

частотах деформации [6], что означает снижение сегментарной подвижности и, следовательно, уменьшение внутреннего трения в гидрогеле. При этом уменьшение  $E''$  было тем больше, чем выше концентрация CaAlg в составе полимерной сети. Это можно объяснить на основании уже вышесказанного о том, что жесткая физическая сетка альгината кальция блокирует движение более гибкой химической сетки полиакриламида. Следовательно, большая концентрация CaAlg существенно снижает сегментарную подвижность.

## ВЫВОДЫ

Увеличение содержания альгината кальция в составе взаимопроникающей полимерной сетки приводит к возрастанию вязкоупругих свойств композитных ГГ ПААм/CaAlg.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Effect of the polyacrylamide ferrogel elasticity on the cell adhesiveness to magnetic composite / F. A. Blyakhman, A. P. Safronov, O. G. Makeyev [et al.] // Journal of Mechanics in Medicine and Biology. – 2018. – Vol. 18, № 06. – P. 1850060.
2. Analysis of the degradation process of alginate-based hydrogels in artificial urine for use as a bioresorbable material in the treatment of urethral injuries / J. Kurowiak, A. Kaczmarek-Pawelska, A. G. Mackiewicz., R. Bedzinski // Processes. – 2020. – Vol. 8, № 3. – P. 304.
3. Nilsson, J. Adaptability in frequency and amplitude of leg movements during human locomotion at different speeds / J. Nilsson, A. Thorstensson // Acta Physiologica Scandinavica. – 1987. – Vol. 129, № 1. – P. 107–114.
4. Hydrogels Based on Polyacrylamide and Calcium Alginate: Thermodynamic Compatibility of Interpenetrating Networks, Mechanical, and Electrical Properties / A. P. Safronov, N. M. Kurilova, L. V. Adamova [et al.] // Biomimetics. – 2023. – Vol. 8, № 3. – P. 279.
5. Тагер А. А. Физико-химия полимеров / А. А. Тагер. – Изд-е 4-е, перераб. и доп. – Москва: Научный мир, 2007. – 573 с.
6. Ali, I. Rheological investigation of the viscoelastic thixotropic behavior of synthesized polyethylene glycol-modified polyacrylamide hydrogels using different accelerators / I. Ali, L. A. Shah // Polymer Bulletin. – 2021. – Vol. 78, №3. – P. 1275–1291.

## Сведения об авторах

А.В. Бугаёва\* – ассистент

Н.М. Курилова – аспирант

Т.Ф. Шкляр – доктор биологических наук, доцент

Ф.А. Бляхман – доктор биологических наук, профессор

## Information about the authors

A.V. Bugayova\* – Assistant Professor

N.M. Kurilova – PhD student

T.F. Shklyar – PhD, Doctor of Sciences (Biology), Associate Professor

F.A. Blyakhman – PhD, Doctor of Sciences (Biology), Professor

\*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):

antonina.v.bugayova@mail.ru

УДК: 620.3

## ВКЛАД МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ, МЕХАНИЧЕСКИЕ И АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СФЕРИЧЕСКИХ КОМПОЗИТНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ

Динисламова Ольга Алексеевна<sup>1</sup>, Бугаёва Антонина Владимировна<sup>1</sup>, Шабатов Павел Андреевич<sup>1,2</sup>, Шкляр Татьяна Фридриховна<sup>1,2</sup>, Бляхман Феликс Абрамович<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Екатеринбург, Россия

## Аннотация

**Введение.** Сферические полимерные гидрогели (ГГ) и феррогели (ФГ) на их основе являются перспективными биосовместимыми материалами для нужд адресной доставки лекарственных средств, заместительной терапии и регенеративной медицины. Физические характеристики таких материалов относят к числу целевых параметров при их синтезе и аппликации в биомедицине. **Цель исследования** состояла в количественной оценке влияния магнитных наночастиц (МНЧ) на электрические, механические и акустические свойства биосовместимых композитов сферической формы. **Материал и методы.** Были синтезированы сферические гидрогели ~2,4 мм в диаметре, из полиакриламида (ПААм) и альгината кальция (CaAlg), наполненные сферическими МНЧ (диаметром ~14 нм) оксида железа (маггемита) в концентрациях 0% и 10%. Модуль Юнга был использован в качестве меры механических свойств композитов. Электрические свойства материалов характеризовались с помощью микроэлектродной техники по разности потенциалов между внутренним содержимым образца и окружающей его средой (вода). В качестве меры акустических свойств композитов с помощью ультразвукового аппарата медицинского назначения была оценена интенсивность отраженного эхосигнала от границы раздела

