

Исследование диффузионной проницаемости белков через ультрафильтрационные мембраны

Сергей И. Лазарев	¹	geometry@mail.nnn.tstu.ru
Дмитрий А. Родионов	¹	dimok-407@mail.ru
Константин К. Полянский	²	kaf-kit@vfreu.ru
Владимир Ю. Богомолов	¹	Eco@nnn.tstu.ru

¹ Тамбовский государственный технический университет, ул. Мичуринская, 112, Тамбов, Россия

² Воронежский филиал Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова, ул. Карла Маркса, 67А, г. Воронеж, 394030, Россия

Аннотация. В работе были исследована, диффузионная проницаемость, молочных компонентов через ультрафильтрационные полимерные мембраны вида УПМ-100, УАМ-150 и УПМ-К. Описаны конструкции диффузионных установок. Первая установка работает с применением трубчатого мембранного модуля, вторая установка имеет вид плоскокамерной ячейки. Предпочтения для проведения экспериментальных исследований отдано плоскокамерной ячейке. Исследования проведены при изменении концентрации и температуры раствора. Отмечено, что с повышением концентрации диффузионная проницаемость снижается, а с повышением температуры раствора проницаемость увеличивается. Снижение диффузионной проницаемости обусловлено формированием пограничных диффузионных слоев, снижающих перенос вещества через пограничные и активные слои мембраны. Увеличение диффузионной проницаемости вызвано ростом подвижности ионов и молекул вещества с повышением температуры раствора, что приводит к частичному разрушению пограничных диффузионных слоев у поверхности мембраны. Для теоретического расчета коэффициента диффузионной проницаемости разработаны математические выражения и получены численные значения величин эмпирических коэффициентов. Разработанные математические выражения с хорошей достоверностью описывают экспериментальные данные по диффузионной проницаемости. Полученные экспериментальные и расчетные данные можно с большой достоверностью применять в расчетах массопереносных потоков веществ через полупроницаемые мембраны, а также в инженерных методиках расчета и прогнозирования эффективности применения мембранных процессов для разделения, очистки и концентрирования промышленных и технологических растворов. По результатам экспериментов и расчетных данных были построены кривые, которые наглядно показывают влияние концентрации на диффузионную проницаемость для всех типов исследуемых ультрафильтрационных полимерных мембран.

Ключевые слова: коэффициент диффузионной проницаемости, ультрафильтрация, мембрана, пограничный слой

Research of a diffusion transmittivity of proteins through ultrafiltrational membranes

Sergey I. Lazarev	¹	geometry@mail.nnn.tstu.ru
Dmitrii A. Rodionov	¹	dimok-407@mail.ru
Konstantin K. Polyanskiy	²	kaf-kit@vfreu.ru
Vladimir Yu. Bogomolov	¹	Eco@nnn.tstu.ru

¹ Tambov State Technical University, Michurinskaya str., 112, Tambov, Russia

² Voronezh branch of the Russian economic university named after G.V. Plekhanova, Karl Marx str., 67A, Voronezh, 394030, Russia

Abstract. In work were investigated processes of a transmittivity, dairy components through ultrafiltrational polymeric membranes of a type of UPM-100, UAM-150 and UPM-K. Two types of installation a diffusion transmittivity were described. The first installation with use of the roll-type membranous module, the second installation has an appearance of a flat-chamber cell. Preferences for carrying out the pilot studies it is given to a flat-chamber cell. Researches are conducted at change of concentration and temperature of solution. It is noted that with strengthening the diffusion transmittivity decreases, and with solution temperature increase the transmittivity increases. Decrease in a diffusion transmittivity is caused by formation of the boundary diffusion layers reducing transfer of substance through boundary and fissile layers of a membrane. Increase in a diffusion transmittivity is caused by body height of ionic mobility and molecules of substance with solution temperature increase that leads to partial destruction of boundary diffusion layers at a membrane surface. Mathematical expressions are developed for theoretical calculation of coefficient of a diffusion transmittivity and numerical values of sizes of empirical coefficients are received. The developed mathematical expressions with good reliability describe the experimental data's on a diffusion transmittivity. The obtained experimental and calculation data can be applied with big reliability in calculations of streams of substances through the semipermeable membranes and also in engineering calculation procedures and predictions of effectiveness of application of membranous processes to division, cleanings and concentratings of industrial and technological solutions. By results of experiments and design data's curves which demonstrate influence of concentration on a diffusion transmittivity for all types of the studied ultrafiltrational polymeric membranes were constructed.

