

МЕТОДИ І СИСТЕМИ ОПТИЧНО-ЕЛЕКТРОННОЇ ТА ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ

УДК 543.082/.084

ВИМІРЮВАЧІ ВМІСТУ СУХИХ РЕЧОВИН І КОНЦЕНТРАЦІЇ РІДКИХ ПРОДУКТІВ З ДІЕЛЕКТРИЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Гришко В.Ф., Долина В.Г., Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна

Описані нові оптичні вимірювачі вмісту сухих речовин у рідких продуктах і концентрації розчинів з діелектричними властивостями. Запропоновані математичні моделі первинних перетворювачів автоматичних рефрактометрів та діелектрометричних комірок на основі прозорих порожнистих циліндрів

Вступ

Вдосконалення технології переробки, підвищення якості продуктів тісно пов'язані з розвитком аналітичного приладобудування. У теперішній час головна мета – розробка принципово нових вимірювальних датчиків, систем та комплексів, що базуються на новітніх досягненнях науки і техніки, які використовують якісно нові принципи перетворювання.

У широкій номенклатурі засобів аналітичного контролю значне місце займають датчики вмісту сухих речовин у рідких продуктах, які дають основну інформацію про склад та якість продукції.

В цукровому виробництві одними з найважливіших параметрів, точність і оперативність визначення яких впливають на ефективність ведення технологічного процесу, є чистота цукрових розчинів, що визначається відношенням вмісту цукру (концентрації цукрового розчину) до загального вмісту сухих речовин у рідинах.

Визначення зазначених величин здійснюється, як правило, у лабораторних умовах за допомогою рефрактометрів та поляриметрів [1]. Ці засоби контролю мають суттєві недоліки, пов'язані з необхідністю ретельної підготовки відібраних проб до вимірів та невизначеністю границі світла і тіні у оптичних перетворювачах. В умовах автоматизації технологічних процесів цукрового виробництва актуальним є створення автоматичних вимірювачів вмісту сухих речовин і концентрації рідких продуктів на основі нових принципів і методів перетворювання зазначених фізичних величин.

Постановка задачі

Специфіка розробки засобів аналізу вмісту сухих речовин у рідинах та їх чистоти визначається рядом особливостей цієї області вимірювальної техніки. До їх числа належить висока температура вимірюваних рідин, що відрізняються

своїми фізико-хімічними властивостями, а також широкий діапазон змін параметрів стану вимірюваної рідини (тиск, ступінь забруднення, в'язкість тощо).

До специфічних вимог необхідно віднести різноманітність умов експлуатації вимірювальних засобів та широку номенклатуру харчових продуктів, що підлягають вимірюванням. До них відносяться: клітинний сік, дифузійний сік, соки 1 та 2 сатурацій, сироп, меляса - у цукровому виробництві; соки, джеми, пасти, сиропи - при консервації; молочні продукти, лікери-горілчані та безалкогольні напої.

Слід відзначити жорсткі вимоги до правильності показань датчиків у процесі переробки рідких харчових продуктів. За технологічними умовами, наприклад, у процесі виготовлення вина похибка вимірювання вмісту цукру у вині не повинна перевищувати 0,15%, а при уварюванні солоду для виготовлення пива похибка вимірювання не повинна перевищувати 0,1%. Остання вимога пов'язана з тим, що 0,1% солоду при уварюванні відповідає 16 кг зерна при підготовці солоду.

Для визначення вмісту сухих речовин найбільше розповсюдження отримали оптичні прилади, зокрема рефрактометри, які відзначаються високою точністю у порівнянні з вібраційними, ультразвуковими, поплавковими та іншими датчиками [1, 2]. Але можливості створення датчиків вмісту сухих речовин на основі рефрактометрів за традиційною схемою з використанням оптичних призм обмежені умовами переробки рідких продуктів, які призводять до швидкого забруднення чутливих елементів - призм. Конструктивні особливості первинних перетворювачів на основі призм не дозволяють швидко та ефективно їх промивати. Цих недоліків позбавлені первинні перетворювачі на основі скляних циліндричних трубок, які можуть бути легко підключені до магістралі з рідиною для промивання чутливого елемента. Крім того собівартість первинних перетворювачів на основі скляних трубок у кілька разів нижча від собівартості первинних перетворювачів на основі оптичних призм.

