

УДК 681.787.7:616.314

© Т. А. Черняк, Ю. М. Бородянский, Е. А. Петрова,  
Е. Е. Майоров, Е. В. Попова, М. В. Хохлова, 2021

## ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ТОМОГРАФИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕСНЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНИХ АГЕНТОВ

Представленная работа посвящена использованию разработанного автоматизированного оптико-механического устройства для томографических исследований десны, обработанной различными зубными пастами для десен. Измерены оптические параметры по глубине десны при воздействии и без воздействия внешних агентов. Выполненная работа является актуальной, т.к. данная задача представляет огромный интерес для терапевтической стоматологии. В статье показаны схема автоматизированного оптико-механического устройства и его работа, а также приведены технические характеристики устройства. Определены объекты исследования и получены данные распределений коэффициента отражения от подповерхностных слоев (глубина 0.5 мм). Проанализирован участок верхней области десны площадью  $(1 \times 1) \text{ см}^2$  после обработки пастами для десен через 15 минут на длине волны 0.83 мкм.

*Кл. сл.:* оптико-механическое устройство, интерферометр Майкельсона, длина волны, низкокогерентное излучение, десна, зубная паста для десен, терапевтическая стоматология

### ВВЕДЕНИЕ

Применение высокоточных оптических приборов и систем для получения достоверных данных о томографических параметрах остается важной задачей медицины [1]. Для решения этой задачи существуют различные оптические методы и средства, такие как оптическая когерентная томография, микроскопы, рефрактометры, специализированные лазерные установки [2]. Современные оптические методы и средства измерений томографических параметров и работа соответствующих приборов и систем основаны на анализе светового излучения, отраженного от контролируемой области. Анализ литературных данных показал, что наиболее перспективными в этом классе приборов являются интерферометрические приборы, работающие в низкокогерентном свете. Данное направление в медицинской технике относительно новое и бурно развивается в последние годы [3]. Приборы и системы указанного типа имеют ряд преимуществ по сравнению с аналогичными устройствами геометрической оптики, а именно: точность, диапазон измерений, а также расстояние до контролируемой поверхности не зависят от апертурных углов освещения и наблюдения [4]. Эти приборы и системы по точности измерений

сравнимы с устройствами геометрической оптики, а в некоторых областях и превосходят их, малогабаритны, удовлетворяют требованиям производственного контроля, просты в эксплуатации [5].

Поэтому может представлять интерес разработанное автоматизированное оптико-механическое устройство, в состав которого входит источник излучения с низкокогерентным светом.

Целью работы является применение разработанного автоматизированного оптико-механического устройства для измерения томографических параметров десны и воздействующих на нее внешних агентов.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Важным является в практическом применении интерферометрии в низкокогерентном свете (длина когерентности 30 мкм) для терапевтической стоматологии, которая использует различные отечественные и зарубежные зубные пасты, получение оптических параметров по данным объектам исследования [6–11]. Основными поставщиками зубных паст на отечественный рынок являются компании Италии, Германии, Великобритании. Данные компании рекомендуют свой продукт по химическому составу вещества. Ог-

ромный интерес представляет получение оптических параметров при томографических исследованиях представленных образцов. А это означает, что представленная разработка может представлять интерес для медицины, в частности терапевтической стоматологии.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО

Для проведения экспериментальных исследований была разработана установка, схема которой представлена на рис. 1.

