

## ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ ЯБЛУЧНОГО І ВИНОГРАДНОГО СОКІВ

**І.І. Побережець, В.І. Побережець, кандидати технічних наук**

**І.І. Побережець, кандидат фізико-математичних наук**

**Уманський національний університет садівництва**

*В статті наведено результати досліджень питомої електропровідності вишневого, яблучного і виноградного соків та розчинів їх основних складових сполук. Встановлено, що амінокислоти і пектинові речовини впливають на електропровідність соків аналогічно сильним електролітам.*

***Ключові слова:** питома електропровідність, концентрація, сухі розчинні речовини, пектинові речовини, амінокислоти, органічні кислоти.*

**Постановка проблеми.** Основним показником якості плодово-ягідних соків є масова частка сухих розчинних речовин. Сполуки, що входять до їхнього складу, значною мірою впливають на електрофізичні властивості соків. Вивчення електрофізичних властивостей плодово-ягідних соків сприяє використанню фізичних методів контролю якості в процесах виробництва та зберігання соків.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження електропровідності рослинних соків [1, 2] показали, що питома електропровідність є одним із найбільш чутливих фізичних параметрів хімічного складу речовин [1, 2]. В розчинах і соках, на основі вимірювань питомої електропровідності, можна визначати концентрацію сильних і слабких електролітів до  $10^{-4}$  % (визначенню менших концентрацій перешкоджає електропровідність дистильованої води). Дослідженнями встановлено зв'язок між електропровідністю і в'язкістю соків та одержано рівняння електропровідності соків в загальному виді [2, 3]. Але залишається не вивченою електропровідність розчинів ряду складових сполук соків і їхній вплив на загальну електропровідність.

Метою даної роботи є дослідження залежності загальної електропровідності від окремих компонентів хімічного складу.

**Методика досліджень.** Плодово-ягідні соки із яблук сортів Ред Делішес, Ренет Симиренко, вишні сорту Подбельська і винограду сорту Ріслінг отримували шляхом пресування в лабораторних умовах. Вміст сухих розчинних речовин визначався гравіметричним (ваговим) методом. Для зменшення вмісту сухих розчинних речовин соки розбавляли дистильованою водою, а для їхнього збільшення – випаровували воду із соків за кімнатної температури з великої площі поверхні соку.

Електропровідність соків визначали двохелектродним методом за постійним струмом [4] з використанням симетричних алюмінієвих електродів. Вимірювання електричних параметрів проводили на лінійному

відрізку вольт-амперних характеристик за температури 20°C.

**Результати досліджень.** Складові сполуки соків за відношенням до електропровідності поділяються на три групи: сильні, слабкі електроліти та електрично нейтральні речовини, молекули яких у воді не дисоціюють на іони.

В плодово-ягідних соках електрично нейтральними речовинами є цукри, на які припадає основна маса сухих розчинних речовин. Електрично нейтральні речовини зменшують дрейфову рухливість іонів в результаті розсіювання іонів на нейтральних молекулах електрично нейтральних речовин, і це призводить до зменшення питомої електропровідності.

Електрично нейтральні речовини характеризуються коефіцієнтом зниження питомої електропровідності, який дорівнює відношенню електропровідності розчину з електрично нейтральними речовинами до електропровідності розчину без електрично нейтральних речовин. Коефіцієнт зниження електропровідності визначався для розчинів фруктози і сахарози, так як основну масу сухих розчинних речовин плодово-ягідних соків становлять моносахариди і дисахариди. Обидва коефіцієнти зниження електропровідності мають майже однакові значення (табл. 1).

