

УДК: 681.586.5

І.І. Сакалош<sup>1</sup>, Й.П. Шаркань<sup>1</sup>, Н.Б. Житов<sup>2</sup>, М.Ю. Січка<sup>1</sup>,  
Л.І. Козич<sup>1</sup>, В.М. Різак<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ужгородський національний університет, 88000, Ужгород, вул. Волошина, 54  
e-mail: shark@univ.uzhgorod.ua

<sup>2</sup>ЗАТ НВП "ТЕХНОМЕДИКА", 127081, Москва, вул. Касаткіна, 11

## ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ МІКРОДОЗ ФІЗІОЛОГІЧНИХ РОЗЧИНІВ

Розроблено пристрій на базі волоконно-оптичного Y-подібного розгалужувача, на торці загального каналу якого формується крапля з досліджуваної рідини, при цьому характер залежності відбитого від краплі оптичного сигналу визначається фізико-хімічними параметрами рідини. Пристрій апробовано на водних розчинах кухонної солі, причому, отримані результати добре узгоджуються з результатами отриманими іншими відомими методиками.

**Ключові слова:** волоконно-оптичний датчик, показник заломлення, коефіцієнт відбивання, в'язкість, поверхневий натяг.

В даний час актуальним питанням є подолання труднощів з дослідженням зразків медико-біологічних середовищ, які наявні в обмеженій кількості (міжклітинна рідина, виділення залоз, лімфа і т.д.) [1].

Для вирішення цих проблем останнім часом сформувався напрямок дослідження та створення пристроїв на базі амплітудних та інтерференційних волоконно-оптичних датчиків [2–4], які знаходять широке практичне застосування завдяки малим розмірам, надійності, високій чутливості і можливості працювати в агресивних та вибухонебезпечних середовищах.

Одним із перспективних напрямків дослідження медико-біологічних розчинів являється розробка волоконно-оптичних пристроїв, які є реалізацією аналітично-інструментальної концепції “крапля-на-волокні” [5, 6]. Дана концепція передбачає створення волоконно-оптичних пристроїв принцип дії яких базується на реєстрації зміни оптичного сигналу в процесі краплеутворення і є зручною для визначення поверхневих властивостей рідин та для вимірювання пропускання світла.

Прикладом реалізації концепції “крапля-на-волокні” є волоконно-оптичний крапельний аналізатор рідин [5] представлений МакМілланом, принцип дії

якого базується на аналізі світла, що пропускається через краплю рідини за допомогою випромінюючого волокна, яке розміщене в крапельній головці і детектується після різних внутрішніх відбивань та інших процесів всередині краплі, за допомогою приймального волокна розміщеного з протилежного боку краплеутворюючої головки. Особливістю даного волоконно-оптичного крапельного аналізатора являється висока чутливість до зміни таких оптичних параметрів досліджуваних середовищ як коефіцієнт відбивання і показник заломлення, за рахунок багатократних внутрішніх відбивань світла в середині краплі досліджуваної рідини. Але, оскільки діаметр краплеутворюючої головки волоконно-оптичного крапельного аналізатора рідин [5] становить 8 мм, то він виявляється непридатним для дослідження мікродоз фізіологічних розчинів.

Для вирішення проблем з дослідженням мікродоз фізіологічних рідин нами була проведена розробка та конструювання волоконно-оптичного пристрою для оцінки параметрів мікродоз фізіологічних розчинів на базі волоконно-оптичного Y-подібного розгалужувача, принципова схема якого показана на рис. 1. Сенсор

представляє собою волоконно-оптичний Y-подібний розгалуджувач, з вхідним та вихідним волоконно-оптичними каналами, які сполучаються в один спільний канал. Рідина із системи подачі під дією сили тяжіння подається через капіляр, у якому розміщений спільний волоконно-оптичний канал. На нижній кромці капіляра проходить формування краплі досліджуваної рідини. Світло від джерела випромінювання через вхідний канал поширюється у спільний моноволоконний канал сенсора потім у краплю і після відбивань всередині краплі повертається у спільний канал, по якому поширюється у вихідний канал і попадає на приймальну схему, яка здійснює перетворення оптичного сигналу в аналоговий електричний сигнал.

