

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, МАШИНЫ И АППАРАТЫ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ

## TECHNOLOGICAL PROCESSES, MACHINES AND APPARATUS FOR PROCESSING AQUATIC BIORESOURCES

Научная статья  
УДК 664.97.664.959.5  
<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2026-1-109-118>  
EDN TLYRFZ

### Особенности поглощения энергии инфракрасного (радиационного) излучения оптически тонким слоем вспененного ихтиожелатина из чешуи промысловой (частиковой) и прудовой рыбы

---

*Н. П. Дяченко<sup>1✉</sup>, Ю. А. Максименко<sup>2</sup>, И. Ю. Александян<sup>3</sup>,  
В. П. Дяченко<sup>4</sup>, Б. В. Набатов<sup>5</sup>, Э. П. Дяченко<sup>6</sup>*

<sup>1-4</sup>*Астраханский государственный технический университет,  
Астрахань, Россия, [dyachenkonik93@gmail.com](mailto:dyachenkonik93@gmail.com)<sup>✉</sup>*

<sup>5</sup>*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,  
Москва, Россия*

<sup>6</sup>*Институт медицинских материалов,  
Москва, Россия*

---

**Аннотация.** Создание эффективных ресурсосберегающих технологий производства желатина из мало освоенных отходов рыбопереработки имеет большое значение для продовольственной безопасности страны в силу преобладания на российском рынке импортной продукции. Желатин поставляется потребителям в виде порошка или пластин. Для совершенствования процесса сушки желатина перспективным является применение радиационного энергоподвода в отношении вспененного продукта, что вызывает необходимость комплексного изучения материала, в том числе исследования и анализа его оптических и терморadiационных свойств. Представлены результаты исследования особенностей поглощения тепловой энергии оптически тонким слоем вспененного ихтиожелатина, полученного из чешуи рыбы Астраханского региона, при его облучении рядом генераторов излучения (излучателей). Исследования проводились экспериментально-аналитически с использованием спектрофотометра UV-Vis-NIR Cary 5000 (Varian) при облучении продукта различными генераторами. В результате получены и проанализированы зависимости распределения объемной плотности поглощенной энергии излучения по глубине оптически тонкого пенослоя ихтиожелатина, справедливые для диапазона влажности  $0,14 \leq w \leq 0,76$  кг/кг и глубины пенослоя  $0,000 \leq x \leq 0,004$  м. Указанные зависимости применимы для последующего моделирования нестационарных полей температуры в продукте в процессе радиационной или конвективно-радиационной пеносушки продукта (в том числе в виброкипящем слое гранул) с подводимой к продукту суммарной плотностью теплового потока  $E = 3\ 060$  Вт/м<sup>2</sup>, являющейся рациональной для реализации процесса. В результате анализа зависимостей, а также соотношения спектральных характеристик генераторов излучения и облучаемого ими исследуемого продукта подтверждена целесообразность применения кварцевых галогенных трубок (КГТ) с подаваемым на них напряжением 220 В для обеспечения наиболее равномерного прогрета пенослоя ихтиожелатина в инфракрасном спектральном диапазоне  $800 \leq \lambda \leq 2\ 500$  нм в течение всего процесса сушки и, соответственно, более эффективной реализации процесса влагоудаления.

**Ключевые слова:** пенослой, ихтиожелатин, рыбные отходы, радиационный энергоподвод, терморadiационные характеристики, тепловой поток, оптические характеристики

**Благодарности:** в части исследования оптических свойств работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Структурная диагностика материалов» Курчатовского комплекса кристаллографии и фотоники НИЦ «Курчатовский институт» при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

**Для цитирования:** Дяченко Н. П., Максименко Ю. А., Алексанян И. Ю., Дяченко В. П., Набатов Б. В., Дяченко Э. П. Особенности поглощения энергии инфракрасного (радиационного) излучения оптически тонким слоем вспененного ихтиожелатина из чешуи промысловой (частиковой) и прудовой рыбы // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2026. № 1. С. 109–118. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2026-1-109-118>. EDN TLYRFZ.

Original article

## Features of absorption of infrared (radiation) energy by an optically thin layer of foamed ichthyogelatin from the scales of commercial (ordinary) and pond fish

N. P. Diachenko<sup>1✉</sup>, Yu. A. Maksimenko<sup>2</sup>, I. Yu. Aleksanyan<sup>3</sup>,  
V. P. Diachenko<sup>4</sup>, B. V. Nabatov<sup>5</sup>, E. P. Diachenko<sup>6</sup>

<sup>1-4</sup>Astrakhan State Technical University,  
Astrakhan, Russia, [dyachenkonik93@gmail.com](mailto:dyachenkonik93@gmail.com)✉

<sup>5</sup>National Research Centre “Kurchatov Institute”,  
Moscow, Russia

<sup>6</sup>Institute of Medical Materials,  
Moscow, Russia

**Abstract.** The development of efficient resource-saving technologies for the production of gelatin from underutilized fish processing waste is of great importance for the country's food security due to the prevalence of imported products on the domestic market. Gelatin is supplied to consumers in the form of powder or plates. To improve the gelatin drying process, it is promising to use radiation energy supply in relation to the foamed product, which necessitates a comprehensive study of the material, including research and analysis of its optical and thermoradiation properties. The article presents the results of a study of the features of thermal energy absorption by an optically thin layer of foamed ichthyogelatin obtained from the scales of fish from the Astrakhan region, when irradiated by a number of radiation generators (emitters). The studies were carried out experimentally and analytically using a UV-Vis-NIR Cary 5000 spectrophotometer (Varian) with product irradiation by different generators. As a result, the dependences distributions of the volumetric density of the absorbed radiation energy by the depth of an optically thin ichthyogelatin foam layer were obtained and analyzed, valid for the humidity range of  $0.14 \leq w \leq 0.76$ , kg/kg and a foam layer depth of  $0.000 \leq x \leq 0.004$ , m. The specified dependences are applicable for subsequent modeling of non-stationary temperature fields in the product during radiation or convective-radiation foam drying of the product (including in a vibrofluidized bed of granules) with a total heat flux density  $E = 3\,060$  W/m<sup>2</sup> supplied to the product, which is rational for the implementation of the process. As a result of the analysis of the dependencies, as well as the ratio of the spectral characteristics of the radiation generators and the studied product irradiated by them, the expediency of using quartz halogen tubes emitters with a voltage of 220 V supplied to them was confirmed to ensure the most uniform heating of the ichthyogelatin foam layer in the infrared spectral range of  $800 \leq \lambda \leq 2\,500$  nm during the entire drying process and, accordingly, more efficient implementation of the moisture removal process.

