

УДК 681.785.2

НОВЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ БИОЖИДКОСТИ

Мурашкина Т.И.¹, Бадеев В.А.¹

¹*Пензенский государственный университет, Пенза, e-mail: vladbadeev4464@gmail.com*

Аннотация

Предложен новый волоконно-оптический способ экспресс-измерения показателей преломления различных жидкостей, в том числе биожидкостей. Новый способ и реализующий его микродатчик обеспечивают повышение точности, достоверности, воспроизводимости и оперативности оптических измерений параметров биожидкостей при диагностике различных заболеваний, в том числе вирусных.

Ключевые слова: Волоконно-оптический способ, экспресс-измерение, показатель преломления, биожидкость, прозрачная трубка

A NEW FIBER-OPTIC METHOD FOR MEASURING THE REFRACTIVE INDEX OF BIOFLUID

Murashkina T.I.¹, Badeev V.A.¹

¹*Penza state university, Penza, e-mail: vladbadeev4464@gmail.com*

Аннотация на английском языке

A new fiber-optic method for express measurement of refractive indices of various liquids, including biofluids, is proposed. The new method and the micro-sensor implementing it provide an increase in the accuracy, reliability, reproducibility and efficiency of optical measurements of the parameters of biofluids in the diagnosis of various diseases, including viral ones.

Keywords: Keywords: Fiber-optic method, express measurement, refractive index, bio-liquid, transparent tube

Введение

На различных стадиях диагностики состояния организма человека необходимы соответствующие медицинские технические средства измерения параметров биожидкостей, поскольку они являются показательными источниками информации о здоровье человека [1].

Из всех известных методов измерений оптические измерения относятся к наиболее точным. Пороговая чувствительность и точность классических методов оптических измерений находится на уровне длины волны применяемого излучения [2]. Важной прикладной задачей, решаемой с помощью оптических датчиков и систем на их основе, является оперативный контроль параметров жидких сред, в том числе биожидкостей.

На сегодняшний день проблема быстрого измерения показателя преломления биожидкостей, характеризующих состояние пациента при том или ином заболевании в реальном масштабе времени с высокой точностью и воспроизводимостью не решена.

Если исследуются жидкости с вирусами, то конструкции устройств, реализующих известные рефрактометрические способы определения коэффициента преломления жидкости, не отвечают условиям безопасности, после каждого измерения необходимо

проводить дезинфекцию измерительного устройства, что не отвечает требованиям экспресс-измерения и резко удорожает процедуру диагностики [3,4].

Цель работы - повышение чувствительности, точности, воспроизводимости и оперативности оптических измерений параметров биожидкостей при экспресс-диагностике заболеваний человека.

Материал и методы исследования

Для достижения поставленной цели используется новый волоконно-оптический рефрактометрический способ определения коэффициента преломления биожидкости [5].

Новый способ заключается в следующем. Световой поток Φ_0 , сформированный источником излучения (например, светодиодом), по подводящему оптическому волокну (ПОВ) 6 направляется в зону измерения, выходит под апертурным углом Θ_{NA} на излучающем торце ПОВ 6 в виде конуса [5], передается в направлении трубки 1 (рисунок 1).

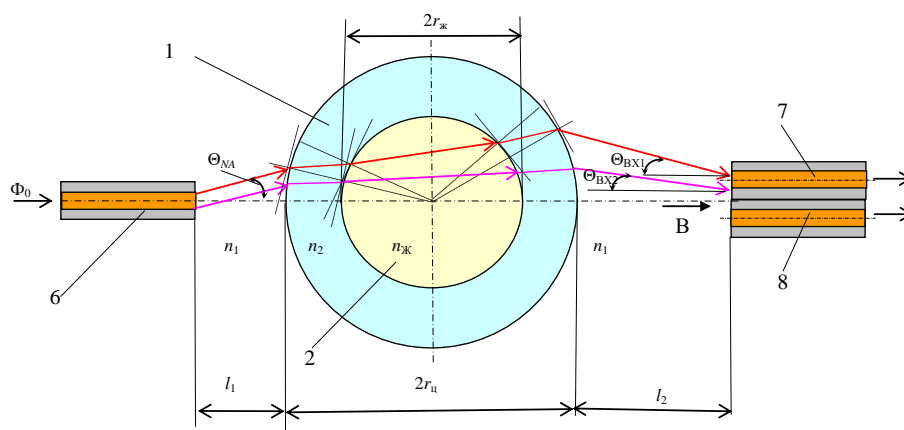


Рисунок 1 – Трасса прохождения светового потока через биожидкость, расположенную в трубке

Внешний и внутренний лучи света, формирующие полный конус, падают на первую боковую поверхность стеклянной цилиндрической трубки 1 под углами α_1 и α_2 , где преломляются на границе раздела сред «воздух – стекло» под углами β_1 и β_2 , преломленные лучи поступают на первую внутреннюю поверхность цилиндрической трубки 1 под углами γ_1 и γ_2 , где преломляются на границе раздела сред «стекло - биожидкость» под углами δ_1 и δ_2 , проходят через прозрачное вещество – биожидкость 2, вторично падают на противоположную внутреннюю поверхность цилиндрической трубки 1 под углами δ_1 и δ_2 , где преломляются на границе раздела сред «биожидкость – стекло» под углами ϵ_1 и ϵ_2 , поступают на вторую внешнюю поверхность трубки 1 под углами ϕ_1 и ϕ_2 , преломляются на границе раздела сред «стекло – воздух» под углами ψ_1 и ψ_2 , фокусируются в направлении приемных торцов отводящих оптических волокон (ООВ), падают на приемную поверхность ООВ 6 и 7 под углами $\Theta_{ВХ1}$ и $\Theta_{ВХ2}$ соответственно.

