

## ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ РОСЛИННИХ СОКІВ

Побережець І.І., Романовська Т.І., канд. техн. наук, доцент,  
Національний університет харчових технологій,  
Романовський І.Я., д-р техн. наук, професор,  
Київський національний торговельно-економічний університет

*Розроблено електротехнічний комплекс експрес-контролю вмісту сухих розчинних речовин в рослинних соках, який складається з оптико-акустичної установки та електромеханічного автоматичного густиноміра. Дослідження прозорих соків проводились на основі оптико-акустичного критерію. Масова частка сухих розчинних речовин в непрозорих соках визначалась за допомогою електромеханічного густиноміра.*

*Electrotechnical complex of express-control of the content of dry soluble substances in plant juices which consists of the optical-acoustic device and electromechanical automatic densimeter. Studies of limpid juices were held on the basis of optical-acoustic criterion. The concentration of dry soluble substances in non-limpid juices was defined with the help of electromechanical densimeter.*

*Ключові слова: дифракція світла, густина, концентрація, показник заломлення, рослинні соки, сухі розчинні речовини, ультразвук.*

Важливу роль у вирішенні продовольчої проблеми відіграють плодово-ягідні соки. В зв'язку з цим спостерігається неухильне зростання споживання і відповідно зростання світового виробництва плодових і ягідних соків. В плодах і ягодах а також в їх соках є велика кількість цінних органічних і мінеральних сполук, тому завдяки своєму хімічному складові їм не має повноцінної заміни серед харчових продуктів. Таким чином, важливим є питання про підвищення якості плодово-ягідних соків, підвищення їх енергетичної цінності, підвищення в їх складі корисних сполук та елементів.

Для підвищення якості плодово-ягідних соків необхідно вдосконалювати існуючі і розробляти нові методи контролю якості, збільшувати кількість параметрів і показників, які визначають якість, проводити систематичні дослідження фізичних процесів в рослинних соках.

Фізичні параметри соків залежать від вмісту сухих розчинних речовин. При цьому одні параметри залежать від загального вмісту сухих розчинних речовин (густина, показник заломлення світла, швидкість звуку), а інші параметри залежать від конкретних сполук чи класів сполук. Наприклад, електропровідність залежить від вмісту органічних кислот, їх солей і неорганічних сполук, поверхневий натяг залежить від вмісту поверхнево-активних речовин, в'язкість істотно залежить від вмісту пектинових речовин [1, 2]. В даних дослідженнях для визначення концентрації сухих розчинних речовин в прозорих соках використано оптико-акустичний метод [3], а для дослідження непрозорих соків розроблено електромеханічний густиномір.

В основі оптико-акустичного ефекту лежить дифракція світла на ультразвукових хвилях [4]. При поширенні ультразвукової хвилі в рідині частинки рідини здійснюють коливальний рух. Амплітуда зміщень та амплітуда швидкостей частинок малі, але амплітуда прискорень становить величину порядку  $10^6$  м/с<sup>2</sup>. При таких прискореннях в рідині виникає амплітуда тиску порядку кількох атмосфер. Хвиля тиску створює хвилю густини рідини. Так як показник заломлення рідини залежить від її густини, то в рідині процес поширення ультразвукових хвиль супроводжується синусоїдальною неоднорідністю показника заломлення.

Таким чином, при проходженні крізь рідину ультразвукові хвилі створюють просторову дифракційну решітку, з періодом рівним довжині ультразвукової хвилі. В даному випадку має місце фазова решітка, яка має в різних місцях різні значення показники заломлення світла. При проходженні світлових хвиль крізь фазову дифракційну решітку виникає дифракційна картина цілком аналогічна дифракції світла на звичайній дифракційній решітці.

Довжина ультразвукової хвилі визначається за формулою дифракційної решітки:

$$\lambda_{\text{св}} \sin \varphi_n = n \lambda \quad (1)$$

де  $\lambda$  – довжина світлової хвилі;  $n$  – порядок максимумів;  $\varphi_n$  – кут дифракції світла для  $n$ -го порядку.

При частотах ультразвукових коливань 1-10 МГц довжина ультразвукової хвилі, яка дорівнює сталій дифракційної решітки, приблизно на три порядки більша за довжину світлової хвилі, тому кут дифракції дуже малий і для синуса кута дифракції маємо:

$$\sin \varphi_n = \operatorname{tg} \varphi_n = \frac{z_n}{2F}, \quad (2)$$

де  $F$  – фокусна відстань об'єктиву зорової труби;  $z_n$  – відстань між максимумами  $n$ -го порядку. Якщо виміряти відстань між максимумами, то точність досліду буде вдвічі вища, ніж коли виміряти відстань між центром дифракційної картини і максимумом.

