

УДК 66.083.2

Разработка ресурсосберегающего процесса производства кондитерских изделий в поле действия ультразвука

Д-р техн. наук **Е.И. Верболюз**, elenaverboloz@mail.ru

аспирант **Р.Н. Савченко**, rn80@mail.ru

Университет ИТМО

191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

В статье показана эффективность новой, не применяемой ранее, непрерывной технологии расстойки, выпечки и охлаждения кондитерских изделий в пароконвектомате в поле ультразвука и без него. При этом экспериментально подтверждены теоретические положения по интенсификации процесса производства мучных мелкоштучных изделий с повышением их качества. Обработка экспериментальных данных показала, что предложенный процесс непрерывного производства кондитерских изделий в одном аппарате с применением ультразвука в 1,6 раза снижает трудозатраты и в 1,25 раза расход электроэнергии. При этом производительность пароконвектомата увеличивается на 25–30%.

Проведение тепловой обработки изделий по заранее введенной программе исключает влияние человеческого фактора на качественные характеристики тестовых заготовок и готовых продуктов. Такие органолептические показатели, как повышение пористости и исключительно гладкая одноцветная поверхность выпечки возможны только при воздействии механических вибраций ультразвука. В целях поддержания одинаковых условий эксперимента температурный режим в камере пароконвектомата не изменялся при снятии показателей процесса с наложением ультразвука и без него. Замечено, что заданная температура расстойки в мякише изделия, как и температура выпечки, всегда достигалась раньше под воздействием ультразвука. И только в процессе охлаждения изделий влияние ультразвука минимально из-за усиленной конвекции вентилятором.

Испытания показали необходимость снижения температуры выпечки на 20–30⁰С из-за повышенного окраса поверхности корки и возможного снижения выхода продукта.

Ключевые слова: интенсификация процесса; человеческий фактор; автоматизация; температура мякиша; кондитерские изделия; ультразвук; затраты электроэнергии.

Development of resource-saving production process of confectionery in the ultrasound

Ph.D. **Elena I. Verboloz**, elenaverboloz@mail.ru

PhD student **Roman N. Savchenko**, rn80@mail.ru

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosova street, 9

We experimentally tested the effectiveness of continuous fermentation, baking and cooling confectionery products in parokonvektomate in the field of ultrasound and without it. If this were confirmed by theoretical positions on the intensification of the process of production of bakery wares with the improvement of their quality. Processing of experimental data has shown that the proposed process for the continuous production of confectionary products in one device using ultrasound reduces the 1.6 times work and 1.25 times the electricity consumption. However, the performance of the steamer is increased by 20-30%.

Carrying out heat treatment products in previously imposed program excludes the influence of human factor on the quality of dough and ready-made products. Organoleptic characteristics such as increased porosity and ultra-smooth surface solid baking is possible only under the influence of ultrasonic mechanical vibration. In order to maintain the same conditions of the experiment, the temperature in the steamer Chamber did not differ when removing process with ultrasound and without it, but the temperature in the crumb products in the first instance always reached earlier, like baking. And only during the cooling process, the impact of ultrasound products is minimal due to forced convection fan.

Tests have shown the need to reduce baking temperature by 25–30°C because of the increased color surface crusting and possible release reduction baking.

Keywords: intensification of the process; the human factor; automation; temperature crumb; confectionery; ultrasound; electricity cost.

Введение

В последнее десятилетие интенсивно развивается новое направление в пищевой технологии – обработка продуктов нетрадиционными, электрофизическими методами. К ним можно отнести использование вибрации, акустических колебаний [1, 2], наложение электрических и магнитных полей в комплексе с традиционными процессами варки, сушки, замораживания, а также химическими и биохимическими процессами [3, 4].

Возрастающая конкуренция малых хлебопекарных и кондитерских предприятий требует создания обновленных технологий выработки хлебобулочных и кондитерских изделий, повышающих качество и снижающих трудо- и энергозатраты [5]. Большие резервы, которые имелись, например, на стадии выпечки, в основном уже внедрены в производство.