Изображение излучающего торца ПОВ 6 в плоскости приемных торцов ООВ 7 и 8, меняет свой контур при изменении показателя преломления биожидкости, что, в свою очередь, ведет к изменению площади перекрытия приемных торцов ООВ 6 и 7 световым пятном [2,5].

Результаты исследования и их обсуждение

Для реализации способа необходимо:

1) чтобы трубка была прозрачной, при этом коэффициент преломления материала, из которой она изготовлена, должен быть больше коэффициента преломления биожидкости (например, ротовой жидкости - слюны), для того, чтобы не проявился эффект полного внутреннего отражения;

2) чтобы выполнялись следующие условия :

$$\Theta_{\text{ВХ}} \approx \psi + \arcsin\left[\frac{(l_2 + \frac{2r_c}{\text{tg}\Theta_{\text{NA}}})\sqrt{2(1 - \cos\psi)}}{r_{\text{Ц}}}\right] \leq \Theta_{\text{NA}},$$

где

$$\psi = \arcsin\left\{\frac{n_2}{n_1} \sin\left[\arcsin\left\{\frac{n_2}{n_{\text{ж}}}\sin\left[\frac{n_2}{n_{\text{ж}}}\sin(90 + \arctg\frac{r_{\text{Ц}} - r_{\text{ж}}}{r_{\text{ж}}}\text{tg}\{\arcsin[\frac{n_1}{n_2}\sin(\Theta_{\text{NA}} + \arcsin(\frac{(l_1 + \frac{2r_c}{\text{tg}\Theta_{\text{NA}}})\sqrt{2(1 - \cos\Theta_{\text{NA}})}}{r_{\text{Ц}}})\})]\}\right)\right]\right]\right\}\right\}$$

$n_1, n_2, n_{\text{ж}}$ – коэффициенты преломления среды между оптическими волокнами и внешней поверхностью цилиндрической трубки, материала цилиндрической трубки, материала вещества внутри цилиндрической трубки;

$r_{\text{Ц}}, r_{\text{ж}}$ – внешний и внутренний радиусы цилиндрической трубки;

r_c, Θ_{NA} – радиус сердцевины и апертурный угол оптического волокна;

$\Theta_{\text{ВХ}}$ – угол, под которым луч падает на торец отводящего оптического волокна;

l_1 – расстояние от подводящего оптического волокна до цилиндрической трубки;

l_2 – расстояние от цилиндрической трубки до приемных торцов ООВ,

$$l_2 = \frac{\cos\Theta_{\text{NA}}(4r_c + r_{\text{Ц}}\text{tg}\Theta_{\text{NA}})}{\sin\Theta_{\text{NA}}} - r_{\text{Ц}}.$$

3) чтобы для увеличения освещенности торцов ООВ и их равномерного освещения ПОВ 6 располагался перед трубкой 1 на расстоянии, равном или большем двух дистанций

формирования $L_{\text{Ф}}$: $2L_{\text{Ф}} = l_1 = \frac{2r_c}{\text{tg}\Theta_{\text{NA}}}$ [6].

4) чтобы при калибровке устройства, реализующего способ, использовались жидкости с коэффициентом преломления, близким к коэффициенту преломления материала

трубки 1 (например, пара «кварцевое стекло - глицерин»), это позволит использовать предлагаемый волоконно-оптический рефрактометрический способ для измерения коэффициентов преломления большего количества жидкостей.

Выводы

Новый волоконно-оптический способ измерения показателя преломления биожидкости позволяет:

- повысить чувствительность преобразования оптических сигналов, обеспечиваемой снижением потерь светового потока в микрометрическом оптическом тракте;
- повысить точность измерения показателя преломления;
- упростить процедуру юстировки оптической системы преобразователя, его реализующего;
- уменьшить массо-габаритные характеристики измерительного преобразователя, его реализующего;
- проводить экспресс-измерения параметров биожидкости;
- исключить любые негативные последствия от электромагнитного воздействия на здоровье пациента и на результаты измерения.

Список литературы

1 Кишкун А.А., Арсенин С.Л. Современные организационные аспекты лабораторной диагностики неотложных состояний / А.А. Кишкун, С.Л. Арсенин // Hi+Med. Высокие технологии в медицине. - 2011. - № 6. - С. 20-23.

2 Волоконно-оптические приборы и системы: Научные разработки НТЦ "Нанотехнологии волоконно-оптических систем" Пензенского государственного университета Ч. I / Т. И. Мурашкина, Е. А. Бадеева. СПб.: Политехника, 2018. 187 с. – с. 68

3 <file:///C:/Users/1/Downloads/0174e29.pdf>.

4 Латышенко, К.П. Мониторинг загрязнения окружающей среды : учебник и практикум для среднего профессионального образования / К. П. Латышенко. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 375 с. URL: <https://urait.ru/bcode/433597>

5 Заявка на изобретение №2021130405 от 18.10.2021, Волоконно-оптический способ определения коэффициента преломления прозрачного вещества и реализующий его волоконно-оптический рефрактометрический измерительный преобразователь/ Е.А. Бадеева, В.А. Бадеев, Т.И. Мурашкина, Д.И. Серебряков, Н.А. Хасаншина, Ю.А. Васильев, А.Н. Кукушкин

6 Теоретические основы проектирования амплитудных волоконно-оптических датчиков давления с открытым оптическим каналом: *Монография*/ Бадеева Е. А., Гориш А.В., Котов А.Н., , Мурашкина Т. И., Пивкин А. Г. //Под общ редакцией Т.И. Мурашкиной и А.В. Гориша - М.: МГУЛ, 2004. –246 с.