

Термодинамика фазового равновесия в системах твердое тело–жидкость и твердое тело–газ

Юлиан И. Шишацкий¹Анна А. Дерканосова¹Сергей А. Толстов²

aa-derk@ya.ru

serezha.tolstoff@ya.ru

 0000-0002-9726-9262¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия² Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е.

Жуковского и Ю.А. Гагарина», ул. Старых Большевиков, 54 «А», г. Воронеж, 394064, Россия

Аннотация. Термодинамическое равновесие двухфазной системы описывается уравнением Гиббса, включающее параметры состояния. На основе уравнения Гиббса и объединенного уравнения первого и второго законов термодинамики записаны термодинамические потенциалы: внутренней энергии, энтальпии и свободной энергии Гиббса. Если две фазы находятся в равновесии, то температуры, давления и химические потенциалы этих фаз равны между собой. Равенства выражают условия термического и механического равновесия, а также условие отсутствия движущей силы для переноса компонента через границу раздела фаз. Для двухфазной системы уравнение Гиббса-Дюгема связывает объем и энтропию 1 моля смеси, содержание любого компонента, выраженное в мольных долях. Рассмотрено экстрагирование из частиц люпина подсырной сывороткой (система твердое тело–жидкость). Движущей силой процесса экстрагирования в системе твердое тело–жидкость является разность между концентрацией растворяющего вещества у поверхности твердого тела C и его средней концентрацией C_0 в основной массе раствора. Концентрация на границе раздела фаз обычно принимается равной концентрации насыщенного раствора C_n , поскольку вблизи поверхности твердого тела равновесие устанавливается довольно быстро. Тогда движущая сила процесса выражается как $C_n - C_0$. Построена кривая извлечения экстрактивных веществ из люпина подсырной сывороткой наложением низкочастотных механических колебаний.

Ключевые слова: равновесие, устойчивость фаз, термодинамические потенциалы, движущие силы, экстрагирование, сушка

Thermodynamics of phase equilibrium in solid-liquid and solid-gas systems

Yulian I. Shishatskii¹Anna A. Derkanosova¹Sergey A. Tolstov²

aa-derk@ya.ru

serezha.tolstoff@ya.ru

 0000-0002-9726-9262¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia² Air Force Academy named after Professor N.Ye. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, st. Old Bolsheviks, 54 "A", Voronezh, 394064, Russia

Abstract. The thermodynamic equilibrium of a two-phase system is described by the Gibbs equation, which includes state parameters. On the basis of the Gibbs equation and the combined equation of the first and second laws of thermodynamics, thermodynamic potentials are written: internal energy, enthalpy and Gibbs free energy. If the two phases are in equilibrium, then the temperatures, pressures and chemical potentials of these phases are equal to each other. Equalities express the conditions of thermal and mechanical equilibrium, as well as the condition for the absence of a driving force for the transfer of a component across the interface. For a two-phase system, the Gibbs-Duhem equation connects the volume and entropy of 1 mole of the mixture, the content of any component, expressed in mole fractions. Extraction from lupine particles with cheese whey (solid-liquid system) is considered. The driving force of the extraction process in the solid-liquid system is the difference between the concentration of the solvent at the surface of the solid C and its average concentration C_0 in the bulk of the solution. The concentration at the interface is usually taken to be equal to the concentration of a saturated solution of C_n , since equilibrium is established rather quickly near the surface of a solid. Then the driving force of the process is expressed as $C_n - C_0$. A curve for the extraction of extractives from lupine with cheese whey was plotted by superimposing low-frequency mechanical vibrations.

Keywords: equilibrium, phase stability, thermodynamic potentials, driving forces, extraction, drying

Введение

Процессы экстрагирования (система твердое тело–жидкость) и сушка (система твердое тело–газ) нашли широкое применение в пищевой промышленности и смежных отраслях. В данной работе использованы общие условия термодинамического равновесия и устойчивости различных систем.

Методы

Для системы твердое тело–жидкость и твердое тело–газ применимо уравнение Гиббса в виде [6]

$$TdS = dU + pdV - \sum \mu_i dN_i \quad (1)$$

где: T – температура, S – энтропия, U – внутренняя энергия, p – давление, V – объем системы, N_i , μ_i – химический потенциал и число молей компонента i .

