

Процессы и аппараты пищевых производств

Оригинальная статья/Original article

УДК 663.033

DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-3-12-17>

Операторное моделирование ресурсосберегающей машинной технологии производства иван-чая

Сергей Т. Антипов	¹	ast@vsuet.ru
Алексей В. Журавлев	¹	alexjav2@mail.ru
Александр С. Марухин	¹	kintar0@yandex.ru

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

Реферат. В настоящее время любое производство стремится решить задачу по сбережению энергетических ресурсов и соответственно старается внедрять широкий спектр новых энергосберегающих машин, аппаратов и технологий. Исходя из этого очень актуальным является проведение исследований с целью дальнейшего совершенствования технологий и техники для производства иван-чая, разработки новых способов скручивания, ферментации и сушки, новых конструкций машин для скручивания листьев, ферментации и сушки. Для решения данной задачи необходимо обязательно учитывать ряд случайных факторов, это время для обслуживания, выход из строя за счет поломок отдельных устройств, время, требуемое для их предотвращения, а также ряд других факторов, которые влияют на эксплуатацию данного оборудования. Определяли оптимальное количество сушильных установок, установок для ферментации и установок для скручивания. Продолжительность сушки, ферментации и скручивания удовлетворяет технологическим требованиям (сушка не более 1-го часа, ферментация не более 12 часов, скручивание не менее 40 мин). Анализ результатов расчетов, показал, что при увеличении числа сушилок до 3 существенно снижает продолжительность сушки до 0,127 суток, что удовлетворяет технологическим условиям. При увеличении числа установок для ферментации до 3 существенно снижает продолжительность ферментации до 0,2113 суток. При увеличении числа установок для скручивания до 3 существенно снижает продолжительность скручивания до 0,0191 суток. Анализы расчетов по используемой методике хорошо сочетаются с данными практики по проектированию технологических систем и линий.

Ключевые слова: иван-чай, операторное моделирование, сушка, ферментация, скручивание

Operator modeling of resource-saving machine technology for the production of Ivan-tea

Sergei T. Antipov	¹	ast@vsuet.ru
Aleksei V. Zhuravlev	¹	alexjav2@mail.ru
Aleksandr S. Marukhin	¹	kintar0@yandex.ru

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

Summary. Currently, any production seeks to solve the problem of saving energy resources and, accordingly, is trying to introduce a wide range of new energy-saving machines, devices and technologies. Based on this, it is very relevant to conduct research to further improve technologies and techniques for the production of willow tea, the development of new methods of twisting, fermentation and drying, new designs of machines for twisting leaves, fermentation and drying. To solve this problem, it is necessary to take into account a number of random factors, this is the time for maintenance, failure due to breakdowns of individual devices, the time required to prevent them, as well as a number of other factors that affect the operation of this equipment. Determined the optimal number of dryers, plants for fermentation and installations for twisting. The duration of drying, fermentation and twisting satisfies the technological requirements (drying no more than 1 hour, fermentation no more than 12 hours, twisting no less than 40 minutes). Analysis of the results of the calculations showed that with an increase in the number of dryers to 3, it significantly reduces the drying time to 0.127 days, which satisfies the technological conditions. With an increase in the number of installations for fermentation to 3, the duration of fermentation significantly decreases to 0.2113 days. With an increase in the number of installations for twisting to 3, the duration of twisting was significantly reduced to 0.0191 days. Analyzes of calculations according to the method used are well combined with data from practice in the design of technological systems and lines.

Keywords: ivan-tea, operator modeling, drying, fermentation, twisting

Введение

История распространения иван-чая (или кипрея узколистного) на территории России уходит корнями в глубь веков. Напиток из высушенных частей данного растения пользовался огромной популярностью еще задолго до появления кофе и индийского чая.

Кипрей узколистный растет фактически по всей территории современной России от Кубани до Заполярья. Иван-чай представляет собой высокое (до полутора метров) растение с заостренными листьями ланцетовидного типа [1–4].