Keywords: coefficient of a diffusion transmittivity, ultrafiltration, membrane, boundary layer

Для цитирования

Лазарев С.И., Родионов Д.А., Полянский К.К., Богомолов В.Ю. Исследование диффузионной проницаемости белков через ультрафильтрационные мембраны // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 81. № 1. С. 77–81. doi:10.20914/2310-1202-2018-1-77-81

For citation

Lazarev S.I., Rodionov D.A., Polyanskiy K.K., Bogomolov V.Yu. Research of a diffusion transmittivity of proteins through ultrafiltrational membranes. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 81. no. 1. pp. 77–81. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-1-77-81

Введение

Исследование зависимости различных параметров процесса мембранного концентрирования вторичного молочного сырья от концентрации и температуры раствора проводили с применением модельных растворов [1–3]. Использовались растворы с диапазонами концентраций белков 9–32 кг/м³.

Применяли различные методики исследования диффузионных свойств мембран, например, трубчатые и плоскокамерные [4–6]. Один из перспективных видов исследования диффузионной проницаемости мембран – экспериментальная установка трубчатого вида (рисунок 1).

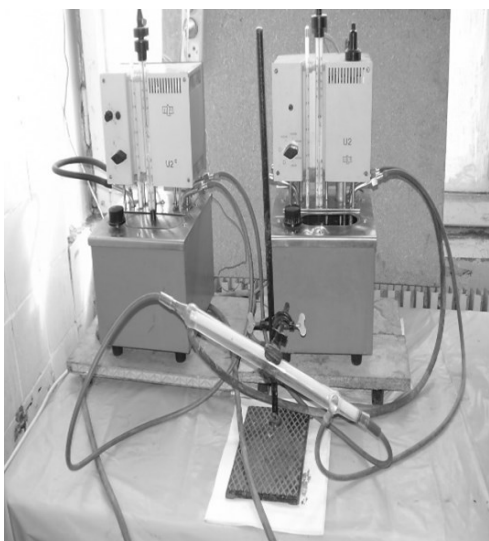


Рисунок 1. Экспериментальная установка для изучения диффузионной проницаемости

Figure 1. Experimental installation for studying of a diffusion transmittivity

Экспериментальная установка состоит из трубчатого мембранного модуля (рисунок 2) и термостатируемых емкостей для исходных растворов и дистиллированной воды. Для движения жидкостей термостатированные емкости оборудованы насосами, а для повышения и поддержания нужной температуры применяются температурные устройства, позволяющие регулировать температуру в камере ячейки. Для контроля за температурой в межтрубном пространстве используются датчики термосопротивления 4 с выходными параметрами на автоматический прибор – потенциометр 5. Модуль (рисунок 2) состоит из цилиндрического стеклянного корпуса 1 со штуцерами для разделяемого раствора и дистиллированной воды, пористых трубок 2, на которые с наружной поверхности нанесены ультрафильтрационные мембраны 3, поддерживаемые перфорированными решетками 4, служащие одновременно как уплотнители [1–2].

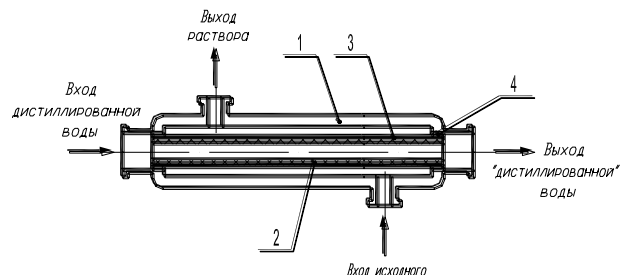


Рисунок 2. Мембранный модуль трубчатого типа для изучения диффузионной проницаемости

Figure 2. The membranous module of tubular type for studying of a diffusion transmittivity

Для изучения диффузионного потока через мембраны применялась экспериментальная установка плоскокамерного типа (рисунки 3, 4). Камеры плоскокамерной диффузионной установки (рисунок 3) I и II изготовлены из оргстекла с суммарным рабочим объемом $0.62 \times 10^{-3} \text{ м}^3$. В камерах ячейки вмонтированы измерительные капилляры 9 и 11. Исследуемые растворы подаются в ячейку из емкостей для исходных растворов 2 и 4 и далее следуют в емкости для отработанных растворов 3 и 5 [1]. Рабочие камеры ячейки разделены решеткой 10, изготовленной из оргстекла, на которой располагается мембрана 1 с рабочей площадью $267 \times 10^{-6} \text{ м}^2$. С помощью термостата 12, термопар 7 и потенциометра 8 контролируется и поддерживается заданный температурный режим в ячейке. Посредством магнитных мешалок 6 проводится перемешивание растворов в камерах ячейки [1].