Процесс выпечки изделий разными способами изучен достаточно глубоко как с точки зрения экологии производства, так и с учетом удельных затрат энергии и времени на производство единицы продукции. Многими исследователями обращено внимание на реакцию меланоидинообразования, которая определяет окраску изделия при выпечке. Высокие температуры в печи изменяют в поверхностном слое крахмал и белки. А.Н. Пономарева приводит свои экспериментальные данные существенного сокращения свободных аминокислот в корке изделий, расходуемых на меланоидинообразование и уменьшающих их пищевую ценность [6]. Л.Я. Ауэрман делает ссылку на исследования Ф.О. Баума, в которых выявлены при выпечке потери лизина белков теста [5]. Содержание этой незаменимой и дефицитной в белках хлебопродуктов аминокислоты при выпечке сокращается на треть, а в корке на две трети от содержания до выпечки. На снижение биологической ценности белка в хлебопродуктах во время процесса выпекания обращено внимание в работах А.П. Нечаева, В.Л. Кретовича и И.М. Скурихина [7, 8, 9]. При выпечке биологическая ценность изделий хлебной группы падает еще и от термического разрушения витаминов. Г.И. Шевелева приводит примеры влияния разных способов выпечки на сохранность витаминов и указывает, что длительность тепловой обработки теста должна быть сокращена до минимума [10]. И.М. Скурихин исследовал под действием высоких температур образование полимеров жиров, полициклических ароматических углеводов (бенз-а-пирена), различных окисных веществ. Как известно, бенз-а-пирен – сильный канцероген, влияющий на развитие раковой опухоли. Его количество в корке может достигать до 0,5 мкг/кг. Поэтому проблема интенсификации процесса выпечки в хлебопекарных печах при сниженных температурах и длительности процесса является актуальной и не требует доказательств.

Обращает на себя внимание и проблема необходимости снижения трудозатрат и электроэнергии на малых предприятиях, где производственные процессы в основном не автоматизированы. Работники вручную перекалывают готовые к расстойке тестовые полуфабрикаты на специальные мобильные тележки, помещают их в камеру расстойного шкафа, где происходит расстойка изделий. Через определенное время тележки выкатывают из камеры и вручную закатывают в камеры хлебопекарных печей периодического действия. В отличие от автоматических тоннельных печей, такие печи из-за больших потерь тепла при загрузке и разгрузке камер долго выходят на заданный режим. Однако кондитерские изделия при таком наиболее распространенном способе выпечки характеризуются переменным качеством продукции, зависящим от квалификации пекарей. Большая доля ручного труда делает производство низко

рентабельным: неэффективно используется производственная площадь, низкий логистический менеджмент, большой фонд заработной платы, высокий процент брака, простои из-за «человеческого фактора». Несмотря на это в России такие небольшие производства широко распространены.

Переход на автоматизацию производства от процесса расстойки до полного охлаждения в одном аппарате позволяет предприятиям занять одну из лидирующих позиций по таким важным показателям, как качество и цена.

Объекты и методы исследования

Несомненным достоинством и научной новизной нашей работы может быть использование оригинальных подходов к достижению повышения качества изделий, снижения трудоемкости и себестоимости продукции. Автоматизация процессов и создание управляющей программы будет иметь практическую направленность. Использование дозированного ультразвука при расстойке, выпечке и охлаждении кондитерских изделий позволяет устранить многие проблемы действующих предприятий [1, 6]. Авторами экспериментально доказаны возможность сокращения времени расстойки, выпечки, снижения температуры в камере, что положительно сказывается на биологической ценности изделий. Ожидаемая экономия электроэнергии – до 25%, снижение трудозатрат оператора – в 1,6 раза. Проведение тепловой обработки изделий по заранее введенной программе исключает влияние человеческого фактора на качественные характеристики тестовых заготовок и готовых продуктов. Такие органолептические показатели, как повышение пористости и исключительно гладкая одноцветная поверхность выпечки возможны только при воздействии механических вибраций ультразвука [3]. В целях поддержания одинаковых условий эксперимента температурный режим в камере пароконвектомата не изменялся при снятии показателей процесса с наложением ультразвука и без него. Замечено, что заданная температура расстойки в мякише изделия, как и температура выпечки, всегда достигалась раньше под воздействием ультразвука. И только в процессе охлаждения изделий влияние ультразвука минимально из-за усиленной конвекции вентилятором [11].