**Keywords:** foam layer, ichthyogelatin, fish waste, radiation energy supply, thermoradiative characteristics, heat flow, optical characteristics

**Acknowledgment:** in a part of investigation of optical properties this work was carried out using the equipment of Shared Research Center “Structural diagnostics of materials” of the Kurchatov Complex Crystallography and Photonics NRC “Kurchatov institute” under support of Ministry of science and higher education of the Russian Federation within the state assignment of NRC “Kurchatov Institute”.

**For citation:** Diachenko N. P., Maksimenko Yu. A., Aleksanyan I. Yu., Diachenko V. P., Nabatov B. V., Diachenko E. P. Features of absorption of infrared (radiation) energy by an optically thin layer of foamed ichthyogelatin from the scales of commercial (ordinary) and pond fish. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry*. 2026;1:109-118. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2026-1-109-118>. EDN TLYRFZ.

### Введение

На сегодняшний день желатин остается одним из наиболее востребованных продуктов животного происхождения, поставляемых потребителям в сухом виде и имеющих широкий спектр применения,

в том числе в производстве продуктов питания, лекарственных препаратов и косметических средств. Следует отметить, что высокая потребность в желатине удовлетворяется импортной продукцией, доля которой на российском рынке превышает 90 % [1],

что обостряет необходимость создания новых конкурентоспособных технологий получения продукта, в том числе из альтернативных коллагенсодержащих источников, в частности из отходов рыбной промышленности [2–4].

Отходы переработки рыбы представляют собой богатый коллагеном, но мало освоенный источник сырья. Создание эффективного производства желатина на основе подобных отходов нуждается в совершенствовании каждой стадии производства, в том числе заключительного процесса – процесса сушки желатинового бульона – как наиболее энергоемкого, влияющего на качество получаемого сухого продукта [5, 6].

Сушка при инфракрасном (радиационном) энергоподводе, в сравнении с традиционно применяющейся в промышленности конвективной сушкой термолабильных пищевых и кормовых продуктов, является более перспективным подходом для ускорения процесса обезвоживания термолабильных материалов, к которым относится желатин [6–8]. Вместе с тем создание инфракрасных сушилок для переработки желатинового бульона и внедрение такой техники в производство сухого желатина, в том числе разработка рациональных режимов влагоудаления, затруднительны без комплексного исследования свойств обезвоживаемого материала, в частности оптических и терморadiационных, без их учета при выборе технических решений реализации процесса сушки [6, 9].

Целью исследований являлось изучение особенностей поглощения тепловой энергии оптически тонким слоем вспененного икhtiожелатина при его нагреве различными генераторами излучения (излучателями) как исходных данных для совершенствования процесса конвективно-радиационной пеносушки гранул продукта в виброкипящем слое.

#### Объекты и методы исследования

Для достижения поставленной цели было необходимо получить зависимости  $W = f(x, w)$ , Вт/м<sup>3</sup>, распределения объемной плотности поглощенной энергии излучения по глубине слоя вспененного икhtiожелатина  $x$ , м, являющегося оптически тонким слоем, для диапазона влажности продукта  $w$ , кг/кг, соответствующего реальной влажности в процессе

сушки слоя при его двустороннем облучении различными генераторами.

Зависимости  $W = f(x, w)$ , Вт/м<sup>3</sup>, были рассчитаны с использованием метода усредненных оптических и терморadiационных характеристик материала. В качестве исходных данных для расчета зависимостей использовались направленно-полусферические терморadiационные характеристики исследуемого продукта, а также приведенные в литературных источниках сведения о спектральных характеристиках генераторов излучения [6, 10, 11]. Поскольку гранула (частица) исследуемого материала в процессе сушки в виброкипящем слое вращается вокруг своей оси при хаотичном движении, перемешивании и соударении с соседними гранулами, для расчета принято, что процесс влагоудаления осуществляется при объемном двустороннем радиационном энергоподводе. Для удобства и интенсификации вычислений на основе указанного метода разработана программа для ЭВМ, позволяющая осуществить расчет оптических характеристик пищевых и кормовых материалов (паст, гелей, фаршей, плодовоовощных продуктов и т. п.) как объектов сушки в оптически тонком слое при двустороннем инфракрасном энергоподводе [12].

В качестве объектов исследования использовались образцы вспененного икhtiожелатина в форме пластин квадратной формы и заданной толщины ( $h = 0,002$  м и  $h = 0,004$  м) в гелеобразном (влажном) и обезвоженном (сухом) состоянии. Используемый для формирования образцов желатин получали посредством экстрагирования из отходов переработки промысловой и прудовой рыбы – из чешуи толстолобика, карпа, сазана, а также белого амура. Экстрагирование продукта осуществлялось по методике, подробно описанной в работе [4].

Данные о спектрах отражения  $R_\lambda$ , %, и пропускания  $T_\lambda$ , %, (терморadiационных, направленно-полусферических свойствах) образцов получены на спектрофотометре UV-Vis-NIR Cary 5000 (Varian) с приставкой интегрирующей сферы DRA-2500, для чего образцы устанавливались в держатель прибора; гелеобразные образцы предварительно помещались в кварцевую кювету.

В табл. 1 приведены значения основных параметров, принятых для проведения исследований.

Таблица 1

Table 1

**Основные параметры исследований оптических и терморadiационных характеристик вспененного икhtiожелатина из чешуи промысловой (частиковой) и прудовой рыбы**  
**The main parameters of optical and thermoradiological characteristics studies foamed ichthyogelatin from scales of commercial (particle) and pond fish**

Параметр	Значение
Влажность продукта $w$ , кг/кг	$0,14 \leq w \leq 0,76$
Спектральный диапазон $\lambda$ , нм	$800 \leq \lambda \leq 2\,500$
Глубина оптически тонкого слоя $x$ , м	$0,000 \leq x \leq 0,004$
Плотность генерируемого излучателем теплового потока, падающего с одной стороны слоя $E_n$ , Вт/м <sup>2</sup> (общая плотность подводимого к слою теплового потока $E = 3\,060$ Вт/м <sup>2</sup> )	1 530

Дяченко Н. П., Максименко Ю. А., Алексанян И. Ю., Дяченко В. П., Набатов Б. В., Дяченко Э. П. Особенности поглощения энергии инфракрасного (радиационного) излучения оптически тонким слоем вспененного ихтиожелатина из чешуи промысловой (частиковой) и прудовой рыбы

Выбор диапазона инфракрасной области спектра обусловлен техническими характеристиками спектрофотометра UV-Vis-NIR Cary 5000 (Varian), вместе с тем диапазон согласуется с литературными данными аналогичных исследований в отношении других биополимерных материалов [6, 10–13].

