

УДК 664.641.022.3

Моделирование состава поликомпонентных мучных смесей с заданными показателями пищевой адекватности

Канд. техн. наук **Н.А. Березина**, jrdan@yandex.ru
 Канд. техн. наук **А.В. Артемов**, avladar1984@yandex.ru
Б.Н. Чуев, ptdcbr123@gmail.com
 Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева
 302026, Россия, Орел, ул. Комсомольская, 95

Произведено моделирование мучных смесей для ржано-пшеничных хлебобулочных изделий повышенной биологической ценности. Задача решалась симплекс-методом с искусственным базисом, относящимся к численным оптимизационным методам решения задач линейного программирования. Оптимизирован состав мучных смесей для ржано-пшеничных хлебобулочных изделий по аминокислотному скору и биологической ценности. Хлебобулочные изделия из мучных смесей повышенной биологической ценности изготавливались традиционными способами, принятыми в хлебопечении. Качество изделий оценивалось с помощью интегрированного показателя – комплексного показателя качества, позволяющего одновременно оценить органолептические, физико-химические и энергетические показатели готового продукта. Расчеты сгенерировали 32 мучные смеси, из которых после анализа было отобрано 10 вариантов, имевших биологическую ценность на 6,12–17,66% выше в сравнении с контрольным образцом. Наилучшими показателями обладали хлебобулочные изделия из смесей 1 и 7, в которых комплексный показатель качества выше на 22,8%, общее количество незаменимых аминокислот больше в 1,3–1,4 раза, биологическая ценность – на 8,6–14,2%, удельный объем – на 5,8–11,7%, а пористость – на 1–3% по сравнению с контрольным образцом.

Ключевые слова: моделирование; мучная смесь; хлеб; биологическая ценность; качество.

DOI: 10.17586/2310-1164-2016-9-3-17-23

Modeling multicomponent formula of flour mixtures with specified indicators of food adequacy

Ph.D. **Natalya A. Berezina**, jrdan@yandex.ru
 Ph.D. **Andrey V. Artemov**, avladar1984@yandex.ru
Bogdan N. Chuev, ptdcbr123@gmail.com
 Orel State University
 302026, Russia, Orel, Komsomolskaya str., 95

The article deals with flour mixtures for rye-wheat bakery products of increased biological value. The problem was solved by simplex method with artificial basis related to numerical optimization methods for solving linear programming problems. The composition of the flour mixtures for rye-wheat bread according to the amino acid score and biological value was optimized. Bread from flour mixes of high biological value was produced by traditional bakery methods. The quality of the products was estimated by the integrated index - complex index of quality - allowing assessing the organoleptic, physico-chemical and energy properties of the finished product. Calculations generated 32 flour mixtures from which, after analysis, 10 samples of higher biological value (by 6.12–17.66% compared to the control samples) were selected. Baked goods from mixes 1 and 7 showed the best indicators, their complex index of quality beings 22.8% higher and the total amount of essential amino acids being 1.3–1.4 times more. Also, their biological value is 8.6–14.2% higher, the specific volume is 5.8–11.7% higher, and the porosity is 1–3% higher compared to the control sample.

Keywords: modeling; flour mixture; bread; biological value; quality.

Введение

Быстрый темп жизни современных людей, особенно в городах, обусловленный изменениями экономических отношений, спроецирован сегодня и на структуру питания Потребительский поток в заведения

фастфуда увеличился и, по данным NPD Group, в первом квартале 2016 года составил 36% от рынка общепита. Кроме того, растет потребление продуктов быстрого питания с доставкой домой и в офис. В этой ситуации массового снижения качества питания на фоне нерегулярного приема пищи и малоподвижного образа жизни большую значимость приобретает повышение пищевой и биологической ценности широко употребляемых продуктов питания, в том числе хлебобулочных изделий [1–3]. Формирование качественного питания продуктов массового потребления должно основываться на комплексном подходе к применению пищевых ингредиентов с учетом их состава и функциональных свойств, эффекта синергизма, высокой пищевой и биологической ценности, привычных органолептических показателей [4, 5].

