

## Исследование форм связи влаги в хлебопекарных дрожжах методом термогравиметрического анализа

Сергей В. Лавров	<sup>1</sup>	ya-serglavrov@yandex.ru
Дмитрий С. Кононов	<sup>1</sup>	d_s_kononov@yandex.ru
Игорь А. Саранов	<sup>2</sup>	mr.saranov@mail.ru
Наталья Н. Лобачева	<sup>3</sup>	naloni@mail.ru

<sup>1</sup> кафедра физики, теплотехники и теплоэнергетики, Воронеж. гос. ун-т. инж. техн., пр-т Революции, 19, г. Воронеж. гос. ун-т. инж. техн., пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

<sup>2</sup> кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронеж. гос. ун-т. инж. техн., пр-т Революции, 19, г. Воронеж. гос. ун-т. инж. техн., пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

<sup>3</sup> кафедра иностранных языков, Воронеж. гос. ун-т. инж. техн., пр-т Революции, 19, г. Воронеж. гос. ун-т. инж. техн., пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

**Реферат.** Метод термогравиметрии представляет собой один из немногих абсолютных методов анализа, что делает его одним из наиболее точных методов. В данном исследовании проведен термогравиметрический анализ хлебопекарных дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae*), позволяющий определить температурные зоны, которые соответствуют влагоудалению с различной энергией связи, а также прогнозировать режимные параметры процесса влагоудаления и выбрать наиболее эффективный способ их дегидратации. Исследования проводились в лаборатории центра коллективного пользования «Контроль и управление энергоэффективных проектов» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» на приборе синхронного термического анализа модели STA 449 F3 (NETZSCH, Германия). Прибор фиксирует изменение массы вещества и различие теплового потока в тигле, содержащем образец, и тиглем содержащем эталон исследуемого вещества. Принцип работы анализатора основан на непрерывной регистрации зависимости изменения массы материала от времени или температуры при его нагревании в соответствии с выбранной температурной программой в заданной газовой атмосфере. Одновременно регистрируется выделение или поглощение тепла образцом, обусловленное фазовыми переходами или химическими реакциями. Исследования проводили при следующих режимах: давление – атмосферное, максимальная температура 588 К, скорость изменения температуры 5 К/мин. Опыты проводились в алюминиевых тиглях с общей массой навески 12 мг. Для обработки полученных кривых TG и DTG использовалось программное обеспечение NETZSCH Proteus. Проведенный анализ полученных данных позволил выделить периоды дегидратации воды и преобразования сухих веществ при термическом воздействии на хлебопекарные дрожжи, а также выявить температурные зоны, которые соответствуют высвобождению влаги с различной формой и энергией связи.

**Ключевые слова:** хлебопекарные дрожжи, влага, термогравиметрический анализ

## The research of moisture forms in the baking yeast by the thermogravimetric analysis method

Sergey V. Lavrov	<sup>1</sup>	ya-serglavrov@yandex.ru
Dmitry S. Kononov	<sup>1</sup>	d_s_kononov@yandex.ru
Igor A. Saranov	<sup>2</sup>	mr.saranov@mail.ru
Natalia N. Lobacheva	<sup>3</sup>	naloni@mail.ru

<sup>1</sup> physics, heat engineering and heat power engineering department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia

<sup>2</sup> bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia

<sup>3</sup> foreign languages department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

**Summary.** The thermogravimetry method is one of the few absolute methods of analysis, that makes it one of the most accurate methods. In this research, thermogravimetric analysis of baking yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) was carried out. It allowed to identify temperature zones, which correspond to dripping with various link energy, as well as to predict operating parameters of the process of dehumidification and to choose their most effective dehydration method. The studies were conducted in the laboratory of the collective use center "Control and management of energy efficient projects" of the "Voronezh state university of engineering technologies" on the simultaneous thermal analysis device STA 449 F3 model (NETZSCH, Germany). The device records the change in a substance mass and the difference of the heat flow inside the crucible containing the sample and the crucible containing the standard analyte. The analyzer's working principle is based on continuous recording of the dependence of the material mass on time or temperature and its being heated to the selected temperature program in a specified gas atmosphere. The release or absorption of heat by the sample due to phase transitions or chemical reactions is recorded simultaneously. The study was performed in the following modes: the pressure is atmospheric, the maximum temperature is 588 K, the rate of temperature change is 5 K/min. The experiments were performed in aluminum crucibles with a total weight of 12 mg. The software NETZSCH Proteus was used for processing of the obtained TG and DTG curves. The analysis of the obtained data allowed to identify periods of water dehydration and solids transformation by thermal effect on baking yeast, and to identify temperature zones, which correspond to the release of moisture with different link form and energy.

