

На рис. 1 різні величини властивостей між окремими проміжками часу з'єднані прямими. З рис. 1 видно, що, задавшись трьома коефіцієнтами часу, можна досить точно для технічних цілей описати зміни властивостей в залежності від часу при випробуванні вологим теплом у постійних кліматичних умовах. Задавшись рядом коефіцієнтів, можна досить добре кількісно оцінити властивості або їх зміни в певному діапазоні температур і часу.

Можна також встановити фіксовані значення для властивостей після випробування, щоб охарактеризувати поведінку випробуваного об'єкта.

Випробування приладів радіоелектронної апаратури в умовах їх безпосереднього використання є необхідністю в умовах сучасних ринкових відносин. Тому, потрібно і важливо проводити випробування приладів у місці виготовлення або на спеціальних установках. Це призведе до деякого подорожчання приладу, але збільшить термін його служби по місцю використання.

### Інформаційні джерела:

1. Фарзане Н.Г., Илясов Л.В., Азим-заде А.Ю. Технологические измерения и приборы. - М.: Высшая школа, 1989.
2. Рудзит Я.А., Плуталов В.Н. Основы метрологии, точность и надежность в приборостроении. - М.: Машиностроение, 1991.
3. Справочник конструктора точного. Под ред. К.Н. Явленского и др.- Л.: Машиностроение, 1989.

УДК 621.1

**В.Т. Михалевич**, к.т.н., **М.П. Давидюк**

Луцький національний технічний університет

## РЕФРАКТОМЕТРИЯ ТА ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕФРАКТОМЕТРІВ

*Для аналізу хімічного складу та властивостей речовин часто застосовуються рефрактометри. Дія цих приладів ґрунтується на фізичних властивостях світлових променів, а їх конструктивну основу складають оптичні системи. Розглядаються схеми рефрактометрів, у яких використовуються два варіанти вимірювальних перетворень у оптичних системах – заломлення та відбиття світлових променів.*

**Ключові слова:** світловий промінь, оптична густина, заломлення, відбиття, оптична система, рефрактометр, аналіз

*Для анализа химического состава и свойств веществ часто применяются рефрактометры. Действие этих приборов основывается на физических свойствах световых лучей, а их конструктивную базу составляют оптические системы. Рассматриваются схемы рефрактометров, у которых используются два варианта измерительных преобразований у оптических системах – преломления и отражения световых лучей.*

**Ключевые слова:** световой луч, оптическая плотность, преломление, отражение, оптическая система, рефрактометр, анализ

*For the analysis of chemical composition and properties of substances commonly used refractometers. The operation of these devices is based on the physical properties of light rays and their constructive base consists of optical systems. Discusses schema refractometers, which used two ways of measuring changes in optical systems – refraction and reflection of light rays.*

**Keywords:** light beam, optical density, refraction, reflection, optics, refractometer, analysis

У практиці проведення аналізу різного роду речовин широке застосування знаходять рефрактометри – прилади, дія яких ґрунтується на фізичних властивостях світлових променів. Рефракція – це фізичне явище, яке полягає у заломленні променів світла на межі розділу двох оптично прозорих середовищ з різною густиною, наприклад, повітря і води. Саме рефракція заставляє виглядати олівець зламаним, якщо його опустити у стакан з водою. Якщо олівець опускати у розчини цукру різної концентрації, то ступінь заломлення буде тим більшим, чим більша концентрація розчину, у який олівець опущений.

Допустимо, що промінь світла падає на межу розділу двох середовищ (рис.1) зі сторони речовини з більшою оптичною густиною ( $n = n_2$ ).

