

Оптимизация процесса прессования семян сафлора в ультразвуковом поле

Сергей Т. Антипов	¹	ast@vsuet.ru
Сергей В. Шахов	¹	s_shahov@mail.ru
Александр Н. Мартеха	¹	man6630@rambler.ru
Алексей А. Берестовой	¹	berestovoy_1991@mail.ru

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

Реферат. В статье дано математическое описание процесса прессования семян сафлора в ультразвуковом поле в виде уравнения регрессии, найденного статистическими методами на основе экспериментов и, описывается полиномом второй степени. В качестве основных факторов, влияющих на эффективность процесса, были выбраны: частота ультразвука, амплитуда ультразвука, давление и создаваемое в зерной камере пресса. А в качестве критерия оценки влияния выбранных параметров использована остаточная маслянистость жмыха. Для оценки адекватности математической модели был проведен дисперсионный анализ (ANOVA) эксперимента в программе *Design Expert v. 10* и получено уравнение регрессии, анализ которых позволил выделить факторы, в наибольшей степени влияющих на рассматриваемый процесс. Установлено что при повышении давления в прессе до значения выше 14 МПа дальнейшее повышение эффективности его работы не наблюдалось вместе с повышенными значениями как частоты ультразвука, так и его амплитуды. Максимальные и наиболее эффективные значения остаточной маслянистости жмыха получены при значениях частоты в среднем 35–40 кГц, амплитуды свыше 40 мм и давлении в прессе от 10 до 11 МПа., которые очевидно зависят напрямую от поведения зерна и движения его внутренней части во время подвода ультразвука. Графическая интерпретация уравнения представлена кривыми равных значений и поверхностями отклика для входных параметров. Предложена численная и графическая процедуры оптимизации для прогнозирования оптимального уровня входных факторов и получения максимального выхода масла по отношению к массе первоначального сырья. Для проверки адекватности модели представлены результаты ряда параллельных экспериментов, которые попадали в рассчитанные доверительные интервалы по всем критериям качества.

Ключевые слова: оптимизация, сафлор, ультразвук, прессование

Optimization of the process of safflower seeds pressing inside an ultrasonic field

Sergey T. Antipov	¹	ast@vsuet.ru
Sergey V. Shahov	¹	s_shahov@mail.ru
Aleksandr N. Martekha	¹	man6630@rambler.ru
Alexey A. Berestovoy	¹	berestovoy_1991@mail.ru

¹ Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Summary. The article gives a mathematical description of the process of safflower seeds pressing in an ultrasonic field in the form of a regression equation found by static methods on the experimental basis and is described by a polynomial of the second degree. As the main factors influencing the the process efficiency, the ultrasound frequency, the amplitude of the ultrasound, the pressure created in the curb camera were selected. And as a criterion for assessment of the selected parameters effect the residual cake oil content is used. To assess the adequacy of the mathematical model the disperse analysis (ANOVA) of the experiment in the *Design Expert v. 10* was carried out and the regression equation was obtained. The analysis of the equation allowed us to identify the factors influencing the process under consideration to a larger extent. It was found that when the pressure in the press increased higher than 14 MPa, a further increase in efficiency wasn't observed together with increased values of both the ultrasound frequency and its amplitude. The maximum and most effective values of residual oil content in the cake were obtained in the frequency of 35-40 Hz and amplitude of more than 40 mm and the pressure in the press ranging 10 - 11 MPa. which are obviously directly dependent on the behavior of grain and movement of its internal part during the ultrasound supply. Graphical interpretation of the equation was represented by the curves of equal values and response surfaces for input parameters. A numerical and graphical optimization procedures were also proposed to forecast the optimal level of input factors and to obtain the maximum yield of oil relative to the mass of the original raw material. To check the adequacy of the model, the results of a number of parallel experiments were presented that responded within the calculated confidence intervals for all quality criteria

Keywords: optimization, safflower, ultrasound, pressing

Для цитирования

Антипов С. Т., Шахов С. В., Мартеха А. Н., Берестовой А. А. Оптимизация процесса прессования семян сафлора в ультразвуковом поле // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 1. С. 40–45. doi:10.20914/2310-1202-2017-1-40-45

