов, Л.Я. Родионова, Е.В. Щербакова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет».
  9. Виноградов В.А. Изменение показателя электропроводности виноматериалов при обработках / В.А. Виноградов, С.В. Кулев, Н.Б. Чаплыгина // Магарач. Виноградарство и виноделие. – 2016. – № 4. – С. 42–44.
  10. Чебакова Г.В. Использование кондуктометра для определения фальсификации молока водой / Г.В. Чебакова, А.А. Краснослободцев, А.И. Сапожникова // Пищевая промышленность. – 2018. – № 8. – С. 22–24.
  11. Буцкий В. В. Разработка методов и алгоритмов контроля качества пищевой продукции при помощи кондуктометрии / В.В. Буцкий, С.С. Ветохин, И.В. Ненартович // Труды БГТУ. – 2010. – № 4. – С. 252–256.
  12. Дегтерева А.Ю. Кондуктометрия в контроле показателей качества растительного масла / А.Ю. Дегтерева, А.А. Звягин // Молодежный вектор развития аграрной науки: Материалы 70-й студенческой научной конференции, Воронеж, 01 марта 2019 года. – Воронеж : ВГАУ, 2019. – Ч. 2. – С. 269–272.

### References

1. Anisimova Zh.P. Electrochemical methods of analysis : methodological instructions / Zh.P. Anisimova, L.M. Raguzina, E.V. Salnikova. – Orenburg: GOU OGU, 2009. – 38 p.
2. Komissarenkov, A. A. Conductometry and high-frequency titration : textbook / A.A. Komissarenkov, G. F. Pruglo. – SPb. : GOU VPO SPbGTURP, 2009. – 42 p.
3. Ovchinnikov Yu.A. Conductometric concentration meters for liquid media. Problems of calibration and verification / Yu.A. Ovchinnikov // Almanac of modern metrology. – 2016. – № 6. – P. 129–134.
4. Mingazetdinov I.Kh. Development of a current adjustable conductometer / I.Kh. Mingazetdinov, O.S. Sibgatullina, T.A. Ibragimov // Safety, protection and protection of the natural environment: fundamental and applied research : Collection of reports of the All-Russian Scientific conference, Belgorod, October 23–27, 2023. – Belgorod : BG TU, 2023. – P. 177–178.
5. Korenman Ya.I. Workshop on analytical chemistry. Analysis of food products : textbook / Ya.I. Korenman, R.P. Lisitskaya. – Voronezh : VGUIT, 2002. – 408 p.
6. Altunyan M.K. Method of quantitative and qualitative production of extractant and methoxylated carboxyl groups in pectin extract / M.K. Altunyan, A.V. Ovchinnikov // News of universities. Food technology. – 2001. – № 5–6. – P. 91.
7. Patent № 2434532 C1 Russian Federation, IPC A23L 1/0524. Method for determining the mass fraction of pectin substances in plant raw materials: № 2010119897/13: application 05/18/2010 : publ. 11/27/2011 / E.A. Olkhovатов, L.Ya. Rodionova, E.V. Shcherbakova; applicant Federal State Educational Institution of Higher Professional Education «Kuban State Agrarian University».
8. Patent № 2489899 C2 Russian Federation, IPC A23L 1/0524, C08B 37/06, G01N 27/06. Method for determining the mass fraction of fractions of pectin substances in plant objects by conductometric titration: № 2011138126/13: application 09/16/2011: publ. 08/20/2013 / E.A. Olkhovатов, L.Ya. Rodionova, E.V. Shcherbakova; applicant Federal State Budgetary educational institution of higher Professional Education «Kuban State Agricultural University».
9. Vinogradov V.A. Change in the electrical conductivity of wine materials during processing / V.A. Vinogradov, S.V. Kulev, N.B. Chaplygina // Magarach. Viticulture and winemaking. – 2016. – № 4. – P. 42–44.
10. Chebakova G.V. Using a conductometer to determine the adulteration of milk with water / G.V. Chebakova, A.A. Krasnoslobodtsev, A.I. Sapozhnikova // Food industry. – 2018. – № 8. – P. 22–24.
11. Butskiy V.V. Development of methods and algorithms for quality control of food products using conductometry / V.V. Butskiy, S.S. Vetokhin, I.V. Nenartovich // Proceedings of BSTU. – 2010. – № 4. – P. 252–256.
12. Degtereва A.Yu. Conductometry in monitoring quality indicators of vegetable oil / A.Yu. Degtereва, A.A. Zvyagin // Youth vector of development of agricultural science: materials of the 70th student scientific conference, Voronezh, March 01 2019 of the year. – Voronezh : VGAU, 2019. – Part 2. – P. 269–272.