При этом необходимо обеспечивать управление качеством и его прогнозирование в создаваемом продукте. Одним из решений производства полноценных по своему составу продуктов массового питания, таких как хлебобулочные изделия, является автоматизированное проектирование рецептур [6–8]. Преимуществом данного способа является возможность регулирования химического состава на основе научно обоснованных подходов к подбору пищевых ингредиентов с требуемыми характеристиками пищевой и биологической ценности [9].

Целью работы являлось компьютерное моделирование поликомпонентных мучных смесей с повышенной биологической ценностью и оптимизация хлебобулочных изделий из них с применением интегрированного показателя оценки органолептических, физико-химических, энергетических свойств, а также выхода конечного продукта.

Объекты и методы исследования

Проектирование состава мучной смеси для ржано-пшеничных хлебобулочных изделий повышенной биологической ценности осуществлялось с помощью компьютерной программы автоматизированной системы научных исследований [9]. Алгоритм работы программы представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Алгоритм проектирования состава мучной смеси повышенной биологической ценности

Выбор оптимального критерия. В качестве критерия оптимизации выбран показатель биологической ценности продукта, обусловленный количеством и соотношением незаменимых аминокислот. Высокая потребность человеческого организма в белке – это эволюционно обусловленная доминанта питания, связанная с необходимостью обеспечивать поступление незаменимых аминокислот в физиологических количествах. Азотистый баланс характеризует степень адсорбции азота организмом с потребленной пищей. Показатель биологической ценности продукта характеризует степень усвоения

организмом азота, поступившего с пищей. Качественная характеристика белка определяется содержанием в нем восьми незаменимых аминокислот в определенном соотношении [10].

Выбор исходных данных. Аминокислотный состав белка зерновых хлебопекарных культур несовершенен. Лимитирующими аминокислотами в хлебобулочных изделиях являются лизин и треонин. Одним из способов совершенствования состава хлеба является введение в рецептуру компонентов, обладающих более высокой биологической ценностью, чем основное сырье – мука. На основе анализа литературных данных [11], были выбраны источники сырья с высоким содержанием лизина и треонина, приведенные на рисунке 2.

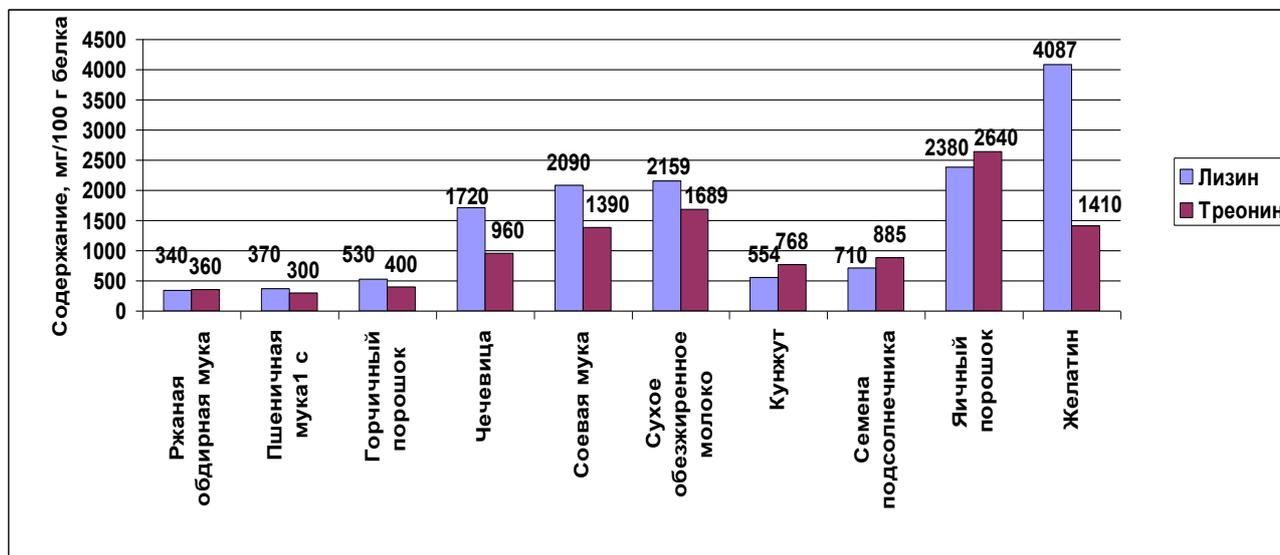


Рисунок 2 – Содержание лизина и треонина в сырье

Данные показывают, что выбранные источники сырья содержат в 1,6–12 раз больше лизина и в 1,2–5 раз больше треонина, что позволяет рекомендовать их для корректировки биологической ценности мучных смесей.