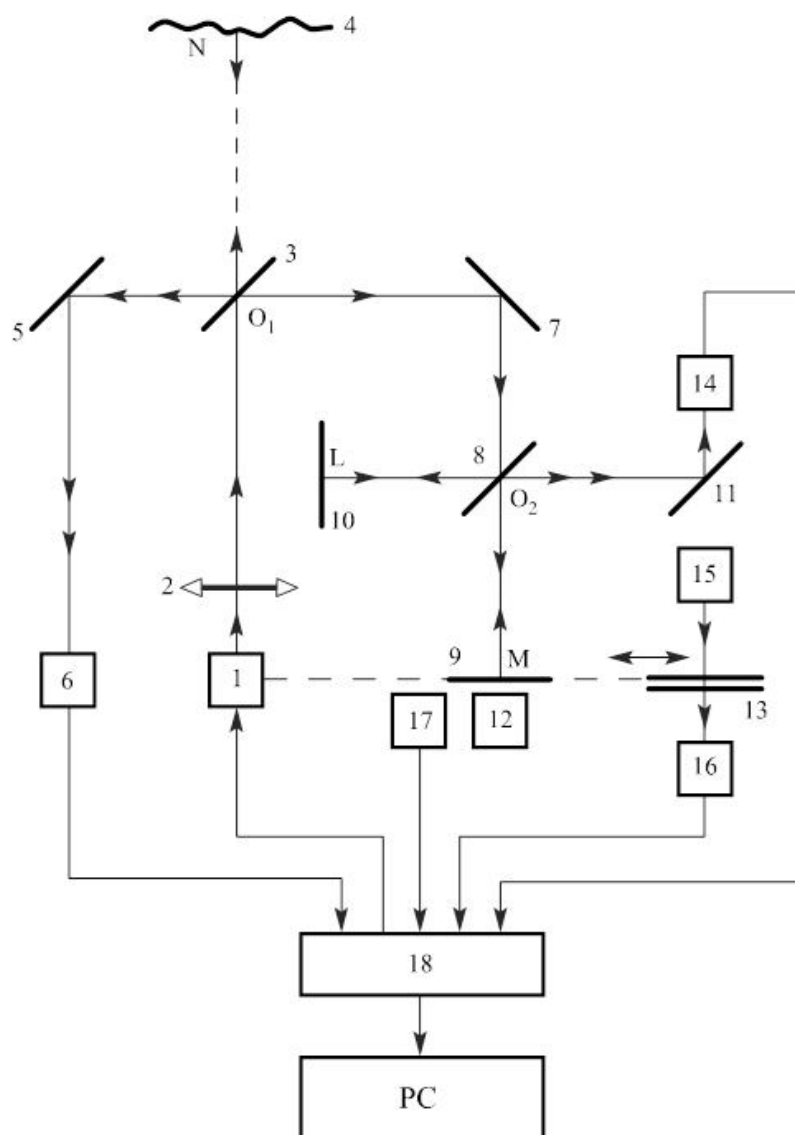


**Рис. 1.** Схема автоматизированной оптико-механической установки. 1, 15 — суперлюминесцентные диоды; 2 — микрообъектив; 3, 8 — светоделители; 4 — исследуемый биологический объект; 5, 7, 9, 10, 11 — зеркала; 6, 14, 16 — фотоприемники; 12 — модулятор; 13 — дифракционные решетки; 17 — датчик скорости; 18 — блок электронной обработки сигналов; PC — компьютер

Схема построена на основе интерферометра Майкельсона, в который вместо одного из зеркал помещен исследуемый объект.

В качестве источника излучения используется суперлюминесцентный диод 1 с длиной волны  $\lambda = 0.83$  мкм, длиной когерентности  $l_c = 30$  мкм, мощностью излучения 3 мВт. Микрообъектив 2 ( $10\times$ ,  $f = 15.5$  мм,  $A = 0.3$ ) фокусирует излучение источника на контролируемую поверхность объекта 4 под углом  $\theta$  и на опорную поверхность (зеркало 9).

В процессе измерений производится модуляция оптической разности хода ( $O_1M - O_1N$ ) за счет сканирования опорного зеркала 9 ( $O_1M$ ). Последнее крепится на пружинном параллелограммном механизме, колебания которого возбуждаются электромагнитным модулятором 12. Момент равенства оптических длин плеч интерферометра  $O_1M$  и  $O_1N$  соответствует максимуму контраста интерференционного поля и, соответственно, — максимуму сигнала фотоприемника 6.

При сканировании зеркала 9 изменение оптической длины опорного плеча интерферометра определяется с помощью пары голографических дифракционных решеток 13, одна из которых неподвижна, другая — жестко связана со сканирующим зеркалом 9. Направление взаимного смещения дифракционных решеток на схеме обозначено стрелкой. Шаг решеток равен 1.5 мкм. Решетки освещаются источником 15, сигнал регистрируется фотоприемником 16.

Начало отсчета определяется с помощью второго интерферометра Майкельсона, образованного светоделителем 8, зеркалом 10 и общим для двух интерферометров сканирующим зеркалом 9. Начало отсчета соответствует максимуму сигнала фотоприемника 14, который наблюдается в момент равенства длин плеч  $O_2L$  и  $O_2M$ . Этот сигнал является опорным: относительно него отсчитывается временное положение максимума информационного сигнала фотоприемника 6.

Для того чтобы обеспечить постоянство диаметра пятна на исследуемой области в устройстве, пространственное положение источника 1 модулировалось во времени вдоль оси излучения с частотой сканирования опорного зеркала 9. При этом требование фокусировки излучения выполнялось при соотношении амплитуд сканирования источника и опорного зеркала 1 : 60. Основанием для определения этого соотношения являлись расстояние до исследуемой области (120 мм) и фокусное расстояние микрообъектива 2 (15.5 мм).