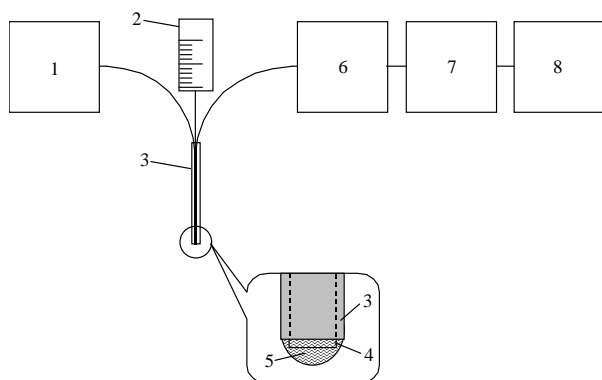


Рис. 1. Схема волоконно-оптичного пристрою для дослідження мікродоз фізіологічних рідин: 1 - джерело випромінювання; 2 - система подачі рідини; 3 - капіляр; 4 - спільний моноволоконний канал сенсора; 5 - крапля досліджуваної рідини; 6 - підсилювач; 7 - аналогово-цифровий перетворювач (АЦП); 8 - комп'ютер.

Аналоговий сигнал підсилюється і оцифровується за допомогою аналогово-цифрового перетворювача (АЦП), далі цифровий сигнал поступає на персональну електронну обчислювальну машину, що забезпечує можливість візуального спостереження в режимі реального часу за процесом дослідження, збереження та обробку результатів дослідження. В представлено-му датчику використовуються 50 мкм кварцові оптичні волокна, в якості джерела випромінювання використовується напівпровідниковий світло діод з максимумом випромінювання у ближній інфрачервоній

області ( $\lambda = 0,85$  мкм). Приймачем випромінювання служить кремнієвий фототранзистор чутливий в широкій спектральній області, який добре узгоджується із спектральними характеристиками ламп накалювання, інфрачервоних світлодіодів, напівпровідникових лазерів і волоконних світловодів, що дозволяє також проводити і спектральні дослідження.

Така конструкція волоконно-оптичного пристрою являється більш мініатюрною в порівнянні з волоконно-оптичним крапельним аналізатором з краплеутворюючою головкою [5], більш простою та надійною, а також потребує значно меншої кількості досліджуваної рідини, що є особливо актуальним для медицини при дослідженні мікродоз фізіологічних рідин.

Даний волоконно-оптичний пристрій також являється реалізацією системи "крапля-на-волокні" і відноситься до амплітудних датчиків відбивально-пропускального типу, де в якості модулятора виступає сам об'єкт дослідження, тобто крапля рідини. Він володіє такими перевагами: 1) може використовувати багатомодові світловоди, що дозволяє істотно зменшити втрати на оптичних з'єднаннях; 2) простота конструкції, тобто не містить механічних частин, які потребують точного налаштування; 3) мініатюрність.

Типова залежність зміни амплітуди вихідного сигналу в процесі краплеутворення і відриву краплі, отримана нами при дослідженні дистильованої води на волоконно-оптичному пристрої, приведена на рис. 2.

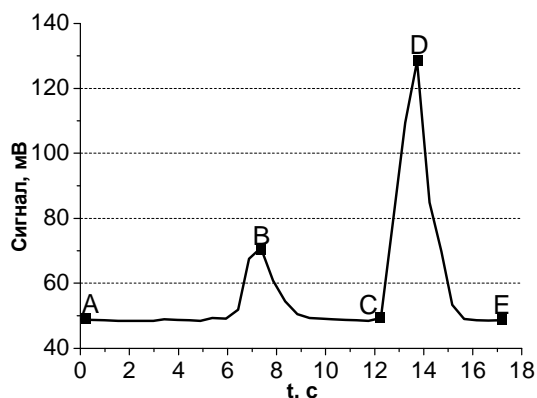


Рис. 2. Залежність зміни амплітуди вихідного сигналу для дистильованої води.