У зв'язку з вище наданим постає задача проведення досліджень фізичних основ первинних перетворювачів на базі прозорих циліндричних об'єктів, розробки нових методів та способів підвищення точності та надійності датчиків, призначених для визначення вмісту сухих речовин у рідких продуктах та чистоти цукрових розчинів, розробки принципів створення первинних перетворювачів модульного типу для високоточних датчиків, дослідження структурних методів зменшення похибок датчиків з урахуванням особливостей умов та вимог технологічних процесів, виготовлення зразків датчиків вмісту сухих речовин у рідких продуктах та чистоти цукрових розчинів, проведення лабораторних та натурних випробувань.

Розробка вимірювачів вмісту сухих речовин у рідких продуктах

Для створення математичних моделей рефрактометрів на основі запропонованого способу визначення вмісту сухих речовин у рідких продуктах з використанням прозорих порожнистих циліндрів [3] були проведені теоретичні та екс-

периментальні дослідження проходження оптичного випромінювання через циліндричні елементи.

Порожнистий прозорий циліндр (ППЦ) з рідиною представлений у вигляді двох середовищ з різними показниками заломлення $n_{\text{ц}}$ і $n_{\text{ж}}$ відповідно. У процесі опромінення ППЦ пучком рівнобіжних променів відбувається їхнє розсіювання. На характеристику розсіювання впливає також рідина, що знаходиться усередині ППЦ. Для вирішення задачі розподілу вихідного потоку ППЦ у просторі правомочна заміна пучка рівнобіжних променів на промінь, що сканує поперек поверхні ППЦ паралельно лінії реєстрації [4]. Визначення передавальної характеристики первинного перетворювача концентрації розчинів здійснювалось з урахуванням трьох основних зон проходження рівнобіжних променів через ППЦ:

$$1. 0 \leq x \leq n_{\text{ж}} \cdot a$$

$$2. n_{\text{ж}} \cdot a < x < n_{\text{ц}} \cdot a$$

$$3. n_{\text{ц}} \cdot a < x \leq b$$

де x – координата місця входу променя в ППЦ відносно осі, що проходить через центр ППЦ, a і b – внутрішній і зовнішній радіуси ППЦ відповідно.

Промені першої зони проходять через дві стінки циліндру і вимірювану рідини, промені другої зони зазнають явища повного внутрішнього відбиття (рис.1), промені третьої зони проходять крізь стінки ППЦ не торкаючись внутрішньої стінки ППЦ.

Згідно з рис. 1 отримані математичні моделі первинних перетворювачів рефрактометрів на основі ППЦ [5]:

$$\begin{aligned} F_{oi} &= F_0 - b \cdot \sin(\theta_i + \arcsin \frac{a \cdot n_{\text{ж}}}{b} - \beta) - \\ &- \left[L - b \cdot \cos(\theta_i + \arcsin \left(\frac{a \cdot n_{\text{ж}}}{b} \right) - \beta \right] \cdot \operatorname{tg}(\theta_i - \beta) = \\ &= F_0 - b \cdot \sin \left(\pi - 2 \cdot \arcsin \frac{n_{\text{ж}}}{n_{\text{ц}}} + 2 \cdot \arcsin \frac{a \cdot n_{\text{ж}}}{b \cdot n_{\text{ц}}} - \arcsin \frac{a \cdot n_{\text{ж}}}{b} - \beta \right) - \\ &- \left[L - b \cdot \cos \left(\pi - 2 \cdot \arcsin \frac{n_{\text{ж}}}{n_{\text{ц}}} + 2 \cdot \arcsin \frac{a \cdot n_{\text{ж}}}{b \cdot n_{\text{ц}}} - \arcsin \frac{a \cdot n_{\text{ж}}}{b} - \beta \right) \right] \times \\ &\times \operatorname{tg} \left(\pi - 2 \cdot \arcsin \frac{n_{\text{ж}}}{n_{\text{ц}}} + 2 \cdot \arcsin \frac{a \cdot n_{\text{ж}}}{b \cdot n_{\text{ц}}} - 2 \cdot \arcsin \frac{a \cdot n_{\text{ж}}}{b} - \beta \right), \end{aligned} \quad (1)$$

де F_0 – довжина лінійного фотоприймача, початок якого розміщений у точці D , θ_i – кут виходу променя, що пройшов крізь ППЦ, відносно лінії вимірювання, β – кут нахилу площини чутливої частини лінійного фотоприймача відносно лінії вимірювання, L – відстань площини чутливої частини лінійного фотоприймача від центральної осі ППЦ.