Данное устройство позволяет измерять расстояние до объекта, которое отсчитывается от некоторой базовой плоскости, соответствующей временному положению максимума опорного сигнала фотоприемника 14. Искомая информация

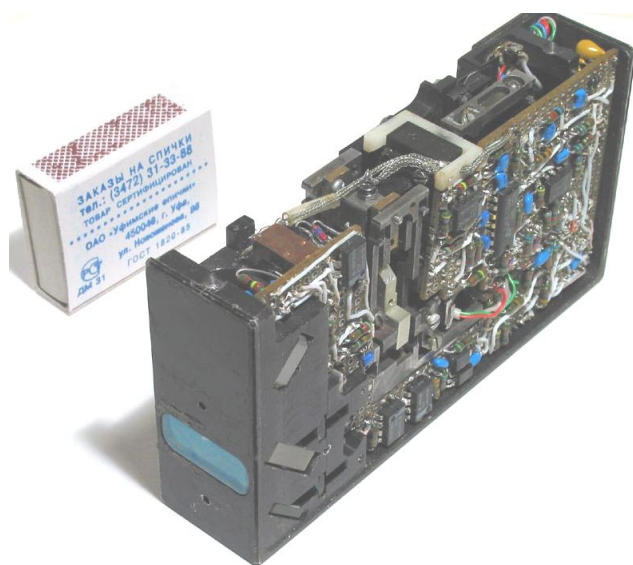


Рис. 2. Внешний вид автоматизированной оптико-механической установки

содержится во временном интервале между максимумами сигналов фотоприемников 6 и 14. Указанный временной интервал находится путем подсчета импульсов фотоприемника 16 при сканировании дифракционных решеток 13.

Для получения искомой информации о томографических параметрах сигналы фотоприемников 6, 14 и 16 подвергаются аналоговой и цифровой обработкам.

Измерения проводились при следующих технических характеристиках устройства.

Погрешность измерений:

$$\sigma_z = (0.03-0.1) l_c \text{ — для } \theta = (0-30^\circ),$$

$$\sigma_z = (0.3-0.8) l_c \text{ — для } \theta = (45-60^\circ);$$

диапазон измерений

рельефа поверхности — 0–4 мм;

частота измерений

— 46 1/с;

среднее расстояние

от оптической головки до объекта — 120 мм.

## ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследовались верхние области десен человека средней возрастной группы (25–45 лет). Измерения проводились на двадцати пациентах *in vivo*. Десны обрабатывались зубными пастами для десен LACALUT, PRESIDENT, PARODONTAX и Пародонтоцид.

Внешние агенты исследования были приобретены в сети аптек "Озерки" г. Санкт-Петербург.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследуемые образцы внешних агентов при взаимодействии с десной позволяют устранить болезненность и кровоточивость десен. Как правило, зубные пасты для десен содержат лактат алюминия, лактат цинка, а также антисептик хлоргексидин (0.05–0.25), минеральные соли, аллотоин, бисабол, тимол, эвгенол, фенилсалицилат, экстракты лекарственных растений.

В работе измерялись коэффициенты отражения по глубине исследуемой области (томографический параметр) на оптико-механическом устройстве, представленном на рис. 1. Внешний вид устройства показан на рис. 2.

Анализировались участки верхней области десны размером 1×1 см и по глубине 0.5 мм после обработки внешними агентами через 15 мин. Измерения велись по нормали к исследуемой области. На рис. 3 представлены результаты измерений при воздействии и без воздействия внешних агентов на контролируемый участок биологического объекта.

Устройство функционировало в режиме сканирования, т.е. при модуляции разности хода интерферирующих лучей были получены распределения амплитуд отраженных сигналов по глубине исследуемого материала. Регистрировались амплитуды

интерференционных сигналов пропорционально коэффициентам отражения нерассеянной компоненты от оптической неоднородности, положение которой определялось равенством длин плеч интерферометра.

На рис. 3 показано распределение коэффициента отражения по глубине исследуемого объекта без взаимодействия с зубными пастами (кривая 1).

Получены результаты после взаимодействия зубной пасты LACALUT с десной и выявлено, что на глубине 0.5 мм коэффициент отражения имел наибольшее значение (кривая 2) у пациентов средней возрастной группы на длине световой волны  $\lambda = 0.83$  мкм. По-видимому, это связано с наличием в этой зубной пасте компонента лактата алюминия, который вносит основной вклад в нерассеянную отражающую компоненту.

При исследовании десны, обработанной зубной пастой PRESIDENT, коэффициент отражения на той же глубине имел меньшее значение, чем у предыдущей обработки зубной пастой LACALUT (кривая 3). Видимо, это связано с изменением структурных свойств тканей десны после обработки данным агентом. Можно предположить, что лактат цинка в структуре биологической ткани имеет меньше отражающую способность, чем лактат алюминия.