гель/вода и внутреннего содержимого образцов. **Результаты.** Добавление МНЧ в композит ПААм/CaAlg сопровождалось достоверным увеличением модуля Юнга с 207 кПа до 258 кПа, а также яркости на границе раздела гель/вода с 180 до 230 и яркости внутреннего содержимого образцов с 50 до 164. При этом значимых отличий в разности потенциалов между ГГ и ФГ не было установлено ( $-52,0$  мВ и  $-47,5$  мВ, соответственно). **Выводы.** Добавление МНЧ в полимерную структуру композитов сферической формы на основе биосовместимых гидрогелей существенным образом изменяет их механические и акустические свойства, что необходимо учитывать при проектировании магнитоактивных материалов для биомедицинских приложений. **Ключевые слова:** гидрогель, феррогель, магнитные наночастицы, биомедицинские приложения.

## CONTRIBUTION OF MAGNETIC NANOPARTICLES TO THE ELECTRICAL, MECHANICAL AND ACOUSTIC PROPERTIES OF SPHERICAL COMPOSITE HYDROGELS

Dinislamova Olga Alekseevna<sup>1</sup>, Bugayova Antonina Vladimirovna<sup>1</sup>, Shabadrov Pavel Andreevich<sup>1,2</sup>, Shklyar Tatyana Fridrikhovna<sup>1,2</sup>, Blyakhman Felix Abramovich<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Ural State Medical University

<sup>2</sup>Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin  
Yekaterinburg, Russia

### Abstract

**Introduction.** Spherical polymer hydrogels (HG) and ferrogels (FG) based on them are promising biocompatible materials for the needs of targeted drug delivery, replacement therapy and regenerative medicine. The physical characteristics of such materials are among the target parameters for their synthesis and application in biomedicine. **The aim of the study** was to quantify the effect of magnetic nanoparticles (MNPs) on the electrical, mechanical and acoustic properties of biocompatible spherical composites. **Material and methods.** Spherical hydrogels ~2.4 mm in diameter were synthesized based on polyacrylamide (PAAm) and calcium alginate (CaAlg), and filled with spherical iron oxide (magnetite) MNPs (~14 nm in diameter) at concentrations of 0% or 10%. Young's modulus was served as a measure of the mechanical properties of composites. The electrical properties of the materials were characterized by the potential difference between the internal contents of the sample and its environment (water) using microelectrode technics. As a measure of the composite acoustic properties, the intensity of the reflected echo signal from the gel/water interface and the internal contents of the samples was assessed using an ultrasonic device for medical aims. **Results.** The addition of MNPs to the PAAm/CaAlg composite was accompanied by a significant increase in the Young's modulus from 207 kPa to 258 kPa, as well as the brightness at the gel/water interface from 180 to 230 and the brightness of the internal contents of the samples from 50 to 164. At the same time, there were no significant differences in the potential difference between HG and FG were not found ( $-52,0$  mV and  $-47,5$  mV, respectively). **Conclusions.** The addition of MNPs to the polymer structure of spherical composites based on biocompatible hydrogels significantly changes their mechanical and acoustic properties, which must be taken into account when designing magnetically active materials for biomedical applications. **Keywords:** hydrogel, ferrogel, magnetic nanoparticles, biomedical applications.

### ВВЕДЕНИЕ

К полимерным гидрогелям (ГГ) и феррогелям (ФГ) на их основе в последнее время проявляется повышенный интерес. Являясь биосовместимыми материалами, они создаются и изучаются в рамках разработки новых биомедицинских технологий. Добавление в гидрогели магнитных наночастиц (МНЧ) с образованием феррогеля приводит к формированию композитного материала, который обладает новыми полезными свойствами, связанными, прежде всего, с возможностью управления таким материалом с помощью магнитного поля [1]. Благодаря этому ФГ могут быть использованы для адресной доставки лекарственных средств и инкапсулированных клеток, а также в гипертермии при лечении онкологических заболеваний [2]. Важно, на основе ФГ могут быть созданы магнитоуправляемые системы сферической формы различного размера. Изучение влияния МНЧ на свойства сферических ФГ является важной задачей.

