



О равновесии и устойчивости псевдооживленного слоя, как термодинамической системы

Юлиан И. Шишацкий ¹		
Сергей А. Толстов ²	serezha.tolstoff@ya.ru	
Анна А. Дерканосова ¹	aa-derk@ya.ru	 0000-0002-9726-9262
Александр А. Рындин ³	ryndinaa@mgupp.ru	 0000-0001-6861-9297

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия





² Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54 «А», г. Воронеж, 394064, Россия

³ Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе 11, г. Москва, 125080, Россия

Аннотация. Перевод дисперсного слоя в псевдооживленное состояние позволяет интенсифицировать процесс сушки. Небольшой размер частиц приводит к увеличению поверхности их контакта с теплоносителем при сравнительно невысоком гидродинамическом сопротивлении. Перечислены другие положительные качества псевдооживления, что весьма существенно при проведении экзотермических процессов. Поведение псевдооживленного слоя изучалось нами в процессе сушки. Приведена кривая псевдооживления свежескошенной стружки. Взвешенное состояние материала наступало при равенстве сил гидродинамического слоя весу всех его частиц, приходящихся на единицу площади поперечного сечения рабочей камеры. Отмечена область существования псевдооживленного слоя. В этой области движение потока было относительно равновесным (псевдооживленным). На поверхности слоя отмечались небольшие волны с различной частотой и амплитудой колебаний, а также со спонтанными флуктуациями. Такой режим работы достигался в результате исследования конструкций опорно – газораспределительной решетки и сушильной камеры. Исследован профиль скоростей потока в рабочей камере. Установлено эффективное выравнивание скоростей с помощью плоских штампованных решеток. Результаты подтвердились спектрами потока в рабочей камере сушки. Рассмотрены колебания на свободной поверхности псевдооживленного слоя. Записано уравнение Эйлера, которое дало возможность в результате различных преобразований получить формулу для расчета частоты колебаний псевдооживленного слоя. Проведенные исследования позволили установить режимы псевдооживления, в определенной степени минимизирующие неоднородность слоя, что имеет существенное практическое значение. Однако режимные параметры требуется корректировать в зависимости от вида высушиваемого материала и других показателей. Результаты исследования не затухают общие положения неравновесной термодинамики. Псевдооживленный слой не может находиться в равновесном состоянии, поскольку очевиден перенос субстанций: энергии, массы и импульса. Корректно рассматривать псевдооживленный слой как неустойчивый. В слое всегда существуют малые и спонтанные флуктуации. Отсутствие условий их затухания становится условием неустойчивости процесса.

Ключевые слова: псевдооживленный слой, исследования, результаты, равновесие, устойчивость

On the equilibrium and stability of a fluidized bed as a thermodynamic system

Yulian I. Shishatskii ¹		 Место для ввода текста.
Sergey A. Tolstov ²	serezha.tolstoff@ya.ru	 ??
Anna A. Derkanosova ¹	aa-derk@ya.ru	 0000-0002-9726-9262
Aleksandr A. Ryndin ³	ryndinaa@mgupp.ru	 0000-0001-6861-9297

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

² Air Force Academy named after Professor N.Ye. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, st. Old Bolsheviks, 54 "A", Voronezh, 394064, Russia

³ Moscow State University of Food Production, Volokolamskoe Highway 11, Moscow, 125080, Russia