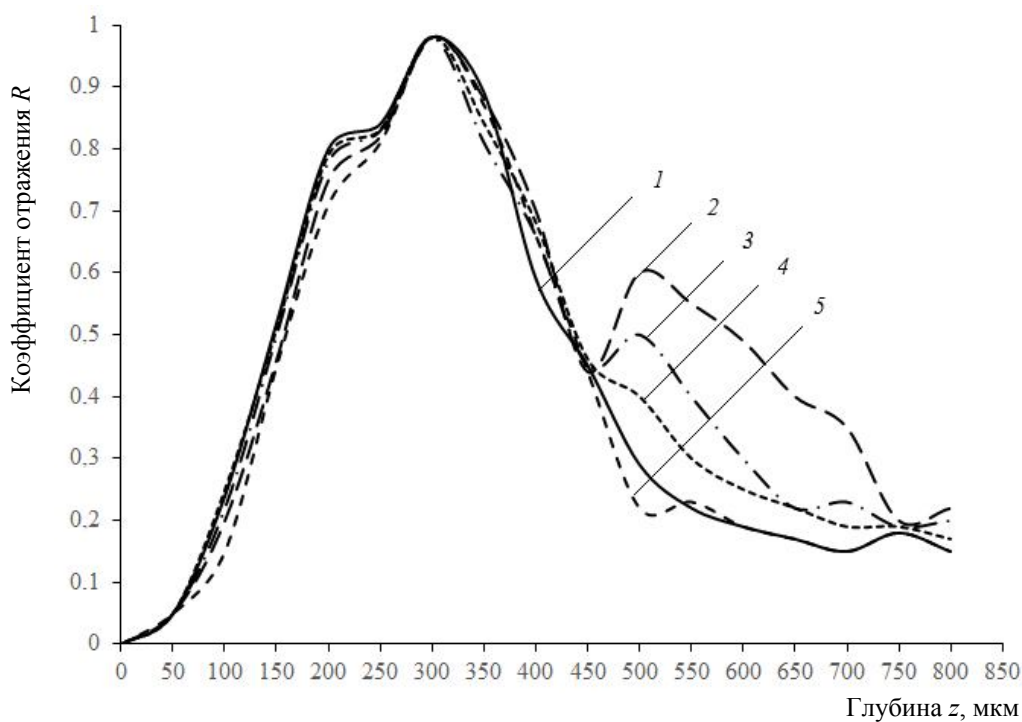


**Рис. 3.** Распределение коэффициента отражения  $R$  по глубине десны.

1 — при отсутствии внешних агентов; при их наличии: 2 — LACALUT, 3 — PRESIDENT, 4 — PARODONTAX, 5 — Пародонтоцид

Установлено, что при воздействии зубной пасты PARODONTAX на десну пик кривой распределения коэффициента отражения по глубине ниже двух предыдущих агентов (кривая 4). Эта паста имеет в своем составе преимущественно растительные компоненты, которые растворялись в тканях десны, практически не участвуя в отражающей составляющей излучения.

После обработки десны Пародонтоцидом излучение на исследуемой глубине практически не обладало отражающими свойствами (кривая 5). Видимо, это связано с отсутствием лактата алюминия и цинка в веществе.

Подводя итог исследованиям, необходимо отметить, что в авторитетных научных журналах по стоматологии был выявлен рейтинг представленных зубных паст для десен. По мнению стоматологов, именно LACALUT и PRESIDENT являются более эффективными средствами для борьбы с болезненностью и кровоточивостью десен. Связано это с наличием в данных средствах лактата алюминия и лактата цинка. В приведенных исследованиях на рис. 3 видно, что коэффициенты отражения данных внешних агентов на глубине десны превышают значения коэффициентов отражения PARODONTAX и Пародонтоцида. Поэтому в дальнейших исследованиях и при изготовлении стоматологических средств для десен необходимо учитывать не только химический состав, но и оптические свойства материала.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Указанная функциональная возможность автоматизированного оптико-механического устройства может быть использована для изучения изменения оптических свойств на разных глубинах десны, а также слизистых биологических объектов в ротовой полости в динамике под воздействием различных агентов. Представленная разработка может применяться для диагностики (обнаружения) раковой опухоли на ранней стадии.