For citation

Antipov S. T., Shahov S. V., Martekha A. N., Berestovoy A. A. Optimization of the process of safflower seeds pressing inside an ultrasonic field. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2017. Vol. 79. no. 1. pp. 40–45. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2017-1-40-45

Введение

Сафлор (*Carthamnus*) – род одно-, двух- или многолетних травянистых растений семейства астровых. Средняя урожайность семян составляет 10–12 ц/га, при благоприятных условиях – до 20 ц/га и более. Сафлор выращивают преимущественно как масличную культуру. Его семена содержат 25–37% (в ядре 46–60%) полувысыхающих масла (йодное число: 115–155) и до 12% белка. Сафлоровое масло приближается по вкусовым качествам подсолнечному, ее используют в пищевых целях для изготовления маргарина высокого качества [1, 4].

Для исследования влияния параметров прессования на характер работы пресса и затраты энергии был проведен эксперимент с варьированием всеми факторами. В результате была дана оценка эффектов их взаимодействия. Математическое описание указанного процесса может быть получено эмпирически. При этом математическая модель, имеющая вид уравнения регрессии, найденного статистическими методами на основе экспериментов, описывается полиномом второй степени [2].

В качестве основных факторов, влияющих на эффективность процесса, были выбраны: X_1 – частота ультразвука, Гц; X_2 – амплитуда ультразвука, мм; X_3 – давление, создаваемое в зерной камере пресса, МПа.

Все эти факторы совместимы и некоррелируемы между собой. Изучая их взаимное влияние на процесс, можно подобрать оптимальные режимы прессования.

Выбор интервалов изменения факторов обусловлен технологией процесса прессования и техническими характеристиками пресса.

Критерием оценки влияния выбранных параметров выбран Y – остаточная масличность жмыха, %, при этом частоту ультразвука изменяли от 10 до 50 кГц, амплитуду ультразвука от 30 до 50 мм, давление, создаваемое в зерной камере пресса от 7 до 17 МПа [3].

Для статистической обработки данных исследования применяли центральное ротатабельное униформпланирование, которое позволяло в ходе 20 экспериментов в 3-х кратной повторности получить уравнение регрессии адекватно, описывающее процесс прессования [5].

При обработке результатов эксперимента применяли следующие статистические критерии: проверка однородности дисперсий – критерий Кохрена, значимость коэффициентов уравнений регрессии – критерий Фишера.

Для оценки адекватности математической модели был проведен ANOVA (дисперсионный) анализ эксперимента в программе *Design Expert v. 10* и получено следующее уравнение регрессии:

$$Y_i = 10,67 + 0,91X_1 + 0,78X_2 - 0,43X_3 - 0,25X_1X_3 - 0,57X_2X_3 + 0,53X_1^2 + 0,87X_2^2 \quad (1)$$

Анализ уравнения регрессии (1) позволяет выделить факторы, в наибольшей степени влияющие на рассматриваемый процесс (рисунок 1).

По данным эксперимента, можно судить о степени адекватности модели, с учетом статистических критериев. В этом случае значение критерия Фишера для b_0 равно 11,48, что говорит об адекватности модели, а $p < 0,05$ о значимости соответствующих членов уравнения регрессии (1).

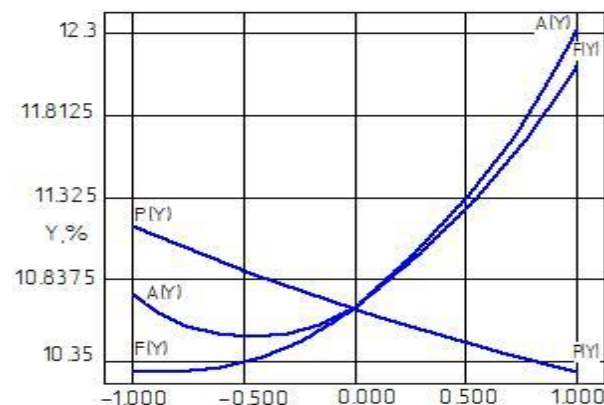


Рисунок 1. Оценка степени влияния коэффициентов b_i в уравнении регрессии

Figure 1. Estimation of the degree of influence of the coefficients b_i in the regression equation