З формул (1) і (2) знаходимо довжину ультразвукової хвилі:

$$\lambda_{\text{д.с.а}} = \frac{2n\lambda F}{z_n}, \quad (3)$$

Якщо виміряти частоту ультразвукових коливань, то тоді можна визначити швидкість поширення ультразвуку в рідині:

$$v_{\text{д.с.а}} = \lambda_{\text{д.с.а}} f, \quad (4)$$

де  $f$  – частота ультразвукових коливань.

Для визначення концентрації сухих розчинних речовин запропоновано оптико-акустичний критерій [5], який визначає відносну зміну ширини дифракційної картини:

$$\delta = \frac{z_0 - z}{z}, \quad (5)$$

де  $z_0$  – відстань між максимумами в дистильованій воді;  $z$  – відстань між максимумами в досліджуваній рідині. Цей критерій також визначає відносну зміну довжини ультразвукової хвилі.

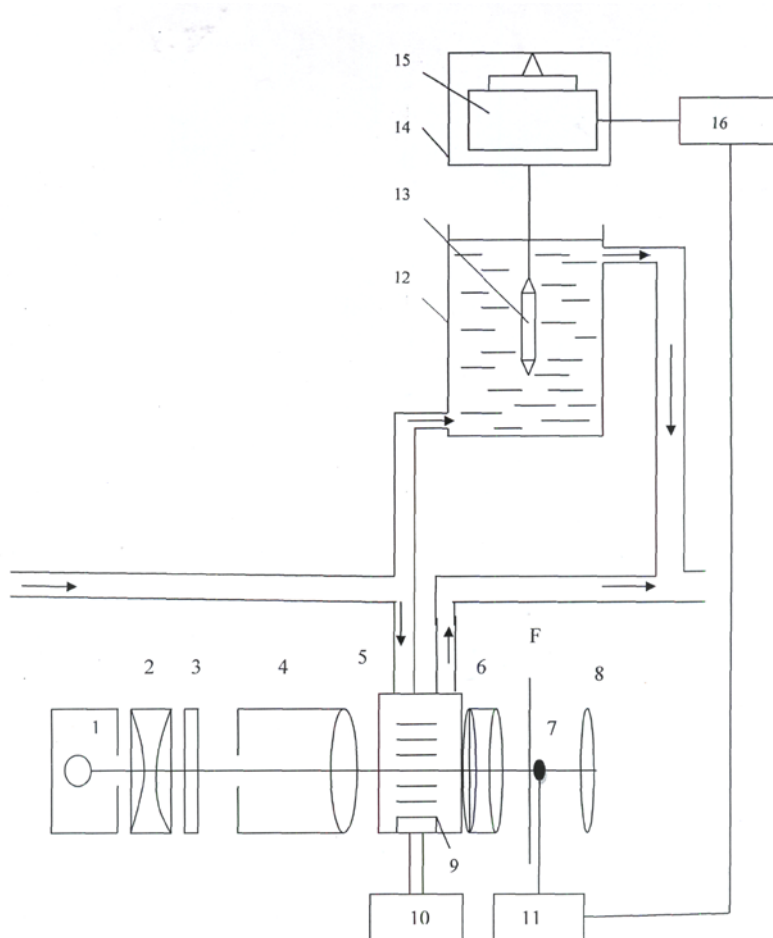


Рис. Схема електротехнічного комплексу: 1 – джерело світла; 2 – конденсор; 3 – світлофільтр; 4 – коліматор; 5 – скляна кювета з досліджуваною рідиною; 6 – об’єктив; 7 – фотодатчик; 8 – окулярний мікрометр; 9 – п’єзоелектричний випромінювач; 10 – генератор електромагнітних коливань; 11 – мікропроцесорний контролер; 12 – посудина із досліджуваною рідиною; 13 – поплавок; 14 – рамка; 15 – електронні терези, 16 – персональний комп’ютер.

Схема електротехнічного комплексу наведена на рисунку. Електротехнічний комплекс складається з оптико-акустичної установки та електромеханічного густиноміра. Оптико-акустична установка складається з оптичної та електронно-акустичної частини. Оптична частина складається з джерела світла (ртутна лампа ДРТ-125), конденсора, світлофільтра, який виділяє із спектру ртуті світлову хвилю довжиною 546 нм, коліматора з діафрагмою (діафрагма має мікрометричний гвинт, який регулює ширину щілини з точністю до 0,001 мм), кювети з досліджуваною рідиною, об’єктива Індустар-51 (фокусна відстань 40 см), фотодатчика і окулярного мікрометра МОБ 16/1. Електронно-акустична частина складається з генератора сигналів ГЗ-112/1 з підсилювачем потужності, які можуть збуджувати ультразвукові коливання частотою 5-10 МГц і п’єзоелектричного випромінювача (кристал кварцу).