Данная работа представляет интерес для оптического приборостроения и медицины, в частности, стоматологии терапевтической.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геликонов В.М., Геликонов Г.В., Гладкова Н.Д. и др. Когерентная оптическая томография микронеоднородностей биотканей // Письма в ЖЭТФ. 1995. Т. 61, вып. 2. С. 149–153.
2. Sasaki O., Okazaki H. Sinusoidal phase modulating interferometry for surface profile measurement // Applied Optics. 1986. Vol. 25, no. 18. P. 3137–3140.
3. Chebbour A., Gorecki C., Tribillon G. Range finding and velocimetry with directional discrimination using a modulated laser diode Michelson interferometer // Optics Communications. 1994. Vol. 111, no. 1-2. P. 1–5.
4. Большаков О.П., Котов И.Р., Хонов В.В., Майоров Е.Е. Когерентно-оптическая томография биотканей // Фундаментальные исследования в технических университетах. Материалы III Всероссийской НТ конференции. 1999. С. 151–152.
5. Майоров Е.Е., Шаламай Л.И., Черняк Т.А., Дагаев А.В., Хохлова М.В., Гулиев Р.Б. Исследование зубной эмали in vitro интерферометром сдвига // Медицинская техника. 2020. № 4. С. 39–42.
6. Арефьев А.В., Бородянский Ю.М., Гулиев Р.Б., Дагаев А.В., Майоров Е.Е., Хохлова М.В. Измерение микрорельефа негладких поверхностей автоматизированным интерферометром в низкокогерентном свете // Известия тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 8. С. 211–219.
7. Кузьмина Д.А., Мендоса Е.Ю., Майоров Е.Е., Нарушак Н.С., Сакерина А.И., Шаламай Л.И. Экспериментальные исследования оптических свойств твердых тканей передних зубов и современных синтетических пломбировочных материалов // Стоматология для всех. 2020. № 4. С. 58–62. DOI: 10.35556/idr-2020-4(93)58-62
8. Кузьмина Д.А., Мендоса Е.Ю., Майоров Е.Е., Нарушак Н.С., Шаламай Л.И. Спектроскопия отражения тканей зубов in vitro и наногибридных реставрационных материалов // MEDICUS. Международный медицинский научный журнал. 2020 Т. 35, № 5. С. 68–73
9. Майоров Е.Е., Громов О.В., Курлов В.В., Коцкович В.Б., Петрова Е.А., Пушкина В.П., Таюрская И.С. Исследование рельефа поверхности биологических объектов методом контроля, анализирующим расходимость // Известия тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 2. С. 383–388.
10. Громов О.В., Майоров Е.Е., Черняк Т.А., Удахина С.В., Писарева Е.А., Константинова А.А. Измерения оптических свойств кожного покрова in vivo под воздействием современных увлажняющих средств // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. Т. 105, № 3. DOI: 10.23670/IRJ.2021.105.3.006
11. Хохлова М.В., Арефьев А.В., Майоров Е.Е., Гулиев Р.Б., Дагаев А.В., Громов О.В. Экспериментальное исследование метрологических характеристик разработанного оптического щупа триггерного типа // Приборы. 2021. № 5. С. 8–16.

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП), Санкт-Петербург (Черняк Т.А.)*

*Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург (Бородянский Ю.М.)*

*Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики, Санкт-Петербург (Петрова Е.А.)*

*Университет при межпарламентской ассамблее ЕвразЭС, Санкт-Петербург (Майоров Е.Е., Попова Е.В.)*

*Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург (Хохлова М.В.)*

Контакты: Майоров Евгений Евгеньевич,  
majorov\_ee@mail.ru

Материал поступил в редакцию 02.07.2021

## APPLICATION OF AN AUTOMATED OPTICAL-MECHANICAL DEVICE FOR TOMOGRAPHIC EXAMINATION OF THE GUM UNDER THE INFLUENCE OF EXTERNAL AGENTS

**T. A. Chernyak<sup>1</sup>, Y. M. Borodyansky<sup>2</sup>, E. A. Petrova<sup>3</sup>,  
E. E. Maiorov<sup>4</sup>, E. V. Popova<sup>4</sup>, M. V. Khokhlova<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Saint Petersburg state university of aerospace instrumentation (GUAP), Russia

<sup>2</sup> The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications, Russia

<sup>3</sup> Saint Petersburg university of management technologies and economics, Russia

<sup>4</sup> University at the inter-parliamentary Assembly of EurAsEC, Saint Petersburg, Russia

<sup>5</sup> Military space Academy named after A.F. Mozhaisky, Saint Petersburg, Russia

The work highlights the use of the developed automated optical-mechanical device for tomographic studies of the gums treated with special types of toothpastes. The optical parameters of the gum depth were measured under and without the influence of external agents. This task is relevant and important for therapeutic dentistry. The paper reveals the scheme of an automated opto-mechanical device and its operation, as well as the technical characteristics of the device. The objects of the study were determined and data on the distribution of the reflection coefficient from the subsurface layers (depth 0.5 mm) were obtained. A section of the upper gum area with an area of  $(1 \times 1) \text{ cm}^2$  after treatment with gum pastes in 15 minutes at a wavelength of 0.83 microns was analyzed.