### 1. Залежність коефіцієнта зниження питомої електропровідності від масової частки фруктози і сахарози

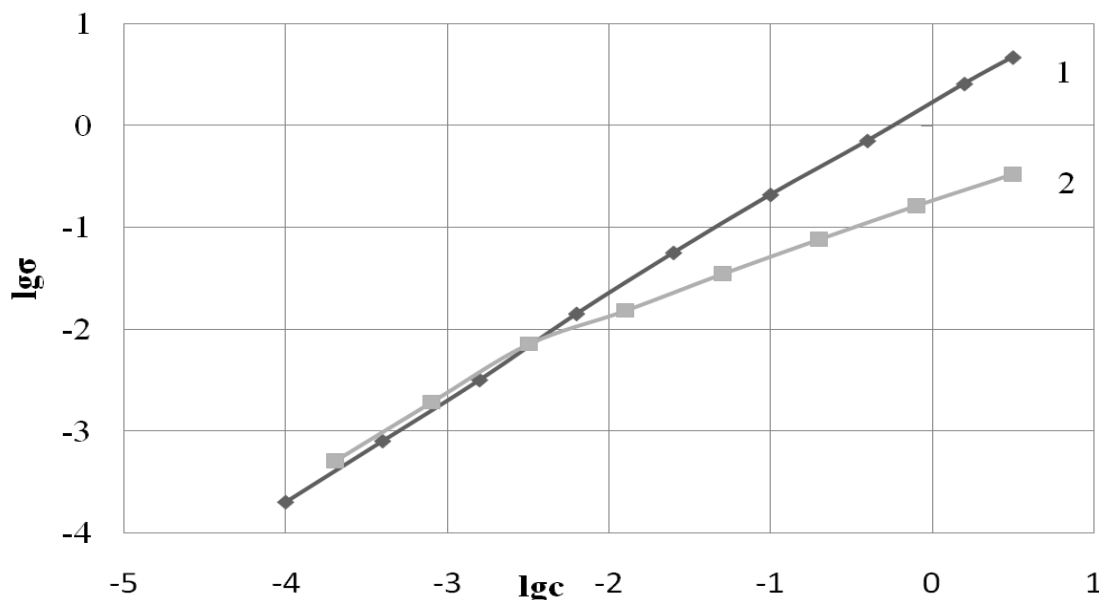
Масова частка фруктози, %	K	Масова частка сахарози, %	K
0	1	0	1
10	0,840	10	0,854
20	0,648	20	0,670
30	0,473	30	0,491
40	0,307	40	0,325
50	0,167	50	0,170
60	0,068	60	0,067

Коефіцієнт зниження електропровідності наближено визначається емпіричною формулою:

$$K = \frac{(1 - 0,8c)^2}{1 + 9c^3}, \quad (1)$$

де  $c$  – масова частка цукрів.

Вплив сильних і слабких електролітів на електропровідність соків розглянемо на прикладі розчинів NaCl і яблучної кислоти (рис. 1).



**Рис. 1** Залежність електропровідності сильних і слабких електролітів від концентрації розчину: 1 – розчин NaCl; 2 – розчин яблучної кислоти ( $\sigma$  – в См/м,  $c$  – в %).

Як видно із рисунка, електропровідність розчину сильного електроліту NaCl пропорційна концентрації розчину, а електропровідність яблучної кислоти, яка є слабким електролітом, пропорційна кореневі квадратному із концентрації розчину. За концентрацій менших  $3 \cdot 10^{-3}$  %, ступінь дисоціації молекул яблучної кислоти прямує до одиниці, і електропровідність стає пропорційною концентрації розчину. Аналогічну залежність питомої електропровідності від концентрації мають лимонна і винна кислоти, електропровідність яких в 1,2 і в 1,4 рази відповідно більші за електропровідність яблучної кислоти.

Таким чином, за наявності в розчині сильних і слабких електролітів, питома електропровідність має дві складових: лінійну, що прямо пропорційна концентрації сильних електролітів, і нелінійну, що прямо пропорційна кореневі квадратному із концентрації слабких електролітів. Враховуючи вплив на електропровідність сильних, слабких електролітів та електрично нейтральних речовин, для електропровідності соків одержали формулу залежності питомої електропровідності від масової частки сухих розчинних речовин [3]:

$$\sigma = k(\alpha c + \beta \sqrt{c}), \quad (2)$$

де  $k$  – коефіцієнт зниження електропровідності,  
 $\alpha$  і  $\beta$  – сталі, що мають розмірність питомої електропровідності См/м,  
 $c$  – масова частка сухих розчинних речовин.

При збільшенні концентрації сухих розчинних речовин електропровідність соків спочатку зростає, досягає максимуму, а потім знижується (рис. 2).

