

## 36. Исследование стабильности дифракционных решеток из пищевых биополимеров

*А. П. Торопова, М. И. Фокина*

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия

В работе рассмотрена стабильность дифракционных решеток, изготовленных методом наноимпринта из пищевых биополимеров — альгината натрия, желатина и пектина при хранении в различных условиях. Выполнена оценка влияния повышенной температуры и влажности на дифракционную эффективность и время жизни дифракционных решеток. Свойство дифракционных решеток из пищевых биополимеров разрушаться под воздействием температуры и влажности позволяет использовать их в качестве датчиков для контроля условий хранения пищевых и фармацевтических продуктов.

*Ключевые слова:* Дифракционная решетка, Голографические датчики, Желатин, Альгинат натрия, Пектин.

*Цитирование:* **Торопова, А. П.** Исследование стабильности дифракционных решеток из пищевых биополимеров / А. П. Торопова, М. И. Фокина // HOLOEXPO 2019 : XVI международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. — С. 190–193.

В предыдущих работах была показана возможность создания радужных голограмм и дифракционных решеток из пищевых полимеров с целью декорирования пищевых продуктов, рассмотрено время жизни дифракционных решеток при хранении в нормальных условиях [1]. В настоящей работе представлены результаты исследования стабильности дифракционных решеток из пищевых полимеров при хранении в различных условиях. Пищевые полимеры чувствительны к воздействию температуры и влажности окружающей среды. Эта особенность может быть использована для разработки голографических датчиков — показателей соблюдения условий хранения пищевых и фармацевтических продуктов. Идея создания пищевых датчиков, которые наносятся непосредственно на поверхность пищевых продуктов, и позволяют отслеживать сохранность этих продуктов, становится в последнее время актуальной [2, 3].

Для исследования выбраны пищевые полимеры — желатин, пектин и альгинат натрия. Желатин — белковый продукт, получаемый в результате обработки коллагена, содержащегося в костях, хрящах, сухожилиях животных, имеет форму порошка от буроватого до белого цвета без вкуса и запаха, растворим в воде, не растворим в органических растворителях. Пектин — полисахарид, получаемый из отходов производства фруктовых соков, представляет собой порошок белого, желтоватого, сероватого или коричневатого цвета, хорошо растворим в горячей воде, средне растворим в холодной воде и спиртах. Альгинат натрия — полисахарид, получаемый из бурых водорослей, имеет форму порошка от желтовато-белого цвета, растворим в воде, не растворим в спирте и органических растворителях. Все три материала применяются

Таблица 1. Физические свойства пленок из пищевых биополимеров

Биополимер	Показатель преломления	Влагоемкость, %	Толщина пленки, мкм	Коэффициент пропускания, %
Желатин	1,62	44	20	70–95
Пектин	1,51	25	16	65–80
Альгинат натрия	1,52	100	18	70–90

в пищевой и фармацевтической промышленности в качестве гелеобразователей, загустителей, стабилизаторов, влагоудерживающих агентов, покрытий и средств для капсулирования [4].

Из указанных материалов были приготовлены 5 % водные растворы, порошки были залиты водой, оставлены для набухания на 30 минут, затем установлены на магнитную мешалку с подогревом. Раствор альгината натрия готовился при комнатной температуре 23 °С, раствор желатина был нагрет до температуры 60 °С, а раствор пектина — до 85 °С [4]. Из полученных растворов приготовлены пленки и выполнена оценка их характеристик. Показатели преломления измерены на рефрактометре ИРФ-454, толщины пленок измерены микрометром, спектры пропускания записаны в диапазоне 300–900 нм с помощью спектрофотометра Shimadzu UV-1800. Влагоемкость пленок оценена как процентное отношение массы воды, поглощенной пленкой, к массе пленки, для чего пленки в течение суток находились в среде с влажностью 99 %. В таблице ниже приведены результаты измерений.

Из указанных растворов изготовлены образцы дифракционных решеток методом нанопринта [5]: раствор биополимера нанесен на стеклянную подложку, поверх него помещена силиконовая форма с дифракционной решеткой с периодом 600 линий на мм, образец высушен, форма снята после отверждения материала.