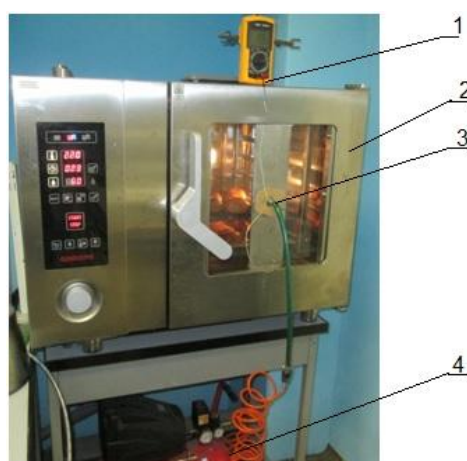


Рисунок 1 – Лабораторная установка:

1 – цифровой мультиметр VC 890С+ с термопарой; 2 – пароконвектомат марки Angelo Po; 3 – газодинамический ультразвуковой излучатель мощностью 400 Вт; 4 – компрессор с блоком подготовки воздуха.

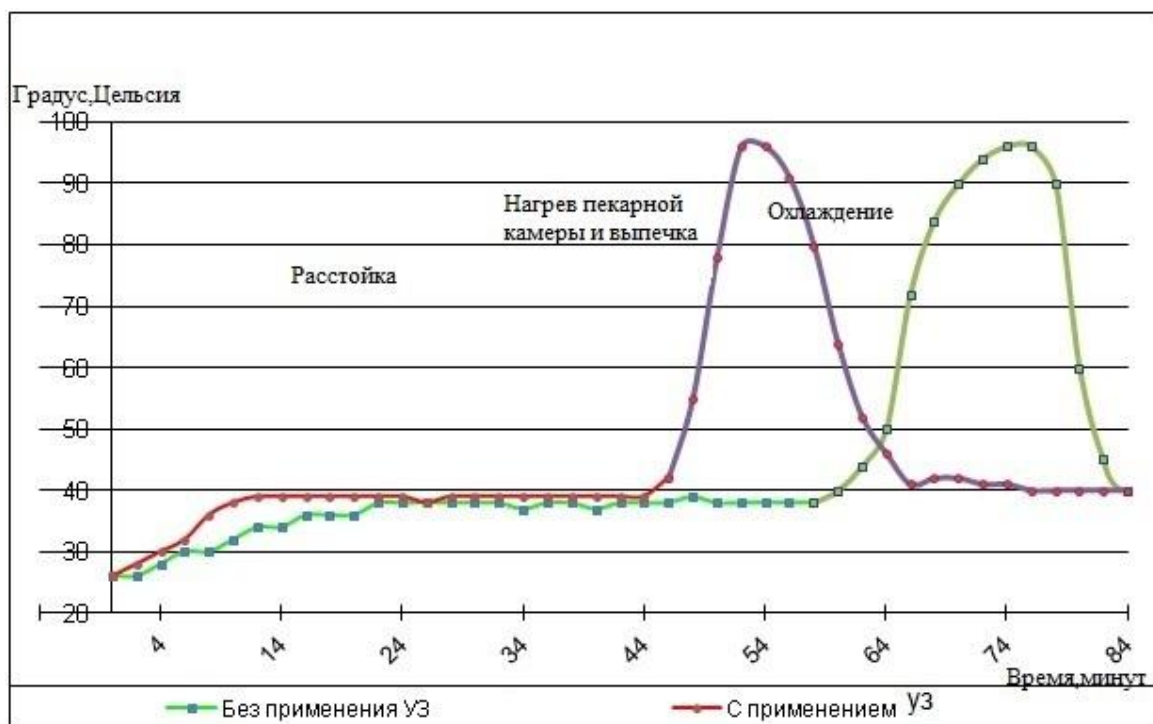


Рисунок 2 – Зависимость прогрева мякиша сдобной булочки от времени тепловой обработки

Испытания показали необходимость снижения температуры выпечки на 20–30⁰С из-за повышенного упека и окраса поверхности корки.

При выполнении эксперимента по расстойке, выпечке и охлаждению сдобных «Венских булочек» на лабораторной установке Кафедры технологических машин и оборудования (ТМиО) (пароконвектомат с газодинамическим ультразвуковым излучателем, рисунок 1) получены экспериментальные данные, представленные на рисунке 2.