Исследование влияния МНЧ на изменение механических свойств композитных материалов на основе гидрогелей является обязательным условием успешного применения ФГ сфер. Значение упругих свойств материала существенно образом определяет совместимость клеток с полимером.

Так же важны исследования о влиянии МНЧ на электрохимические свойства ФГ. Известно, что между гидрогелем и окружающим его раствором существует разница потенциалов. Эта разница возникает на границе раздела фаз при невозможности перемещения

одного из ионов через межфазную границу [3]. Величина такого потенциала также влияет на биосовместимость клеток к ФГ.

Кроме того, акустические свойства ФГ также представляют большой интерес для исследования возможности визуализации биосовместимых систем *in vivo* с помощью ультразвукового исследования

**Цель исследования** состояла в количественной оценке влияния магнитных наночастиц на электрические, механические и акустические свойства биосовместимых композитов сферической формы.

#### **МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ**

Материалами исследования служили сферические образцы гидрогелей из взаимопроникающих полимерных сеток полиакриламида и альгината кальция (ГГ ПААм/CaAlg) и сферические образцы феррогелей на их основе, содержащие 10% массовой концентрации ( $\omega$ ) МНЧ оксида железа (ФГ ПААм/CaAlg) [4]. Размер наночастиц составлял 12 – 20 нм. Массовая концентрация акриламида (ААм) во всех гелях составляла 8%, а альгината – 2%. Размер сфер варьировался от 2,3 до 2,5 мм.

Для оценки упругих свойств исследуемым образцам ГГ и ФГ с помощью микровинта задавали ступенчатые деформации одноосного сжатия с шагом 50 мкм величиной до 5-7% от начального диаметра образцов со скоростью 1,5-2 мм/мин. Рассматривая исследуемые образцы ГГ и ФГ как упругие несжимаемые шарики, модуль упругости определяли, используя результаты решения контактной задачи Герца [5]. Согласно теории Герца связь между возникающей в шаре силой ( $F$ ), величиной деформации верхней части шара ( $h$ ), его радиусом ( $R$ ) и модулем Юнга ( $E$ ) материала шара выражается следующим образом:

$$F = \frac{16}{9} \sqrt{RE} h^{3/2}$$

Для определения величины модуля Юнга строили график зависимости  $F$  от  $h^{3/2}$ , имеющий в данных координатах линейный вид. Тангенс угла наклона прямой использовали для вычисления модуля упругости исследуемого образца. Исследовали по 4 образца каждого состава. На каждом образце измерения проводили 4-5 раз, изменяя начальное положение сферы. Таким образом, число измерений для каждого состава геля составляло 16 - 20. Для каждого типа геля были вычислены средние значения модуля упругости и границы доверительного интервала при уровне значимости  $p = 0,05$ .

Электрохимический потенциал ( $\phi$ ) в образцах определялся с помощью микроэлектродной техники, стандартно используемой для фиксации электрохимических потенциалов в живой клетке. В частности, применяли два идентичных стеклянных хлорсеребряных микроэлектрода с диаметром кончика около одного микрона. Микроэлектроды были изготовлены на основе капилляров TW150F-6 (World Precision Instruments, Inc. США), и заполнены 3 М раствором KCl. Один электрод помещался непосредственно в тело образца, другой – в окружающую его среду (дистиллированная вода). Разность потенциалов между микроэлектродами измеряли с помощью инструментального усилителя на базе интегральной схемы INA 129 (Burr-Brown, Dallas, Texas, США). Для уменьшения влияния электромагнитных помех на разность потенциалов оборудование было помещено в экранированную камеру.