Диапазон влажности исследуемого материала в отношении нижней границы обусловлен требованиями ГОСТ 11293-2017 к качеству сухого желатина, в отношении верхней – свойствами образуемой из раствора ихтиожелатина пеноструктуры, при которых достигается наибольшая стабильность пены, что, в свою очередь, позволяет обеспечить более эффективную реализацию процесса влагоудаления [6].

Верхняя граница глубины оптически тонкого слоя соответствует его толщине  $h$ , м, выбор которой основан на эмпирических данных, полученных в результате предварительных экспериментальных исследований пеносушки ихтиожелатина при конвективно-радиационном энергоподводе [8].

Значение величины  $E_n$  (см. табл. 1) для исследо-

ваний выбрано на основе данных предварительных экспериментов по реализации процесса конвективно-радиационной пеносушки гранул ихтиожелатина в виброожиженном состоянии, а также данных научно-технической литературы [6, 8].

Расчет оптических характеристик проводился с использованием сведений об относительной интенсивности электромагнитного излучения в рассматриваемом диапазоне спектра следующих генераторов излучения [6, 10, 11]: металлическая плитка (МП), кварцевый излучатель (кварцевая галогенная трубка КГТ-220-1000), трубчатый электронагреватель (ТЭН), плитка газового инфракрасного излучения (ПГИИ), нихромовая спираль в кварцевой трубке (НС).

### Результаты и обсуждение

Примеры полученных на спектрофотометре данных о спектрах отражения  $R_\lambda, \%$  и  $T_\lambda, \%$  в отношении объектов исследования представлены на рис. 1 и 2.

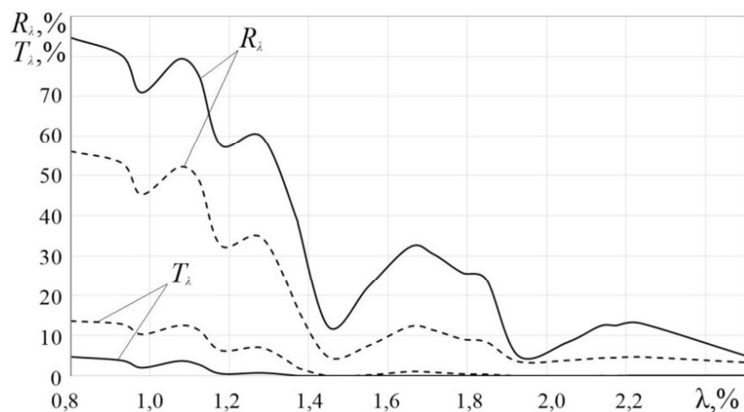


Рис. 1. Кривые направленно-полусферических терморadiационных характеристик пенослоя ихтиожелатина толщиной  $h_n = 0,004$  м (—) и  $h_n = 0,002$  м (- - -) при  $w = 0,76$  кг/кг

Fig. 1. Curves of directional hemispherical thermal radiation characteristics of a foam layer of ichthyogelatin with a thickness of  $h_n = 0.004$  m (—) and  $h_n = 0.002$  m (- - -) at  $w = 0.76$  kg/kg

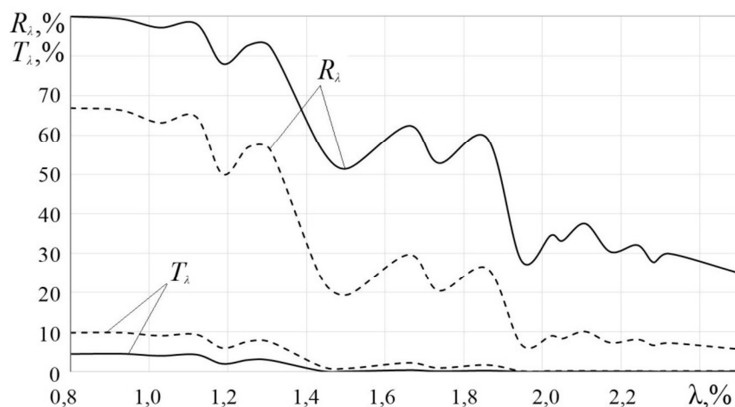


Рис. 2. Кривые направленно-полусферических терморadiационных характеристик пенослоя ихтиожелатина толщиной  $h_n = 0,004$  м (—) и  $h_n = 0,002$  м (- - -) при  $w = 0,14$  кг/кг

Fig. 2. Curves of directional hemispherical thermal radiation characteristics of a foam layer of ichthyogelatin with a thickness of  $h_n = 0.004$  m (—) and  $h_n = 0.002$  m (- - -) at  $w = 0.14$  kg/kg

Графики рис. 1, 2 демонстрируют, что независимо от влажности при увеличении толщины слоя  $h_n$  уменьшается пропускательная способность продукта и увеличивается отражательная, что закономерно. Сопоставление направленно-полусферических терморрадиационных характеристик пенослоя ихтиожелатина (в частности, пропускательной способности пенослоя  $T_{\lambda}$ , %) со спектральными характеристиками генераторов излучения (рис. 3) позво-

ляет сделать вывод о том, что для исследуемого материала в рассматриваемом спектральном диапазоне именно для излучателей КГТ (при 220 В) максимальные значения излучения соответствуют области высокой проницаемости пенослоя, что, в свою очередь, в сравнении с остальными генераторами излучения способствует более равномерному прогреву обезвоживаемого материала по толщине слоя.