Abstract. The transfer of the dispersed layer into a fluidized state makes it possible to intensify the drying process. The small size of the particles leads to an increase in the surface of their contact with the coolant at a relatively low hydrodynamic resistance. Other positive qualities of fluidization are listed, which is very important when carrying out exothermic processes. We studied the behavior of the fluidized bed during the drying process. The curve of fluidization of beet chips is shown. The suspended state of the material began when the forces of the hydrodynamic layer were equal to the weight of all its particles per unit area of the cross-section of the working chamber. The region of existence of the fluidized bed is marked. In this area, the flow was relatively equilibrium (fluidized). On the surface of the layer, small waves were observed with different frequencies and amplitudes of oscillations, as well as with spontaneous fluctuations. This mode of operation was achieved as a result of the study of the structures of the support – gas distribution grid and the drying chamber. The flow velocity profile in the working chamber is investigated. An efficient equalization of velocities with the help of flat stamped grids has been established. The results were confirmed by the spectra of the flow in the drying chamber. Oscillations on the free surface of a fluidized bed are considered. The Euler equation was written, which made it possible, as a result of various transformations, to obtain a formula for calculating the oscillation frequency of the fluidized bed. The studies carried out made it possible to establish the regimes of pseudo-fluidization, to a certain extent minimizing the heterogeneity of the layer, which is of significant practical importance. However, the operating parameters need to be adjusted depending on the type of material to be dried and other indicators. The research results do not obscure the general provisions of nonequilibrium thermodynamics. The fluidized bed cannot be in an equilibrium state, since the transfer of substances is obvious: energy, mass and momentum. It is correct to regard the fluidized bed as unstable. Small and spontaneous fluctuations always exist in the layer. The absence of conditions for their decay becomes a condition for the instability of the process.

Keywords: fluidized bed, research, results, equilibrium, stability

Для цитирования

Шишацкий Ю.И., Толстов С.А., Дерканосова А.А., Рындин А.А. О равновесии и устойчивости псевдооживленного слоя, как термодинамической системы // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 2. С. 56–60. doi:10.20914/2310-1202-2021-2-56-60

For citation

Shishatskii Yu.I., Tolstov S.A., Derkanosova A.A., Ryndin A.A. On the equilibrium and stability of a fluidized bed as a thermodynamic system. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 2. pp. 56–60. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-2-56-60

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Установлено, что перевод дисперсного слоя в псевдооживенное состояние позволяет интенсифицировать процесс сушки [2, 3]. Небольшой размер частиц приводит к увеличению поверхности их контакта с теплоносителем при сравнительно невысоком гидродинамическом сопротивлении. При этом практически вся поверхность всех частиц омывается потоком,

что в совокупности с равномерным распределением температуры в объеме псевдооживенного слоя весьма существенно при проведении экзотермических процессов.

Поведение псевдооживенного слоя нами изучалось в условиях сушки различных материалов.

Кривая псевдооживления свекловичной стружки показана на рисунке 1 [4].