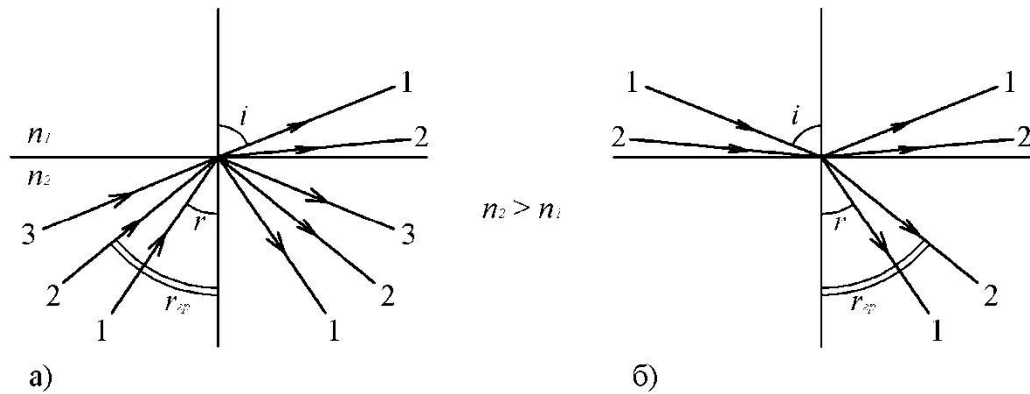


Рис. 1. Граничний кут повного внутрішнього відбиття (а) і граничний кут заломлення (б)

Для кутів падіння  $r$ , які менші граничного  $r_{cp}$ , світло частково проникає у речовину з меншою оптичною густиною ( $n = n_1$ ), а частково відбивається. Для кутів падіння  $r_{cp} < r < 90^\circ$  заломлений промінь відсутній, і відбувається повне відбиття променя (рис. 1, а). В результаті цього у відбитих променях утворюється межа між світлою областю (повне відбиття) та напівтіннію (часткове відбиття).

Граничний кут  $r_{cp}$  відповідає куту заломлення  $i = 90^\circ$ , відповідно:

$$\sin r_{cp} = \frac{n_1}{n_2}. \quad (1)$$

Отже, якщо відомий показник заломлення однієї з речовин  $i$ , визначений експериментально, граничний кут, то за формулою (1) можна визначити показник заломлення іншої речовини.

Якщо промінь світла падає на межу розділу зі сторони речовини з меншою оптичною щільністю (рис. 1, б), то залежно від кута падіння промінь у іншій речовині може складати з нормаллю кути, що лежать в інтервалі від нуля до  $r_{cp}$ . Граничний кут заломлення  $r_{cp}$  відповідає куту падіння  $i = 90^\circ$  (ковзний промінь). В результаті у заломлених променях утворюється різка межа між світлою та темною областями. Величина граничного кута  $i$  в цьому випадку буде визначатись формулою (1).

У рефрактометрах для вимірювання показників заломлення використовується як метод повного внутрішнього відбиття, так і метод ковзного променя.

Оптична схема рефрактометра та хід променів під час вимірювання показників заломлення рідини за методом ковзного променя показано на рис. 2.

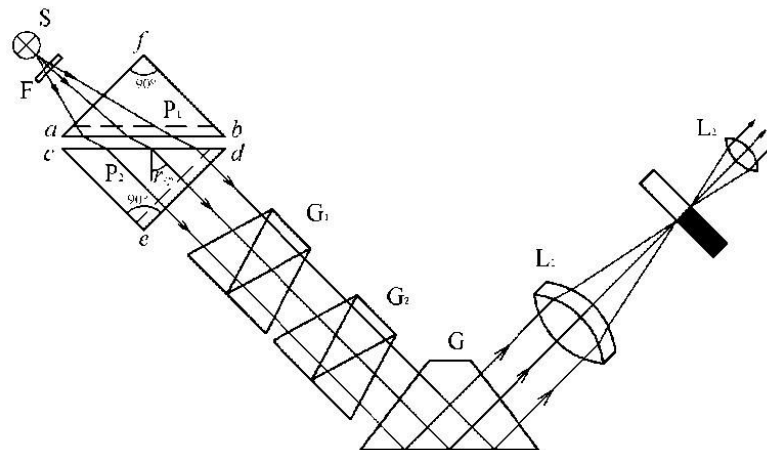


Рис. 2. Хід променів у рефрактометрі під час вимірювання показника заломлення рідини за методом ковзного променя

Основною частиною рефрактометра є дві скляні прямокутні призми  $P_1$  і  $P_2$ , виготовлені зі скла з великим показником заломлення. У розрізі призми мають вигляд прямокутних трикутників, повернутих одна до одної гіпотенузами; проміжок між призмами складає близько 0,1 мм і служить для розміщення досліджуваної рідини. Світло проникає у призму  $P_1$  через грань  $bf$  і попадає у рідину через матову грань  $ab$ . Світло, розсіяне матовою поверхнею, проходить через шар рідини і під різними кутами падає на грань  $cd$  призми  $P_2$ .