Diaschenko N. P., Maksimenko Yu. A., Aleksanyan I. Yu., Diaschenko V. P., Navtsov V. V., Diaschenko E. P. Features of absorption of infrared (radiation) energy by an optically thin layer of foamed ichthyogelatin from the scales of commercial (originary) and pond fish

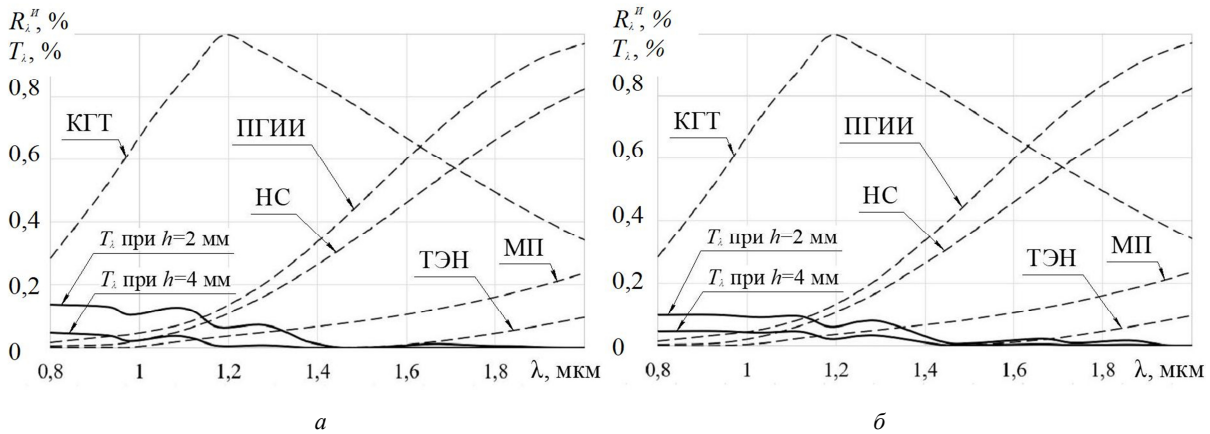


Рис. 3. Относительная интенсивность электромагнитного излучения  $R_{\lambda}^H$ , %, различных генераторов излучения (---) в сопоставлении со спектром пропускания  $T_{\lambda}$ , %, объектов исследования (—) для рассматриваемых  $\lambda$ ,  $h_n$  и  $w$ :  $w = 76\%$  (а);  $w = 14\%$  (б)

Fig. 3. The relative intensity of electromagnetic radiation  $R_{\lambda}^H$ , %, from various radiation generators (---) in comparison with the transmission spectrum  $T_{\lambda}$ , %, of the objects of study (—) for the considered  $\lambda$ ,  $h_n$  and  $w$ :  $w = 76\%$  (a);  $w = 14\%$  (b)

Предложенную в работе [6] модель распределения объемной плотности поглощенной энергии излучения по глубине оптически тонкого слоя для

случая двустороннего подвода энергии к объекту исследования при приведенных в табл. 1 параметрах можно представить в следующей форме:

$$W(x, w) = 1530L(x, w) \frac{1 - R_{\infty}(w)}{1 - \psi^2(w, x)} \left[ \frac{\exp(-L(w, x)x) - \frac{\psi^2(w, x)}{R_{\infty}(w)} \exp(L(w, x)x)}{R_{\infty}(w)} \right] + 1530L((0,004 - x), w) \frac{1 - R_{\infty}(w)}{1 - \psi^2(w, (0,004 - x))} \left[ \frac{\exp(-L(w, 0,004 - x)(0,004 - x)) - \frac{\psi^2(w, (0,004 - x))}{R_{\infty}(w)} \exp(L(w, (0,004 - x))(0,004 - x))}{R_{\infty}(w)} \right],$$

где  $\psi(w, x) = R_{\infty}(w) \exp(-L(w, x)x)$ ;  $\psi(w, (0,004 - x)) = R_{\infty}(w) \exp(-L(w, (0,004 - x))x)$ ;  $R_{\infty}$  и  $L$  – получаемые расчетным путем оптические характеристики объекта исследования,  $m^{-1}$ .

Величина  $R_{\infty}$  характеризует спектральную отражательную способность оптически полубеско-

нечного слоя. Коэффициент  $L$ ,  $m^{-1}$ , отображает эффективное ослабление потока излучения по мере его распространения в оптически бесконечно толстом слое.

В результате расчетов получены следующие уравнения оптических характеристик:

$$R_{\infty}(w) = aw + b;$$

$$L(w, x) = L(w, (0,004 - x)) = (a_1 w + b_1)x^4 + (a_2 w + b_2)x^3 + (a_3 w + b_3)x^2 + (a_4 w + b_4)x + (a_5 w + b_5),$$

где  $a$ – $a_5$ ,  $b$ – $b_5$  – коэффициенты (табл. 2).

Значения коэффициентов уравнений оптических характеристик  $R_\infty$  и  $L$ ,  $m^{-1}$ , вспененного ихтиожелатина для различных генераторов излучения

Values of the coefficients of the equations of optical characteristics  $R_\infty$  and  $L$ ,  $m^{-1}$ , of foamed ichthyogelatin for various radiation generators

Коэффициент	КГТ	НС	МП	ПГИИ	ТЭН
Значения коэффициентов уравнений оптической характеристики $R_\infty$					
$a$	-0,26026144	-0,22258200	-0,21611265	-0,22508261	-0,22583778
$b$	0,64582729	0,36788678	0,34547198	0,38440505	0,29739606
Значения коэффициентов уравнений оптической характеристики $L$ , $m^{-1}$					
$a_1$	-23,59344990	13,11024980	20,05785089	5,26252715	2,92185466
$b_1$	-11,55582932	-29,50033803	-30,45467228	-30,21884696	-6,04349423
$a_2$	188,74759919	-104,88199840	-160,46280715	-42,10021723	-23,37483728
$b_2$	92,44663458	236,00270421	243,63737827	241,75077570	48,34795381
$a_3$	-379,28326335	248,76137285	381,22873153	101,80538189	88,62540225
$b_3$	-87,11633569	-497,50149328	-522,58702520	-503,36670760	-103,94108118
$a_4$	7,15225988	-155,98950421	-241,21246891	-70,41978968	-167,50291079
$b_4$	-391,10773385	101,98433946	141,24907465	79,46062482	28,98069420
$a_5$	768,18071815	395,72972629	246,11230261	480,92862488	53,20563789
$b_5$	1 258,04962670	1 842,70120432	1 896,35562644	1 805,19442797	1 999,24452873

Полученные зависимости величины  $W$ ,  $Вт/м^3$ , от глубины слоя и влажности продукта, характеризующие соотношение между интенсивностью внутреннего переноса тепла в продукте и объемным источником, актуальны для дальнейшего моделирования тепломассообмена в объекте исследования при его нагреве различными генераторами излучения, поскольку входят в систему дифференциальных уравнений теплопереноса.