Иван-чай имеет приятный, чуть терпкий вкус с душистым цветочно-ягодным ароматом. Листья иван-чая содержат от 10 до 22% дубильных веществ и до 15% слизи. В стебле растения преобладает большое количество витамина С (от 95 до 600 мг на 100 г. сырой листы, это в 5–7 раз больше, чем в лимоне) целлюлозы, лектинов, растительных волокон, пектина, флавоноидов, сахара, органических кислот, алкалоидов. По составу микроэлементов, растение богато железом, медью и марганцем.

Для цитирования

Антипов С.Т., Журавлев А.В., Марухин А.С. Операторное моделирование ресурсосберегающей машинной технологии производства иван-чая // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 3. С. 12–17. doi:10.20914/2310-1202-2018-3-12-17

For citation

Antipov S.T., Zhuravlev A.V., Marukhin A.S. Operator modeling of resource-saving machine technology for the production of Ivan-tea. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 3. pp. 12–17. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-3-12-17

В стебле растения имеется кобальт, калий, кальций, литий, соли фосфора и до 22% белка. В иван-чае содержатся пирролизидиновые алкалоиды, а кофеин полностью отсутствует. После завершения ферментации пирролизидиновые алкалоиды в растении распадаются и поэтому напиток из иван-чая можно употреблять каждый день.

Однако реализация производства иван-чая в нашей стране удерживается некоторыми факторами, среди которых особое значение имеет механизация и автоматизация технологических процессов. В России отсутствуют производства по выпуску специальных машин для сбора, скручивания, ферментации и сушки иван-чая. Для производства иван-чая в России используется импортная техника, в основном произведенная в Китае, приобретение которой, для предприятий по производству иван-чая является затруднительно и очень дорого.

К тому же, в настоящее время любое производство стремится решить задачу по

сбережению энергетических ресурсов и соответственно старается внедрять широкий спектр новых энергосберегающих машин, аппаратов и технологий [5–9].

Исходя из этого очень актуальным является проведение исследований с целью дальнейшего усовершенствования технологий и техники для производства иван-чая, разработки новых способов скручивания, ферментации и сушки, новых конструкций машин для скручивания листьев, ферментации и сушки.

Результаты и обсуждение

Для системного и функционального анализа ресурсосберегающей машинной технологии производства иван-чая целесообразно использовать операторное моделирование. За элементы технологической системы принимаем технологические операции и представляем её в виде операторной модели (рисунок 1).