**Keywords:** opto-mechanical device, Michelson interferometer, wave length, low-coherence radiation, gum, gum paste, therapeutic dentistry

### INTRODUCTION

The use of high-precision optical devices and systems for obtaining reliable data on tomographic parameters remains an important task of health care [1]. To solve this problem, various optical methods and means, such as optical coherence tomography, microscopes, refractometers, specialized laser installations [2] are available. Modern optical methods and instruments for measuring tomographic parameters

and the operation of corresponding instruments and systems are based on the analysis of light emission reflected from the controlled area. Analysis of literature data has showed that the most promising in this class of devices are interferometric devices operating in low-coherence light. This direction in medical technology is relatively new and has been rapidly developing in recent years [3]. Devices and systems of this type have a number of advantages over similar devices of geometric optics, namely: accuracy,

measurement range, and distance to the controlled surface do not depend on the aperture angles of illumination and observation [4]. In terms of measurement accuracy, these instruments and systems are comparable to geometrical optics devices, and in some terms even surpass them, also they are small and meet the requirements of production control, and are easy to operate [5].

Therefore, the developed automated optical-mechanical device, which includes an emission source with low-coherence light, may be of interest to health care and personal care product developers.

The aim of the work is to use the developed automated optical-mechanical device for measuring the tomographic parameters of the gums and external agents acting on it.

### FORMULATION OF THE PROBLEM

It is important in the practical application of interferometry in low-coherence light (coherence length 30  $\mu\text{m}$ ) for therapeutic dentistry, which uses various domestic and foreign toothpastes, to obtain optical parameters of these objects of study [6-11]. The main suppliers of toothpastes to the domestic market are companies from Italy, Germany and Great Britain. These companies recommend their product for the chemical composition of the substance. Obtaining optical parameters during tomographic studies of the presented samples is of great interest. This means that the presented project may be of interest for health care and personal care product researchers, in particular in therapeutic dentistry.

### EXPERIMENTAL OPTICAL-MECHANICAL DEVICE

To carry out experimental research, a setup was designed, the diagram of which is shown in Fig. 1.

**Fig. 1.** Diagram of an automated optical-mechanical installation.

1, 15 — superluminescent diodes; 2 — microlens; 3, 8 — beam splitters; 4 — investigated biological object; 5, 7, 9, 10, 11 — mirrors; 6, 14, 16 — photodetectors; 12 — modulator; 13 — diffraction gratings; 17 — speed detector; 18 — block for electronic signal processing; PC — computer

**Fig. 2.** External view of the automated optical-mechanical installation

The scheme is based on a Michelson interferometer, in which the object under study is placed instead of one of the mirrors.

A superluminescent diode 1 with a wavelength  $\lambda = 0.83 \mu\text{m}$ , a coherence length  $l_c = 30 \mu\text{m}$ , and an

emission power of 3 mW is used as an emission source. Microlens 2 ( $10\times$ ,  $f = 15.5 \text{ mm}$ ,  $A = 0.3$ ) focuses the source emission onto the controlled surface of the object 4 and onto the reference surface (mirror 9).

In the course of measurements, the optical path difference ( $O_1M - O_1N$ ) is modulated by scanning reference mirror 9 ( $O_1M$ ). It is mounted on a spring parallelogram mechanism, the oscillations of which are excited by electromagnetic modulator 12. The moment of equality of the optical lengths of the interferometer arms  $O_1M$  and  $O_1N$  corresponds to the maximum contrast of the interference field and, accordingly, to the maximum of photodetector 6 signal.

When scanning mirror 9, the change in the optical length of the reference arm of the interferometer is determined using pair of holographic diffraction gratings 13, one of which is stationary, the other is rigidly connected to scanning mirror 9. The direction of the mutual displacement of the diffraction gratings in the diagram is indicated by an arrow. The grating spacing is 1.5  $\mu\text{m}$ . The gratings are illuminated by source 15, the signal is recorded by photodetector 16.

The reference point is determined using the second Michelson interferometer formed by beam splitter 8, mirror 10 and scanning mirror 9, which is common to two interferometers. The reference point corresponds to the maximum signal of photodetector 14, which is observed at the moment when the arm lengths  $O_2L$  and  $O_2M$  are equal. This signal is a reference: the time position of the maximum of the information signal of photodetector 6 is counted relative to it.