**Keywords:** baking yeast, moisture, thermogravimetric analysis

Для цитирования

Лавров С. В., Кононов Д. С., Саранов И. А., Лобачева Н. Н. Исследование форм связи влаги в хлебопекарных дрожжах методом термогравиметрического анализа // Вестник ВГУИТ. 2016. № 4. С. 31–35. doi:10.20914/2310-1202-2016-4-31-35

For citation

Lavrov S. V., Kononov D. S., Saranov I. A., Lobacheva N. N. The research of moisture forms in the baking yeast by the thermogravimetric analysis method. *Vestnik VSUET* [Proceedings of VSUET]. 2016. no. 4. pp. 31–35. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2016-4-31-35

### Введение

Для более эффективного ведения процесса сушки хлебопекарных дрожжей и подбора рациональных температурных режимов необходимо знать характер связи влаги с материалом с определением интервалов температур, на которых происходит структурное изменение продукта. В основе данной работы лежит метод термогравиметрического анализа, который позволяет выявить данные о механизме влагоудаления, установить температурные интервалы, а также количество влаги, удаляемой из материала [1–10]. Исследования проводились на приборе синхронного термического анализа модели STA 449 F3 Jupiter (NETZSCH, Германия) (рисунки 1, 2) с держателем образца типа S в алюминиевом тигле с проколотой крышкой, измерения проводились в среде азота класса 5,0 (расход активного газа 50 мл/мин, защитного – 20 мл/мин).



Рисунок 1. Прибор синхронного термического анализа модели STA 449 F3 Jupiter

Figure 1. Simultaneous thermal analysis device STA 449 F3 model Jupiter

Принцип работы термического анализатора основан на непрерывной регистрации зависимости изменения массы материала от времени или температуры при его нагревании в соответствии с выбранной температурной программой в заданной газовой атмосфере [1, 2, 5]. Одновременно регистрируется выделение

или поглощение тепла образцом, обусловленное фазовыми переходами или химическими реакциями [3]. Исследования проводили при следующих режимах: давление – атмосферное, максимальная температура 588 К, скорость изменения температуры 5 К/мин. Опыты проводились в алюминиевых тиглях с общей массой навески 12 мг.

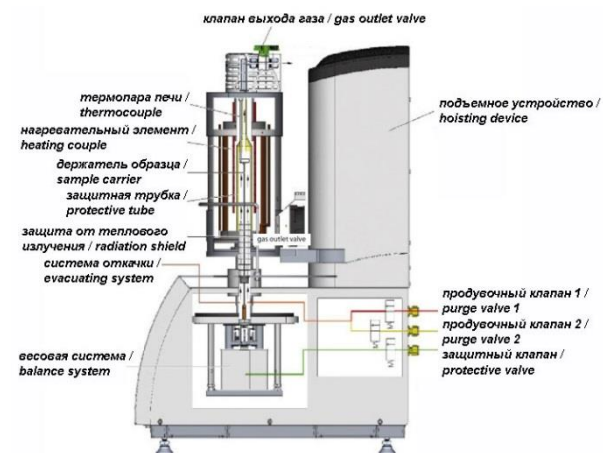


Рисунок 2. Внутреннее устройство прибора синхронного термического анализа модели STA 449 F3 Jupiter

Figure 2. The internal structure of the device simultaneous thermal analysis model STA 449 F3 Jupiter

На рисунке 3 показаны результаты, полученные в ходе выполнения термогравиметрического анализа: кривая изменения массы материала ТГ, кривая скорости изменения массы ДТГ. Как видно на кривой ТГ, в процессе нагрева материала наблюдается монотонное уменьшение массы образца, что связано с потерей влаги. С целью получения зависимости степени изменения массы материала (степени превращения)  $\alpha$  от температуры используется часть кривой изменения массы ТГ, соответствующей процессу дегидратации.