Для цитирования

Шишацкий Ю.И., Дерканосова А.А., Толстов С.А. Термодинамика фазового равновесия в системах твердое тело–жидкость и твердое тело–газ // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 30–35. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-30-35

For citation

Shishatskii Yu.I., Derkanosova A.A., Tolstov S.A. Thermodynamics of phase equilibrium in solid-liquid and solid-gas systems. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 30–35. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-30-35

На основе уравнения Гиббса и объединенного уравнения I и II законов термодинамики можно записать термодинамические потенциалы: внутренняя энергия U

$$dU = TdS - pdV + \sum \mu_i dN_i \quad (2)$$

энтальпия H

$$dH = TdS + Vdp + \sum \mu_i dN_i \quad (3)$$

свободная энергия Гиббса G

$$dG = -SdT + Vdp + \sum \mu_i dN_i \quad (4)$$

Система равновесна не только, когда все параметры постоянны во времени, но и в том случае, когда нет никаких стационарных потоков за счет действия каких-либо внешних источников. Система выводится из равновесного состояния, если подвести к ней вещество или энергию. При этом перенос массы и энергии в пространстве может происходить как принудительно, так и самопроизвольно. В конечном счете, система приходит в состояние динамического равновесия.

Для изолированной системы характерно постоянство макроскопических параметров вещества во времени и в пространстве. В соответствии со вторым законом термодинамики энтропия изолированной системы стремится к максимуму. В состоянии равновесия энтропия системы имеет максимально возможное для данной системы значение, то есть в равновесной изолированной системе $dS = 0$. Действительно, для этой системы $dU = 0$ и $dV = 0$.

Исходя из технической термодинамики для открытой системы равновесное состояние достигается только при ее равновесии с окружающей средой в результате тепло-и массообменного взаимодействия. Вследствие отклонения от равновесия в самой системе или в окружающей среде возникает движущая сила процессов, приводящих к изменению свойств системы. Если внешние условия неизменные, то состояние равновесия удерживается в системе сколь угодно долго.

Состояние устойчивого равновесия (стабильное состояние) характерно тем, что если каким-либо внешним воздействием вывести из него рассматриваемую систему, а затем снять это внешнее воздействие, то система возвратится в исходное состояние равновесия [3].

Устойчивое равновесие достигается при условии минимальных значений внутренней энергии U , энтальпии H и свободной энергии Гиббса G .

Результаты и обсуждение

В [1] отмечено, что для устойчивой системы должно соблюдаться неравенство:

$$\left(\frac{\partial^2 G}{\partial N_i^2} \right)_{T, p, N_k \neq i} = \left(\frac{\partial \mu_i}{\partial N_i} \right)_{T, p, N_k \neq i} > 0 \quad (5)$$

Предел существования устойчивой фазы достигается при $(\partial \mu_i / \partial N_i)_{T, p, N_k \neq i} = 0$.

Если система находится в состоянии неустойчивого равновесия (лабильное состояние) и из него ее вывести, то система уже не возвратится в исходное состояние, а перейдет в новое состояние устойчивого равновесия. Даже очень малые внешние воздействия выводят систему из лабильного состояния [8–20].

При условии $(\partial \mu_i / \partial N_i)_{T, p, N_k \neq i} < 0$, система неустойчива вследствие возникновения движущей силы для разделения на две равновесные фазы различного состава.

Исходя из условия устойчивости (5) для двухфазной системы запишем:

$$T_1 = T_2; p_1 = p_2; \mu_{i1} = \mu_{i2}, \quad (6)$$

где индексы 1 и 2 относятся к разным фазам, а T , p и μ – их температуры, давления и химические потенциалы.

Таким образом, если две фазы находятся в равновесии, то температуры, давления и химические потенциалы этих фаз равны между собой. Равенства (6) выражают условия термического и механического равновесия, а также условие отсутствия движущей силы для переноса компонента через границу раздела фаз.

В [1] отмечено, что для однофазной системы уравнение Гиббса-Дюгема имеет вид

$$\sum X_i d\mu_i = 0 \text{ при } T \text{ и } p = \text{const.}$$

При этих условиях для двухфазной системы уравнение принимает вид:

$$(V_2 - V_1) dp = (S_2 - S_1) dT + \sum (X_{i2} - X_{i1}) d\mu_i, \quad (7)$$

где V и S – объем и энтропия 1 моля смеси; X – содержание любого компонента, выраженное в мольных долях.