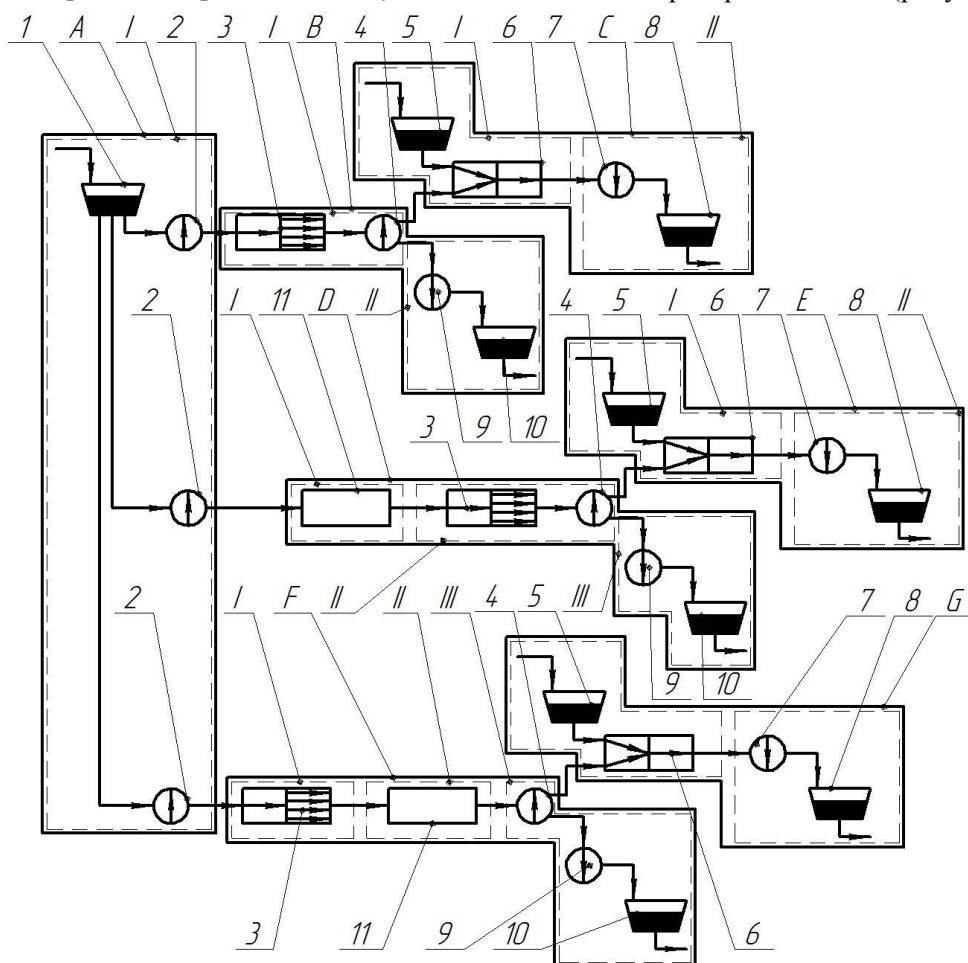


Рисунок 1. Операторная модель технологической линии производства иван-чая: 1 – бункер-накопитель для листьев; 2 – установка для завяливания; 3 – установка для скручивания листьев; 4 – сушилка; 5 – бункер накопитель для фруктов; 6 – смеситель; 7 – установка для охлаждения ароматизированного чая; 8 – бункер для хранения ароматизированного чая; 9 – установка для охлаждения чая; 10 – бункер для хранения чая; 11 – установка для ферментации

Figure 1. The operator model of the technological line of production of Ivan-tea: 1 – storage hopper for leaves; 2 – installation for withering; 3 – installation for leaf twisting; 4 – drier; 5 – storage hopper for fruit; 6 – mixer; 7 – cooling unit for flavoured tea; 8 – storage hopper for flavoured tea; 9 – tea cooling unit; 10 – tea storage hopper; 11 – fermentation plant

Подсистема А – подготовка чайных листьев, включает в себя оператор I – завяливание чайных листьев. Подсистема В – получение зеленого чая, включает в себя операторы: I – скручивание листьев с последующей сушкой, II – охлаждение и хранение зеленого чая. Подсистема С – получение ароматизированного зеленого чая, включает в себя операторы: I – смешивание зеленого чая с фруктами (цветами), II – охлаждение и хранение ароматизированного зеленого чая. Подсистема D – получение улун чая, включает в себя операторы: I – частичная ферментация листьев чая, II – скручивание и сушка листьев, III – охлаждение и хранение улун чая. Подсистема E – получение ароматизированного улун чая, включает в себя операторы: I – смешивание улун чая с фруктами (цветами), II – охлаждение и хранение ароматизированного улун чая. Подсистема F – получение черного чая, включает в себя операторы: I – скручивание листьев чая, II – полная ферментация, III – сушка, охлаждение и хранение черного чая. Подсистема G – получение ароматизированного черного чая, включает в себя операторы: I – смешивание черного чая с фруктами (цветами), II – охлаждение и хранение ароматизированного черного чая.

Для проектирования поточно-механизированных производств в пищевой промышленности необходимо определение оптимального числа оборудования, степень загруженности каждой единицы техники, а также использования площадей для производства. Для решения данной задачи необходимо обязательно учитывать ряд случайных факторов, это время для обслуживания, выход из строя за счет поломок отдельных устройств, время, требуемое для их предотвращения, а также ряд других факторов, которые влияют на эксплуатацию данного оборудования. [10]

Известно, что время на обработку аппаратом одного потока сырья описывается показательной функцией и параметром μ , при этом вероятность того, что t больше время обслуживания $t_{\text{обс}}$, рассчитывается по формуле (1):

$$P\{\bar{t}_{\text{обс}} < t\} = F(t) = 1 - e^{-\mu t}, \quad (1)$$

где $\mu = 1/\bar{t}_{\text{обс}}$ – постоянная положительная величина; t – время пребывания партии сырья в технологической системе, $F(t)$ – функция распределения.