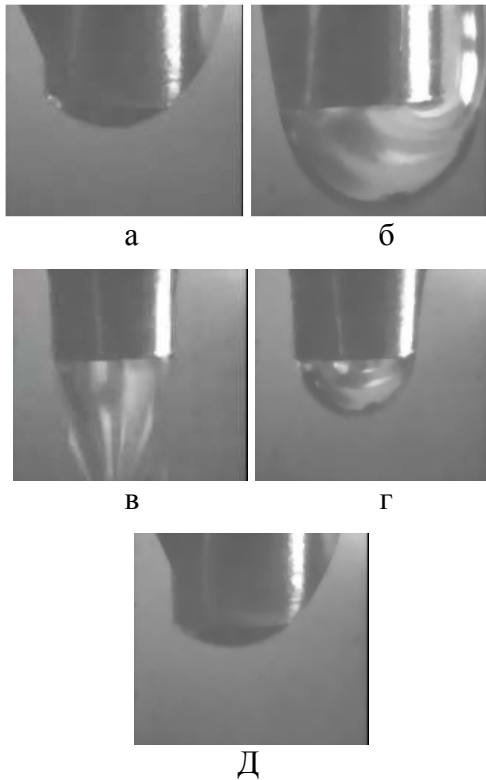


Рис. 3. Знімки процесу краплеутворення. (20-и кратне збільшення).

На приведеному графіку залежності зміни амплітуди вихідного сигналу спостерігаються два максимуми.

Візуальне спостереження за зміною амплітуди вихідного сигналу в режимі реального часу і одночасний запис на відео процесу краплеутворення дозволили пояснити характер залежності.

Так на рис. 2 точка А відповідає початку формування краплі досліджуваної рідини (див. рис. 3,а), коли торець моноволокна вкритий тонкою плівкою рідини, а величина відбитого оптичного сигналу визначається суперпозицією оптичних сигналів відбитих від межі розділу торець моноволокна – рідина з коефіцієнтом відбивання  $R_1$  та межі розділу рідина – повітря з коефіцієнтом відбивання  $R_2$ . Величина коефіцієнта відбивання  $R_1$  залишається сталою в процесі крапання і визначається із співвідношення:

$$R_1 = \left( \frac{n_B - n_P}{n_B + n_P} \right)^2, \quad (1)$$

де  $n_B$  - показник заломлення моноволокна,  $n_P$  - показник заломлення досліджуваної рідини.

Точка В (див. рис. 2) відповідає стадії формування краплі певної геометрії (рис. 3,б), коли основа краплі виступає в ролі сферичного дзеркала і фокусує незначний світловий потік на торець моноволокна. Точка С відповідає стадії відриву краплі від нижньої кромки капіляра і торця моноволокна (рис. 3,в). Відрізок CD відповідає утворенню на торці моноволокна залишкового меніска, який має форму півсфери (рис. 3,г), завдяки чому повертає значну частину світлового потоку назад фокусуючи його на торець моноволокна (точка D на рис. 2). На відрізку DE відбувається сплюснення меніска (рис. 3,д) за рахунок поверхневого натягу нової краплі і величина оптичного сигналу знову повертається на нижній рівень (точка E на рис. 2).

Аналізуючи характер залежності зміни амплітуди вихідного сигналу для дистильованої води можна зробити висновок, що на зміну амплітуди впливають такі параметри: показник заломлення, в'язкість і поверхневий натяг досліджуваної рідини. Зміна показника заломлення досліджуваної рідини визначає нижній рівень амплітуди вихідного сигналу (1). В'язкість рідини впливає на час повного циклу (крива АЕ на рис. 2). А поверхневий натяг рідини визначає форму краплі і особливо впливає на величину крайового кута  $\angle \Theta$  залишкового меніска (див. рис. 4).