Місце виходу променя, що пройшов крізь ППЦ та зазнав явища повного внутрішнього відбиття, визначається співвідношеннями:

$$d = b \cdot \cos(\alpha_0 + \theta_i) \quad (2)$$

та

$$m = b \cdot \sin(\alpha_0 + \theta_i), \quad (3)$$

де α_0 – кут входу променя, паралельного лінії вимірювання, у ППЦ.

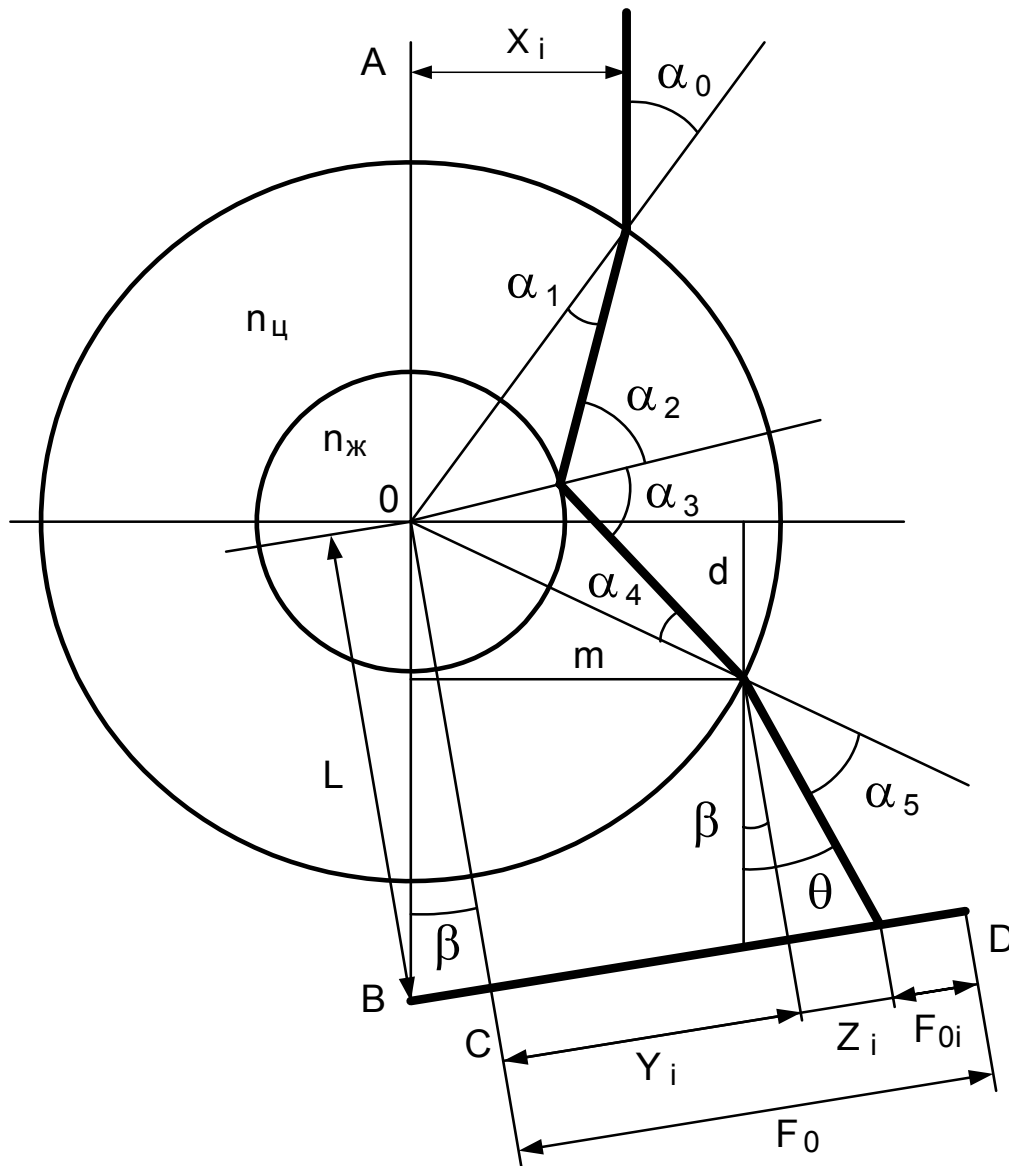


Рисунок 1 – Хід променів у первинному перетворювачі показника заломлення рідини

Математична модель (1) дозволяє визначити як конструктивні параметри первинного перетворювача показника заломлення, або вмісту сухих речовин рідини, (оптимальне розташування випромінювача світла та лінійного фотоприймача, геометричні розміри та матеріал ППЦ), так і розраховувати можливі похибки вимірювання внаслідок впливу температури навколишнього середо-