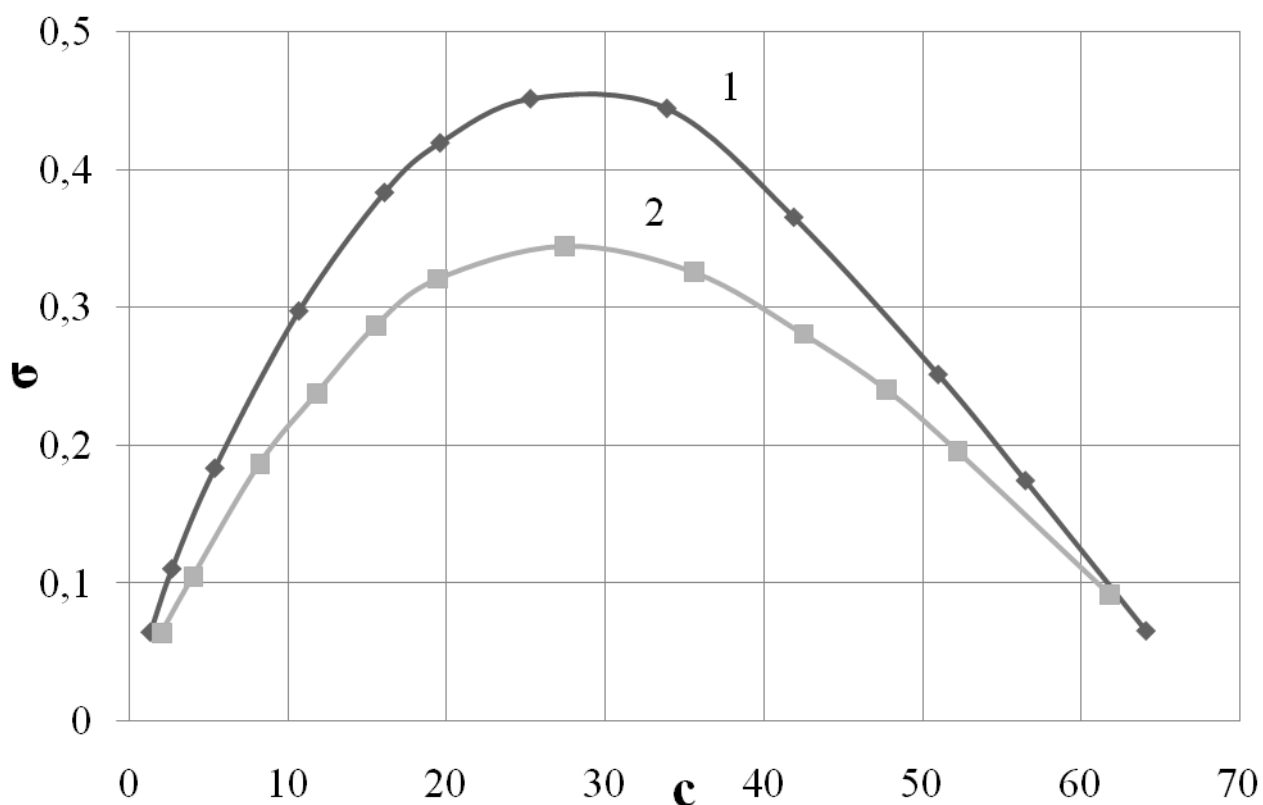


Рис. 2 Залежність електропровідності плодово-ягідних соків від концентрації сухих розчинних речовин: 1 – вишневий сік сорту Подбельська; 2 – яблучний сік сорту Ред Делішес ( $\sigma$  – в См/м,  $c$  – в %).

Питома електропровідність вишневого соку досягає максимуму за концентрації 30%, а яблучного – за 28%. Наявність максимуму обумовлена електрично нейтральними речовинами, які при збільшенні концентрації сухих розчинних речовин зменшують електропровідність.

Для одержання рівняння електропровідності необхідно виміряти питому електропровідність за двох різних концентрацій сухих розчинних речовин менших за 1% (при цих концентраціях електрично нейтральні речовини практично не впливають на електропровідність, і коефіцієнт зниження електропровідності дорівнює 1). Ці значення питомої електропровідності та  $k=1$  підставляємо в рівняння (2), одержуємо систему двох рівнянь з двома невідомими, розв'язавши її одержуємо значення сталих  $\alpha$  і  $\beta$ . Значення сталих та коефіцієнта зниження електропровідності (1) підставляємо у формулу (2) і одержуємо рівняння електропровідності.