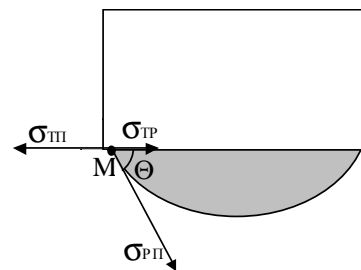


Рис. 4. Залишковий меніск на торці моноволокна.

Так для рівноважного положення залишкового меніска (рис. 3,г) в околі точки М (рис. 4) маємо

$$\sigma_{ТР} + \sigma_{РП} \cos \Theta = \sigma_{ТП}, \quad (2)$$

або

$$\cos \Theta = \frac{\sigma_{ТП} - \sigma_{ТР}}{\sigma_{РП}}, \quad (3)$$

де  $\sigma_{TP}$  – коефіцієнт поверхневого натягу на границі торець моноволокна – рідина,  $\sigma_{RP}$  – коефіцієнт поверхневого натягу на границі рідина – повітря,  $\sigma_{TP}$  – коефіцієнт поверхневого натягу на границі торець моноволокна – повітря.

Використовуючи дану методику, нами була проведена апробація представленого волоконно-оптичного пристрою для дослідження водних розчинів солі NaCl.

Залежності зміни амплітуди вихідного сигналу для водних розчинів NaCl представлені на рис. 5.

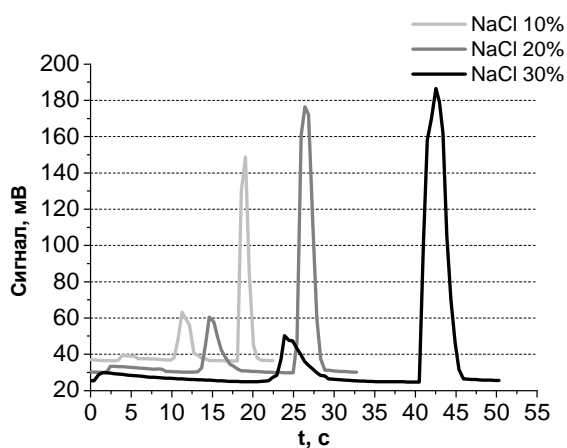


Рис. 5. Залежність зміни амплітуди вихідного сигналу для ряду водних розчинів NaCl.

З приведених залежностей видно, що із збільшенням концентрації солі зменшується нижній рівень амплітуди вихідного сигналу тобто як видно з табл. 1 та

рівняння (1) зростає показник заломлення рідини; збільшується час повного циклу тобто зростає в'язкість рідини; а також зростає величина другого максимуму, отже зростає величина поверхневого натягу рідини, що узгоджується з результатами одержаними іншими методами [7, 8].

Таблиця 1  
Фізичні параметри водних розчинів NaCl [7, 8]

Концентрація	Показник заломлення	В'язкість, мПа·с	Поверхневий натяг, мН/м
0	1,3330	1,002	72,41
10 %	1,3505	1,193	75,65
20 %	1,3684	1,557	78,89
30 %	1,3795	1,990	82,13