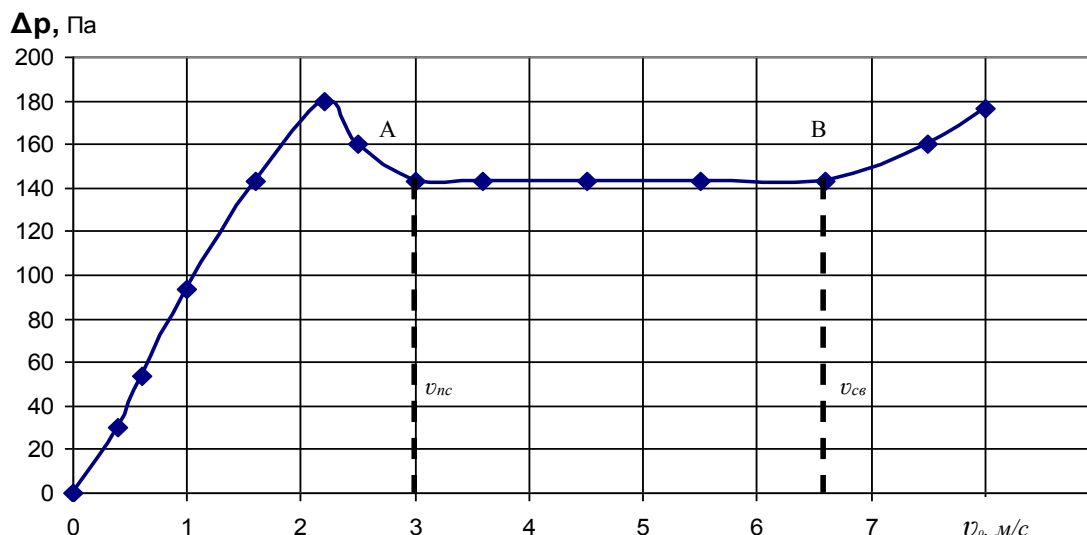


Рисунок 1. Зависимость гидродинамического сопротивления слоя свекловичной стружки Δp от рабочей скорости потока v_0 : удельная нагрузка на опорно – газораспределительную решетку $q=21,5$ кг/м², v_{nc} – скорость начала псевдооживления, $v_{св}$ – скорость свободного витания (скорость уноса частиц)

Figure 1. The dependence of the hydrodynamic resistance of the beet chip layer Δp on the working flow velocity v_0 : the specific load on the gas distribution grid $q=21.5$ kg/m², v_{sf} – the fluidization start rate, v_{ff} – the free-floating rate (particle entrainment rate)

Взвешанное состояние материала наступало при равенстве сил гидродинамического сопротивления слоя весу его частиц, приходящемуся на единицу площади поперечного сечения рабочей камеры. Горизонтальный участок АВ кривой псевдооживления характеризует область существования псевдооживенного слоя.

Малейшее превышение рабочей скорости v_0 над величиной $v_{св} = 6,5$ м/с (рисунок 1) приводило к уносу частиц. Очевидно, что v_0 должна находиться в пределах

$$v_{nc} < v_p < v_{св}.$$

На практике унос применялся нами для выгрузки готового материала из рабочей камеры сушилки.

Визуальные наблюдения показали, что в области существования псевдооживенного слоя движения потока было относительно равномерным (псевдооднородным) по всей высоте слоя, а на его свободной поверхности (около положения равновесия) отмечались небольшие волны с различной частотой и амплитудой колебаний, а также со спонтанными флуктуациями.

Такой режим работы достигался в результате совокупного экспериментального исследования конструкций опорно – газораспределительной решетки и сушильной камеры.

Обсуждение

При исследовании профиля скоростей потока в рабочей камере использовалась формула для расчета коэффициента выравнивания потока K , которая при коэффициенте преломления $B \approx 1 - \alpha$ имеет вид:

$$K = (1 + \alpha - \alpha \xi_p) / (1 + \alpha + \xi_p). \quad (1)$$

где α – коэффициент преломлений линий по Тейлору и Битчелору [9] при прохождении через решетку; ξ – коэффициент сопротивления решетки.

При $\alpha=0$, получим

$$K = \Delta\omega_2 / \Delta\omega_0 = (1 + \xi_p)^{-1}, \quad (2)$$

где ω_0 , ω_1 – средняя скорость по сечению рабочей камеры до и после решетки.

Получено хорошее согласие зависимости (2) экспериментальным данным, для чего использовались различные конструкции плоских опорно-газораспределительных решеток.

В результате установлено, что толсто-стенные решетки обеспечивают практически одинаковую степень выравнивания скоростей, как по их фронту, так и по сечениям на конечном расстоянии за ними. Установлено эффективное выравнивание скоростей с помощью плоских решеток, у которых глубина отверстий больше одного-двух диаметров d , то есть $l_{ome}/d_{ome} \geq 1-2$.