Рассмотрим экстрагирование из частиц люпина подсырной сывороткой (система твердое тело–жидкость). В определенные моменты процесса может наступить состояние, близкое к равновесию. В условиях равновесия открытой системы концентрация экстрагента в парах приобретает постоянное значение, равное концентрации экстрагента в аппарате.

Запишем иное толкование равновесия: равновесие в рассматриваемой системе наступает тогда, когда химический потенциал растворенного вещества становится равным величине химического потенциала в исходном твердом материале.

Движущей силой процесса экстрагирования в системе твердое тело–жидкость является разность между концентрацией растворяющегося вещества у поверхности твердого тела C и его средней концентрацией C_0 в основной массе раствора. Концентрация на границе раздела фаз

обычно принимается равной концентрации насыщенного раствора C_n , поскольку вблизи поверхности твердого тела равновесие устанавливается довольно быстро. Тогда движущая сила процесса выражается как разность $(C_n - C_0)$. Скорость процесса определяется по уравнению массоотдачи [2].

Изложенные выше рассуждения иллюстрируются рисунком 1. Кинетическая кривая, построенная в координатах $C(\tau)$, показывает изменение концентрации экстрагента во времени. В качестве экстрагента использовалась подсырная сыворотка, с целью извлечения целевых компонентов (белков) из сырья растительного происхождения – люпина, наложением низкочастотных механических колебаний [7].

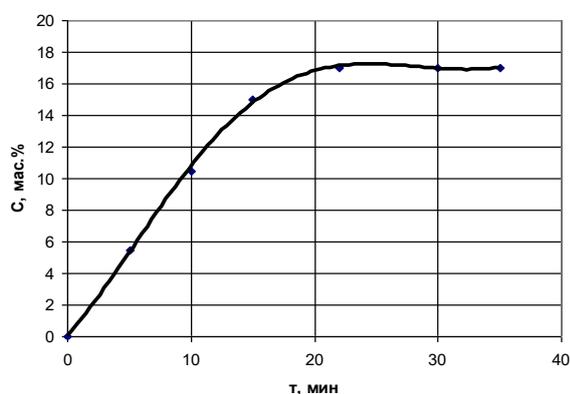


Рисунок 1. Кривая кинетики извлечения экстрактивных веществ из люпина подсырной сывороткой наложением низкочастотных механических колебаний: частота колебаний $n = 10$ кол/с; амплитуда колебаний $A = 5,5$ мм; температура $t = 50^\circ\text{C}$; форма тела – крупка

Figure 1. Kinetic curve of extraction of extractive substances from lupine with cheese whey by superimposing low-frequency mechanical vibrations: vibration frequency $n = 10$ count/s; vibration amplitude $A = 5.5$ mm; temperature $t = 500^\circ\text{C}$; body shape – grains

Низкочастотные механические колебания использовались как один из методов интенсификации экстрагирования. Процесс сокращался до 2,5 раз по сравнению с экстрагированием в плотном слое.

Фазовое равновесие в системе твердое тело–жидкость наступало через 18 минут (рисунок 1), то есть в частицах люпина и в подсырной сыворотке концентрации были равными. В данном случае условия устойчивости двухфазной системы выражаются равенствами (6).

Движущей силой процесса конвективной сушки является разность между равновесной и рабочей концентрациями сушильного агента. Она может быть также выражена разностью температур, парциальных давлений или энтальпий паро – газовой смеси в потоке и на поверхности материала.

Как отмечается в [4], вследствие выравнивания концентраций и температур в процессе сушки сила изменяется вдоль сушильного тракта, поэтому при расчете необходимо принимать среднее значение движущей силы Δ или выражать ее через число единиц переноса m .

В период внутреннего испарения температура центра образца материала повышается с течением времени, но немного медленнее, чем температура поверхности материала. Вследствие этого внутри материала возникает температурный градиент. Последний постепенно уменьшается и при достижении равновесного влагосодержания становится равным нулю. В равновесном состоянии убыли влагосодержания не происходит, а температура материала равна температуре воздуха.

Движущая сила выражается также как разность парциальных давлений пара над поверхностью материала p_m и превышающим его парциальное давление в воздухе или газе p_n , то есть при $p_m > p_n$.