На рисунке 1 приведена графическая оценка степени влияния числовых коэффициентов b при X . Функции $F(Y)$ и $A(Y)$ носят возрастающий характер, что подтверждается знаком «+», функция $P(Y)$ – напротив, незначительно убывает. Такое поведение кривых объясняется тем, что при повышении давления в прессе до значения свыше 14 МПа дальнейшее повышение эффективности его работы не наблюдалось при соответствующем увеличении значений частоты и амплитуды ультразвука. Максимальные и наиболее эффективные значения Y получены при значениях частоты в среднем 35–40 кГц, амплитуды свыше 40 мм и давлении в прессе от 10 до 11 МПа. Эти значения, очевидно, зависят напрямую от поведения зерна и движения его внутренней части во время подвода ультразвука [6].

Графическая интерпретация уравнения регрессии представлена кривыми равных значений

и поверхностями отклика для входных параметров в интервале $[-1,68...+1,68]$ (рисунок 2-4).

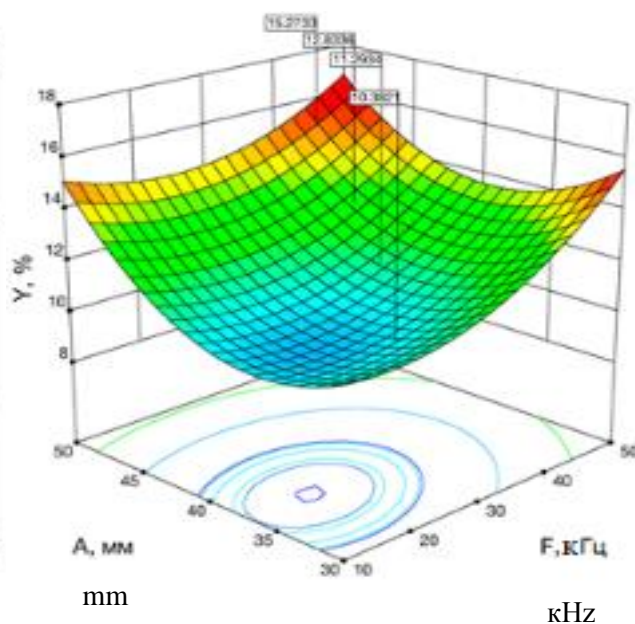
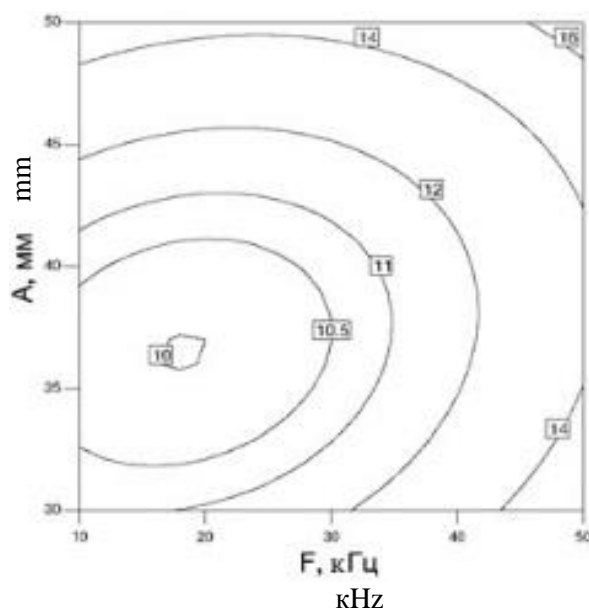


Рисунок 2. Кривые равных значений и поверхности отклика зависимости остаточной масляности, % от частоты ультразвука, кГц и амплитуды ультразвука, мм