Получена зависимость коэффициента выравнивания потока K от коэффициента сопротивления решетки ξ в цилиндрической камере для толсто-стенных решеток с живым сечением от 17 до 58%. Данные аппроксимируются линейной зависимостью:

$$K = -0,54 \xi_p + 0,92 \quad (3)$$

Результаты подтвердились спектрами потока в рабочей камере сушилки при $\xi = 0,8$ (рисунок 2)

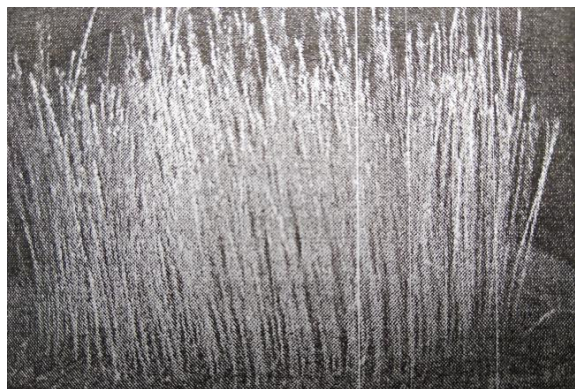


Рисунок 2. Спектры потока (по шелковинок) в рабочей камере сушилки

Figure 2. Flow spectra (by silkworms) in the working chamber of the dryer

Изучение влияния конструкции сушильной камеры на структуру псевдооживленного слоя позволило установить, что камера с углом в вершине конуса 200 обеспечивала лучшее качество псевдооживления. Практически полностью исключались застойные зоны.

Рассмотрим колебания на свободной поверхности псевдооживленного слоя. В данном случае движение твердой фазы можно описать уравнением Эйлера:

$$\rho_t (1 - \varepsilon) (d/dt + v_t \Delta) v_t = -\Delta p + \mu r h v_t, \quad (4)$$

где ρ_t – плотность частиц твердой фазы, v_t – порозность слоя, v_t – скорость частиц, p – давление в слое, μ – коэффициент динамической вязкости оживленного агента, r – удельное сопротивление, h – высота слоя, v_t – скорость оживленного агента.

Заданные допущения: псевдооживленный слой является стационарным и равномерным, рассматривается только одномерная задача, где ось z – вертикаль.

В результате ряда преобразований уравнение Эйлера записывается в «приращениях», что в дальнейшем позволяет получить уравнение колебательного закона:

$$\frac{d^2}{\tau d^2}(\delta Z) = F \left(g - \frac{\mu F \bar{g}_0}{\alpha} \right) \frac{\partial e}{\partial Z} \delta Z \quad (5)$$

где F – площадь поперечного сечения рабочей камеры, e – плотность энергии элементарного объема псевдооживленного слоя, τ – время.

Решением этого уравнения является гармоническая функция

$$\delta Z = h_0 + h \sin \vartheta \tau \quad (6)$$

где ϑ – частота колебаний псевдооживленного слоя.

Тогда частота колебаний псевдооживленного слоя рассчитывается по формуле

$$\vartheta = \sqrt{F \left(g - \frac{\mu F v_r}{S} \right) \frac{de}{dZ}} \quad (7)$$

при условии, что

$$q > \mu F v_r / s, \quad (8)$$

где s – энтропия.

Если условие (8) не выполняется, то в реальном процессе возможен унос частиц.

Проведенные исследования позволили установить режимы псевдооживления в определенной степени минимизирующие неоднородность слоя, что имеет существенное практическое значение. Однако режимные параметры всякий раз требуется корректировать в зависимости от вида высушиваемого материала, его начального и текущего влагосодержаний, геометрической формы (пластины, цилиндра, шара) и др.

Результаты исследования не затушевывают общие положения неравновесной термодинамики. Псевдооживленный слой априори не может находиться в равновесном состоянии, поскольку очевиден непрерывный перенос субстанций: энергии, массы и импульса, то есть $T \neq 0$, $grad \mu \neq 0$.

Равновесные структуры могут образоваться и поддерживаться в ходе обратимых превращений, протекающих при незначительном отклонении от равновесия [1], что не обеспечивается при псевдооживлении.

Необходимо отметить, что основой неравновесной термодинамики является уравнение баланса энтропии:

$$ds = d_e s + d_i s, \quad (9)$$

$$\text{где } d_i s \geq 0. \quad (10)$$

Здесь $d_e s$ означает вклад окружающей среды (поток энергии) и $d_i s$ – производство энтропии, вызванное неравновесными процессами внутри системы, член $d_i s$ можно выразить через скорости необратимых процессов и соответствующие силы.