На рис. 4 и 5 изображены сгенерированные программой для ЭВМ примеры графических интерпре-

таций зависимостей  $W = f(x, w)$ ,  $Вт/м^3$ , в том числе  $W = f(x)$ ,  $Вт/м^3$ , при  $w = \text{const}$  ( $E_n = 1 530 \text{ Вт/м}^2$ ), в диапазоне  $0,000 \leq x \leq 0,004 \text{ м}$ :

– для диапазона  $0,14 \leq w \leq 0,76 \text{ кг/кг}$  и при объемном радиационном нагреве продукта излучателями КГТ и нихромовой спиралью при  $E_n = 1 530 \text{ Вт/м}^2$  (рис. 4);

– для  $w = 0,14 \text{ кг/кг}$  и  $w = 0,76 \text{ кг/кг}$  и объемном радиационном нагреве продукта различными генераторами излучения при  $E_n = 1 530 \text{ Вт/м}^2$  (рис. 5).

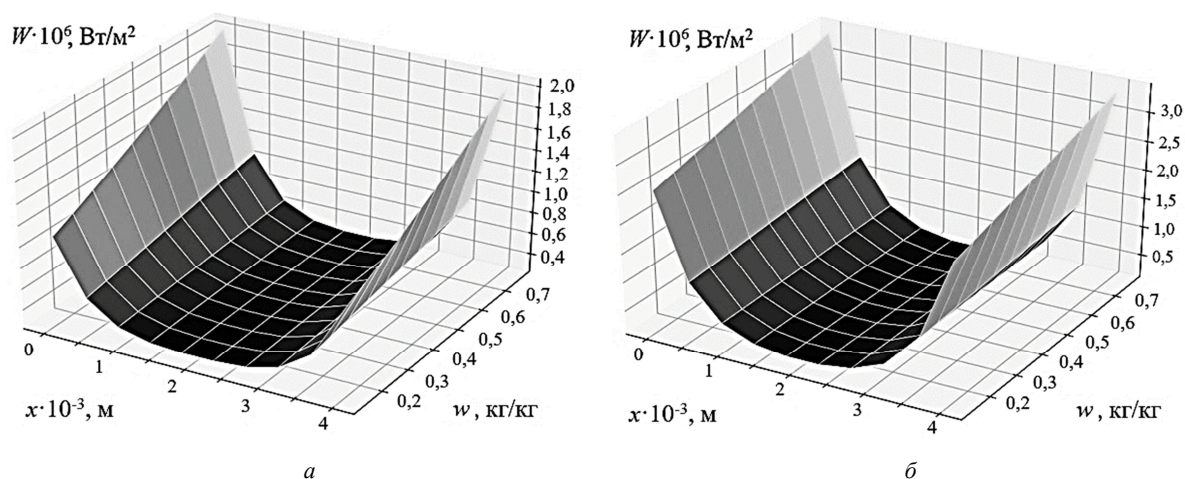


Рис. 4. Графическая интерпретация зависимостей  $W = f(x, w)$  для образцов ихтиожелатина в диапазоне влажности  $0,14 \leq w \leq 0,76 \text{ кг/кг}$  и диапазоне глубины слоя  $0,000 \leq x \leq 0,004 \text{ м}$  при двустороннем подводе к продукту энергии с плотностью теплового потока  $E_n = 1 530 \text{ Вт/м}^2$ : излучатель КГТ (а); нихромовая спираль (б)

Fig. 4. Graphical interpretation of the dependences  $W = f(x, w)$  for ichthyogelatin samples in the humidity range  $0.14 \leq w \leq 0.76 \text{ kg/kg}$  and the layer depth range  $0.000 \leq x \leq 0.004 \text{ m}$  with two-way energy supply to the product with a heat flux density  $E_n = 1 530 \text{ W/m}^2$ : KGT (a) radiator; nichrome spiral (б)

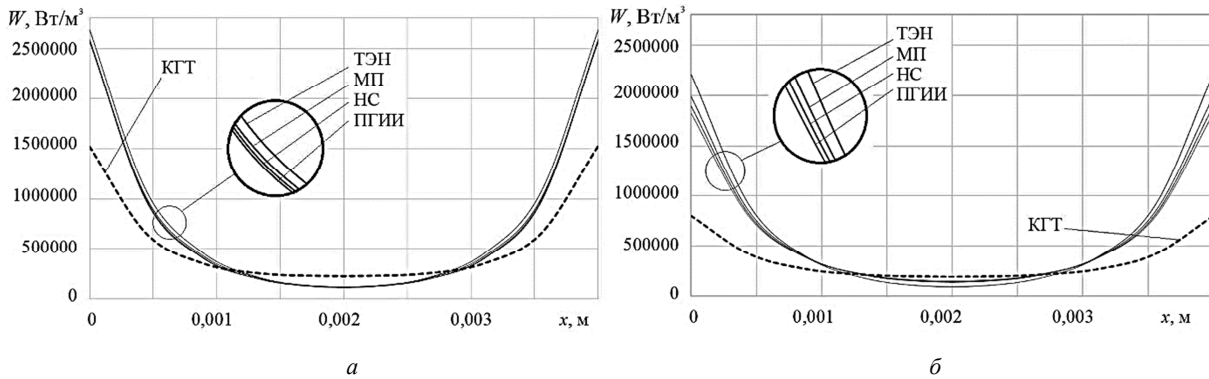


Рис. 5. Графическая интерпретация зависимостей  $W = f(x)$  для влажных и сухих образцов ихтиожелатина в диапазоне глубины слоя  $0,000 \leq x \leq 0,004$  м при  $w = \text{const}$  и двустороннем подводе к продукту энергии различными генераторами излучения с плотностью теплового потока  $E_n = 1\,530$  Вт/м<sup>2</sup>:  $w = 76\%$  (а);  $w = 14\%$  (б)