Електропровідність вишневого соку сорту Подбельська описується рівнянням:

$$\sigma = \frac{(1 - 0,8c)^2}{1 + 9c^3} (2,4c + 0,27\sqrt{c}), \quad (3)$$

де  $c$  – масова частка сухих розчинних речовин.

Для яблучних соків сортів Ред Делішес і Ренет Симиренка одержали відповідні рівняння:

$$\sigma = \frac{(1 - 0,8c)^2}{1 + 9c^3} (1,95c + 0,15\sqrt{c}), \quad (4)$$

$$\sigma = \frac{(1 - 0,8c)^2}{1 + 9c^3} (1,75c + 0,18\sqrt{c}). \quad (5)$$

Електропровідність виноградного соку сорту Ріслінг описується рівнянням:

$$\sigma = \frac{(1 - 0,8c)^2}{1 + 9c^3} (2,05c + 0,34\sqrt{c}). \quad (5)$$

Для встановлення природи сполук, відповідальних за лінійну складову питомої електропровідності, проводили дослідження електропровідності розчинів амінокислот і пектинових речовин (табл. 2 і табл. 3).

### 2. Електропровідність розчинів амінокислоти DL-валін

Масова частка, %	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,25
Питома електропровідність, См/м	0,00015	0,00030	0,00075	0,0016	0,0032	0,0080

### 3. Електропровідність розчинів яблучного пектину

Масова частка, %	0,0156	0,031	0,062	0,125	0,25	0,5
Питома електропровідність, См/м	0,0030	0,0062	0,012	0,023	0,049	0,098

Як видно з даних таблиць, розчини амінокислоти і пектинових речовин мають лінійну залежність між питомою електропровідністю та концентрацією розчину. За однакових концентрацій електропровідність розчинів яблучного пектину в 10 раз менша розчинів NaCl. Електропровідність розчинів амінокислоти DL-валін у 60 раз менша розчинів сильного електроліту NaCl (електропровідність розчинів інших амінокислот істотно не відрізняється від розчинів DL-валіну).

Як і сильні електроліти, амінокислоти і пектинові речовини мають лінійну залежність між електропровідністю та концентрацією розчину, але значно меншу величину питомої електропровідності.

В плодово-ягідних соках є кальцієві і калієві солі органічних кислот. Електропровідність кислої калієвої солі винної кислоти  $C_4H_5O_6K$  (винний камінь) має лінійну залежність між питомою електропровідністю та концентрацією розчину (табл. 4).

### 4. Електропровідність розчинів кислої калієвої солі винної кислоти

Масова частка, %	0,0156	0,031	0,062	0,125	0,25	0,5
Питома електропровідність, См/м	0,014	0,030	0,059	0,118	0,233	0,461

За однакових концентрацій електропровідність розчинів кислої калієвої солі винної кислоти лише вдвічі менша розчинів сильного електроліту NaCl. Тому за електропровідністю, кислої калієву сіль винної кислоти  $C_4H_5O_6K$  слід віднести до сильних електролітів.

**Висновки.** У результаті проведених досліджень було встановлено, що електропровідність розчинів амінокислот, пектинових речовин, солей органічних кислот пропорційна концентрації розчину, і тому ці сполуки визначають лінійну складову електропровідності плодово-ягідних соків. Електропровідність розчинів органічних кислот, що є слабкими електролітами, пропорційна кореневі квадратному із концентрації розчину, і тому ці сполуки визначають нелінійну складову електропровідності соків.

### Література

1. Побережець І.І. Контроль якості яблучних соків за їхніми фізичними параметрами /І.І. Побережець, В.І. Побережець, І.Я. Романовський // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – 2005. – №16. – С. 110–111.
2. Побережець І.І. Зв'язок між фізичними параметрами березового соку /І.І. Побережець, В.І. Побережець, Т.І. Романовська, І.Я. Романовський // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – 2007. – № 20. – С. 58–60.
3. Романовський І.Я. Електропровідність рослинних соків /І.Я. Романовський, Т.І. Романовська, І.І. Побережець, В.І. Побережець // Енергетика і автоматика. – 2009. – № 2. – С. 1–9.
4. Лопатин Б.А. Теоретические основы электрохимических методов анализа / Б.А. Лопатин. – М.: Высш. школа, 1975. – 295 с.