В процессе сушки параметр p_m уменьшается и приближается к пределу $p_m = p_n$. При этом наступает термодинамическое равновесие, которому соответствует предельное влагосодержание материала, то есть равновесное влагосодержание u_p . В свою очередь u_p зависит от парциального давления водяного пара над материалом p_n или пропорциональной ему параметру относительной влажности воздуха φ .

Характер изменения влагосодержаний в процессе сушки представлен на рисунке 2. Здесь G_n – удельная нагрузка на опорно-газораспределительную решетку; $T_{гн}$ – температура воздуха начальная; φ_n – относительная влажность воздуха; v – скорость воздуха; u^* – критическое влагосодержание, кг воды/кг сухого материала; τ^* – продолжительность периода поверхностного испарения (первого периода сушки), мин.

Как показано на рисунке 2, когда влагосодержание материала, уменьшаясь при сушке, переходит через значение критического влагосодержания u^* (максимального гигроскопического состояния), начинается период внутреннего испарения – период падающей (убывающей) скорости сушки.

Второй период характеризуется тем, что возрастает внутридиффузионное сопротивление, поэтому количество влаги, подводимой к поверхности испарения, уменьшается и интенсивность процесса убывает. Температура материала, изменяясь во времени, непрерывно увеличивается от значения, равного температуре мокрого термометра, до температуры окружающего сушильного агента – при достижении материалом состояния, равновесного с состоянием воздуха. Равновесное состояние влажного воздуха и материала определяется

сопряженными значениями относительной влажности воздуха и равновесного влагосодержания материала.

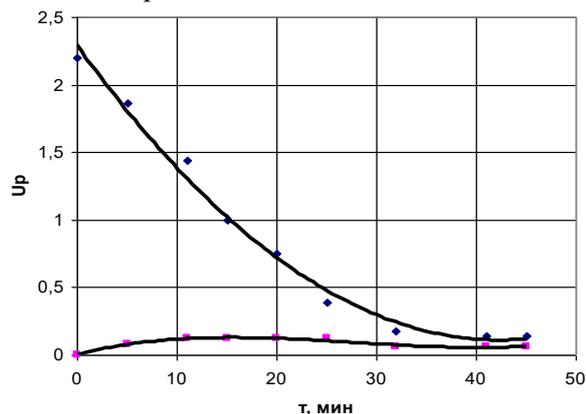


Рисунок 2. Характер изменения влагосодержаний $u(t)$ и $u_p(t)$ в процессе сушки хлебопекарных дрожжей в псевдооживленном слое при начальных размерах гранул: диаметр 2 мм, длина 6 мм и параметрах процесса: $G_n = 45 \text{ кг/м}^2$; $T_{гн} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$; $\varphi_n = 24 \%$; $v = 2,93 \text{ м/с}$; $T_n = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; 1 – $u(t)$; 2 – $u_p(t)$

Figure 2. The nature of the change in the moisture content $u(t)$ and $u_p(t)$ during the drying of baker's yeast in a fluidized bed with the initial size of the granules: diameter 2 mm, length 6 mm and process parameters: $G_n = 45 \text{ kg/m}^2$; $T_g = 40 \text{ }^\circ\text{C}$; $\varphi_n = 24\%$; $v = 2.93 \text{ m/s}$; $T_n = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; 1 – $u(t)$; 2 – $u_p(t)$

При сушке термочувствительных материалов (система твердое тело–воздух) их конечное значение влагосодержания, всегда больше равновесного. В этом случае термодинамика неравновесной системы и ее устойчивость выражаются неравенством:

$$T_1 \neq T_2; p_1 \neq p_2; \mu_{i1} \neq \mu_{i2}, \quad (8)$$

то есть температуры, давление и химические потенциалы фаз не равны между собой, равно как и их градиенты.

Заключение

При достижении экстрагированием фазового равновесия система характеризуется как равновесная и устойчивая. Решается важная технологическая задача: максимальное извлечение из твердого тела целевых компонентов.

При сушке термолабильных материалов система твердое тело–воздух является неравновесной и неустойчивой. Специфика сушки термочувствительных материалов имеет непосредственное отношение к задаче получения необходимых наилучших технологических свойств гороховых продуктов.