Таким чином завдяки особливостям конструкції представлений волоконно-оптичний пристрій забезпечує можливість провести оцінку одразу трьох параметрів мікродоз фізіологічних розчинів: показника заломлення, в'язкості та поверхневого натягу, в ході єдиного експерименту, що є особливо актуальним для медицини, оскільки по зміні в'язкості та поверхневого натягу діагностується значна кількість патологій.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Петрович Ю.А., Терезина Н.А. Биохимия слезы и её изменение при патологии // В-сы мед. химии. – 1990. – №3. – С. 13-17.
2. Banerjee A., Mukherjee S., Verma R.K., Jana B., Khan T.K., Chakroborty M., Das R., Biswas S., Saxena A., Singh V., Hallen R.M., Rajput R.S., Tewari P., Kumar S., Saxena V., Ghosh A.K., John J., Bhaya P.G. Fiber optic sensing of liquid refractive index, Sens. Actuators B: Chem. 123 (April (1)) (2007) 594–605.
3. Nath P., Singh H.K., Datta P., Sarma K.C. All-fiber optic sensor for measurement of liquid refractive index, Sens. Actuators A: Phys. A 148 (2008) 16–18.
4. Sharkan Y.P., Jytov N.B., Sakalosh I.I., Ramsden J.J., Sichka M.Y., Popovich I.I., Korposh S.O. Fiber-optic sensor for the express control of the chemical composition. Sensor Electronics And Microsystem Technologies № 3 2009, P. 27-34.
5. McMillan N.D., O'Mongain E., Walsh J.E., Breen L., Power M.J., O'Dea J.P., Kinsella S.M., Kelly M.P., Hammil C., Orr D. Preliminary investigations into the analytical potential of a multiwavelength

- fibre drop analyzer. Opt. Engng 33 (1994) 3871–3890.
6. McMillan N.D., Davern P., Lawlor V., Baker M., Thompson K., Hanrahan J., Davis M., Harkin J., Bree M., Goossens P., Smith S., Barratt D., Corden R., McMillan D.G.E., Lane D. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 114 (1996) 75-97.
7. Lide D.R. (ed.) Handbook of Chemistry and Physics, 80th Edn. Boca Raton: CRC Press (1999).
8. Григоров О.Н., Заславский А.И., Морачевский Ю.В. Справочник химика, второе издание, том 3, М.: Химия. - 1965.

Стаття надійшла до редакції 30.08.11

I.I. Sakalosh<sup>1</sup>, J.P. Sharkany<sup>1</sup>, N.B. Zhytov<sup>2</sup>, M.Y. Sichka<sup>1</sup>,  
L.I. Kozych<sup>1</sup>, V.M. Rizak<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Uzhgorod National University, 88000, Uzhgorod, Voloshina Str., 54

e-mail: shark@univ.uzhgorod.ua

<sup>2</sup>JSC "TECHNOMEDICA", 127081, Moscow, Kasatkina Str., 11

## FIBER-OPTIC DEVICE FOR EVALUATION THE PARAMETERS OF MICRODOSES OF THE PHYSIOLOGICAL SOLUTIONS

The device on the base of the fiber-optic Y-shaped splitter was developed, on the end of the common channel of which the drop of the investigated liquid medium is formed, and the dependence character of the reflected from the drop optical signal is defined by the physico-chemical parameters of the liquid. The device is tested in aqueous solutions of common salt, more over, the received results are in good agreement with the results, obtained by other known methodics.

**Key words:** fiber-optic sensor, refractive index, reflection coefficient, viscosity, surface tension.

И.И. Сакалош<sup>1</sup>, И.П. Шаркань<sup>1</sup>, Н.Б. Житов<sup>2</sup>, М.Ю. Сичка<sup>1</sup>,  
Л.И. Козич<sup>1</sup>, В.М. Ризак<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ужгородский национальный университет, 88000, Ужгород, ул. Волошина, 54

e-mail: shark@univ.uzhgorod.ua

<sup>2</sup>ЗАО НПП "ТЕХНОМЕДИКА", 127081, Москва, ул. Касаткина, 11

## ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ МИКРОДОЗ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ

Разработано устройство на базе волоконно-оптического Y-образного разветвителя, на торце общего канала которого формируется капля из исследуемой жидкой среды, при этом характер зависимости отраженного от капли оптического сигнала определяется физико-химическими параметрами жидкости. Устройство апробировано на водных растворах кухонной соли, причем, полученные результаты хорошо согласовываются с результатами полученными другими известными методиками.

**Ключевые слова:** волоконно-оптический датчик, показатель преломления, коэффициент отражения, вязкость, поверхностное натяжение.