вища і вимірюваної рідини, забруднення внутрішньої поверхні чутливого елементу і т.п. Наприклад, на рис. 2 наведені залежності передаточної характеристики первинного перетворювача (залежності положення границі променів, що зазнали явища повного внутрішнього відбиття, у міліметрах від показника заломлення вимірюваної рідини) для різних кутів положення чутливої частини лінійного фотоприймача відносно лінії вимірювання. З рисунку 2 видно, що відповідним розташуванням фотоприймача можна забезпечити передаточну характеристику близьку до лінійної.

Дослідження математичної моделі (1) дозволили запропонувати нові структурні способи зменшення похибок вимірювання, зумовлені впливом температури, забруднення внутрішньої поверхні чутливого елементу, зміни випромінюючої спроможності джерела випромінювання та чутливості лінійного фотоприймача, за рахунок стабілізації температури первинного перетворювача, вимірюваної та зразкової рідин і стабілізації струму джерела випромінювання.

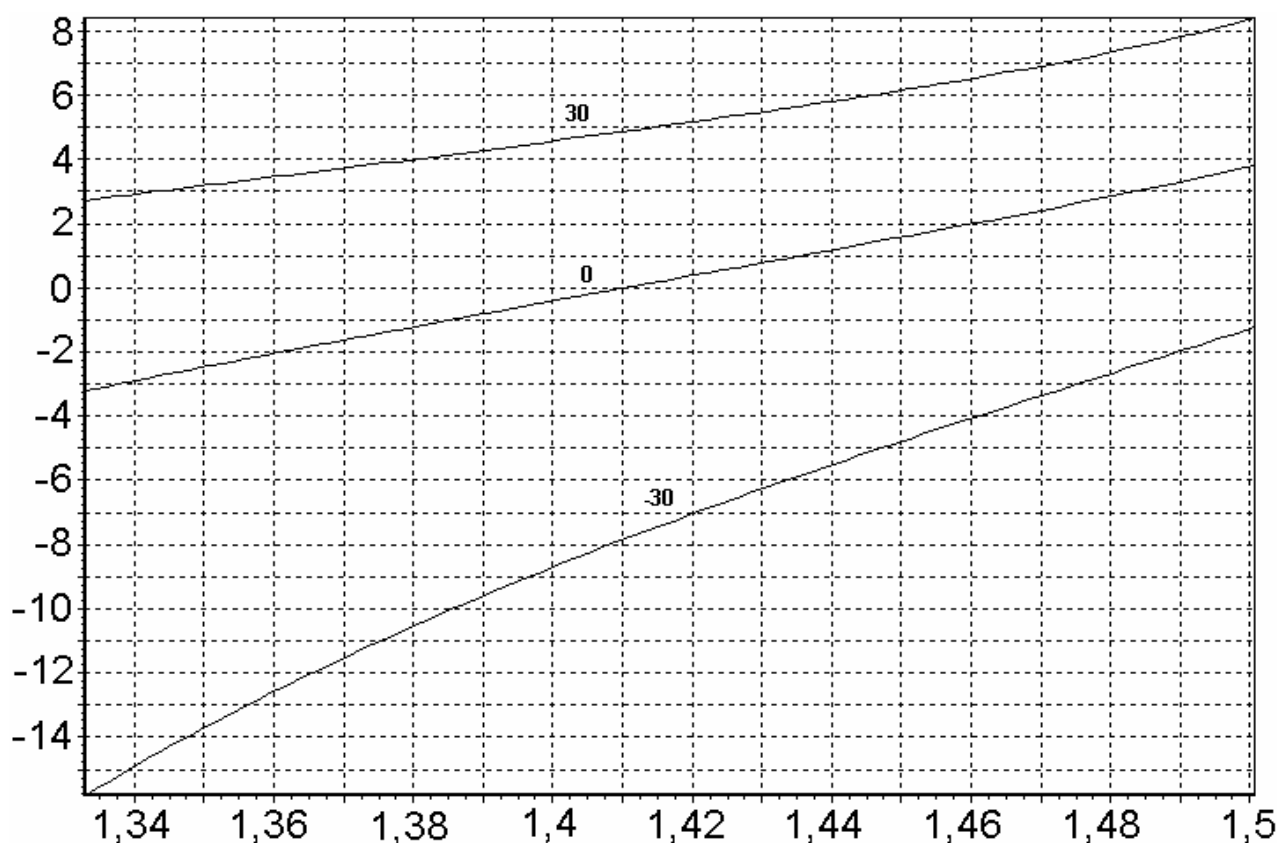


Рисунок 2 – Графік залежності F_{oi} від показника заломлення рідини при різних значеннях кута β

Запропоновані структурні способи підвищення точності вимірювань [6] реалізовані у експериментальному зразку (рис.3), що пройшов випробування у виробничих умовах на цукрових заводах України і Російської Федерації.

Абсолютна похибка вимірювання вмісту сухих речовин у дифузійному соку і сиропі не перевищувала $\pm 0,3\%$.

Розробка вимірювачів чистоти рідких продуктів цукрового виробництва

Конструктивні особливості розробленого первинного перетворювача вмісту сухих речовин (рис.4) дозволяють також, використовуючи діелектричні властивості цукрових розчинів, реалізувати функцію вимірювання вмісту цукру у розчинах і, відповідно, чистоту цукрових рідких продуктів.