Степень изменения массы  $\alpha$  рассчитывается как отношение изменения массы материала  $\Delta m$  к общему количеству влаги, которая находится в материале  $\Delta m_{\text{общ}}$ :

$$\alpha = \frac{\Delta m}{\Delta m_{\text{общ}}} \quad (1)$$

Полученная зависимость имеет S-образный вид (рисунк 4), отражающий сложный характер взаимодействия влаги и сухих веществ в материале, и предполагает на разных участках полученной кривой различие в скорости дегидратации.

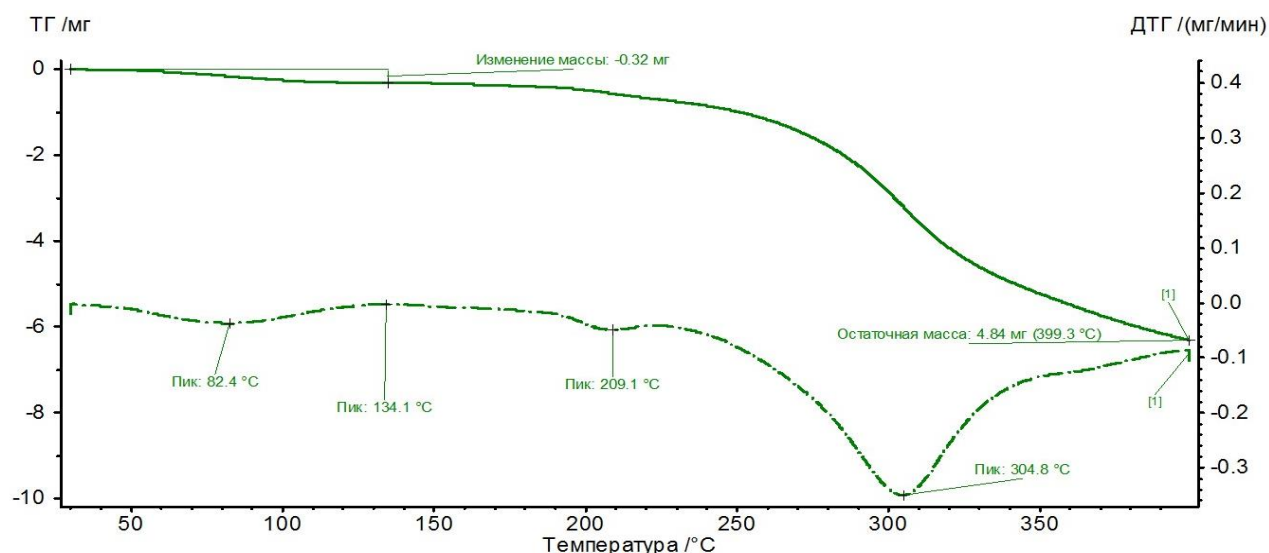


Рисунок 3. Экспериментальные зависимости изменения массы образца ТГ и скорости изменения массы ДТГ  
Figure 3. Experimental dependences of the mass change of the sample TG and the rate of mass DTG change