Для визначення концентрації сухих речовин у непрозорих соках використовується друга частина електротехнічного комплексу – електромеханічний густиномір. Основними елементами електромеханічного густиноміра є посудина із досліджуваною рідиною, поплавок, рамка, чутливі електронні терези (ТВЕ-0,3-0,01), персональний комп’ютер.

Густина поплавка перевищує густину натуральних і концентрованих соків. Із збільшенням густини соку виштовхувальна сила зростає і покази терезів зменшуються. Залежність між густиною соку і показами терезів має лінійний характер. Терези підключені до комп’ютера, і на основі показів терезів, згідно заданої програми, визначається густина соку і концентрація сухих речовин.

Світло попадає у фотодатчик при певному куті відхилення променя. Цей кут відповідає концентрації сухих розчинних речовин, яка повинна бути у сокові. Із комп’ютера і фотодатчика подаються електричні нормовані сигнали про вміст сухих розчинних речовин на мікропроцесорний контролер, який керує потоком соку на технологічній лінії по виробництву соків таким чином: якщо концентрація сухих розчинних речовин не досягла заданого значення, то потік перемикається на повторний цикл уварювання, тобто подається на вхід вакуум-випарного апарату, а якщо концентрація досягла заданого значення, то потік перемикається на подачу соку для фасування чи в ємності для подальшого зберігання.

Точність визначення масової частки сухих розчинних речовин підвищується наближено в  $\sqrt{2}$  раз, якщо взяти середнє арифметичне показань оптико-акустичної установки і електромеханічного густиноміра. Точність визначення концентрації сухих розчинних речовин становить 0,1%, що цілком достатньо для потреб виробництва.

Дослідження оптико-акустичних властивостей яблучних і виноградних соків проводились при температурі 20°C. Концентрація сухих розчинних речовин визначалась гравіметричним (ваговим) методом. Ультразвукові хвилі створював кристал кварцу з резонансною частотою коливань 8 МГц. Вимірювались відстані між максимумами третього порядку. Дані досліджень наведені в табл. 1 та 2.

Таблиця 1

Оптико-акустичні параметри яблучного соку

Концентрація сухих розчинних речовин $c$ , %	6,2	12,4	19,5	26,3	33,7	42,9	50,0
Кількість поділок окулярного мікрометра між максимумами третього порядку $z_3$	1442	1418	1386	1360	1323	1287	1253
Критерій $\delta$	0,0163	0,0331	0,0570	0,0772	0,1073	0,1383	0,1691
Довжина ультразвукової хвилі $\lambda$ , мкм	188,4	191,5	195,9	199,7	205,3	211,0	216,7

Таблиця 2

Оптико-акустичні параметри виноградного соку								
Концентрація сухих розчинних речовин $c$ , %	5,6	11,2	20,4	27,2	33,1	40,9	48,1	
Кількість поділок окулярного мікромметра між максимумами третього порядку $z_3$	1444	1421	1386	1351	1326	1297	1261	
Критерій $\delta$	0,0145	0,0309	0,0569	0,0843	0,1048	0,1295	0,1617	
Довжина ультразвукової хвилі $\lambda$ , мкм	188,1	191,1	195,9	201,0	204,8	209,4	215,4	

Визначати концентрації сухих розчинних речовин найбільш зручно за критерієм  $\delta$ . Залежності критерію  $\delta$  від концентрації сухих розчинних речовин для яблучного і виноградного соків задаються відповідно формулами:

$$\delta = 0,256c + 0,164c^2, \quad (6)$$

$$\delta = 0,258c + 0,159c^2. \quad (7)$$

### Висновки

Розроблений електротехнічний комплекс дає можливість проводити експрес-контроль якості рослинних соків з точністю достатньою для виробництва. Основними складовими частинами комплексу є оптико-акустична установка і електромеханічний густиномір, що дає можливість визначати концентрацію сухих розчинних речовин в прозорих і непрозорих соках.

### Література

1. Побережець І.І., Побережець В.І., Романовський І.Я. Контроль якості яблучних соків за їхніми фізичними властивостями //Наук. пр. НУХТ. – 2005. - №16. – С. 110 -111.
2. Побережець І.І., Побережець В.І., Романовська Т.І., Романовський І.Я. Зв'язок між фізичними параметрами березового соку //Наук. пр. НУХТ. – 2007. - №20. – С. 58 – 59.
3. Пат. України № 83695. Оптико-акустичний спосіб визначення концентрації сухих розчинних речовин у розчинах/Побережець І.І., Романовська Т.І., Романовський І.Я. –Опубл. 11.08.2008, Бюл. № 15
4. Физический практикум /Под. ред. В.И. Ивероновой. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1962. – 956 с.
5. Романовський І.Я., Романовська Т.І., Побережець І.І., Побережець В.І. Оптико-акустичний критерій визначення концентрації сухих розчинних речовин у рослинних соках //Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2008. - №1(22). – С. 41-44.