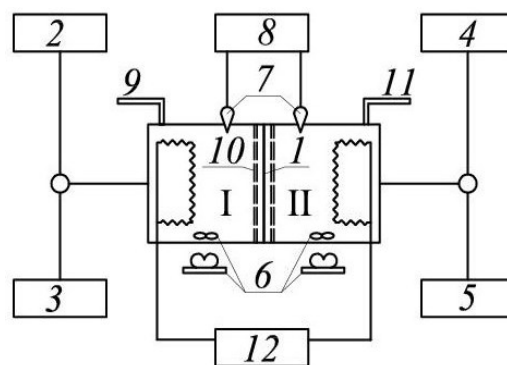


Рисунок 3. Принципиальная схема установки для исследования диффузии молочных компонентов через ультрафильтрационные мембраны: 1 – полупроницаемая мембрана; 2 и 4 – емкости исследуемых растворов; 3 и 5 – емкости отработанных растворов; 6 – магнитные мешалки; 7 – термопары; 8 – потенциометр; 9 и 11 – измерительные капилляры; 10 – решетка; 12 – термостат

Figure 3. The schematic diagram of installation for the study of the diffusion of dairy components through ultrafiltration membranes: 1 – semipermeable membrane; 2 and 4 – capacities of the studied solutions; 3 and 5 – capacities of the studied solutions; 6 – magnetic stirrers; 7 – thermocouples; 8 – potentiometer; 9 and 11 – measuring capillaries; 10 – lattice; 12 – thermostat

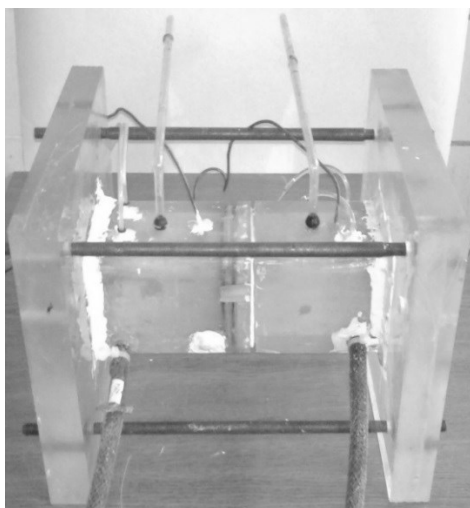


Рисунок 4. Лабораторная установка для исследования диффузионного проницаемости

Figure 4. Laboratory installation for a research diffusion transmittivities

Исследование процесса диффузии на плоскокамерной установке (рисунок 4) осуществлялось по следующей методике. Для предварительной подготовки полупроницаемой мембраны к исследованиям ее обжимали в дистиллированной воде на мембранной установке при давлении 0,1 МПа в течение 4 ч. Обжатые мембрана укладывали на решетке между камерами I и II диффузионной ячейки для исследования проницаемости мембран. Установка работала по следующему принципу. В камеру I подавали концентрированный раствор, в камеру II – дистиллированную воду. Растворы в камерах выдерживали в течение 11–13 ч для того, чтобы

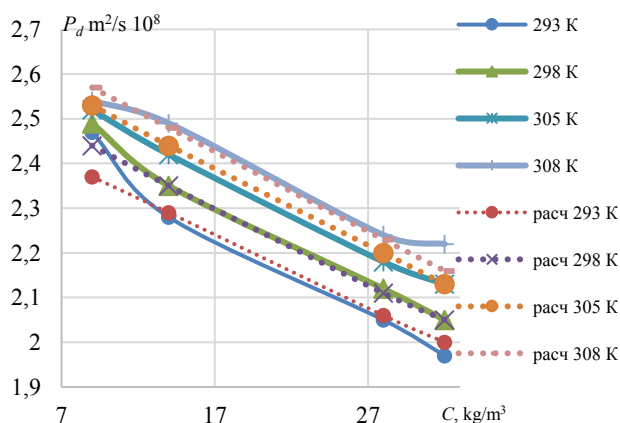


Рисунок 5. Зависимость коэффициента диффузионной проницаемости (P_d ($\text{м}^2 \cdot \text{с}$)) белка от концентрации раствора (C , $\text{кг}/\text{м}^3$) для ультрафильтрационной мембраны УАМ-150