In order to ensure the constancy of the spot diameter on the investigated area in the device, the spatial position of source 1 was modulated in time along the emission axis with the scanning frequency of reference mirror 9. In this case, the requirement of emission focusing was to be fulfilled at the ratio of the scanning amplitudes of the source and the reference mirror 1:60. The basis for defining this ratio was the distance to the investigated area (120 mm) and the focal length of the microlens 2 (15.5 mm).

This device allows to measure the distance to the object from a base plane that corresponds to a time position of the maximum of the reference signal of photodetector 14. The required information is contained in the time interval between the maxima of the signals of photodetectors 6 and 14. The specified time interval is found by counting the pulses of photodetector 16 when scanning diffraction grating 13.

To obtain the required information about the tomographic parameters, the signals of photodetectors 6, 14 and 16 are subjected to analog and digital processing.

The measurements were carried out with the following device specifications:

measurement error:

$$\sigma_z = (0.03-0.1) l_c \text{ — for } \theta = (0-30^\circ),$$

$$\sigma_z = (0.3-0.8) l_c \text{ — for } \theta = (45-60^\circ);$$

( $\theta$  — surface lighting angle)

measuring range

surface relief — 0–4 mm;

measurement frequency

— 46 1 / s;

average distance

from the optical head to the object — 120 mm.

### OBJECTS OF STUDY

The upper areas of the human gums of the middle age group (25–45 years old) were examined. Measurements were carried out on twenty patients in vivo. Gums were treated with LACALUT, PRESIDENT, PARODONTAX and Parodontocid gum toothpastes.

External research agents were purchased from the Ozerki pharmacy chain in St. Petersburg.

### EXPERIMENTAL RESULTS

The studied samples of external agents interacting with the gums allow to eliminate the soreness and bleeding of the gums. As a rule, gum toothpastes contain aluminum lactate, zinc lactate, as well as the antiseptic chlorhexidine (0.05–0.25), mineral salts, allotoin, bisabolol, thymol, eugenol, phenyl salicinate, and herbal extracts.

In this work, the reflection coefficients were measured over the depth of the investigated area (tomographic parameter) on the optical-mechanical device shown in Fig. 1. The appearance of device is shown in Fig. 2.

Areas of the upper gingival area 1×1 cm in size and 0.5 mm in depth were analyzed in 15 min after treatment with external agents. The measurements were carried out along the normal to the area under study. Fig. 3 shows the results of measurements with and without exposure to external agents on the controlled area of the biological object.

The device was operating in a scan mode, i.e. by modulating the path difference of the interfering beams, the distributions of the amplitudes of the reflected signals over the depth of the material under study were obtained. The amplitudes of the interference signals were recorded in proportion to the reflection coefficients of the unscattered component from the optical inhomogeneity, the position of which was determined by the equality of the lengths of the interferometer arms.

Fig. 3 shows the distribution of the reflection coefficient over the depth of the object under study without interaction with toothpastes (curve 1).

The results were obtained after the interaction of LACALUT toothpaste with the gum and it was found that at a depth of 0.5 mm, the reflection coefficient had the highest value (curve 2) in patients of the middle age group at a light wavelength of  $\lambda = 0.83 \mu\text{m}$ . Apparently this is due to the presence of aluminum lactate component in this toothpaste, which makes the main contribution to the unscattered reflective component.

When examining the gums treated with PRESIDENT toothpaste, the reflection coefficient at the same depth had a lower value than that of the previous treatment with LACALUT toothpaste (curve 3). Apparently, this is due to a change in the structural properties of the gum tissue after treatment with this agent. It can be assumed that zinc lactate in the structure of biological tissue has a lower reflectivity than aluminum lactate.

**Fig. 3.** Distribution of the reflection coefficient  $R$  over the gingival depth.

1 — in the absence of external agents; if available: 2 — LACALUT, 3 — PRESIDENT, 4 — PARODONTAX, 5 — Parodontocid

It was found that when PARODONTAX toothpaste was applied to the gums, the peak of the reflectance distribution curve over depth was lower than the peaks of two previous agents (curve 4). This paste contains mainly plant components, which were dissolved in the gum tissue, practically not participating in the reflective component of the emission.

After the treatment of the gums with Parodontocid, the emission at the investigated depth had practically no reflective properties (curve 5). Apparently, this is due to the absence of aluminum and zinc lactate in the substance.

Summing up the research, it should be noted that the rating of the presented gum toothpastes was identified in the authoritative scientific journals on dentistry. According to dentists, it is LACALUT and PRESIDENT that are more effective means to combat with soreness and bleeding of the gums. This is due to the presence of aluminum lactate and zinc lactate in these products. In the results revealed in Fig. 3, it can be seen that the reflection coefficients of these external agents at the gingival depth exceed the values of the reflection coefficients of PARODONTAX and Parodontocid.