### References

1. Poberezhets, I.I., Poberezhets, V.I. et al. (2005). Control of quality of apple juices according to their physical parameters. *Scientific papers of National University of Food Technologies*, 2005. no. 16, pp. 110–111. (in Ukrainian).
2. Poberezhets, I.I. Poberezhets, V.I. et al. (2007). The relationship between physical parameters of birch sap. *Scientific papers of National University of Food Technologies*, 2007, no. 20, pp. 58–60. (in Ukrainian).
3. Romanovskyi, I.Y., Romanovska T.I. (2009). Electrical conductivity of plant juices. *Energetics and Automatics*, 2009, no. 2, pp. 1–9. (in Ukrainian).
4. Lopatin, B.A. (1975). *Theoretical basis of electrochemical methods of analysis*. Moscow : Higher School Publishing, 1975. 295 p. (in Russian).

Одержано 17. 05. 2016

### Аннотация

#### **Побережец И.И., Побережец В.И., Побережец И.И. Электропроводность яблочного и виноградного соков**

Измерения удельной электропроводности проводились на постоянном токе двухэлектродным методом. Для исследований использовались яблочные соки сортов Ред Делишес и Ренет Симиренка, вишневый сок сорта Подбельская и виноградный сок сорта Рыслинг.

По отношению к электропроводности составные вещества соков можно разделить на три группы: электрически нейтральные вещества, молекулы которых не распадаются

на ионы, сильные электролиты и слабые электролиты.

В соках электрически нейтральными веществами являются сахара, которые составляют основную массу сухих растворимых веществ. Электрически нейтральные вещества уменьшают удельную электропроводность. Они характеризуются коэффициентом снижения электропроводности, который равен отношению электропроводности раствора с электрически нейтральными веществами к электропроводности раствора без электрически нейтральных веществ.

Электропроводность растворов сильных электролитов пропорциональна концентрации раствора, а электропроводность слабых электролитов пропорциональна корню квадратному из концентрации раствора. Таким образом, при наличии в растворе сильных и слабых электролитов удельная электропроводность имеет линейную и нелинейную составляющую.

В соках одновременно имеются электрически нейтральные вещества, сильные и слабые электролиты, поэтому уравнение электропроводности имеет вид:

$$\sigma = k(\alpha c + \beta \sqrt{c}),$$

где  $k$  – коэффициент снижения электропроводности,  $\alpha$  и  $\beta$  – постоянные и  $c$  – концентрация сухих растворимых веществ.

В соках нелинейную составляющую электропроводности определяют органические кислоты, а линейную – соли органических кислот, пектиновые вещества, аминокислоты.

**Ключевые слова:** удельная электропроводность, концентрация, сухие растворимые вещества, пектиновые вещества, аминокислоты, органические кислоты.

#### **Annotation**

**Poberezhets I.I., Poberezhets V.I., Poberezhets I.I.**

#### **Electrical conductivity of apple and grape juices**

Measurements of specific electrical conductivity were done at constant current by using a two-electrode method. Apple juices of Red Delicious and Rennet Simirenko varieties, cherry juice of Podbelska variety and grape juice of Riesling variety were studied.

Components of juices may be divided into three groups: electrically neutral substances whose molecules do not dissociate into ions, strong electrolytes and weak electrolytes.

Electrically neutral substances of juices are sugars which form the main mass of dry soluble substances. Electrically neutral substances decrease specific electrical conductivity. They are characterized by a coefficient of conductivity reduction which equals the ratio of conductivity of the solution with electrically neutral substances to conductivity of the solution without electrically neutral substances.

The solution conductivity of strong electrolytes is proportional to solution concentration, while the solution conductivity of weak electrolytes is proportional to square root of the solution concentration. Thus, if there are strong and weak electrolytes in the solution, specific electrical conductivity has linear and non-linear components.

The juices simultaneously contain electrically neutral substances, strong and weak electrolytes, so the equation of electrical conductivity is as follows:

$$\sigma = k(\alpha c + \beta \sqrt{c}),$$

In which  $k$  is a coefficient of conductivity reduction,  $\alpha$  and  $\beta$  are constants,  $c$  is a concentration of dry soluble substances.

The non-linear component of conductivity in juices is determined by organic acids, while the linear component of conductivity is determined by salts of organic acids, pectin substances and amino acids.

**Key words:** specific conductivity, concentration, dry soluble substances, amino acids, organic acids.