Для полученных образцов измерена дифракционная эффективность — характеристика яркости голографического изображения, которая оценивается как отношение интенсивности излучения в первом порядке дифракции к сумме интенсивностей в первом и нулевом порядках дифракции. Измерения интенсивностей проводились в проходящем свете диодного лазера с длиной волны 625 нм с помощью люксметра «ТКА-ПКМ-06». Дифракционная эффективность оценивались для образцов, хранящихся в различных условиях:

- в нормальных условиях — при температуре не более 25 °С влажности не более 50 %,
- в условиях с повышенной температурой 35 °С и влажностью 10 %,
- в условиях с повышенной температурой 35 °С и повышенной влажностью 99 %,
- в условиях с пониженной температурой +5 °С и влажностью 50 %.

Оценка дифракционной эффективности выполнена в день изготовления образцов и спустя месяц по 5 точкам на каждом образце. В таблице 2 представлены результаты измерений.

По полученным данным видно, что образцы из альгината натрия имеют дифракционную эффективность меньше, чем образцы из желатина и пектина. При хранении образцов в течение месяца в нормальных условиях — при температуре не выше 25 °С и влажности не более

Таблица 2. Дифракционная эффективность решеток из пищевых биополимеров при хранении в различных условиях окружающей среды

Условия хранения	Материал					
	Альгинат натрия		Желатин		Пектин	
	Дифракционная эффективность, %					
	I – измеренная в день изготовления, II – измеренная через месяц					
	I	II	I	II	I	II
Температура не более 25 °С Влажность не более 50 %	3,2	3,0	6,9	6,7	5,9	4,9
Температура 35 °С Влажность 10 %	3,0	0,4	7,0	6,5	5,7	3,8
Температура 35 °С Влажность 99 %	3,2	0,2	6,3	0,3	5,8	0,2
Температура +5 °С Влажность 50 %	3,9	0,2	6,0	1,1	5,5	4,0

50 % наблюдается незначительное уменьшение дифракционной эффективности. Дифракционные решетки из альгината натрия более чувствительны к воздействию повышенной температуры, чем решетки из желатина и пектина. Дифракционные решетки из всех материалов значительно деградировали под воздействием повышенной температуры и повышенной влажности, причем радужный эффект стал слабо заметен в среднем уже на 20-ый день. В тоже время при хранении образцов в нормальных условиях дифракционная решетка сохраняется и радужный эффект различим глазом в течение года.

Полученные результаты показывают, что пищевые биополимеры, в частности, желатин, пектин и альгинат натрия, чувствительны к воздействию температуры и влажности среды, время жизни дифракционных решеток при хранении в нормальных условиях составляет год, а при повышенной температуре и влажности снижается до 20 дней. Это свойство может быть использовано для разработки датчиков — показателей соблюдения условий хранения пищевых и фармацевтических продуктов. Такие датчики могут наноситься на поверхности пищевых и фармацевтических продуктов и визуально сигнализировать потребителю о сохранности продуктов. В настоящее время у потребителей есть возможность проверить только соответствие сроку годности, предлагаемый датчик даст возможность оценить сохранность продукта, что особенно актуально для продуктов, чьи свойства меняются под влиянием окружающей среды.

### Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям.

### Список источников

- [1] **Торопова, А. П.** Особенности создания дифракционного микрорельефа на поверхности пищевых продуктов / А. П. Торопова, М. И. Фокина // Голография. Наука и практика: XIV международная конференция HOLOEXPO 2017: тезисы докладов. — 2017. — С. 219–221.

- [2] **Тао, Н.** Silk-Based Conformal, Adhesive, Edible Food Sensors / Н. Tao, М. А. Brenckle, М. Yang, J. Zhang, М. Liu, S. M. Siebert, R. D. Averitt, М. S. Mannoор, М. С. McAlpine, J. A. Rogers, D. L. Kaplan, F. G. Omenetto // *Advanced Materials*. — 2012. — 6 p.
- [3] **Uji, T.** Edible Retroreflector / Takahiro Uji, Yiting Zhang, Hiromasa Oku // *Proceedings of VRST'17*. — Gothenburg, Sweden, 2017. — 8 p.
- [4] **Сарафанова, Л. А.** Пищевые добавки. Энциклопедия. — 2-е издание, исправленное и дополненное. — СПб: ГИОРД, 2004. — 808 с.
- [5] **Арефьева, Н. Н.** Наноимпринт — формирование нано- и микроэлементов фотоники контактным копированием / Н. Н. Арефьева, И. Ю. Денисюк // СПб: Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. — 2008. — С. 229–234