Fig. 5. Graphical interpretation of the dependences  $W = f(x)$  for wet and dry ichthyogelatin samples in the layer depth range of  $0.000 \leq x \leq 0.004$  m at  $w = \text{const}$  and two-way energy supply to the product by various radiation generators with a heat flux density of  $E_n = 1\,530$  W/m<sup>2</sup>:  $w = 76\%$  (a);  $w = 14\%$  (b)

Характер построенных в отношении пенослоя ихтиожелатина поверхностей  $W = f(x, w)$  и кривых  $W = f(x)$  ( $w = \text{const}$ ) указывает на то, что излучателями КГТ (при 220 В) в сравнении с остальными излучателями при одной и той же плотности подводимого к пенослою теплового потока обеспечивается минимальная неоднородность распределения плотности поглощенной энергии по глубине оптической тонкого слоя во всем рассматриваемом диапазоне влажности объекта исследования (см. рис. 4, 5), т. е. продукт прогревается более равномерно при облучении излучателями КГТ. Данное соотношение кривых  $W = f(x)$  ( $w = \text{const}$ ) также характерно и для других биополимерных материа-

лов, нагреваемых аналогичными генераторами излучения, например, для таких капиллярнопористых коллоидных тел, как слой вспененной томатной пасты с добавлением 20 % раствора ихтиожелатина в качестве пенообразователя и стабилизатора, слой мякоти томата сорта «Сливка гигант». На рис. 6, 7 показаны примеры полученных с использованием указанных методов исследования кривых  $W = f(x)$ , соответственно, для пластин заданной толщины  $h = 0,004$  м вспененной томатной пасты с добавлением 20 % раствора ихтиожелатина (влажность пластин  $w = 78\%$  и  $w = 10\%$ ) при  $E_n = 840$  Вт/м<sup>2</sup> (рис. 6) и мякоти томата (влажность пластин  $w = 92\%$  и  $w = 6\%$ ) при  $E_n = 1\,690$  Вт/м<sup>2</sup> (рис. 7).

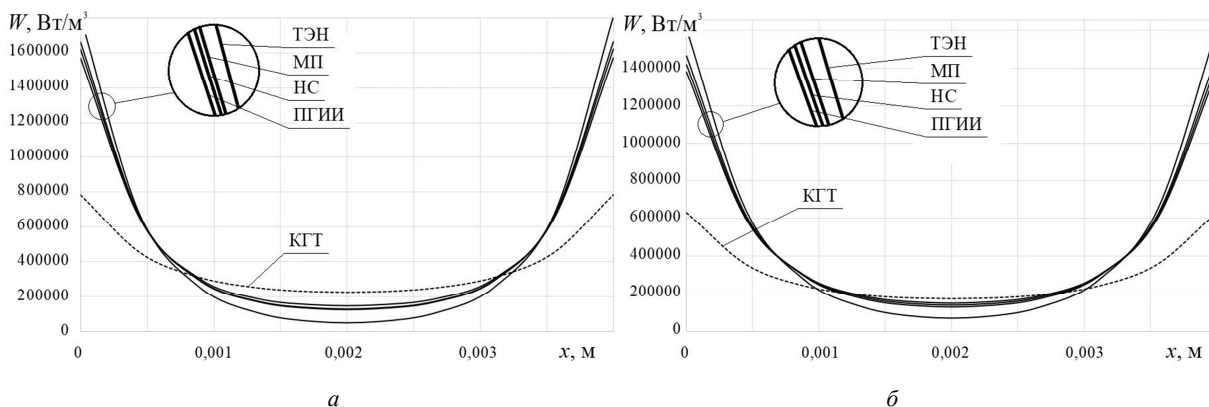


Рис. 6. Графическая интерпретация зависимостей  $W = f(x)$  для влажных и сухих образцов (пластин) вспененной томатной пасты с добавлением 20 % раствора ихтиожелатина в диапазоне глубины слоя  $0,000 \leq x \leq 0,004$  м при  $w = \text{const}$  и двустороннем подводе к продукту энергии различными генераторами излучения с плотностью теплового потока  $E_n = 840$  Вт/м<sup>2</sup>:  $w = 78\%$  (а);  $w = 10\%$  (б)

Fig. 6. Graphical interpretation of the dependences  $W = f(x)$  for wet and dry samples (plates) of foamed tomato paste with the addition of 20% ichthyogelatin solution in the layer depth range of  $0.000 \leq x \leq 0.004$  m with  $w = \text{const}$  and two-way energy supply to the product by various radiation generators with a heat flux density of  $E_n = 840$  W/m<sup>2</sup>:  $w = 78\%$  (a);  $w = 10\%$  (b)

Дяченко Н. П., Максименко Ю. А., Алексанян И. Ю., Дяченко Э. П., Дяченко В. П., Набатов Б. В., Дяченко Э. П. Особенности поглощения энергии инфракрасного (радиационного) излучения оптически тонким слоем вспененного ихтиожелатина из чешуи промысловой (частиковой) и прудовой рыбы

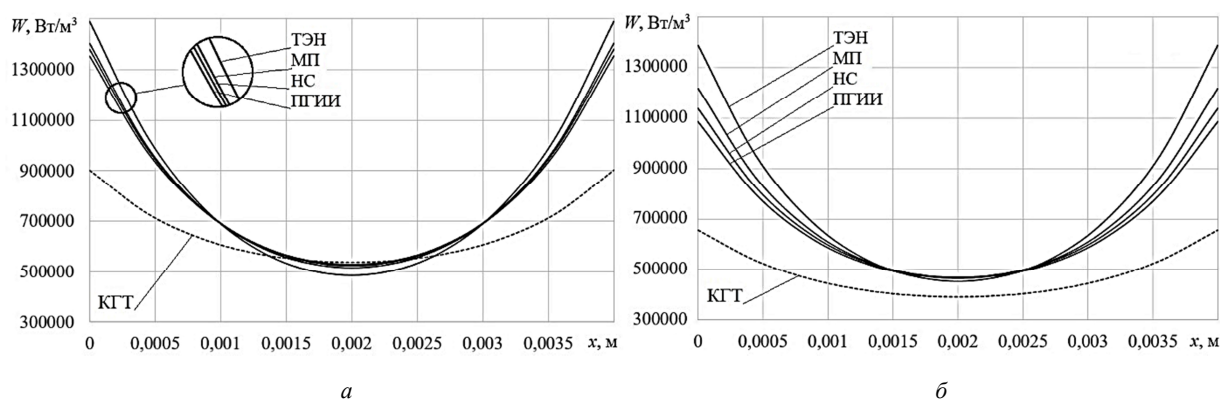


Рис. 7. Графическая интерпретация зависимостей  $W = f(x)$  для влажных и сухих образцов (пластин) мякоти томата в диапазоне глубины слоя  $0,000 \leq x \leq 0,004$  м при  $w = \text{const}$  и двустороннем подводе к продукту энергии различными генераторами излучения с плотностью теплового потока  $E_n = 1\,690$  Вт/м<sup>2</sup>:  $w = 92\%$  (а);  $w = 6\%$  (б)