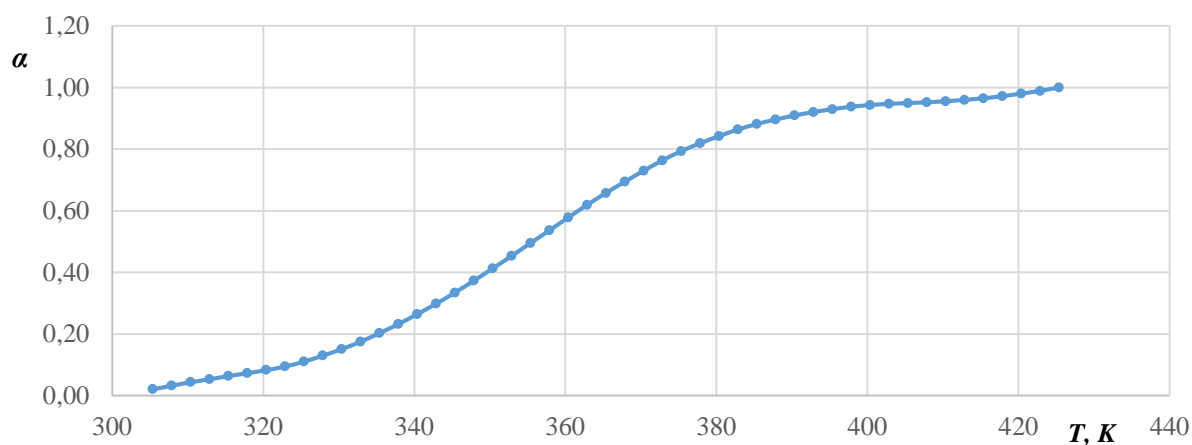


Рисунок 4. Зависимость степени изменения массы  $\alpha$  от температуры  $T$  материала при нагревании со скоростью 5 К/мин  
Figure 4. The dependence of mass  $\alpha$  change degree on the temperature  $T$  of the material being heated with at 5K/min speed

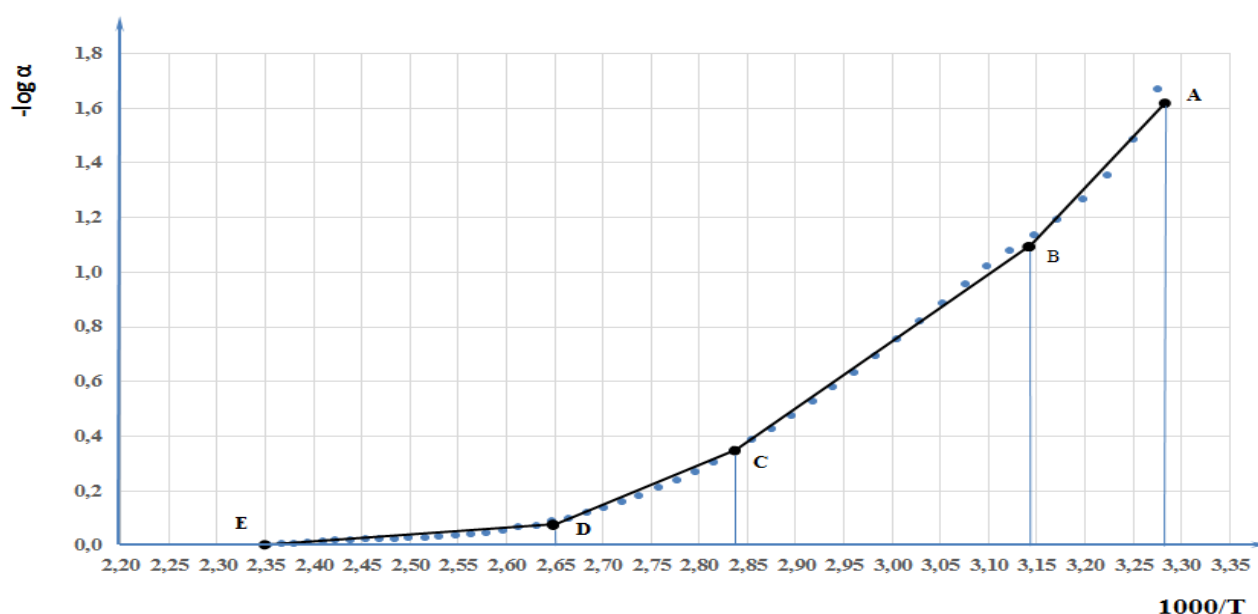


Рисунок 5. Зависимость  $(-\lg \alpha)$  от величины  $10^3/T$  при нагревании со скоростью подъема температуры 10 К/мин  
Figure 5. The dependence of  $(-\lg \alpha)$  on the value of  $10^3/T$  being heated with a rate of temperature rise of 10 K/min

Для установления более четких интервалов температур и получения более подробного механизма удаления влаги, а также количества влаги удаляемой из материала используется кривая зависимости ( $-\lg \alpha$ ) от величины  $10^3/T$  (рисунок 5).