При этом во время расстойки по программе температура в камере устанавливалась +39⁰С с учетом ранее известного факта повышенной устойчивости дрожжей к температурам в ультразвуке [12]. Объясняется это тем, что ускорение биохимических процессов в клетке приводит к повышению ее физиологической активности, увеличению сопротивляемости внешним воздействиям [6, 12]. Некоторые авторы считают, что расширенный диапазон температур, приемлемых при брожении, может быть специфическим свойством, приобретенным первыми поколениями дрожжей в неблагоприятных условиях [13]. При воздействии ультразвука интенсивностью 0,5 Вт/см² прогрев центральной части заготовки происходит через 12 минут, что способствует окончанию процесса расстойки уже через 44 минуты. Без ультразвука прогрев тестовой заготовки «Венская булочка» продолжался около 20 минут, а окончание процесса расстойки – через 60 минут, после чего ТЭНы пароконвектомата включались на полную мощность для быстрого нагрева камеры до заданной температуры выпечки (200⁰С) [14, 15, 16]. Обнаружено, что поддерживать максимальную температуру выпечки более 1–2 минут не имеет смысла, так как за период нагрева и охлаждения камеры «Венские булочки» массой 60 грамм полностью пропекались [17]. Причем, длительность процесса производства изделий в поле ультразвука заметно сокращена, что видно из таблицы 1.

Таблица 1 – Изменение температуры мякиша сдобной «Венской булочки» в процессе непрерывного производства в пароконвектомате без наложения ультразвука и с ультразвуком (УЗ).

№ точки	Время процесса (мин.)	Температура процесса (°С)	Температура процесса (°С) (УЗ)
1	0	26	26
2	2	26	28
3	4	28	30
4	6	30	32
5	8	30	36
6	10	32	38
7	12	34	39
8	14	34	39
9	16	36	39
10	18	36	39
11	20	36	39
12	22	38	39
13	24	38	39
14	26	38	38
15	28	38	39
16	30	38	39
17	32	38	39
18	34	37	39
19	36	38	39
20	38	38	39
21	40	37	39
22	42	38	39
23	44	38	39
24	46	38	42
25	48	39	55
26	50	38	78
27	52	38	96
28	54	38	96
29	56	38	91
30	58	38	80
31	60	40	64
32	62	44	52
33	64	50	46
34	66	72	41
35	68	84	42
36	70	90	42
37	72	94	41
38	74	96	41
39	76	96	40
40	78	90	40
41	80	60	40
42	82	45	40
43	84	40	40

Замечено, что основное влияние на скорость производства изделий ультразвук оказывает в процессе расстойки.

Получены аппроксимирующие зависимости процесса расстойки без применения ультразвука (1) и с применением (2) ультразвука мощностью 0,5 Вт/см²:

$$y = -0,0132x^2 + 0,7952x + 28,313 \text{ при } R^2 = 0,890 \quad (1)$$

$$y = -0,0076x^2 + 0,617x + 26,407 \text{ при } R^2 = 0,936. \quad (2)$$

Темп прогрева теста за счет дополнительной турбулизации ультразвуком пограничной пленки воздуха у поверхности изделий увеличился более чем в 1,5 раза, что показывает высокую эффективность способа, недостижимую обычной конвекцией [18, 19, 20].

Из рисунка 2 видно, что ультразвуковой излучатель с частотой 20 000 Гц существенно увеличил скорость производства, и соответственно, производительность пароконвектомата по готовым изделиям (до 30%), снизил удельные энергозатраты. Использование программы позволило автоматизировать процессы производства кондитерских изделий без выемки и вмешательства кондитера до конца принудительного охлаждения изделий.

Выводы

Исходя из анализа непрерывного технологического процесса расстойки, выпечки и охлаждения кондитерских изделий в пароконвектомате в поле ультразвука и без него можно сделать заключение о высокой эффективности такой технологии.