Therefore, in further research and in the manufacture of dental products for the gums, it is necessary to take into account not only the chemical composition, but also the optical properties of the material.

### CONCLUSION

The specified functionality of an automated optical-mechanical device can be used to study changes in

optical properties at different depths of the gums, as well as mucous biological objects in the oral cavity in dynamics under the influence of various agents. The presented development can be used for the diagnosis (detection) of cancer at an early stage.

This work is of interest for optical instrumentation and health care, in particular, therapeutic dentistry.

## REFERENCES

1. Gelikonov V.M., Gelikonov G.V., Gladkova N.D., et al. [Coherent optical tomography of microuniodic relatives of biotangles]. *Pis'ma v ZHEHTF* [JETP letters], 1995, vol. 61, no. 2, pp. 149–153. (In Russ.).
2. Sasaki O., Okazaki H. Sinusoidal phase modulating interferometry for surface profile measurement. *Applied Optics*, 1986, vol. 25, no. 18, pp. 3137–3140. DOI: 10.1364/AO.25.003137
3. Chebbour A., Gorecki C., Tribillon G. Range finding and velocimetry with directional discrimination using a modulated laser diode Michelson interferometer. *Optics Communications*, 1994, vol. 111, no. 1-2, pp. 1–5. DOI: 10.1016/0030-4018(94)90129-5
4. Bol'shakov O.P., Kotov I.R., Khopov V.V., Maiorov E.E. [Coherent optic tomography of biofuels]. *Materialy III Vserossiiskoi NT konferentsii "Fundamental'nye issledovaniya v tekhnicheskikh universitetakh"* [Proc. of the III All-Russian NT Conference "Basic Research in Technical Universities"], 1999, pp. 151–152. (In Russ.).
5. Maiorov E.E., Guliev R.B., Shalamai L.I., Chernyak T.A., Dagaev A.V., Khokhlova M.V. [In vitro investigation of dental enamel by shift interferometry]. *Meditinskaya tekhnika* [Biomedical Engineering], 2020, no. 4, pp. 39–42. (In Russ.).
6. Arefiev A.V., Borodyansky Y.M., Guliyev R.B., Dagaev A.V., Maiorov E.E., Khokhlova M.V. [Measurement of the microrelief of non-smooth surfaces by an automated interferometer in low-coherent light]. *Izvestiya tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya Tula State University], 2020, no. 8, pp. 211–219. (In Russ.).
7. Kuzmina D.A., Mendosa E.Yu., Maiorov E.E., Narushak N.S., Sakerina A.I., Shalamay L.I. [Experimental studies of optical properties of hard tissues of anterior teeth and modern synthetic filling materials]. *Stomatologiya dlya vseh* [Dentistry for All], 2020, no. 4, pp. 58–62. DOI: 10.35556/idr-2020-4(93)58-62 (In Russ.).
8. Kuzmina D.A., Mendoza E.Yu., Maiorov E.E., Marushak N.S., Shalamay L.I. [Spectroscopy of dental tissues reflection *in vitro* and nanohybrid restoration materials]. *MEDICUS. Mezhdunarodnyi meditsinskii nauchnyi zhurnal* [International peer-reviewed scientific medical journal "MEDICUS"], 2020, vol. 35, no. 5, pp. 68–73. (In Russ.).
9. Maiorov E.E., Gromov O.V., Kurlov V.V., Koskovich V.B., Petrova E.A., Pushkina V.P., Tayurskaya I.S. [Investigation of the surface relief of biological objects by a control method that analyzes divergence]. *Izvestiya tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya Tula State University], 2021, no. 2, pp. 383–388. (In Russ.).
10. Gromov O.V., Mayorov E.E., Chernyak T.A., Udakhina S.V., Pisareva E.A., Konstantinova A.A. [Measurements of the optical properties of human skin *in vivo* under the influence of modern moisturizers]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal* [International research journal], 2021, vol. 105, no. 3-1, pp. 38–43. (In Russ.). DOI: 10.23670/IRJ.2021.105.3.006
11. Khokhlova M.V., Arefyev A.V., Maiorov E.E., Guliyev R.B., Dagaev A.V., Gromov O.V. [Experimental study of the metrological characteristics of the developed trigger-type optical probe]. *Pribory* [Devices], 2021, no. 5. pp. 8–16. (In Russ.).

Contacts: *Maiorov Evgeniy Evgen'evich*,  
majorov\_ee@mail.ru

Article received by the editorial office on 02.07.2021