Figure 2. Curves of equal values and surface response of residual oil content, % of ultrasound frequency, kHz and ultrasound amplitude, mm

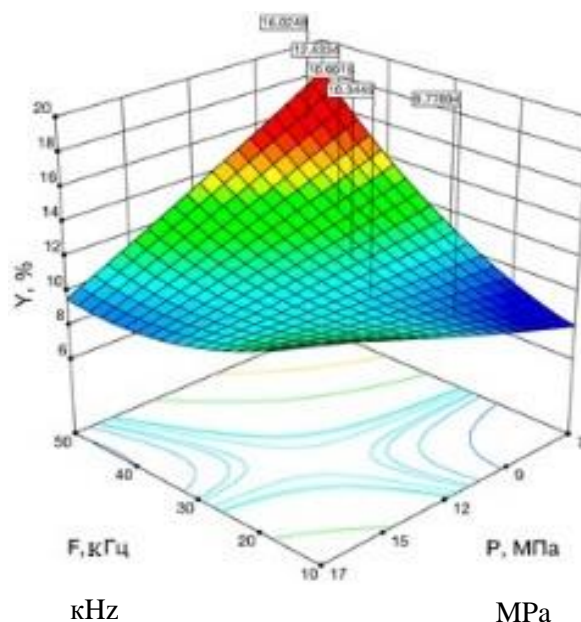
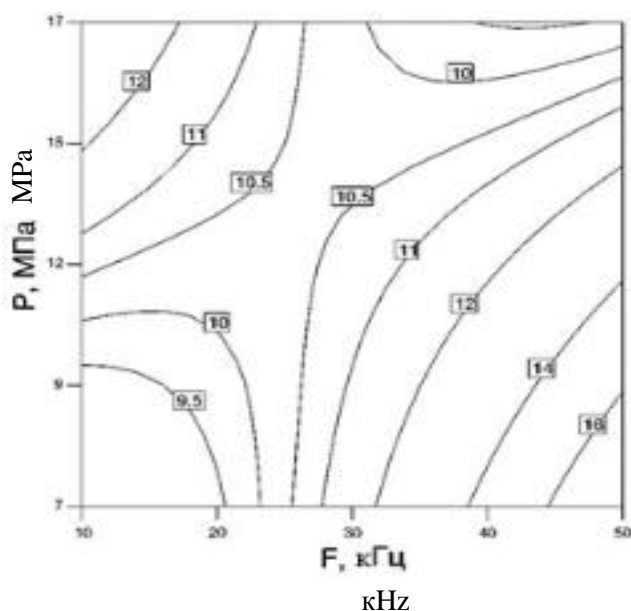


Рисунок 3. Кривые равных значений и поверхности отклика зависимости остаточной масляности, % от частоты ультразвука, кГц и давления в прессе, МПа

Figure 3. Curves of equal values and response surface of the dependence of residual oil content, % on ultrasound frequency, kHz and press pressure, MPa