Эхоконтрастные свойства сферических образцов ФГ и ГГ исследовались с помощью ультразвукового аппарата медицинского назначения Sonoline Adara («Siemens», Нидерланды). Образцы помещались на дно кюветы, заполненной водой объемом 500 мл, над ними на высоте 3 см устанавливали погруженный в воду линейный ультразвуковой датчик 7.5L45s Prima/Adara. Эхолокация проводилась при следующих параметрах: динамический диапазон ультразвукового устройства 66 дБ, рабочая частота 7,5 МГц, усиление 20 дБ, мощность 1,6%. Результаты эхолокации образцов с аппарата передавались на компьютер, где в дальнейшем производился анализ ультразвуковых изображений объектов. Яркость изображения определялась в соответствии со шкалой серого цвета, где максимальному значению яркости соответствовало число 255, а минимальному – 30. Оценивалась максимальная яркость

изображения на границе между сферическими образцами ФГ и ГГ ( $I_{\text{граница}}$ ) и водой, а также максимальная яркость внутри образцов ( $I_{\text{внутри}}$ ). Для каждого типа образцов были вычислены средние значения измеряемых параметров и границы доверительного интервала при уровне значимости  $p = 0,05$ . На рис. 1 представлены примеры ультразвуковой визуализации исследуемых образцов сферических гелей. Можно видеть, что ультразвуковое изображение сферических гелей, содержащих МНЧ, является эхогенным – хорошо визуализируются как границы образцов, так и их содержимое (рис. 1. Б). На уз-изображении гелей без магнитных частиц хорошо визуализируется только верхняя граница раздела сред гель/вода, а внутреннее содержимое неразличимо (рис. 1. А). Контур образца показан прерывистой линией на рисунке.

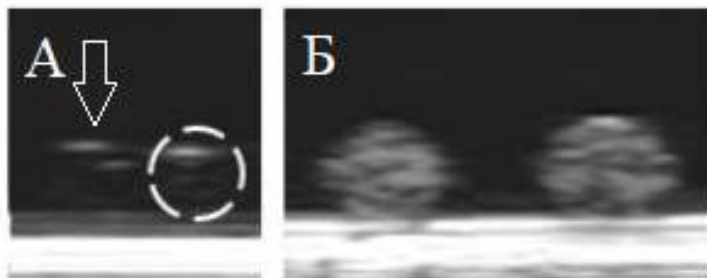


Рис.1. Примеры ультразвуковой визуализации сфер из ГГ ПААм/CaAlg (А) и ФГ ПААм/CaAlg (Б)

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В таблице 1 представлены полученные значения электрохимического потенциала ( $\varphi$ ), модуля упругости ( $E$ ) и яркости уз-изображений ( $I_{\text{граница}}$ ,  $I_{\text{внутри}}$ ) для ГГ и ФГ сфер.

Таблица 1.

Значения электрохимического потенциала ( $\varphi$ ), модуля упругости ( $E$ ) и яркости уз-изображения ( $I_{\text{граница}}$ ,  $I_{\text{внутри}}$ ) для ГГ и ФГ сфер

Образец геля	массовая концентрация компонентов $\omega$ , %			$\varphi$ , мВ	$E$ , кПа	$I_{\text{граница}}$	$I_{\text{внутри}}$
	CaAlg	ААм	МНЧ				
ГГ ПААм/CaAlg	2	8	-	$-(52,0 \pm 6,6)$	$207 \pm 19$	$180 \pm 5$	$50 \pm 1$
ФГ ПААм/CaAlg	2	8	10	$-(47,5 \pm 2,4)$	$258 \pm 17$	$230 \pm 6$	$164 \pm 10$

Добавление МНЧ в композит ПААм/CaAlg в массовой концентрации 10% привело к достоверному увеличению модуля Юнга с 207 кПа до 258 кПа. При этом яркость на границе раздела гель/вода значимо увеличивается с 180 до 230, а яркость внутреннего содержимого образцов – с 50 до 164. Величины разности потенциалов для исследуемых гелей имеют отрицательные значения и в пределах погрешности не имеют достоверных отличий.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что исследуемые гидрогели имеют отрицательные значения разности потенциалов. Природа электрических явлений в гелях связана с равновесным потенциалом Доннана, который возникает на границе гидрогеля и окружающего его раствора [3].

Альгиновая кислота является анионным полиэлектролитом, поскольку некоторые карбоксилатные остатки в геле ПААм/CaAlg не связаны в комплексы с ионами  $\text{Ca}^{2+}$ , а существуют в виде анионов. Эти ионизированные карбоксилатные остатки обеспечивают отрицательный суммарный заряд полимерных субцепей в физической сетке CaAlg, что и порождает его отрицательный потенциал.

Добавление магнитных наночастиц в композит в концентрации 10% не сопровождалось достоверным изменением потенциала в композитном феррогеле с двойной взаимопроникающей сеткой. Из этого следует, что за формирование электрохимического потенциала отвечает исключительно полимерная основа феррогеля.