Чутливий елемент 1 у вигляді прозорого циліндру виконують, наприклад, з сіталлу. Електроди 2 і 3 з нержавіючої сталі через фторопластові шайби 4 і 5 фіксують чутливий елемент 1. Фіксація чутливого елементу 1 здійснюється притягненням електродів 2 і 3 один до одного за допомогою, наприклад, непровідних гвинтів з текстоліту.



Рисунок 3 – Зовнішній вигляд експериментального зразка автоматичного рефрактометра

Нижній електрод 3 перекривається пробкою 6 при вливанні чергової проби рідини. Верхній електрод 2 виконаний у вигляді лійки для наливання чергової проби рідини. Між електродами 2 і 3 роблять отвори для здійснення рефрактометричних вимірювань: подачі світла діода випроміню-

вання і пропускання променів на фотоприймач. Провідники для здійснення діелектричних вимірювань закріплюють за допомогою гвинтів безпосередньо на електродах 2 і 3.

Як показали теоретичні та експериментальні дослідження представлена на рис. 4 еквівалентна електрична схема діелектрометричної комірки з вимірюваною рідиною може бути представлена паралельним з'єднанням електричного опору R_x та електричної ємності C_x .

При цьому зазначені параметри визначаються математичною моделлю, що описує перехідний процес у вимірювальній комірці:

$$u_x(t) = U \frac{R_x}{R_0 + R_x} (1 - e^{-t/\tau}) - U \frac{R_x}{R_0 + R_x} \left[1 - e^{-\frac{(t-t_u)}{\tau}} \right], \quad (4)$$

де R_0 – обмежувальний резистор між генератором прямокутних сигналів та діе-

лектрометричною коміркою, $\tau = \frac{R_0 \cdot R_x}{R_0 + R_x} C_x$ – постійна часу діелектрометричної комірки з рідиною, U і $t_{\text{и}}$ – амплітуда і тривалість вхідного сигналу.

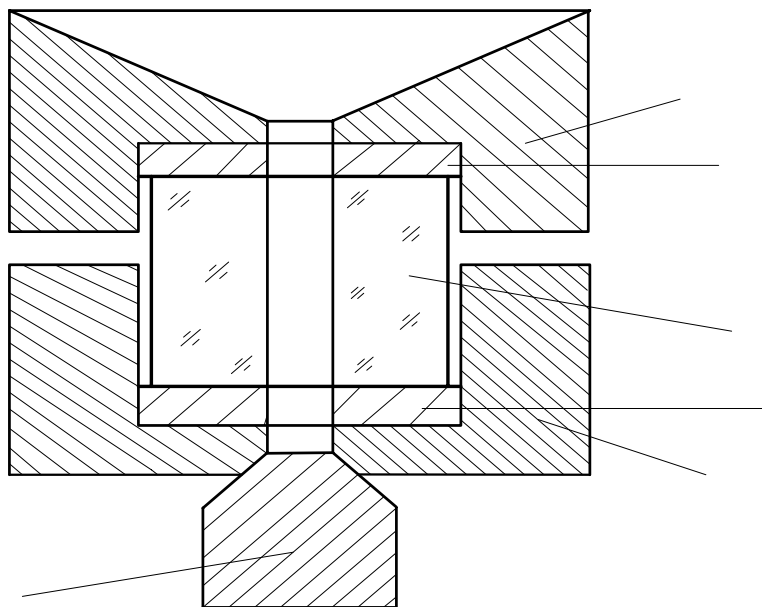


Рисунок 4 – Конструктивні особливості первинного перетворювача чистоти рідких продуктів