Fig. 7. Graphical interpretation of the dependences  $W = f(x)$  for wet and dry tomato pulp samples (plates) in the layer depth range of  $0.000 \leq x \leq 0.004$  m with  $w = \text{const}$  and two-way feed to the energy product of various radiation generators with a heat flux density of  $E_n = 1\,690$  W/m<sup>2</sup>:  $w = 92\%$  (a);  $w = 6\%$  (b)

Факт более равномерного прогрева продукта при энергоподводе излучателями КГТ, наряду с результатами сопоставления эмиссионных характеристик генераторов излучения и пропускательной способности пенослоя (см. рис. 3), также свидетельствует о том, что применение излучателей КГТ для реализации процесса конвективно-радиационной пеносушки гранул вспененного желатина в виброкипящем слое является более рациональным в сравнении с остальными рассматриваемыми излучателями.

### Заключение

В результате исследования особенностей поглощения оптически тонким слоем вспененного ихтиожелатина (толщиной  $h_n = 0,004$  м) тепловой энергии, подведенной к продукту различными генераторами излучения, а также в результате сопостав-

ления эмиссионных характеристик генераторов излучения и пропускательной способности пенослоя подтверждена целесообразность использования излучателей КГТ (при подаваемом на излучатели напряжении 220 В) для совершенствования процесса конвективно-радиационной пеносушки гранул продукта в виброкипящем слое. В отношении различных генераторов излучения получены зависимости распределения объемной плотности поглощенной энергии излучения от влажности  $w$ , кг/кг, и глубины слоя продукта  $x$ , м, применимые для последующего моделирования нестационарных полей температуры в продукте при его радиационной или конвективно-радиационной двусторонней сушке с суммарной плотностью подводимого к продукту теплового потока  $E = 3\,060$  Вт/м<sup>2</sup>, являющейся рациональной для реализации процесса.

### Список источников

1. Рынок желатина в России – рост потребления на фоне освоения производства желатина в России // Агентство С-Mag Inform. URL: <https://clck.ru/3MDmgV> (дата обращения: 20.03.2025).
2. Просеков А. Ю., Ворошилин Р. А. Производство желатина – состояние и перспективы рынка, альтернативные источники, технологии производства // Все о мясе. 2020. № 5S. С. 265–268. DOI 10.21323/2071-2499-2020-5S-265-268.
3. Пат. РФ № 2781627 С1, МПК С12Р 21/00. Способ получения желатина из кожи трески / Кучина Ю. А., Колотова Д. С., Деркач С. Р.; № 2022102961; заявл. 07.02.2022; опубл. 17.10.2022, Бюл. № 29.
4. Пат. РФ № 2722210 С1, МПК С09Н 3/00. Способ получения рыбного желатина / Якубова О. С., Бекешева А. А.; заявл. 16.12.2019; опубл. 28.05.2020, Бюл. № 16.
5. Технология производства желатина // ОАО «МО-ЖЕЛИТ». URL: <http://gelatin.by/partners/technology> (дата обращения: 30.03.2025).
6. Алексанян И. Ю., Буйнов А. А. Высокоинтенсивная сушка пищевых продуктов. Пеносушка. Теория. Практика. Моделирование. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2004. 380 с.
7. Максименко Ю. А. Развитие научно-практических основ и совершенствование процессов сушки растительного сырья в диспергированном состоянии: дис. ... д-ра техн. наук. Астрахань, 2016. 502 с.
8. Дяченко Н. П., Максименко Ю. А., Дяченко Э. П. Разработка рациональных режимов сушки желатинового бульона из отходов переработки рыбы // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. 2019. № 1 (67). С. 30–36.
9. Быкова С. М., Цыдыпова О. Н., Очиров В. Д., Алтухов И. В. Спектральная пропускательная способность томатного и брусничного порошков // Актуальные вопросы аграрной науки. 2024. № 50. С. 19–27.

10. Ильясов С. Г., Красников В. В. Физические основы инфракрасного облучения пищевых продуктов. М.: Пищ. пром-сть, 1978. 359 с.

11. Гинзбург А. С., Красников В. В., Селюков Н. Г. Спектральные характеристики генераторов излучения и облучаемых материалов // Электротермия. 1965. Т. 48. С. 34–37.

12. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ 2024613768, Российская Федерация, 2024. Про-

грамма расчета оптических характеристик пищевых и кормовых материалов как объектов инфракрасной суши- ки (двухсторонний энергоподвод) / Алексанян И. Ю., Дя- ченко Э. П., Тезин А. В., Дяченко Н. П., Дяченко В. П., Максименко Ю. А.; опубл. 15.02.2024, Бюл. № 2.

13. Ильясов С. Г., Красников В. В. Методы опреде- ления оптических и терморadiационных характеристик пищевых продуктов. М.: Пищ. пром-сть, 1972. 175 с.

## References

1. Rynok zhelatina v Rossii – rost potrebleniya na fone osvoeniya proizvodstva zhelatina v Rossii [The gelatin market in Russia – the growth of consumption against the background of the development of gelatin production in Russia]. *Agentstvo C-Mar Inform.* Available at: <https://clck.ru/3MDmgB> (ac- cessed: 20.03.2025).

2. Prosekov A. Yu., Voroshilin R. A. Proizvodstvo zhe- latina – sostoyanie i perspektivy rynka, al'ternativnye isto- chniki, tekhnologii proizvodstva [Gelatin production – mar- ket status and prospects, alternative sources, production technologies]. *Vse o myase*, 2020, no. 5S, pp. 265-268. DOI 10.21323/2071-2499-2020-5S-265-268.