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Ковзному променю у рідині ( $i = 90^\circ$ ) відповідає граничний кут заломлення  $r_{cp}$ . Заломлені промені з кутами більше  $r_{cp}$  не виникають. Відповідно, кут виходу променів із грані  $ed$  може змінюватись лише у деякому інтервалі.

Якщо промені світла, що виходять з грані  $ed$ , пропустити через збиральну лінзу  $L_1$ , то в її фокальній площині спостерігається різка межа світла та темноти. Межа відслідковується за допомогою лінзи  $L_2$ . Лінзи  $L_1$  і  $L_2$  утворюють зорову трубу, встановлену на безконечність. У їх загальній фокальній площині знаходиться зображення шкали величин показників заломлення і вказівники (нитка і перехрещення). У полі зору окуляра  $L_2$  труби одночасно можна побачити тільки частину зображення шкали і частину поля сфокусованих променів, що виходять з призми  $P_2$ . Обертаючи систему призм  $P_1$  і  $P_2$  і, відповідно, змінюючи нахил граничного пучка променів відносно осі зорової труби, можна добитись, щоб межа світла і тіні виявилась у полі зору окуляра  $L_2$  і співпала з положенням вказівника. Разом з поворотом системи призм повертається і шкала показників, встановлена на пластині, жорстко зв'язаною з системою призм  $P_1$  і  $P_2$  (на рис. 2 шкала не показана). Значення показника заломлення рідини відраховується по шкалі на рівні різкої межі світла і тіні.

Якщо джерело світла не монохроматичне, то межа світла, яка відстежується в окулярі зорової труби, часто виявляється розмитою і забарвленою через дисперсію показника заломлення досліджуваної речовини. Це відбувається через залежність  $n$  від довжини хвилі  $\lambda$ . Щоб у цьому випадку отримати різке зображення межі, на шляху променів, які виходять з призми  $P_2$ , розміщують компенсатор зі змінною дисперсією. Компенсатор складається з двох однакових дисперсійних призм Амічі (призми  $G_1$  і  $G_2$  на рис. 2), кожна з яких включає три скляних призми, що мають різні показники заломлення і різну дисперсію. Призми розраховуються так, щоб монохроматичний промінь з довжиною хвилі  $\lambda_D = 589,3$  нм, яка відповідає середньому значенню довжини хвилі жовтої лінії натрію, не піддавався відхиленню. Промені з іншою довжиною хвилі відхиляються в один або інший бік. Якщо положення призм відповідає рис. 2, то дисперсія двох призм рівна подвоєній дисперсії кожної з них. Від повертання однієї з призм Амічі на  $180^\circ$  відносно іншої (навколо оптичної осі) повна дисперсія компенсатора виявляється рівною нулю, бо дисперсія однієї з призм компенсується дисперсією іншої. Залежно від взаємної орієнтації призм дисперсія компенсатора змінюється, таким чином, у межах від нуля до подвоєного значення дисперсії однієї призми.

Для повороту призм однієї відносно іншої служить спеціальний регулятор та система конічних шестерень, за допомогою яких призми одночасно повертаються у протилежних напрямках. Обертаючи ручку компенсатора, слід добитись того, щоб межа світла і тіні у полі зору стала достатньо різкою. Положення межі у цьому випадку відповідає довжині хвилі  $\lambda_D$ , для якої і приводяться значення показників заломлення.

У деяких випадках, коли дисперсія досліджуваної речовини особливо велика, діапазон компенсатора виявляється недостатнім і чіткої межі отримати не вдається. Тоді рекомендується встановлювати перед освітлювачем жовтий світлофільтр.

Поворотна призма  $G$  (призма Дове), яка використовується у рефрактометрі, дозволяє зробити прилад компактнішим.

На рис. 3 показано хід променів у рефрактометрі для роботи за методом повного внутрішнього відбиття.