Выбор ограничений. Обусловлен количеством незаменимых аминокислот в проектируемом продукте и отношением его к физиологически необходимой норме – «идеальному белку», то есть представляет собой аминокислотный скор [12].

Создание математической модели. Математическая формализация поставленной задачи может быть представлена следующим образом [9]:

$$0,999x_1 + 0,125x_2 + \dots + 0,125x_n \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} 34,9x_1 + \dots + 43,3x_n \geq 30 \\ 36,36x_1 + \dots + 43,3x_n \geq 20 \\ 42,6x_1 + \dots + 1,7x_n \geq 15 \\ x_1 + \dots + x_n \geq 0,7 \\ \dots \\ 0,05 < x_n < 0,4 \\ x_1 + \dots + x_n = 1 \end{cases}$$

Поиск решения. Получаемая задача решалась симплекс-методом с искусственным базисом, относящимся к численным оптимизационным методам решения задач линейного программирования [9]. Компьютерный комплекс автоматизированной системы исследования позволяет получить некоторое множество решений задачи оптимизации, что дает возможность произвести выбор оптимального решения, основываясь на комплексном показателе качества конечного продукта – хлебобулочного изделия.

Хлебобулочные изделия из мучных смесей повышенной биологической ценности изготавливались с использованием воды, соли, густой закваски, и дрожжей. Тесто выбраживали до кислотности 9°, разделяли, укладывали в формы, растаивали и выпекали. Готовую продукцию оценивали не ранее чем через 4 часа и не позже чем через 24 часа по общепринятым методикам.

Качество хлебобулочных изделий оценивалось с помощью интегрированного показателя – комплексного показателя качества $K_{ок}$ в соответствии с методикой, приведенной в [13]. Преимуществом данной методики является возможность включать те показатели, которые требуются для конкретных целей исследования. В данном исследовании целесообразным признано включение органолептических, физико-химических показателей, а также коэффициента характеризующего выход и качество энергии. Последний зависит от сбалансированности продукта по основным веществам (белкам, жирам, углеводам). Расчет $K_{ок}$ производился в соответствии с формулой:

$$K_{ок} = \sqrt[4]{K_o \cdot K_{фх} \cdot K_B \cdot K_э}, \tag{1}$$

где K_o – комплексный показатель органолептических свойств;

$K_{фх}$ – комплексный показатель физико-химических свойств;

K_B – коэффициент, характеризующий выход;

$K_э$ – комплексный показатель качества энергии.

Результаты и их обсуждение

Расчеты, проведенные с помощью компьютерного комплекса автоматизированной системы научных исследований, позволили сгенерировать 32 мучные смеси. После анализа представленных вариантов, из них были отобраны 10 с биологической ценностью не ниже 75%. Данные биологической ценности расчетных смесей представлены на рисунке 3. Контролем служила ржано-пшеничная смесь без добавок.



Рисунок 3 – Биологическая ценность мучных смесей, сгенерированных программным комплексом

Данные рисунка 3 показывают, что смешивание ржано-пшеничной муки с добавками повышенной биологической ценности позволяет увеличить биологическую ценность мучных смесей от 6,12 до 17,66% по сравнению с контрольным образцом.