Литература

1. Антуфьев В.Т., Иванова М.А. Воздействие ультразвука на выпечку мелкоштучных хлебобулочных изделий // Хлебопродукты. 2011. №5. С.50–51
2. Бодрова О.Ю., Кречетникова А.Н. Активирующий и дезинтегрирующий эффекты ультразвуковой обработки микроорганизмов // История науки и техники. Уфа, 2006. №1 С.51.
3. Акоюн Б.В., Ершов Ю.А. Основы взаимодействия ультразвука с биологическими объектам. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 224 с.
4. Шестаков С.Д. Эмульсия в хлебопекарном производстве // Хлебопечение России. 1996, №2. С. 20–22
5. Ауэрман Л. Я. Технология хлебопекарного производства. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. 415 с.
6. Ермаченко В.А., Русанова Т.В., Брагинская Ф.И. и др. Кинетическое изучение интенсификации бродильной активности хлебопекарных дрожжей с помощью ультразвука // Известия АН СССР. Серия биология. 1974. № 4. С. 590–596.
7. Кретович В. Л., Токарева Р.Р. Проблемы пищевой полноценности хлеба. М.: Наука, 1978. 287 с.
8. Нечаев А. П., Траубенберг С. Е., Кочеткова А. А. Пищевая химия. СПб.: ГИОРД, 2012. 672 с.
9. Скурихин И.М., Нечаев А.П. Все о пище с точки зрения химика. М.: Высшая школа, 1991. 288 с.
10. Шевелева Г.И. Разработка способов повышения витаминной ценности хлебобулочных изделий: дис. ... канд. тех. наук. М., 1992. 178 с.
11. Цветков О.Б., Лаптев Ю.А. Термодинамика и теплопередача: учебно-методическое пособие. СПб.: НИУ ИТМО, 2013. 53 с.
12. Калюжин В.А. Терморезистентность у дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* // Журнал общей биологии. 2011. Том 72. № 2. С. 140–149.
13. Барышников А.Н., Володарский А.В., Михелев А.А. О прогреве тестовых заготовок в процессе выпечки // Хлебопекарная и кондитерская промышленность. 1972. № 5. С. 8–10
14. Пономарева А.Н. Участие свободных аминокислот в реакции меланоидинообразования при изготовлении хлеба: дис. ... канд. биол. наук. М., 1964. 272 с.

15. Вороненко Б.А., Антупьев В.Т., Иванова М.А. Аналитическое решение задачи тепломассопереноса процесса выпечки мелкоштучных булочных изделий при наложении поля ультразвука // Процессы и аппараты пищевых производств. 2012. № 1. С. 16.
16. Антупьев В.Т., Иванова М.А. Влияние ультразвука на показатели готового мелкоштучного хлебобулочного изделия // Процессы и аппараты пищевых производств. 2011. № 2. С. 254–260.
17. Антупьев В.Т., Андреев А.Н., Горшков Ю.Г., Русакевич О.Н. Инновационные аспекты разработки ресурсосберегающего процесса выпечки хлебобулочных изделий в поле действия ультразвука // Процессы и аппараты пищевых производств. 2009. № 1. С. 27–32.
18. Данин В.Б., Пастухов А.С. Разработка вычислительной системы параметров процесса охлаждения хлебобулочных изделий на основе математического моделирования // Процессы и аппараты пищевых производств. 2012. № 1. С. 22.
19. Пастухов А.С., Данин В.Б. Процесс конвективного охлаждения хлебобулочных изделий как объект исследования // Известия СПбГУНИПТ. 2008. № 2. С. 17–18.
20. Pastukhov A. Automatic control and maintaining of cooling process of bakery products. *Agronomy Research*. 2015, V. 13, no.4, pp. 1031–1039.