Figure 5. Dependence of coefficient of a diffusion transmittivity (P_d ($\text{м}^2 \cdot \text{с}$)) of protein on solution strength (C , $\text{кг}/\text{м}^3$) for the ultrafiltration membrane UAM-150

установились постоянные диффузионные потоки. После чего растворы сливали, камеры ячейки промывали дистиллированной водой и далее вновь заполняли водой. Отбор проб осуществляли из емкостей отработанных растворов, после чего камеры дополняют из емкостей исходных растворов.

В течение 3–6 ч растворы перемешивали в камерах с использованием магнитных мешалок, при этом растворенное вещество переходило посредством диффузии через мембрану в направлении противоположном направлению осмотического переноса. Количество продиффундированного вещества определяли с помощью отбора проб после слива растворов в емкости по концентрации ХПК [8]. Расчет коэффициента диффузионной проницаемости осуществляли по формуле

$$P_d = \frac{C_2 \cdot V_2 \cdot \delta}{(C_1 - C_2) \cdot F_m \cdot \tau},$$

где P_d – коэффициент диффузионной проницаемости; $C_{1,2}$ – концентрации растворенного вещества в камерах экспериментальной ячейки, разделенных мембраной, $\text{кг}/\text{м}^3$; δ – толщина мембраны после набухания, м ; F_m – рабочая площадь поверхности мембраны, м^2 ; τ – время проведения эксперимента, с ; V_2 – объем растворителя во второй камере, м^3

На рисунках 5–7 представлены кинетические зависимости коэффициента диффузионной проницаемости от концентрации молочных компонентов для ультрафильтрационных мембран УАМ-150, УПМ-100 и УПМ-К.

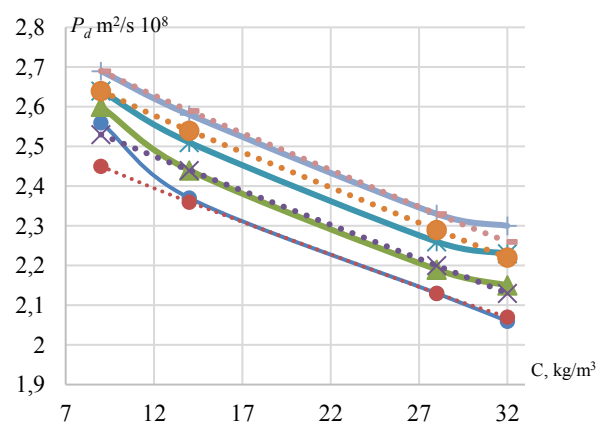


Рисунок 6. Зависимость коэффициента диффузионной проницаемости (P_d ($\text{м}^2 \cdot \text{с}$)) белка от концентрации раствора (C , $\text{кг}/\text{м}^3$) для ультрафильтрационной мембраны УПМ-100

Figure 6. Dependence of coefficient of a diffusion transmittivity (P_d ($\text{м}^2 \cdot \text{с}$)) of protein on solution strength (C , $\text{кг}/\text{м}^3$) for the ultrafiltration membrane UPM-100

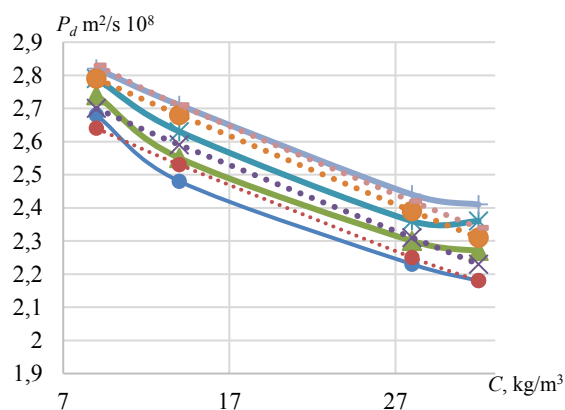


Рисунок 7. Зависимость коэффициента диффузионной проницаемости (P_d ($\text{м}^2 \cdot \text{с}$)) белка от концентрации раствора (C , $\text{кг}/\text{м}^3$) для ультрафильтрационной мембраны УПМ-К

Figure 7. Dependence of coefficient of a diffusion transmittivity (P_d ($\text{m}^2 \cdot \text{s}$)) of protein on solution strength (C , kg / m^3) for an ultrafiltrational membrane of UPM-K

Из приведенных зависимостей на рисунке 5–7 видно, что наибольшей диффузионной проницаемостью из исследуемых образцов обладает мембрана УПМ-К, что хорошо соотносится с результатами экспериментального определения сорбционных характеристик мембран. Наблюдаемую при этом высокую проницаемость можно выгодно использовать для деминерализации белкового концентрата [1].