3. Kuchina Yu. A., Kolotova D. S., Derkach S. R. *Sposob polucheniya zhelatina iz kozhi treski* [The method of obtaining gelatin from cod skin]. Patent 2781627 Ros- sijskaya Federaciya; 17.10.2022.

4. Yakubova O. S., Bekesheva A. A. *Sposob polucheniya rybnogo zhelatina* [The method of obtaining fish gelatin]. Patent 2722210 Rossijskaya Federaciya; 28.05.2020.

5. Tekhnologiya proizvodstva zhelatina [Gelatin produc- tion technology]. *OAO «MOZHELIT»*. Available at: <http://gelatin.by/partners/technology> (accessed: 30.03.2025).

6. Aleksanyan I. Yu., Bujnov A. A. *Vysokointensivnaya sushka pishchevyyh produktov. Penosushka. Teoriya. Prakti- ka. Modelirovanie* [High-intensity drying of food products. Foam dryer. Theory. Practice. Simulation]. Astrahan', Izd-vo AGTU, 2004. 380 p.

7. Maksimenko Yu. A. *Razvitie nauchno-prakticheskikh osnov i sovershenstvovanie processov sushki rastitel'nogo syr'ya v dispergirovannom sostoyanii. Dissertaciya ... d-ra tekhn. nauk* [Development of scientific and practical founda- tions and improvement of drying processes of vegetable raw materials in a dispersed state. Dissertation of ... Doctor of Technical Sciences]. Astrahan', 2016. 502 p.

8. Dyachenko N. P., Maksimenko Yu. A., Dyachenko E. P. *Razrabotka racional'nyh rezhimov sushki zhelatynovogo bul'- ona iz othodov pererabotki ryby* [Development of rational drying modes for gelatin broth from fish processing waste]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2019, no. 1 (67), pp. 30-36.

9. Bykova S. M., Cydypova O. N., Ochirov V. D., Al- tuhov I. V. *Spektral'naya propuskatel'naya sposobnost' to- matnogo i brusnichnogo poroshkov* [Spectral transmittance of tomato and lingonberry powders]. *Aktual'nye voprosy agrarnoy nauki*, 2024, no. 50, pp. 19-27.

10. Il'yasov S. G., Krasnikov V. V. *Fizicheskie osnovy infrakrasnogo oblucheniya pishchevyyh produktov* [The physical basis of infrared irradiation of food products]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1978. 359 p.

11. Ginzburg A. S., Krasnikov V. V., Selyukov N. G. *Spektral'nye harakteristiki generatorov izlucheniya i oblu- chaemykh materialov* [Spectral characteristics of radiation generators and irradiated materials]. *Elektrotermiya*, 1965, vol. 48, pp. 34-37.

12. Aleksanyan I. Yu., Dyachenko E. P., Tezin A. V., Dyachenko N. P., Dyachenko V. P., Maksimenko Yu. A. *Programma rascheta opticheskikh harakteristik pishchevyyh i kormovykh materialov kak ob'ektov infrakrasnoj sushki (dvehstoronnij energopodvod)* [A program for calculating the optical characteristics of food and feed materials as ob- jects of infrared drying (two-way power supply)]. *Svi- detel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM 2024613768*, Rossijskaya Federaciya; 15.02.2024.

13. Il'yasov S. G., Krasnikov V. V. *Metody opredeleniya opticheskikh i termoradiacionnykh harakteristik pishchevyyh produktov* [Methods for determining optical and thermal radiation characteristics of food products]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1972. 175 p.

Статья поступила в редакцию 15.04.2025; одобрена после рецензирования 20.08.2025; принята к публикации 02.03.2026  
The article was submitted 15.04.2025; approved after reviewing 20.08.2025; accepted for publication 02.03.2026

## Информация об авторах / Information about the authors

**Николай Павлович Дяченко** – аспирант кафед- ры технологических машин и оборудования; Астра- ханский государственный технический университет; [dyachenko.1999g@mail.ru](mailto:dyachenko.1999g@mail.ru)

**Nikolay P. Diachenko** – Postgraduate Student of the De- partment of Technological Machines and Equipment; Astra- khan State Technical University; [dyachenkonik93@gmail.com](mailto:dyachenkonik93@gmail.com)

**Юрий Александрович Максименко** – доктор технических наук, профессор; профессор кафедры технологических машин и оборудования; Астраханский государственный технический университет; amxs1@yandex.ru

**Игорь Юрьевич Александян** – доктор технических наук, профессор; профессор кафедры технологических машин и оборудования; Астраханский государственный технический университет; 16081960igor@gmail.com

**Вячеслав Павлович Дяченко** – аспирант кафедры электрооборудования и автоматики судов; Астраханский государственный технический университет; dyachenko.1999g@mail.ru

**Борис Викторович Набатов** – кандидат физико-математических наук; старший научный сотрудник отделения «Институт кристаллографии им. А. В. Шубникова» Курчатовского комплекса кристаллографии и фотоники; Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»; bnabatov@crys.ras.ru

**Эдуард Павлович Дяченко** – кандидат технических наук; старший аналитик отдела аналитики научно-технических проектов и мер государственной поддержки; Институт медицинских материалов; amed-nauka@yandex.ru

**Yuri A. Maksimenko** – Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Technological Machines and Equipment; Astrakhan State Technical University; amxs1@yandex.ru

**Igor Yu. Aleksanyan** – Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Technological Machines and Equipment; Astrakhan State Technical University; 16081960igor@gmail.com

**Vyacheslav P. Diachenko** – Postgraduate Student of the Department of Electrical Equipment and Automation of Ships; Astrakhan State Technical University; dyachenko.1999g@mail.ru

**Boris V. Nabatov** – Candidate of Physico-Mathematical Sciences; Senior Researcher of the Department of the A. V. Shubnikov Institute of Crystallography of the Kurchatov Complex of Crystallography and Photonics; National Research Centre “Kurchatov Institute”; bnabatov@crys.ras.ru

**Eduard P. Diachenko** – Candidate of Technical Sciences; Senior Analyst of the Department of Analysis of Scientific and Technical Projects and Government Support Measures; Institute of Medical Materials; amed-nauka@yandex.ru