References

1. Antuf'ev V.T., Ivanova M.A. Vozdeistvie ul'trazvuka na vypechku melkoshtuchnykh khlebobulochnykh izdelii [Effects of ultrasound on small sized baked bakery products]. *Khleboпродукты*. 2011, no. 5, pp. 50–51.
2. Bodrova O.Yu., Krechetnikova A.N. Aktiviruyushchii i dezintegriruyushchii efekty ul'trazvukovoi obrabotki mikroorganizmov [Activating and disintegrating effects of ultrasonic treatment of microorganisms]. *The history of science and technology*. Ufa, 2006, no. 1, p.51.
3. Akopyan B.V., Ershov Yu.A. *Osnovy vzaimodeistviya ul'trazvuka s biologicheskimi ob'ektami* [The interaction of ultrasound with biological objects]. Moscow, MGTU im. N.E. Bauman Publ., 2005, 224 p.
4. Shestakov S.D. Emul'siya v khlebopekarnom proizvodstve [The emulsion in Bakery]. *Baking in Russia*. 1996, no. 2, pp. 20–22.
5. Auerman L. Ya. *Tekhnologiya khlebopekarnogo proizvodstva* [Technology of breadmaking]. Moscow, Legkaya i pishchevaya promyshlennost' Publ., 1984, 415 p.
6. Ermachenko V.A., Rusanova T.V., Braginskaya F.I. i dr. Kineticheskoe izuchenie intensivatsii brodil'noi aktivnosti khlebopekarnykh drozhzhei s pomoshch'yu ul'trazvuka [Kinetic studying of an intensification of fermentative activity of baker's yeast by means of ultrasound]. *News of the Academy of Sciences of the USSR. Series biology*. 1974, no. 4, pp. 590–596.
7. Kretovich V. L., Tokareva R.R. *Problemy pishchevoi polnotsennosti khleba* [Challenges of food usefulness of bread]. Moscow, Nauka Publ., 1978, 287 p.
8. Nechaev A. P., Traubenberg S. E., Kochetkova A. A. *Pishchevaya khimiya* [Food Chemistry]. St. Petersburg, GIORD Publ., 2012, 672 p.
9. Skurikhin I.M., Nechaev A.P. *Vse o pishche s tochki zreniya khimika* [All of the food from the point of view of the chemist]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1991, 288 p.
10. Sheveleva G.I. Razrabotka sposobov povysheniya vitaminnoi tsennosti khlebobulochnykh izdelii [Development of ways to increase the vitamin value of bakery products]: *Candidate's thesis*. Moscow, 1992, 178 p.
11. Tsvetkov O.B., Laptev Yu.A. *Termodinamika i teploperedacha* [Thermodynamics and heat transfer: teaching aid]. St. Petersburg, ITMO University, 2013, 53 p.
12. Kalyuzhin B.A. Termorezistentnost' u drozhzhei *Saccharomyces cerevisiae* [Thermoresistivity in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*]. *Journal of General Biology*. 2011, V. 72, no. 2, pp. 140–149.
13. Baryshnikov A.N., Volodarskii A.V., Mikhelev A.A. O progreve testovykh zagotovok v protsesse vypechki [On warming dough during baking]. *Bakery and confectionery industry*. 1972, no. 5, pp. 8–10.
14. Ponomareva A.N. Uchastie svobodnykh aminokislot v reaktsii melanoidinobrazovaniya pri izgotovlenii khleba [The participation of free amino acids in the reaction in the production of bread melanoidins]: *Candidate's thesis*. Moscow, 1964, 272 p.
15. Voronenko B.A., Antuf'ev V.T., Ivanova M.A. Analiticheskoe reshenie zadachi teplomassoperenosa protsesssa vypechki melkoshtuchnykh bulochnykh izdelii pri nalozhenii polya ul'trazvuka [Analytical solution of heat and mass transfer process of small-piece baking pastries in the application of the field of ultrasound]. *Processes and equipment for food production*. 2012, no. 1, P. 16.

16. Antuf'ev V.T., Ivanova M.A. Vliyanie ul'trazvuka na pokazateli gotovogo melkoshtchnogo khlebobulochnogo izdeliya [Influence of ultrasound on indicators of the ready small-pieces bakery product]. *Processes and equipment for food production*. 2011, no. 2, pp. 254–260.
17. Antuf'ev V.T., Andreev A.N., Gorshkov Yu.G., Rusakevich O.N. Innovatsionnye aspekty razrabotki resursosberegayushchego protsessa vypечki khlebobulochnykh izdelii v pole deistviya ul'trazvuka [Innovative aspects of the development of resource-saving baking process of bakery products in the field of action of ultrasound]. *Processes and equipment for food production*. 2009, no. 1, pp. 27–32.
18. Danin V.B., Pastukhov A.S. Razrabotka vychislitel'noi sistemy parametrov protsessa okhlazhdeniya khlebobulochnykh izdelii na osnove matematicheskogo modelirovaniya [Mathematical modeling of the bakery products cooling process]. *Processes and devices of food manufactures*. 2012, no.1, P. 22.
19. Pastukhov A.S., Danin V.B. Protsess konvektivnogo okhlazhdeniya khlebobulochnykh izdelii kak ob"ekt issledovaniya [The process of convective cooling of bakery products as an object of study]. *Izvestiya SPbGUNIPT*. 2008, no. 2, pp. 17–18.
20. Pastukhov A. Automatic control and maintaining of cooling process of bakery products. *Agronomy Research*. 2015, V. 13, no. 4, pp. 1031–1039.

Статья поступила в редакцию 05.11.15