В целом, полученные значения потенциала близки к физиологическому уровню потенциала невозбудимых клеток, который составляет от  $-40$  до  $-55$  мВ [6].

На уз-изображении ГГ ПААм/CaAlg можно различить только верхнюю границу раздела сред ГГ/вода. Яркость этой границы составила 180 (на рис. 1 помечено стрелкой). Внутреннее содержимое таких образцов не демонстрировало экзогенные свойства, контуры сферы из ГГ, помимо верхней границы, были неразличимы. Яркость на границе ФГ/вода для ФГ ПААм/CaAlg существенно выше и равна 230. Это является следствием добавления МНЧ в структуру гидрогеля, поскольку приводит к увеличению модуля упругости геля (с 207 кПа до 258 кПа). Полученные данные хорошо согласуются с предыдущими исследованиями [7], где было показано, что яркость уз-изображения ФГ линейно увеличивается с ростом модуля Юнга.

Добавление МНЧ в гидрогель приводит также к существенному увеличению яркости изображения внутри сфер. Яркость внутри ГГ ПААм/CaAlg составила 50, что практически не отличается от яркости фона (окружающая вода), которая равна 30. Яркость внутри ФГ ПААм/CaAlg увеличилась, достигнув значения 164. Данный факт имеет принципиальное значение, поскольку длина ультразвуковой волны много больше, чем размер наночастиц и априори они не могут быть различимы ультразвуковым аппаратом медицинского назначения. Можно заключить, что магнитные наночастицы формируют внутри полимерной сетки композита агрегаты, размер которых больше 200 мкм. Поэтому сферы из ФГ лучше визуализируются по сравнению со сферами из ГГ.

Таким образом, добавление магнитных частиц в прототипы имплантатов сферической формы позволяет существенным образом увеличить возможность ультразвуковой локализации объектов на основе биосовместимых гелей. При этом с помощью изменения концентрации МНЧ в композите можно регулировать жесткость субстрата из ФГ сфер под определенные задачи биомедицинской инженерии.

## **ВЫВОДЫ**

1. За формирование электрохимического потенциала в тестируемых композитах отвечает исключительно полимерная основа материала. Добавление МНЧ в ГГ в концентрации 10% не приводит к достоверным изменениям электрохимического потенциала. Полученные значения близки к физиологическому уровню потенциала невозбудимых клеток.

2. Добавление МНЧ в ГГ в концентрации 10% приводит к значимому увеличению модуля упругости и яркости уз-изображения ФГ сфер.

3. Добавление МНЧ в ГГ сферической формы позволяет существенным образом увеличить возможность ультразвуковой локализации объектов на основе биосовместимых гелей.

## **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Functional magnetic ferrogels: From biosensors to regenerative medicine / G. V. Kurylyanskaya, F. A. Blyakhman, E. B. Makarova [et al] // *AIP Advances*. – 2020. – Vol. 10, № 12. – P. 125128.
2. Awasthi, S. A Review on Hydrogels and Ferrogels for Biomedical Applications / S. Awasthi // *JOM*. – 2021. – Vol. 73, № 8. – P. 2440–2451.
3. Quantitative Observation of Electric Potential Distribution of Brittle Polyelectrolyte Hydrogels Using Microelectrode Technique / H. Guo, T. Kurokawa, M. Takahata [et al] // *Macromolecules*. – 2016. – Vol. 49, № 8. – P. 3100–3108.
4. Design of Spherical Gel-Based Magnetic Composites: Synthesis and Characterization / P. A. Shabadrov, A. P. Safronov, N. M. Kurilova, F. A. Blyakhman // *Journal of Composites Science*. – 2023. – Vol. 7, № 5. – P. 177.
5. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учебное пособие в 10 томах. Т. 7 / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – Москва : Наука, 1987. – 248 с.
6. *Molecular Biology of the Cell* : 6th ed. Garland Science / B. Alberts, A. Johnson, J. Lewis [et al]. – New York, 2015 – 1465 p.
7. Echogenic Advantages of Ferrogels Filled with Magnetic Sub-Microparticles / O.A. Dinislamova, A.V. Bugayova, T.F. Shklyar [et al] // *Bioengineering*. – 2021. – Vol. 8. – P. 140.