Из мучных смесей изготавливались хлебобулочные изделия способами, принятыми в хлебопечении. Результаты исследований комплексных показателей качества готового хлеба, рассчитанные по формуле 1, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Комплексные показатели качества хлебобулочных изделий из мучных смесей повышенной биологической ценности

Показатели качества	Контроль	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K_o	0,91	0,71	0,61	0,61	0,50	0,61	0,61	0,71	0,61	0,60	0,60
$K_{фх}$	0,8	1,46	1,07	1,28	0,86	0,91	0,71	1,46	1,07	1,15	1,01
K_B	0,4	0,46	0,40	0,46	0,37	0,36	0,37	0,46	0,40	0,37	0,38
$K_э$	64,8	92,64	100,8	97,18	105,1	100,5	98,98	92,64	100,8	109,7	102,8
$K_{ок}$	2,1	2,58	2,26	2,44	2,03	2,11	2,00	2,58	2,26	2,29	2,22

Данные таблицы 1 позволяют установить, что опытные хлебобулочные изделия имеют более высокий комплексный показатель качества в сравнении с контрольным образцом, что обусловлено повышенными физико-химическими значениями и показателями качества энергии, то есть химическим

составом. Следует отметить, что органолептические показатели опытных образцов имеют более низкий коэффициент качества, чем контрольный образец, что объясняется непривычными для дегустаторов оттенками вкуса, которые привносятся новыми добавками. Наиболее высокими органолептическими показателями обладали образцы 1 и 7, в них же отмечается и более высокий комплексный показатель качества хлебобулочных изделий – на 22,8 выше по сравнению с контрольным образцом. В состав смеси 1 входят: мука ржаная обдирная, мука пшеничная второго сорта, сухое обезжиренное молоко, соевая мука, чечевица. В состав смеси 7 входят: мука ржаная обдирная, мука пшеничная второго сорта, сухое обезжиренное молоко, соевая мука, желатин, горчичный порошок, семена подсолнечника, чечевица, яичный порошок [14, 15].

Аминокислотный скор запатентованных составов мучных смесей для ржано-пшеничных хлебобулочных изделий с повышенной биологической ценностью и хорошими физико-химическим и органолептическими показателями качества приведен на рисунке 4.

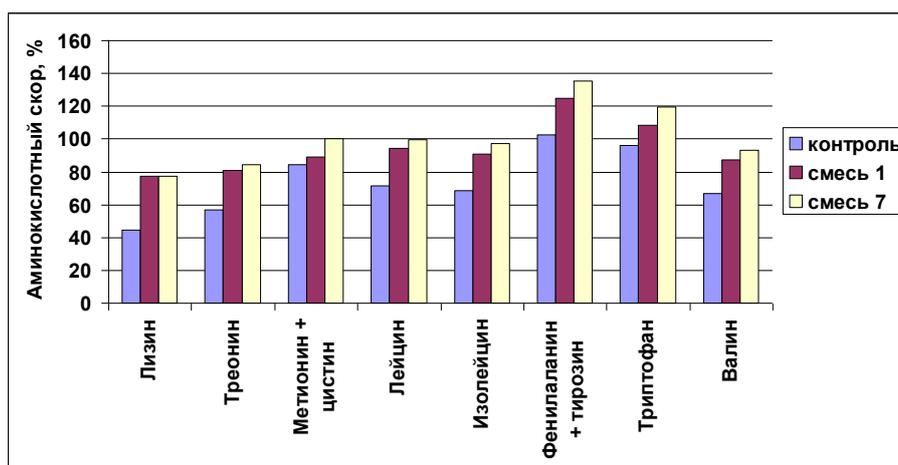


Рисунок 4 – Аминокислотный состав мучных смесей повышенной биологической ценности оптимального состава и свойств

Данные рисунков 3, 4 и таблицы 1 показывают, что применение нетрадиционных рецептурных компонентов повышенной биологической ценности в составе ржано-пшеничных хлебобулочных изделий позволяют в 1,3–1,4 раза увеличить в них общее количество незаменимых аминокислот, а биологическую ценность – на 8,6–14,2%.

При этом увеличение аминокислотного сора по лизину составило 32,66–33,18%, треонину — 24,12–26,25%, сумме серусодержащих аминокислот (метионин + цистин) — 4,56–15,11%, лейцину — 22,43–25,56%, изолейцину — на 21,89–9,17%, фенилаланину + тирозину — на 22,02–35,72%, триптофану — на 12,16–23,44%, валину — на 20,36–26,28% в сравнении с контрольным образцом.