Отметим также, что энтропия всей неравновесной системы аддитивно складывается из энтропий ее отдельных частей:

$$S = \int \rho s dV, \quad (11)$$

где ρs – единица объема локальной энтропии.

Корректно рассматривать псевдооживленный слой как неустойчивый. В слое всегда

существуют малые и спонтанные флуктуации. Отсутствие условий их затухания становятся условием неустойчивости процесса.

Заключение

Совокупное экспериментальное исследование опорно – газораспределительной решетки и сушильной камеры позволили уменьшить негативное влияние неоднородности псевдооживленного слоя и рекомендовать использовать результаты исследования в промышленности. Однако, вследствие невозможности устранения малых и спонтанных флуктуаций псевдооживленный слой является неравновесным и неустойчивым.

Литература

- 1 Базаров И.П. Термодинамика. СПб.: «Лань», 2010. 384 с.
- 2 Романков П.Г., Фролов В.Ф., Флисюк О.М. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи). Химиздат, 2017. 544 с.
- 3 Иванчина Э.Д., Белинская Н.С., Ивашкина Е.Н., Чернякова Е.С. Системный анализ процессов и аппаратов химической технологии. 2019.
- 4 Романков П.Г., Фролов В.Ф., Флисюк О.М. Массообменные процессы химической технологии. 2017.
- 5 Шишацкий Ю.И., Никель С.А. Научное обеспечение процессов сушки и набухания осветленного свекловичного жома в технологии пектина и пищевых волокон. Воронеж, 2015. 175 с.
- 6 Hyeon C., Hwang W. Physical insight into the thermodynamic uncertainty relation using Brownian motion in tilted periodic potentials // *Physical Review E*. 2017. V. 96. № 1. P. 012156. doi: 10.1103/PhysRevE.96.012156
- 7 Solon A.P., Stenhammar J., Cates M.E., Kafri Y. et al. Generalized thermodynamics of motility-induced phase separation: phase equilibria, Laplace pressure, and change of ensembles // *New Journal of Physics*. 2018. V. 20. № 7. P. 075001.
- 8 Hansen F.A., Pedersen-Bjergaard S. Emerging extraction strategies in analytical chemistry // *Analytical chemistry*. 2019. V. 92. № 1. P. 2-15. doi: 10.1021/acs.analchem.9b04677
- 9 Zhang Q.W., Lin L.G., Ye W.C. Techniques for extraction and isolation of natural products: A comprehensive review // *Chinese medicine*. 2018. V. 13. № 1. P. 1-26. doi: 10.1186/s13020-018-0177-x
- 10 Saini R.K., Keum Y.S. Carotenoid extraction methods: A review of recent developments // *Food chemistry*. 2018. V. 240. P. 90-103. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.07.099
- 11 Armenta S. et al. Green extraction techniques in green analytical chemistry // *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2019. V. 116. P. 248-253. doi: 10.1016/j.trac.2019.03.016
- 12 Bleakley S., Hayes M. Algal proteins: extraction, application, and challenges concerning production // *Foods*. 2017. V. 6. № 5. P. 33. doi: 10.3390/foods6050033
- 13 Anjomshoe S.T., Rahim M.S.B.M. Feature extraction of overlapping hevea leaves: A comparative study // *Information processing in agriculture*. 2018. V. 5. № 2. P. 234-245. doi: 10.1016/j.inpa.2018.02.001
- 14 Veneziani G. et al. Extra-virgin olive oil extracted using pulsed electric field technology: Cultivar impact on oil yield and quality // *Frontiers in nutrition*. 2019. V. 6. P. 134. doi: 10.3389/fnut.2019.00134
- 15 Deflaoui L., Setyaningsih W., Palma M., Mekhoukhe A. et al. Phenolic compounds in olive oil by solid phase extraction–Ultra performance liquid chromatography–Photodiode array detection for varietal characterization // *Arabian Journal of Chemistry*. 2021. V. 14. № 4. P. 103102. doi: 10.1016/j.arabjc.2021.103102
- 16 Hewavitharana G.G., Perera D.N., Navaratne S.B., Wickramasinghe I. Extraction methods of fat from food samples and preparation of fatty acid methyl esters for gas chromatography: A review // *Arabian J. Chem*. 2020. V. 13. № 8. P. 6865-6875. doi: 10.1016/j.arabjc.2020.06.039
- 17 Чашин В.П., Гудков А.Б., Попова О.Н., Одланд Ю.О. и др. Характеристика основных факторов риска нарушений здоровья населения, проживающего на территориях активного природопользования в Арктике // *Экология человека*. 2014. №. 1. С. 3–12.
- 18 Раскина Т.А., Пирогова О.А., Зобнина О.В., Пинтова Г.А. Показатели системы остеокластогенеза у мужчин с различными клиническими вариантами анкилозирующего спондилита // *Современная ревматология*. 2015. Т. 9. №. 2. С. 23–27. doi: 10.14412/1996-7012-2015-2-23-27
- 19 Кондратьев В. Глобальная фармацевтическая промышленность. URL: http://perspektivy.info/rus/ekob/globalnaja_farmaceuticheskaja_promyshlennost_2011-07-18.html
- 20 ГОСТ 8.586.5–2005. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Методика выполнения измерений. М.: Стандартинформ, 2007.