В технологическую систему производства иван-чая на обработку направляется простейший поток сырья с параметром λ . Это означает, что поток обыкновенный, стационарный, без последовательности. Вероятность поступления листового чайного сырья в промежуток времени t равна K требований и рассчитывается по формуле Пуассона

$$P_k(t) = \frac{(\lambda \cdot t)^k}{K!} e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

где $\lambda > 0$ – плотность потока полуфабрикатов или сырья; K – число машин или аппаратов, занятых обработкой.

Параметры технологической системы рассчитываются в следующей последовательности.

Параметр α рассчитывается по формуле

$$\alpha = \lambda \cdot \bar{t}_{\text{обс}}. \quad (3)$$

Вероятность того, что все аппараты или машины свободны и ожидают приема партий сырья при $\alpha/n < 1$ рассчитывается по формуле

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{K=0}^{n-1} \frac{\alpha^K}{K!} + \frac{\alpha^n}{(n-1)!(n-\alpha)}}. \quad (4)$$

Вероятность того, что все аппараты или машины осуществляют обработку полуфабрикатов или сырья при $\frac{\alpha}{n} < 1$ рассчитывается по формуле

$$\pi = \frac{\alpha^n \cdot P_0}{(n-1)!(n-\alpha)}. \quad (5)$$

Среднее время ожидания каждой партией сырья своей обработки рассчитывается по формуле

$$\bar{t}_{\text{ож}} = \frac{\pi \cdot \bar{t}_{\text{обр}}}{n - \alpha}. \quad (6)$$

где $\bar{t}_{\text{обр}} = \frac{1}{\mu}$ – среднее время обработки партий сырья в технологической системе.

Общее время нахождения партии сырья в аппарате или машине рассчитывается по формуле

$$\bar{t}_{\text{общ}} = \bar{t}_{\text{обр}} + \bar{t}_{\text{ож}}. \quad (7)$$

Вероятность того, что занято обработкой K единиц техники рассчитывается по формуле

$$P_n = \frac{\alpha^n}{K!} P_0 \text{ при } 1 \leq K \leq n. \quad (8)$$

Среднее число партий, которое находится в аппаратах или машинах определяется по формуле

$$M = \frac{P_n \cdot \alpha}{n \left(1 - \frac{\alpha}{n}\right)^2} + \frac{n \cdot P_n}{1 - \frac{\alpha}{n}} + P_0 \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\alpha^k}{(K-1)!}, \quad (9)$$

где $M_{\text{ож}} = P_n \cdot \alpha / \left(n \left(1 - \frac{\alpha}{n}\right)^2 \right)$ – средняя длина очереди.

Технологические линии производства чая разумно рассматривать как многофазную, многоканальную систему с ограничением времени ожидания на обработку потока сырья.

Ниже приведена методика системного проектирования и функционирования технологических линий с расчетом оптимального количества единиц технического оборудования.

Определим оптимальное количество сушильных установок, установок для ферментации и установок для скручивания.

Продолжительность сушки, ферментации и скручивания должна удовлетворять технологическим требованиям (сушка не более 1-го часа, ферментация не более 12 часов, скручивание не менее 40 мин).

Пусть в технологическую линию по производству чая поступает элементарный поток листового чайного сырья с параметром $\lambda = 20$ партий в месяц. В одной партии общее количество продукции равно 2,5 т. Загрузка установок равна 0,125 т.

Количество сушильных установок, установок для ферментации и установок для скручивания рассчитывают по уравнениям (3–9).

Результаты расчетов представлены в таблицах 1–3.

Анализ результатов расчетов, приведенных в таблицы 1, показал, что при увеличении числа сушилок до 3 существенно снижает продолжительность сушки (до 0,127 суток), что согласуется с технологическими требованиями, при одновременном снижении длины очереди в 2,5 раз.

Таблица 1.

Оптимальное количество сушилок в технологической линии

Table 1.