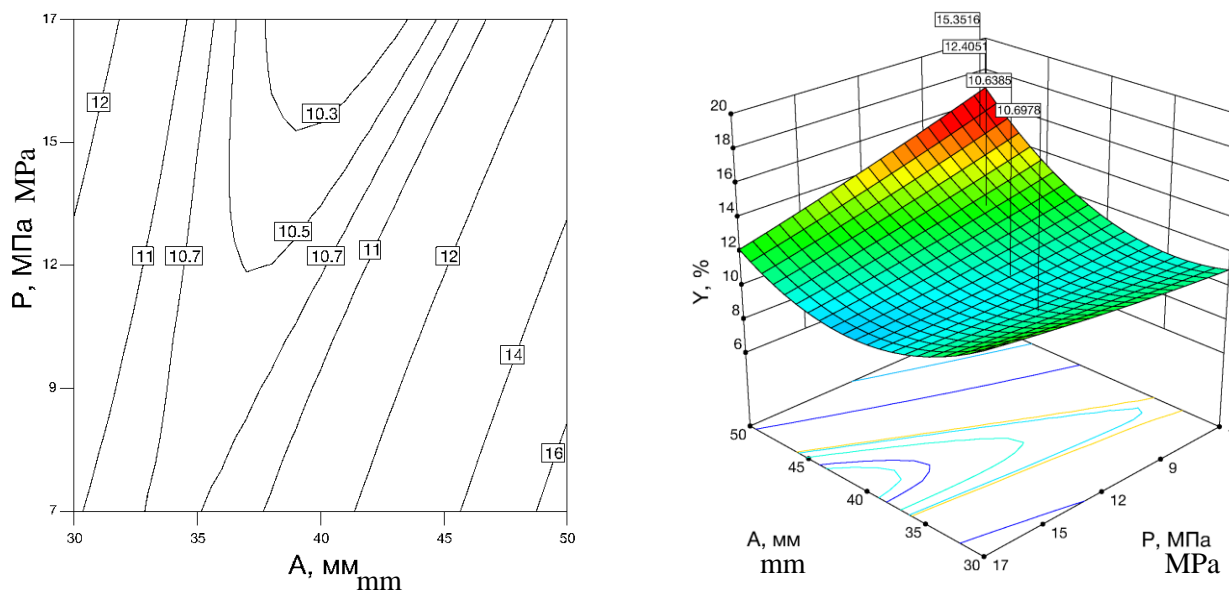


Рисунок 4. Кривые равных значений и поверхности отклика зависимости остаточной масляности, % от амплитуды ультразвука, мм и давления в прессе, МПа

Figure 4. Curves of equal values and the response surface of the dependence of the residual oil content, % on the amplitude of ultrasound, mm and the pressure in the press, MPa

Проведена численная и графическая процедуры оптимизации для прогнозирования оптимального уровня входных факторов и получения максимального выхода масла по отношению к массе первоначального сырья в %. Общая математическая постановка задачи оптимизации представлена в виде следующей модели:

$$Y_1(X_1, X_2, X_3) \rightarrow \max \quad (2)$$

Решая задачу оптимизации, определили оптимальные интервалы входных параметров: $X_1 = 40,2-41,9$ кГц; $X_2 = 45,2-45,9$ мм; $X_3 = 9,1-9,4$ МПа.

Графическим методом получена область пересечения оптимального решения (белая область) при заданных критериях (рисунок 5).

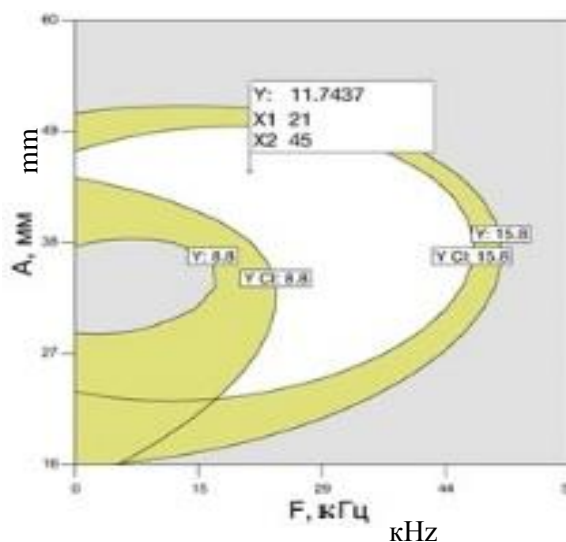


Рисунок 5. Оптимальная область решения задачи оптимизации

Figure 5. The optimal area for solving the optimization problem

Заключение

Для проверки был поставлен ряд параллельных экспериментов, полученные результаты попадали в рассчитанные доверительные интервалы по всем критериям качества.