## **Сведения об авторах**

О.А. Динисламова\* – старший преподаватель

А.В. Бугаёва – ассистент

П.А. Шабаров – ассистент

Т.Ф. Шкляр – доктор биологических наук, доцент

Ф.А. Бляхман – доктор биологических наук, профессор

## **Information about the authors**

O.A. Dinislamova\* – Senior Lecturer

A.V. Bugayova – Assistant Professor

P.A. Shabadrov – Assistant Professor

T.F. Shklyar – PhD, Doctor of Sciences (Biology), Associate Professor

F.A. Blyakhman – PhD, Doctor of Sciences (Biology), Professor  
\*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):  
ODinislamova@gmail.com

УДК: 546.655

## СИНТЕЗ КОМПОЗИТНЫХ ТЕСТ-СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЦЕРИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ГЛЮКОЗЫ В РАСТВОРЕ

Лапина Полина Константиновна, Чебыкина Полина Николаевна, Бажукова Ирина Николаевна, Мышкина Александра Владимировна  
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»  
Екатеринбург, Россия

### Аннотация

**Введение.** Создание композитных материалов на основе наночастиц оксида церия, являющихся индикаторными агентами за счет биокаталитической активности, способно адаптировать процесс определения лабораторных показателей под повседневную жизнь пользователя. **Цель исследования** – получить композитные тест-полоски с добавлением наночастиц оксида церия согласно разработанной методике для визуального определения содержания широкого диапазона концентраций глюкозы в пробе. **Материал и методы.** В работе используется нанопорошок оксида церия, полученный методом химического осаждения. Образование агломератов в суспензии исключается путем модификации поверхности частиц мальтодекстрином. Композитной матрицей служит карбоксиметилцеллюлоза ввиду механических свойств материала. Оценку колориметрических характеристик проводили на основе анализа RGB-модели изображения и перевода рисунка в оттенки серого. **Результаты.** Синтезированные тест-системы показали высокую эффективность выявления содержания глюкозы в водном растворе с концентрациями 54 мМ–135 мМ. **Выводы.** Данные колориметрического анализа тест-полосок определяют широкий рабочий диапазон их практического применения и подтверждают результативность разработанной методики. Полученные в работе результаты могут служить базисом для создания материалов с большей чувствительностью к малым концентрациям глюкозы, что обеспечит медико-биологическое приложение данной разработки.

**Ключевые слова:** композитные материалы, наночастицы оксида церия, колориметрия, тест-полоски, детекция глюкозы.

## SYNTHESIS OF COMPOSITE TEST SYSTEMS BASED ON CERIUM OXIDE FOR DETERMINATION OF GLUCOSE LEVEL IN SOLUTION

Lapina Polina Konstantinovna, Chebykina Polina Nikolaevna, Bazhukova Irina Nikolaevna, Myshkina Alexandra Vladimirovna  
Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin  
Yekaterinburg, Russia

### Abstract

**Introduction.** The design of composite materials based on cerium oxide nanoparticles, which are indicator agents due to biocatalytic activity, is able to adapt the process of determining laboratory indicators to the daily life of the user. **The aim of this study** is to obtain composite test system with the addition of cerium oxide nanoparticles according to the developed methodology for visual determination of a wide range glucose concentrations. **Material and methods.** Cerium oxide nanopowder was obtained by chemical precipitation method. The formation of agglomerates in the suspension is excluded by modifying the particle surface with maltodextrin. The composite matrix is carboxymethylcellulose due to the mechanical properties. The color characteristics were analyzed based on the transition from RGB model of the image to grayscale. **Results.** Synthesized test systems showed high efficiency in detecting glucose content in aqueous solution with concentrations of 54 mM to 135 mM. **Conclusion.** The colorimetric analysis data of test system determine a wide working range of their practical application and confirm the effectiveness of the developed methodology. The results obtained can serve as a basis for the design of materials with greater sensitivity to low concentrations of glucose, which will provide medical and biological application of this development.

**Keywords:** composite materials, cerium oxide nanoparticles, colorimetry, test strips, glucose detection.

### ВВЕДЕНИЕ

Содержание глюкозы в крови является одним из важнейших медицинских показателей углеводного обмена, величина которого вне референсного интервала определяет нарушения работы систем внутренних органов. Проведение своевременной диагностики уровня глюкозы в крови с использованием новых технических средств, характеризующихся высокой