Литература

- 1 Праздникова Е.М. Исследование процесса твердофазной экстракции в лабораторном экстракторе-центрифуге // Результаты современных научных исследований и разработок. 2019. С. 30-33.
- 2 Романков П.Г., Фролов В.Ф., Флисюк О.М. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи). ХИМИЗДАТ, 2017. С. 544-544.
- 3 Кудинов В. А., Карташов Э. М., Стефанюк Е. В. Техническая термодинамика и теплопередача. М.: Юрайт. 2011.
- 4 Подгорный С.А., Кошевой Е.П., Косачев В.С. Термодинамический подход в теории сушки // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2015. № 4. С. 88-91.
- 5 Подгорный С.А. и др. Постановка задачи описания переноса тепла, массы и давления при сушке // Новые технологии. 2014. № 3.
- 6 Каданов Л., Бейм Г. Квантовая статистическая механика. Рипол Классик, 2013.
- 7 Шишацкий Ю.И., Никель С.А., Буданов А.В., Власов Ю.Н. Влияние наложения низкочастотных механических колебаний на эффективность экстрагирования // Вестник ВГУИТ. 2018. Т.80. № 1. С. 25–29. doi: 10.20914/2310-1202-2018-1-25-29
- 8 Qasem N.A.A. et al. The impact of thermodynamic potentials on the design of electro dialysis desalination plants // Energy Conversion and Management. 2020. V. 205. P. 112448. doi: 10.1016/j.enconman.2019.112448
- 9 Amaku M., Coutinho F.A.B., Oliveira L.N. Thermodynamic Potentials and Natural Variables // Revista Brasileira de Ensino de Física. 2020. V. 42. doi: 10.1590/1806-9126-rbef-2019-0127
- 10 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
- 11 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.
- 12 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
- 13 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
- 14 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
- 15 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
- 16 Bleakley S., Hayes M. Algal proteins: extraction, application, and challenges concerning production // Foods. 2017. V. 6. № 5. P. 33. doi: 10.3390/foods6050033

- 17 Anjomshoae 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
- 18 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
- 19 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
- 20 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

References

- 1 Prazdnikova E.M. Investigation of the process of solid-phase extraction in a laboratory extractor-centrifuge. Results of modern research and development. 2019. pp. 30-33. (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 Kudinov V. A., Kartashov E. M., Stefanyuk E. V. Technical thermodynamics and heat transfer. Moscow, Yurayt. 2011. (in Russian).
- 4 Podgorny S.A., Koshevoy E.P., Kosachev V.S. Thermodynamic approach in the theory of drying. News of higher educational institutions. Food technology. 2015. no. 4. pp. 88-91. (in Russian).
- 5 Podgorny S.A. et al. Formulation of the problem of describing the transfer of heat, mass and pressure during drying. New technologies. 2014. no. 3. (in Russian).
- 6 Kadanov L., Beim G. Quantum Statistical Mechanics. Ripol Classic, 2013. (in Russian).
- 7 Shishatsky Yu.I., Nickel S.A., Budanov A.V., Vlasov Yu.N. Influence of superposition of low-frequency mechanical vibrations on the extraction efficiency. *Proceedings of VSUET*. 2018. vol. 80. no. 1. pp. 25–29. doi: 10.20914/2310-1202-2018-1-25-29 (in Russian).
- 8 Qasem N.A.A. et al. The impact of thermodynamic potentials on the design of electro dialysis desalination plants. *Energy Conversion and Management*. 2020. vol. 205. pp. 112448. doi: 10.1016/j.enconman.2019.112448
- 9 Amaku M., Coutinho F.A.B., Oliveira L.N. Thermodynamic Potentials and Natural Variables. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 2020. vol. 42. doi: 10.1590/1806-9126-rbef-2019-0127
- 10 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
- 11 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.
- 12 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
- 13 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
- 14 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
- 15 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
- 16 Bleakley S., Hayes M. Algal proteins: extraction, application, and challenges concerning production. *Foods*. 2017. vol. 6. no. 5. pp. 33. doi: 10.3390/foods6050033
- 17 Anjomshoae 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
- 18 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
- 19 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
- 20 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

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

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

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

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

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

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>

Sergey A. Tolstov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Department of Aircraft Engines, Military Training and Research Center of the Air Force 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

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.

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 14/01/2021	После редакции 19/02/2021	Принята в печать 03/03/2021
Received 14/01/2021	Accepted in revised 19/02/2021	Accepted 03/03/2021