Результаты выполненных исследований могут быть полезны при анализе и расчете параметров процесса прессования.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Антипов С. Т., Шахов С. В., Мартеха А. Н., Берестовой А. А. Разработка способа получения растительного масла из семян сафлора методом прессования в поле ультразвука // Вестник ВГУИТ. 2015. № 4. С. 7–10.
- 2 Василенко В. Н., Копылов М. В., Драган И. В., Фролова Л. Н. Математическая модель движения сырья в шнековом канале маслопресса // Вестник ВГУИТ. 2013. № 3. С. 18–22.
- 3 Абакачева Е. М., Шулаев Н. С., Фахразов А. Р. Исследование разбухания полимерных материалов в условиях воздействия ультразвуковых колебаний в процессе вальцевания. // Нефтегазовое дело. 2013. № 3. С. 291–296.
- 4 Кадирбаев М. К., Еркебаев М. Ж., Садвокасова Д. С., Матеев Е. З., Некрасов А. В., Шахов С. В. Технологическая линия производства сафлорового масла // Вестник Алматинского технологического университета. 2013. № 5. С. 16–20.
- 5 Антипов С. Т., Овсянников В. Ю., Мартеха А. Н. Параметры процесса сушки ферментированного пшеничного сырья в виброкипящем слое // Хранение и переработка сельхозсырья. 2013. № 12. С. 54–55.
- 6 Антуфьев В. Т., Верболюз Е. И., Кобыда Е. В. Макаронный пресс с ультразвуковым излучателем // Хлебопродукты. 2014. № 2. С. 44–45.
- 7 Brian N. Turner, Robert Strong, Scott A. Gold A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modeling // Rapid Prototyping Journal, 2014, T. 20, №. 3, C. 192 – 204.
- 8 Liang Chen., Guoqun Zhao., Junquan Yu., Wendong Zhang., Tao Wu. Analysis and porthole die design for a multi-hole extrusion process of a hollow, thin-walled aluminum profile // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology September 2014, T. 74, №. 1, C. 383–392.
- 9 Sun X, Zhao G, Zhang C, Guan Y, Gao A. Optimal design of second-step welding chamber for a condenser tube extrusion die based on the response surface method and the genetic algorithm // Mater Manuf Process № 28. C. 823–834.
- 10 Ghassemali E. [и др.]. Experimental and simulation of friction effects in an open-die microforging/extrusion process // Journal of Micro and Nano-Manufacturing. 2014. T. 2. №. 1. C. 1915–1920.
- 11 H. Zhanga, X. Zhaoa, X. Deng, M.A. Suttona, A.P. Reynoldsa, S.R. McNeilla, X. Keb Investigation of material flow during friction extrusion process // International Journal of Mechanical Sciences T. 85, 2014, C. 130–141.
- 12 Pawel Kazanowski, Mario E Epler, Wojciech Z Misiolek Bi-metal rod extrusion—process and product optimization // Materials Science and Engineering: A T. 369, №. s 1–2, 25, 2004, C. 170–180.
- 13 Ye Chena, Ran Yeb, Luo Yina, Ning Zhanga Novel blasting extrusion processing improved the physicochemical properties of soluble dietary fiber from soybean residue and in vivo evaluation // Journal of Food Engineering T. 120, 2014, C. 1–8.
- 14 Timershin D.D., Leu A.G., Derkanosova A.A., Shariati M.A. The effects of economic sanctions on the control of food quality indicators in terms of import substitution // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2016. V. 58. № 10. P. 158–164.