Коэффициент диффузионной проницаемости P_d ($\text{м}^2/\text{с}$) определяли по формуле

$$P_d = A \cdot \exp(B \cdot C) \cdot \left(\frac{T}{T_0} \right)^m.$$

Полученные с применением эмпирических коэффициентов из таблицы 1 значения диффузионных характеристик процесса попадают в доверительный интервал 90%.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Дытнерский Ю.И. Баромембранные процессы. Теория и расчет. М.: Химия. 1986. 272 с.
- 2 Лазарев С.И., Ковалева О.А., Шестаков К.В., Полянский К.К. Особенности ультрафильтрационной очистки промышленных растворов крахмало-паточного производства // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 2. С. 45–50.
- 3 Лазарев С.И., Головашин В.Л., Полянский К.К., Мальцева О.Ю. Исследование коэффициента задержания в процессе обратноосмотического разделения биологических растворов биохимических производств // Вестник ВГУИТ. 2015. № 2. С. 204–209.
- 4 Naudy S., Collette F., Thominet F., Gebel G. et al. Influence of hygrothermal aging on the gas and water transport properties of Nafion membranes // Journal of Membrane Science. 2014. V. 451. P. 293–304.
- 5 Zavastin D., Cretescu I. Bezdadea M. et al. Preparation, characterization and applicability of cellulose acetate-polyurethane blend membrane in separation techniques // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2010. V. 370. № 1–3. P. 120–128.

Таблица 1.

Значения эмпирических коэффициентов для уравнения

Table 1.

The values of the empirical coefficients for equation

Мембрана Membrane	Вторичное молочное сырье Secondary raw milk		
	A×1012	B	m
УАМ-150 UAM-150	2.54115	-0,00754	1.61834
УПМ-100 UPM-100	2.62355	-0,00746	1.81356
УПМ-К UPM-K	2.54115	-0,00754	1.61834

Полученные экспериментальные значения диффузионного потока говорят о том, что ультрафильтрационные мембраны УАМ-150, УПМ-100, УПМ-К целесообразно применять в процессах ультрафильтрационной переработки вторичного молочного сырья и получения белковых концентратов.

Заключение

Работа посвящена влиянию концентрации и температуры на диффузионную проницаемость ультрафильтрационных процессов разделения вторичного молочного сырья. Проведены исследования на двух различных типах мембранных установок трубчатого и плоскокамерного типа. Получены экспериментальные данные коэффициента диффузионной проницаемости. На основании анализа установлено, что при повышении концентрации уменьшается коэффициент диффузионной проницаемости. На ультрафильтрационной мембране УАМ-150 коэффициент диффузионной проницаемости ниже, чем на ультрафильтрационных мембранах УПМ-К и УПМ-100.

- 6 Kamal H., Abd-Elrahim F.M., Lotfy S. Characterization and some properties of cellulose acetate-co-polyethylene oxide blends prepared by the use of gamma irradiation // Journal of Radiation Research and Applied Sciences. 2014. V. 7. № 2. P. 146–153. doi: 10.1016/j.jrras.2014.01.003

- 7 Богомолов В.Ю. Разработка и научное обоснование процесса ультрафильтрационного концентрирования и деминерализации подсырной сыворотки. Тамбов: ТГТУ, 2015. 191 с.

- 8 Матейко Н.В. Анализ сточных вод молочной отрасли // Сборник материалов 73-й студенческой научно-технической конференции; под общ. ред. Басалай И.А. Минск: БНТУ, 2017. С. 155–160.

- 9 Arthanareeswaran G., Thanikaivelan P., Srinivasn K., Mohan D. et al. Synthesis, characterization and thermal studies on cellulose acetate membranes with additive // European Polymer Journal. 2004. V. 40. № 9. P. 2153–2159.

- 10 Храмов А.Г., Нестеренко П.Г. Технология продуктов из молочной сыворотки. М.: ДеЛи принт, 2004. 587 с.