References

- 1 Bazarov I.P. Thermodynamics. SPb, "Lan", 2010. 384 p. (in Russian).
- 2 Romankov P.G., Frolov V.F., Flisyuk O.M. Methods for calculating processes and devices of chemical technology (examples and tasks). Khimizdat, 2017. 544 p. (in Russian).
- 3 Ivanchina E.D., Belinskaya N.S., Ivashkina E.N., Chernyakova E.S. System analysis of processes and devices of chemical technology. 2019. (in Russian).
- 4 Romankov P.G., Frolov V.F., Flisyuk O.M. Mass transfer processes of chemical technology. 2017. (in Russian).

- 5 Shishatsky Yu.I., Nickel S.A. Scientific support of the processes of drying and swelling of clarified beet pulp in the technology of pectin and dietary fiber. Voronezh, 2015. 175 p. (in Russian).
- 6 Hyeon C., Hwang W. Physical insight into the thermodynamic uncertainty relation using Brownian motion in tilted periodic potentials. *Physical Review E*. 2017. vol. 96. no. 1. pp. 012156. doi: 10.1103/PhysRevE.96.012156
- 7 Solon A.P., Stenhammar J., Cates M.E., Kafri Y. et al. Generalized thermodynamics of motility-induced phase separation: phase equilibria, Laplace pressure, and change of ensembles. *New Journal of Physics*. 2018. vol. 20. no. 7. pp. 075001.
- 8 Hansen F.A., Pedersen-Bjergaard S. Emerging extraction strategies in analytical chemistry. *Analytical chemistry*. 2019. vol. 92. no. 1. pp. 2-15. doi: 10.1021/acs.analchem.9b04677
- 9 Zhang Q.W., Lin L.G., Ye W.C. Techniques for extraction and isolation of natural products: A comprehensive review. *Chinese medicine*. 2018. vol. 13. no. 1. pp. 1-26. doi: 10.1186/s13020-018-0177-x
- 10 Saini R.K., Keum Y.S. Carotenoid extraction methods: A review of recent developments. *Food chemistry*. 2018. vol. 240. pp. 90-103. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.07.099
- 11 Armenta S. et al. Green extraction techniques in green analytical chemistry. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2019. vol. 116. pp. 248-253. doi: 10.1016/j.trac.2019.03.016
- 12 Bleakley S., Hayes M. Algal proteins: extraction, application, and challenges concerning production. *Foods*. 2017. vol. 6. no. 5. pp. 33. doi: 10.3390/foods6050033
- 13 Anjomshoe S.T., Rahim M.S.B.M. Feature extraction of overlapping hevea leaves: A comparative study. *Information processing in agriculture*. 2018. vol. 5. no. 2. pp. 234-245. doi: 10.1016/j.inpa.2018.02.001
- 14 Veneziani G. et al. Extra-virgin olive oil extracted using pulsed electric field technology: Cultivar impact on oil yield and quality. *Frontiers in nutrition*. 2019. vol. 6. pp. 134. doi: 10.3389/fnut.2019.00134
- 15 Deflaoui L., Setyaningsih W., Palma M., Mekhoukhe A. et al. Phenolic compounds in olive oil by solid phase extraction–Ultra performance liquid chromatography–Photodiode array detection for varietal characterization. *Arabian Journal of Chemistry*. 2021. vol. 14. no. 4. pp. 103102. doi: 10.1016/j.arabjc.2021.103102