REFERENCES

- 1 Antipov S. T., Shakhov S. V., Martekha A. N., Berestovoi A. A. A method of producing vegetable oil from the seeds of safflower by pressing in the ultrasound field. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2015. no. 4. pp. 7–10. (in Russian).
- 2 Vasilenko V. N., Kopylov M. B., Dragan I. V., Frolova L.H. A mathematical model of the movement of raw materials in the screw channel oil press. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2013. no. 3. pp. 18–22. (in Russian).
- 3 Abakacheva E. M., Shulaev N. S., Fakhrazov A. R. Study of the swelling of polymeric materials in terms of effect of ultrasonic vibrations in the process of rolling. *Neftgazovoe delo* [Oil and gas business]. 2013. no. 3. pp. 291–296. (in Russian).
- 4 Kadirbaev M.K., Erkebaev M. Zh., Sadvokasova D. S., Mateev E. Z., Nekrasov A. V., Shakhov S. V. The technological production line of safflower oil. *Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Proceedings of Almaty technological University]. 2013. no. 5. pp. 16–20. (in Russian).
- 5 Antipov S. T., Ovsyannikov V. Yu., Martekha A. N. The parameters of the drying process of fermented wheat raw material in vibracijam layer. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of agricultural products]. 2013. no. 12. pp. 54–55. (in Russian).
- 6 Antufev V. T., Verboloz E. I., Kobyda E. V. Macaroni press with an ultrasonic emitter. *Khleboprodukty* [Bread]. 2014. no. 2. pp. 44–45. (in Russian).
- 7 Brian N. Turner, Robert Strong, Scott A. Gold A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modeling, *Rapid Prototyping Journal*, 2014, vol. 20 no. 3, pp.192 – 204.
- 8 Liang Chen., Guoqun Zhao., Junquan Yu., Wendong Zhang., Tao Wu. Analysis and porthole die design for a multi-hole extrusion process of a hollow, thin-walled aluminum profile. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* September 2014, vol. 74, Issue 1, pp 383–392.
- 9 Sun X, Zhao G, Zhang C, Guan Y, Gao A. Optimal design of second-step welding chamber for a condenser tube extrusion die based on the response surface method and the genetic algorithm. *Mater Manuf Process*. 2013. no. 28 pp. 823–834.
- 10 Ghassemali E. et al. Experimental and simulation of friction effects in an open-die microforging/extrusion process. *Journal of Micro and Nano-Manufacturing*. 2014. vol. 2. no. 1. pp. 1915–1920.
- 11 H. Zhanga, X. Zhaoa, X. Deng, M.A. Suttona, A.P. Reynoldsa, S.R. McNeilla, X. Keb Investigation of material flow during friction extrusion process. *International Journal of Mechanical Sciences*. vol. 85. 2014, pp. 130–141.
- 12 Pawel Kazanowski, Mario E Epler, Wojciech Z Misiolek Bi-metal rod extrusion—process and product optimization. *Materials Science and Engineering* vol. 369, no. 1–2, 25. 2004, pp. 170–180.
- 13 Ye Chena, Ran Yeb, Luo Yina, Ning Zhanga Novel blasting extrusion processing improved the physicochemical properties of soluble dietary fiber from soybean residue and in vivo evaluation. *Journal of Food Engineering*. vol. 120, 2014, pp. 1–8.
- 14 Timershin D.D., Leu A.G., Derkanosova A.A., Shariati M.A. The effects of economic sanctions on the control of food quality indicators in terms of import substitution [Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences] 2016, vol. 58, no. 10, pp. 158–164.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Сергей Т. Антипов д.т.н., профессор, зав. кафедрой, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ast@vsuet.ru

Сергей В. Шахов д.т.н., профессор, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, s_shahov@mail.ru

Александр Н. Мартеха к.т.н., кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, man6630@rambler.ru

Алексей А. Берестовой аспирант, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, berestovoy_1991@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Сергей Т. Антипов консультация в ходе исследования

Сергей В. Шахов предложил методику проведения эксперимента

Александр Н. Мартеха обзор литературных источников по исследуемой проблеме

Алексей А. Берестовой написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 07.01.2017

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 03.02.2017

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Sergey T. Antipov doctor of technical sciences, head of department, machines and apparatus of food production department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ast@vsuet.ru

Sergey V. Shahov doctor of technical sciences, professor, machines and apparatus of food production department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, s_shahov@mail.ru

Aleksandr N. Martekha candidate of technical sciences, machines and apparatus of food production department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, man6630@rambler.ru

Alexey A. Berestovoy graduate student, machines and apparatus of food production department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, berestovoy_1991@mail.ru

CONTRIBUTION

Sergey T. Antipov consultation during the study

Sergey V. Shahov proposed a scheme of the experiment

Aleksandr N. Martekha review of the literature on an investigated problem

Alexey A. Berestovoy wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 1.7.2017

ACCEPTED 2.3.2017