REFERENCES

1. Dytnerskiy Yu.I. Baromembrannyye protsessy. Teoriya i raschet [Baromembranes processes. Theory and calculation. Moscow, Himiya, 1986. 272 p. (in Russian).
2. Lazarev S.I., Kovaleva O.A., Shestakov K.V., Polyanskiy K.K. Features of ultrafiltration cleaning of industrial solutions of starch and syrup production. *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 2. pp. 45–50. (in Russian).
3. Lazarev S.I., Golovashin V.L., Polyanskiy K.K., Mal'ceva O.Yu. Investigation of the retention rate in the process of reverse osmosis separation of biological solutions of biochemical plants. *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET]. 2015. no. 2. pp. 204–209. (in Russian).
4. Naudy S., Collette F., Thominet F., Gebel G. et al. Influence of hygrothermal aging on the gas and water transport properties of Nafion membranes. *Journal of Membrane Science*. 2014. vol. 451. pp. 293–304.
5. Zavastin D., Cretescu I. Bezdadea M. et al. Preparation, characterization and applicability of cellulose acetate–polyurethane blend membrane in separation techniques. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2010. vol. 370. no. 1–3. pp. 120–128.
6. Kamal H., Abd-Elrahim F.M., Lotfy S. Characterization and some properties of cellulose acetate-co-polyethylene oxide blends prepared by the use of gamma irradiation. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. 2014. vol. 7. no. 2. pp. 146–153. doi: 10.1016/j.jrras.2014.01.003
7. Bogomolov V.Yu. Razrabotka i nauchnoye obosnovaniye protsessy ul'trafil'tratsionnogo kontsentrirvaniya i demineralizatsii podsymoy syvorotki [Development and scientific substantiation of the process of ultrafiltration concentration and demineralization of cheese whey]. Tambov, TGTU, 2015. 191 p. (in Russian).
8. Mateyko N.V. Analysis of wastewater of the dairy industry. *Sbornik materialov 73-y studencheskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii* [Proceedings of the 73rd Student Scientific and Technical Conference]. Minsk, BNTU, 2017. pp. 155–160. (in Russian).
9. Arthanareeswaran G., Thanikaivelan P., Srinivasn K., Mohan D. et al. Synthesis, characterization and thermal studies on cellulose acetate membranes with additive. *European Polymer Journal*. 2004. vol. 40. no. 9. pp. 2153–2159.
10. Khramtsov A.G., Nesterenko P.G. *Tekhnologiya produktov iz molochnoy syvorotki* [Technology of whey products]. Moscow, DeLi print, 2004. 587 p. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Сергей И. Лазарев д.т.н., профессор, кафедра прикладной геометрии и компьютерной графики, Тамбовский государственный технический университет, ул. Мичуринская, 112, Тамбов, Россия, geometry@mail.nnn.tstu.ru

Дмитрий А. Родионов аспирант, кафедра прикладной геометрии и компьютерной графики, Тамбовский государственный технический университет, ул. Мичуринская, 112, Тамбов, Россия, dimok-407@mail.ru

Константин К. Полянский д.т.н., профессор, кафедра коммерции и товароведения, Воронежский филиал Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова, ул. Карла Маркса, 67А, г. Воронеж, 394030, Россия, kaf-kit@vfreu.ru

Владимир Ю. Богомолов к.т.н., доцент, кафедра природопользования и защиты окружающей среды, Тамбовский государственный технический университет, ул. Мичуринская, 112, Тамбов, Россия, Eco@nnn.tstu.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 22.11.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 30.01.2019

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Sergey I. Lazarev Dr. Sci. (Engin.), professor, applied geometry and computer graphics department, Tambov State Technical University, Michurinskaya str., 112, Tambov, Russia, geometry@mail.nnn.tstu.ru

Dmitrii A. Rodionov graduate student, applied geometry and computer graphics department, Tambov State Technical University, Michurinskaya str., 112, Tambov, Russia, dimok-407@mail.ru

Konstantin K. Polyanskiy Dr. Sci. (Engin.), professor, commerce and merchandizing department, Voronezh branch of the Russian economic university named after G.V. Plekhanova, Karl Marx str., 67A, Voronezh, 394030, Russia, kaf-kit@vfreu.ru

Vladimir Yu. Bogomolov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, nature management and environmental protection department, Tambov State Technical University, Michurinskaya str., 112, Tambov, Russia, Eco@nnn.tstu.ru

CONTRIBUTION

All authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 11.22.2018

ACCEPTED 1.30.2019