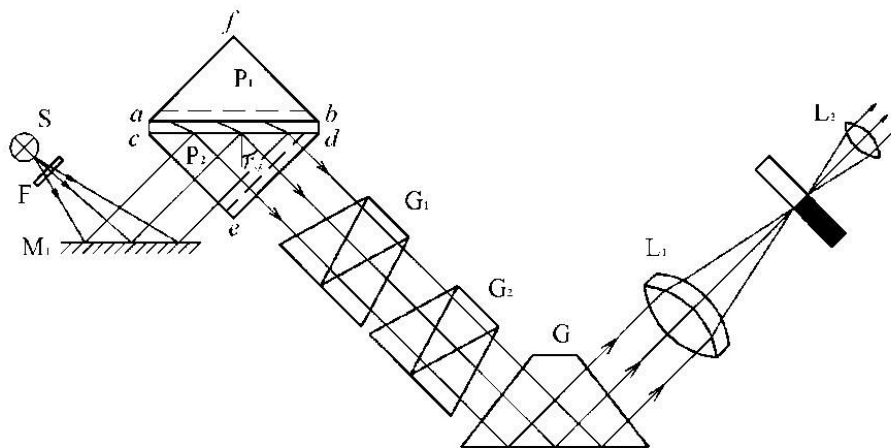


Рис. 3. Хід променів у рефрактометрі під час вимірювання показника заломлення рідини за методом повного внутрішнього відбиття

У цій схемі світло від джерела  $S$  після відбиття від дзеркала  $M_1$  падає на матову грань  $se$  призми  $P_2$ . Якщо схема використовується для роботи за методом ковзного променя, то ця поверхня

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

закривається непрозорою шторкою. Після розсіювання на грані  $ce$  світло попадає на межу розділу скло-рідина під різними кутами. Для кутів  $r > r_{cp}$  настає повне внутрішнє відбиття, для кутів  $r < r_{cp}$  світло відбивається частково. У полі зору труби спостерігається межа світла і напівтіні.

Якщо умови, що визначають величину граничного кута у методі ковзного променя і у методі повного внутрішнього відбиття, співпадають, то положення лінії розділу у обох випадках теж буде однаковим. На відміну від методу ковзного променя, метод повного внутрішнього відбиття дозволяє вимірювати показники заломлення непрозорих речовин.

Рефрактометри можна використовувати і для вимірювання показників заломлення твердих тіл. У цьому випадку може використовуватись будь-який з методів – і метод ковзного променя, і метод повного внутрішнього відбиття. Досліджуваний зразок повинен мати плоску поліровану поверхню; цією поверхнею він притискається до гіпотенузи  $cd$  призми  $P_2$ . Призма  $P_1$  відкидається в сторону. Для забезпечення оптичного контакту у проміжок між контактуючими поверхнями вводиться тонкий шар рідини, показник заломлення  $n$  якої задовольняє умову:  $n_1 \leq n \leq n_2$ , де  $n_1$  – показник заломлення досліджуваного зразка, а  $n_2$  – показник заломлення призми  $P_2$ . Якщо дотримується така умова, то наявність шару рідини не спотворює результатів вимірювання. Для створення оптичного контакту переважно використовується монобромнафталін, показник заломлення якого для жовтої лінії натрію рівний  $n_0 = 1,66$ .

Для вимірювання за методом ковзного променя зразок повинен мати поліровану бокову поверхню, через яку у нього проникає світло (рис. 4).

- Область застосування рефрактометрів дуже широка, і їх використовують:
- у харчовій промисловості – на кондитерських фабриках і молочних комбінатах для дослідження сировини, напівфабрикатів, кулінарних і борошняних виробів, для визначення масової частки розчинних сухих речовин у продуктах переробки плодів та овочів; концентрації цукру у напоях, визначення вмісту жиру, масової частки білка та сухих обезжирених речовин у молоці, вологості меду;
  - у медицині і фармацевтичній промисловості – для визначення частки білку в урині, сироватці крові, концентрації лікарських препаратів;
  - у нафтопереробній промисловості – для визначення складу і якості моторних мастил, палива, рідин для охолодження.