- 16 Hewavitharana G.G., Perera D.N., Navaratne S.B., Wickramasinghe I. Extraction methods of fat from food samples and preparation of fatty acid methyl esters for gas chromatography: A review. *Arabian J. Chem*. 2020. vol. 13. no. 8. pp. 6865-6875. doi: 10.1016/j.arabjc.2020.06.039
- 17 Chashchin V.P., Gudkov A.B., Popova O.N., Odland Yu.O. et al. Characteristics of the main risk factors for health disorders of the population living in the territories of active nature management in the Arctic. *Human Ecology*. 2014. no. 1. pp. 3–12. (in Russian).
- 18 Raskina T.A., Pirogova O.A., Zobnina O.V., Pintova G.A. Indicators of the osteoclastogenesis system in men with various clinical variants of ankylosing spondylitis. *Modern rheumatology*. 2015. vol. 9. no. 2. pp. 23–27. doi: 10.14412/1996-7012-2015-2-23-27 (in Russian).
- 19 Kondratyev V. Global pharmaceutical industry. Available at: http://perspektivy.info/rus/ekob/globalnaja_farmaceuticheskaja_promyshlennost_2011-07-18.html (in Russian).
- 20 GOST 8.586.5-2005. Measurement of flow and quantity of liquids and gases using standard orifice devices. Measurement technique. Moscow, Standartinform, 2007. (in Russian).

Сведения об авторах


Юлиан И. Шишацкий д.т.н., профессор, кафедра физики, теплотехники и теплоэнергетики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Сергей А. Толстов к.т.н., доцент, кафедра авиационных двигателей, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54 «А», г. Воронеж, 394064, Россия, serezha.tolstoff@ya.ru

Анна А. Дерканосова к.т.н., доцент, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, aa-derk@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9726-9262>

Александр А. Рындин к.т.н., доцент, кафедра технологии броидильных производств и виноделия, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе 11, г. Москва, 125080, Россия, ryndinaa@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6861-9297>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов


Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors


Yulian I. Shishatskii Dr. Sci. (Engin.), professor, physics, heatengineering and heat power engineering department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Sergey A. Tolstov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, aircraft engines department, Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, 54 "A" Starykh Bolshevikov str., Voronezh, 394064, Russia, serezha.tolstoff@ya.ru

Anna A. Derkanosova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, aa-derk@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9726-9262>

Aleksandr A. Ryndin Cand. Sci. (Engin.), associate professor, fermentation and winemaking technology department, Moscow State University of Food Production, Volokolamskoe Highway 11, Moscow, 125080, Russia, ryndinaa@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6861-9297>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 21/04/2021	После редакции 12/05/2021	Принята в печать 03/06/2021
Received 21/04/2021	Accepted in revised 12/05/2021	Accepted 03/06/2021