Вираз (4) дозволяє визначити електричну провідність та діелектричну проникність враховуючи, що електрична ємність пропорційна діелектричній проникності рідини. Концентрацію розчинів з діелектричними властивостями визначають шляхом одночасного вимірювання показника заломлення, діелектричної проникності та температури рідких середовищ, що знаходяться у чутливому елементі - прозорому порожнистому циліндрі, закріпленому між двома електродами [7].

Висновки

Запропоновано новий рефрактометричний спосіб вимірювання вмісту сухих речовин у рідких продуктах на основі прозорих порожнистих циліндрів, сформовані математичні моделі первинних перетворювачів автоматичних рефрактометрів, розроблені нові структурні способи підвищення точності автоматичних рефрактометрів, що реалізовані у експериментальних зразках автоматичних рефрактометрів, які пройшли успішні експлуатаційні випробування на цукрових заводах України та Російської Федерації.

Конструкція первинних перетворювачів рефрактометрів на основі прозорих порожнистих циліндрів дозволить у подальшому за умови додаткових вимірювань температури і діелектричної проникності рідини визначати концентрацію розчинів з діелектричними властивостями.

Отримані результати забезпечують умови створення високоточних автоматичних вимірювачів вмісту сухих речовин і концентрації рідин з діелектричними властивостями модульного типу, призначених для підвищення ефективності переробки рідких продуктів.

Література

1. Герасименко О. А. Хвалковський Т. П. Методи аналізу і контролю у виробництві цукру: Довідк.-метод. посібник для студентів вузів харчової пром-ті. – К.: Вища школа, 1992. – 388 с.
2. Харитонов Ю.Я. Физико-химические (инструментальные) методы анализа. – М.: Высшая школа, 2002. – 559 с.
3. Патент України № 6711, МКІ G01N21/41, Спосіб вимірювання показника заломлення/ В.Ф. Гришко, Ю.А.Попадюха, С.Д.Хомук та ін. (Україна). – Заявлено 09.09.92; Опубл. 29.12.94.Офіц. бюл. № 8-1//Промислова власність. –1994. – № 8-1.
4. Smithgall D.H. Light scattering model for the determination of fiber location in silicone coatings. *Applied Opt.*, 1982, v.21, №7, p.1326-1331.
5. Теленик С.Ф., Гришко В.Ф., Долина В.Г. Моделі первинних перетворювачів рефрактометрів на основі прозорих порожнистих циліндрів // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2005. – №1(15). – С.124 – 139.
6. Патент України № 10377, МПК7 G01N21/41, Пристрій для виміру показника заломлення/ В.Ф. Гришко, В.Г.Долина. (Україна). – Заявлено 19.04.05; Опубл. 15.11.05. Бюл. № 11, 2005 р.
7. Патент України № 12431, МПК7 G01N21/41, Спосіб вимірювання концентрації речовин у середовищах/ Гришко В.Ф., Долина В.Г., Заможний Д.В. та ін. (Україна). – Заявлено 17.06.05; Опубл. 15.02.06. Бюл. № 2, 2006 р.

Гришко В.Ф., Долина В.Г. Измерители содержания сухих веществ и концентрации жидких продуктов с диэлектрическими свойствами.

Описаны новые оптические измерители содержания сухих веществ в жидких продуктах и концентрации растворов с диэлектрическими свойствами. Предложены математические модели первичных преобразователей автоматических рефрактометров и диэлектрометрических ячеек на основе полых прозрачных цилиндров

Grishko V.T., Dolyna V.G. Solids content and concentration of liquid products with dielectric properties measuring instruments.

New optical dry matters in liquid products maintenance and concentration of solutions with dielectric properties measuring devices are described. The mathematical primary transformers models of automatic refractometers and dielectrometrical cells on the basis of hollow transparent cylinders are offered.

*Надійшла до редакції
10 червня 2006 року*