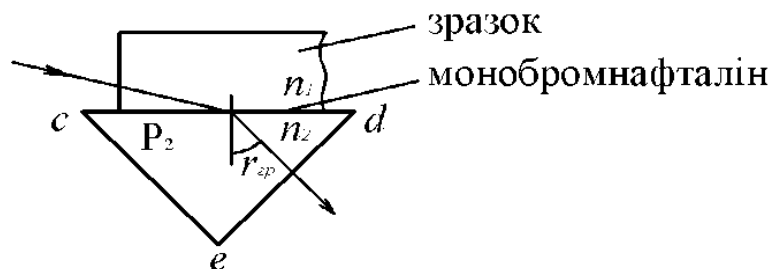


Рис. 4. Вимірювання показника заломлення твердих тіл

Розрізняють ручні, стаціонарні лабораторні і промислові рефрактометри.

Ручні рефрактометри (рис. 5.) призначені для швидкого вимірювання концентрації різних видів речовин у таких продуктах як соки, напої, вина, мед, розсіл, антифриз тощо. Достатньо помістити лише каплю досліджуваної рідини на призму, а потім направити рефрактометр на денне світло, щоб відразу отримати результат вимірювання.



Рис. 5. Ручний рефрактометр для визначення концентрації речовин у продуктах



Рис. 6. Стаціонарний рефрактометр для лабораторних досліджень



Рис. 7. Цифровий промисловий рефрактометр

Стационарні рефрактометри (рис. 6) застосовуються у лабораторіях для досліджень, коли необхідно забезпечити високу точність та достовірність результатів вимірювання. За їх допомогою визначаються властивості нових матеріалів та досліджуються параметри, які залежать від показника заломлення.

Промислові рефрактометри (рис.7), що використовуються безпосередньо у виробництві, можуть бути встановлені та технологічних трубопроводах, ємкостях для постійного аналізу речовин у потоці. Часто у промисловості застосовуються цифрові рефрактометри, що значно спрощують зняття показів. Цифрові рефрактометри оснащуються акумуляторною батареєю, що дозволяє в середньому виконувати більше 1000 вимірювань без підзарядки.

Отже, застосування рефрактометрів для аналізу різного роду речовин забезпечує високу точність та достовірність виконання вимірювань. В основі роботи рефрактометрів лежать ґрунтовні теоретичні положення фізико-хімічних властивостей речовин. Недоліком реалізації методу є значна складність у обробленні результатів вимірювань, а тому хороші перспективи розвитку вимірювань у цьому напрямі може забезпечити широке впровадження елементів мікропроцесорної техніки.

#### Інформаційні джерела

1. Дорохова Е.Н., Прохорова Г.В., Аналитическая химия. Физико-химические методы анализа, М., 1991. – 426 с.
2. Ключникова М.Н., Ключников К.П. Проектирование оптико-механических приборов. – М.: Машиностроение, 1997. – 215 с.
3. Юинг Г. Инструментальные методы химического анализа. Пер. с англ. 5 изд. – М.: Мир, 1989. – 608 с.

УДК 621.822:681.2:369.64

**В.І. Марчук**, д.т.н., **Л.М. Равенець**, аспірант, **Ештеві Абдулсалам Мусбах**, аспірант  
Луцький національний технічний університет

#### ПРО ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ КІЛЕЦЬ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИСОКОТОЧНИХ РОЛИКОВИХ ПІДШИПНИКІВ

*Розглядаються питання управління точністю формоутворення кілець роликотідишпників на операціях безцентрового шліфування поверхонь обертання. Встановлено залежність відхилення параметрів хвилястості шліфованих поверхонь від параметрів вібрації в зоні шліфування.*

*Рассматриваются вопросы управления точностью формообразования колец роликотидишпников на операциях бесцентрового шлифования поверхностей вращения. Установлена зависимость отклонения параметров волнистости шлифованных поверхностей от параметров вибрации в зоне шлифования.*

*The questions of precision roller forming rings in operations Centre less grinding surfaces of revolution. The dependence of the deviation parameters polished surface waviness parameters of vibration in the grinding zone.*

*Вступ.* Якість продукту планується під час розроблення ТП, а також під час його реалізації, тобто його виготовлення. Дана стадія виготовлення продукції з заданими споживачем вимогами відповідає на виробництві розробленню конструкторсько-технологічної документації. Надалі виробник у процесі виготовлення намагається відтворити продукт з запланованими значеннями параметрів якості, які називаються показниками якості. Коли в процесі виробництва починають втілювати якість, заплановану в технічних умовах і, в свою чергу, закладену в конструкторській