На рисунке 5 видно, что удаление влаги из хлебопекарных дрожжей происходит ступенчато. Рассмотрим более подробно каждый из участков. На I этапе (участок АВ – интервал температур 303–318 К) происходит нагрев материала и удаление физико-механически связанной влаги, имеющей невысокую энергию связи с материалом. На II этапе (участок ВС – интервал температур 318–353 К), удаляется осмотически связанная влага. III этап (участок ВС – интервал температур 353–378 К) характеризуется освобождением адсорбционно-связанной

влаги. При дальнейшем увеличении температуры начинается удаление химически-связанной (полиадсорбционной и моноадсорбционной) влаги, происходит деструкция материала с выделением газообразных составляющих.

### Заключение

Проведенный термический анализ позволил нам определить температурные зоны удаления влаги из материала с различной формой и энергией связи, а также зоны превращения сухих веществ при повышении температуры, что позволит в дальнейшем прогнозировать режимные параметры процесса удаления влаги из материала и выбирать наиболее эффективные способы их обезвоживания.

### ЛИТЕРАТУРА

1 Шахов С.В., Вострикова А.Г., Ефременко Д.О. Дериватографический способ анализа видов связи влаги с материалом // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). 2014. № 6. Ч. 3. С. 114–116.

2 Лошилов С.А., Коробейничев О.П., Масленников Д.А., Котова Ю.В. и др. Обработка экспериментальных данных термогравиметрии на основе интегральных оценок изменения скоростей реакции с ростом температуры // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=1079> 2 (дата обращения 11.11.2016).

3 Каминский В.А., Эпштейн С.А., Широкин Д.Л., Тимашев С.Ф. Определение параметров кинетики разложения сложных веществ по данным термогравиметрии // Журнал физической химии. 2011. Т. 85. № 4. С. 637–643.

4 Галимуллин И.Н., Башкирцева Н.Ю., Лебедев Н.А. Анализ морфологической структуры и термогравиметрия стабилизирующей добавки // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. № 13. С. 14–16.

5 Глотова И.А., Литовкин А.Н., Артёмов Е.С., Ермолова А.В. и др. Исследование процессов дегидратации биополимерных систем в составе птицепродуктов // Научный журнал КубГАУ. 2016. № 121 (07).

6 Антипов С.Т., Журавлев А.В., Казарцев Д.А., Мордасов А.Г. и др. Инновационное развитие техники пищевых технологий. СПб.: Лань, 2016. 660 с. URL: <http://e.lanbook.com/book/74680>

7 Staszczuk P. Thermogravimetry Q-TG studies of surface properties of lunar nanoparticles // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2011. № 106. P. 853–857.

8 Kumar S., Krishnamurthy N. Thermogravimetry studies on ilmenite nitridation // Processing and Application of Ceramics. 2014. № 8(4). P.179–183.

9 Huang X., Rein G. Smouldering Combustion of Soil Organic Matter: Inverse Modelling of the Thermal and Oxidative Degradation Kinetics // Proceedings of the ECM 2013. Sweden, 2013. P. 1–6.

10 Банницына Т.Е., Канарский А.В., Щербakov А.В., Чеботарь В.К., Кипрушкина Е.И. Дрожжи в современной биотехнологии // Вестник Международной академии холода. 2016. № 1. С. 24–29.