Физико-химические показатели качества хлебобулочных изделий с повышенной биологической ценностью приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-химические показатели качества ржано-пшеничных хлебобулочных изделий из мучных смесей повышенной биологической ценности

Наименование показателя	Характеристика		
	контроль	смесь 1	смесь 7
массовая доля влаги, %	47,5	48,0	48,5
титруемая кислотность, град	9,0	9,0	8,0
удельный объем, см ³ /1 г	1,7	1,8	2,1
пористость, %	56,0	57,0	59,0

Данные таблицы 2 показывают, что опытные хлебобулочные изделия имеют более высокие показатели удельного объема и пористости по сравнению с контрольным образцом. При этом удельный объем выше на 5,8–11,7%, пористость — на 1–3%.

Заключение

В результате проведенных исследований было произведено моделирование мучных смесей для ржано-пшеничных хлебобулочных изделий повышенной биологической ценности с помощью формализованной математической модели для автоматизированного расчета. Применение компьютерной программы автоматизированной системы научных исследований позволило оптимизировать состав мучных смесей для ржано-пшеничных хлебобулочных изделий по аминокислотному скору и биологической ценности. Это достигалось путем применения в составе смесей нетрадиционного сырья с высоким содержанием лимитирующих в хлебобулочных изделиях аминокислот лизина и треонина. При этом сгенерированные программным комплексом мучные смеси имеют биологическую ценность на 6,12–17,66% выше, чем контрольный образец. Окончательный выбор вариантов смесей, позволяющих получить хлебобулочные изделия с хорошими показателями качества, проводился с применением комплексного показателя качества, позволяющего объективно оценить не только физико-химические, но и органолептические показатели конечного продукта, а также его химический состав. Установлено, что продукция из мучных смесей повышенной биологической ценности имеет в среднем более высокие комплексные показатели физико-химических и энергетических свойств (на 41,2 и 56,1% соответственно) и более низкие органолептические показатели (на 38,4%), чем контрольный образец. Снижение органолептических свойств обусловлено появлением непривычных для дегустаторов оттенков вкуса. Исходя из посыла, что вкус хлебобулочных изделий массовых сортов должен быть приближен к привычному для потребителя, окончательный выбор оптимального состава смеси осуществлялся с учетом именно этого комплексного показателя. Оригинальность оптимизированных составов мучных смесей для ржано-пшеничных хлебобулочных изделий повышенной биологической ценности подтверждена получением патентов на изобретение [14, 15].

Работа поддержана грантом РФФИ № 16-37-00365 «Разработка математических, алгоритмических основ и реализация автоматизированной системы научных исследований для оптимизации аминокислотного состава белка мучной смеси».

Литература

1. Краус С.В. Современное состояние хлебопечения в России // Хлебопродукты. 2016. № 1. С. 12–13.
2. Доставка пиццы и фаст-фуд оказались драйверами ресторанный рынка [Электронный источник] // *National Purchase Diary*, 2016. URL: <https://www.npd.com/wps/portal/npd/us/worldwide/russia/russian-language> (дата обращения 10.08.2016).
3. Семёнова П.А., Нечаев А.П. Регламентация применения пищевых ингредиентов // Хлебопродукты. 2016. № 2. С. 12–15.
4. Гаврилова О.М. Разработка технологии хлебобулочных изделий с применением гречневой муки: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2008. 25 с.
5. Захарова Л.М. Научно-практические аспекты производства функциональных продуктов из молока и злаков. Кемерово: Изд-во Кемер. технол. ин-та пищ. пром-ти, 2005. 95 с.
6. Березина Н.А., Орлова А.М., Жданова О.В., Мазалова Н.В., Чуев И.Е. Оценка качества готовых мучных смесей для ржано-пшеничных хлебобулочных изделий повышенной биологической ценности // Материалы II Международной научно-практической конференции «Направления развития технологии, организации и гигиены питания в современных условиях» (Орел, 21–22 мая 2012 г.). Орел, 2012. С. 201–205.
7. Воропаева О.Н. Разработка технологии хлебобулочных изделий с мучными композитными смесями: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2008. 25 с.
8. Стабровский С.А. Разработка и товароведная оценка многокомпонентных смесей для хлебопекарного производства: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Кемерово, 2006. 25 с.
9. Артемов А.В., Березина Н.А. Моделирование состава многокомпонентных смесей повышенной биологической ценности для ржано-пшеничных хлебобулочных изделий на основе разработки и использования автоматизированной системы научных исследований // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2015. № 3(32). С. 8–14.
10. МР 2.3.1.2432-08 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Введ. 18.02.2008. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 38 с.
11. Химический состав пищевых продуктов: справочник. Кн. 2 / под ред. И.М. Скурихина, М.Н. Волгарева. М.: Агропромиздат, 1987. 360 с.