The optimum number of dryers in the technological line

Параметры технологической системы Parameters of technological system	Численные значения параметров при количестве сушилок Numerical values of parameters at the number of dryers			
	2	3	4	5
P_0	0,128	0,246	0,195	0,123
π	0,835	0,365	0,090	0,016
$t_{ож}, \text{сут } t_{ex}, \text{day}$	0,015	0,002	0,0003	0,00003
$t_{общ}, \text{сут } t_{gen}, \text{day}$	0,140	0,127	0,1253	0,12503
$M_{ож}, \text{т } M_{ex}, \text{t}$	3,40	1,26	0,72	0,46
$M, \text{т } M, \text{t}$	5,40	5,82	6,86	7,24

Таблица 2.

Оптимальное количество установок для ферментации в технологической линии

Table 2.

The optimum number of installations for fermentation in the technological line

Параметры технологической системы Parameters of technological system	Численные значения параметров при количестве установок для ферментации Numerical values of parameters at the number of installations for fermentation			
	2	3	4	5
P_0	0,465	0,541	0,457	0,368
π	0,524	0,155	0,030	0,005
$t_{ож}, \text{сут } t_{ex}, \text{day}$	0,023	0,003	0,0004	0,00005
$t_{общ}, \text{сут } t_{gen}, \text{day}$	0,2313	0,2113	0,2087	0,20835
$M_{ож}, \text{т } M_{ex}, \text{t}$	0,566	0,247	0,127	0,074
$M, \text{т } M, \text{t}$	2,561	3,332	3,511	3,481

Анализ результатов расчетов, приведенных в таблицы 2, показал, что при увеличении числа установок для ферментации до 3 существенно снижает продолжительность ферментации (до 0,2113 суток), что согласуется с технологическими требованиями, при одновременном снижении длины очереди в 2 раза.

Анализ результатов расчетов, приведенных в таблицы 3, показал, что при увеличении числа установок для скручивания до 3 существенно снижает продолжительность скручивания (до 0,0191 суток), что согласуется с технологическими требованиями, при одновременном снижении длины очереди в 2 раза.

Оптимальное количество установок для скручивания в технологической линии

The optimum number of installations for twisting in the technological line

Параметры технологической системы Parameters of technological system	Численные значения параметров при количестве установок для скручивания Numerical values of parameters at the number of installations for twisting			
	2	3	4	5
P_0	0,229	0,334	0,267	0,184
π	0,725	0,279	0,064	0,011
$t_{ож}, \text{сут } t_{ex}, \text{day}$	0,006	0,001	0,0001	0,00002
$t_{общ}, \text{сут } t_{gen}, \text{day}$	0,0241	0,0191	0,0182	0,01812
$M_{ож}, \text{т } M_{ex}, \text{t}$	1,65	0,721	0,406	0,254
$M, \text{т } M, \text{t}$	3,65	4,67	5,33	5,533

Заключение

Анализы расчетов по используемой методике хорошо сочетаются с данными практики по проектированию технологических систем и линий. Обоснованность определения необходимого количества установок подтверждается тем, что их количество удовлетворяет запланированному объему производства иван-чая

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Даников Н.И. Целебный иван-чай. М.: Эксмо, 2016. 55 с.
- 2 Косун В.Ф., Виктор В.К., Корсун Е.В., Даньшин, Е.А. Русский иван-чай. М.: Русские, 2013. 140 с.
- 3 Basu P. Circulating fluidized bed boilers: design, operation and maintenance. Springer, 2015.
- 4 Akbari M., Feizi H., Madoliat R. Investigations on the effects of ultrasonic vibrations in the extrusion process // Journal of Materials Proc. Tech. 2014.
- 5 Jain A., Manghani C., Kohli S., Nigam D. et al. Tea and human health: The dark shadows // Toxicology Letters. 2013. № 220 (1).
- 6 Tariq A.L., Reyaz. A.L. Phytochemical analysis of Camellia sinensis Leaves // Int. J. Drug Dev. & Res., October-December. 2013. № 4(4).
- 7 Xiaohong L. In vitro Anti-angiogenic Effects of Tea Saponin and Tea Aglucone on Human Umbilical Vein Endothelial Cells // J. of Food and Nutr. Res. 2015. V. 3. № 3.
- 8 Ферментация и сушка чая. URL: <http://teatips.ru/index.php?act=2&id=299&dep=7>
- 9 Ферментация кипрея. URL: http://www.hnh.ru/food/Fermentation_fireweed
- 10 Журавлев А.В., Марухин А.С., Кирнос А.В. Системное проектирование ресурсосберегающей машинной технологии переработки семян амаранта // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК - продукты здорового питания. 2016. № 6(14). С. 61-68.