### REFERENCES

1 Shakhov S.V., Vostrikova, A. G., Efremenko D.O. Derivatographic method of analysis of the Association of moisture with a material. *Evrasijskii soyuz uchenykh* [Eurasian Union of Scientists] 2014, no. 6, part 3, pp. 114–116. (in Russian)

2 Loshilov S. A., Korobeinichev O. P., Maslennikov D. A., Kotov Yu. V. et al. Analysis of the experimental data of thermogravimetry on the basis of the integral estimates of velocity change of reaction with increasing temperature. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education] 2013, no. 6. Available at: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=1079> 2 (in Russian)

3 Kaminskii V. A., Epstein, S. A., Sirotin D.L., Timashev S. F. Determination of the parameters of the kinetics of decomposition of complex substances according to thermogravimetry. *Zhurnal fizicheskoi khimii* [Journal of physical chemistry] 2011, vol. 85, no. 4, pp. 637–643. (in Russian)

4 Galimullin I. N., Bashkirtseva N. Yu., Lebedev N.A. Analysis of the morphological structure and thermogravimetry stabilizing additives. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of technological university] 2015, vol. 18, no. 13, pp.14–16. (in Russian)

5 Glotova I. A., Litovkin, A. N., Artemov E. S., Ermolova A. V. et al. Study of the processes of dehydration of biopolymer systems consisting of poultry products. *Nauchnyi zhurnal KubGAU* [Scientific journal of KubSAU] 2016, no. 121 (07). (in Russian)

6 Antipov S. T., Zhuravlev A.V., Kazartsev D. A., Mordasov A. G. et al. Innovatsionnoe razvitie tekhniki pishchevykh tekhnologii [Innovative development of technology of food technology] Saint-Petersburg, Lan', 2016. 660 p. Available at: <http://e.lanbook.com/book/74680> (in Russian)

7 Staszczuk P. Thermogravimetry Q-TG studies of surface properties of lunar nanoparticles. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2011, no. 106, pp. 853–857.

8 Kumar S., Krishnamurthy N. Thermogravimetry studies on ilmenite nitridation. *Processing and Application of Ceramics*. 2014, no. 8(4), pp. 179–183.

9 Huang X., Rein G. Smouldering Combustion of Soil Organic Matter: Inverse Modelling of the Thermal and Oxidative Degradation Kinetics. *Proceedings of the ECM 2013. Sweden*, 2013. pp. 1–6.

10 Bannitsyna T.E., Kanarskij A.V., Shcherbakov A.V., Chebotar V. K., Kiprushkina E. I. Yeast in modern biotechnology. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda*. [Journal of the International Academy of Refrigeration] 2016, no. 1, pp. 24–29. (in Russian)

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Сергей В. Лавров** к.т.н., доцент, кафедра физики, теплотехники и теплоэнергетики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ya-serglavrov@yandex.ru

**Дмитрий С. Кононов** инженер, кафедра физики, теплотехники и теплоэнергетики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, d\_s\_kononov@yandex.ru

**Игорь А. Саранов** аспирант, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, mr.saranov@mail.ru

**Наталья Н. Лобачева** к.т.н., доцент, кафедра иностранных языков, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, nalon@mail.ru

#### КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

**Сергей В. Лавров** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты

**Дмитрий С. Кононов** написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

**Игорь А. Саранов** консультация в ходе исследования

**Наталья Н. Лобачева** консультация в ходе исследования

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**ПОСТУПИЛА 01.11.2016**

**ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 22.11.2016**

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Sergey V. Lavrov** candidate of technical sciences, associate professor, physics, heat engineering and heat power engineering department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, ya-serglavrov@yandex.ru

**Dmitry S. Kononov** engineer, physics, heat engineering and heat power engineering department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, d\_s\_kononov@yandex.ru

**Igor A. Saranov** graduate student, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, mr.saranov@mail.ru

**Natalia N. Lobacheva** candidate of technical sciences, associate professor, foreign languages department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, nalon@mail.ru

#### CONTRIBUTION

**Sergey V. Lavrov** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

**Dmitry S. Kononov** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

**Igor A. Saranov** consultation during the study

**Natalia N. Lobacheva** consultation during the study

#### CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

**RECEIVED 11.1.2016**

**ACCEPTED 11.22.2016**