и технологическому времени процессов сушки, ферментации и скручивания. На сегодняшний день наиболее перспективной является машинная технология, реализованная ресурсосберегающей технологической линией с целостным, устойчивым и стабильным потоком, которая позволяет снизить эксплуатационные и капитальные затраты, а также получать наиболее качественные готовые продукты.

REFERENCES

- 1 Danikov N.I. Tselebnyy ivan-chay. [Healing ivan tea] Moscow, Eksmo, 2016. 55 p. (in Russian).
- 2 Kosun V.F., Viktorov V.K., Korsun E.V., Dan'shin, E.A. Russkiy ivan-chay [Russian ivan-tea] Moscow, Russkie, 2013. 140 p. (in Russian).
- 3 Basu P. Circulating fluidized bed boilers: design, operation and maintenance. Springer, 2015.
- 4 Akbari M., Feizi H., Madoliat R. Investigations on the effects of ultrasonic vibrations in the extrusion process. Journal of Materials Proc. Tech. 2014.
- 5 Jain A., Manghani C., Kohli S., Nigam D. et al. Tea and human health: The dark shadows. Toxicology Letters. 2013. no. 220 (1).
- 6 Tariq A.L., Reyaz. A.L. Phytochemical analysis of Camellia sinensis Leaves. Int. J. Drug Dev. & Res., October-December. 2013. no. 4(4).
- 7 Xiaohong L. In vitro Anti-angiogenic Effects of Tea Saponin and Tea Aglucone on Human Umbilical Vein Endothelial Cells. J. of Food and Nutr. Res. 2015. vol. 3. no. 3.
- 8 Fermentatsiya i sushka chaia [Fermentation and drying of tea] Available at: <http://teatips.ru/index.php?act=2&id=299&dep=7> (in Russian)
- 9 Fermentatsiya kipreya [Thyatier fermentation] Available at: http://www.hnh.ru/food/Fermentation_fireweed (in Russian)
- 10 Zhuravlev A.V., Marukhin A.S., Kirnosov A.V. System design of resource-saving machine technology of processing of seeds of an amaranth. Tekhnologii pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya. [Technologies of food and processing industry of the agroindustrial complex - healthy food products] 2016. no. 6 (14). pp. 61-68. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Сергей Т. Антипов д.т.н., профессор, проректор по научной и инновационной деятельности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ast@vsuet.ru

Алексей В. Журавлев д.т.н., профессор, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, alexjav2@mail.ru

Александр С. Марухин аспирант, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kintar0@yandex.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Сергей Т. Антипов разработал концепцию исследований, консультации в ходе эксперимента

Алексей В. Журавлев обработал экспериментальные данные

Александр С. Марухин провёл эксперимент, написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 14.06.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 08.08.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Sergei T. Antipov Dr. Sci. (Engin.), professor, vicerector of research and innovation, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ast@vsuet.ru

Aleksei V. Zhuravlev Dr. Sci. (Engin.), professor, machines and equipment of food production department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, alexjav2@mail.ru

Aleksandr S. Marukhin graduate student, machines and equipment of food production department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kintar0@yandex.ru

CONTRIBUTION

Sergei T. Antipov it developed the concept of studies, consultation in the course of the experiment

Aleksei V. Zhuravlev processed the experimental data

Aleksandr S. Marukhin it conducted experiment, wrote the manuscript, corrected it to the supply into the editorial staff and bears responsibility for the plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 6.14.2018

ACCEPTED 8.8.2018