12. Липатов Н.Н., Сажин Г.Ю. Формализованный анализ аминокислотной и жирнокислотной сбалансированности сырья, перспективного для проектирования продуктов детского питания с задаваемой пищевой адекватностью // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2001. № 8. С. 11.
13. Корячкина С.Я., Березина Н.А. Определение конкурентоспособности хлебобулочных изделий // *Хлебопродукты*. 2007. № 7. С. 62–63.
14. Березина Н.А. Состав для производства ржано-пшеничных хлебобулочных изделий: пат. 2533042 Российская Федерация. 2014. Бюл. № 32. 8 с.
15. Березина Н.А., Жданова О.В. Состав для хлебобулочных изделий из смеси ржаной и пшеничной муки: пат. 2527298 Российская Федерация. 2014. Бюл. № 24. 8 с.

References

1. Kraus S.V. *Sovremennoe sostoyanie khlebopecheniya v Rossii* [The current state of bread baking in Russia]. *Khleboprodukty*. 2016, no. 1, pp.12–13.
2. Golovachev V.R. Spasenie utopayushchikh – delo ruk samikh utopayushchikh [The rescue of drowning – the handiwork of drowning]. *Khleboprodukty*. 2016, no. 1, pp. 16–17.
3. Semenova P.A., Nechaev A.P. Reglamentatsiya primeneniya pishchevykh ingredientov [The regulations governing the use of food ingredients]. *Khleboprodukty*. 2016, no. 2, pp. 12–15.
4. Gavrilova O.M. Razrabotka tekhnologii khlebobulochnykh izdelii s primeneniem grechnevoi muki [Development of the technology of bakery products with the use of buckwheat flour]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Moscow, 2008, 25 p.
5. Zakharova L.M. *Nauchno-prakticheskie aspekty proizvodstva funktsional'nykh produktov iz moloka i zlakov*. [Scientific and practical aspects of production of functional products from milk and cereals]. Kemerovo, Kemerovo Technological Institute of Food Industry Publ., 2005, 95 p.
6. Berezina N.A., Orlova A.M., Zhdanova O.V., Mazalova N.V., Chuev I.E. Otsenka kachestva gotovykh muchnykh smesei dlya rzhano-pshenichnykh khlebobulochnykh izdelii povyshennoi biologicheskoi tsennosti [Quality assessment of prepared flour mixes for rye-wheat bakery products of high biological value]. *Proceedings of the 2nd International scientific and practical conference "The directions of development of technology, the organization and hygiene of food in modern conditions"* (Orel, May 21–22, 2012). Orel, 2012, pp. 201–205.
7. Voropaeva O.N. Razrabotka tekhnologii khlebobulochnykh izdelii s muchnymi kompozitnymi smesyami [Development of the technology of bakery products with composite flour mixtures]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Voronezh, 2008. 25 p.
8. Stabrovskii S.A. Razrabotka i tovarovednaya otsenka mnogokomponentnykh smesei dlya khlebopekarnogo proizvodstva. [Development and evaluation of multicomponent mixtures for bakery products] *Extended abstract of candidate's thesis*. Kemerovo, 2006. 25 p.
9. Artemov A.V. Berezina N.A. Modelirovanie sostava mnogokomponentnykh smesei povyshennoi biologicheskoi tsennosti dlya rzhano-pshenichnykh khlebobulochnykh izdelii na osnove razrabotki i ispol'zovaniya avtomatizirovannoi sistemy nauchnykh issledovaniy [Modeling of multicomponent mixtures of high biological value for rye-wheat bakery products through the development and use of the automated system of scientific researches]. *Technology and merchandising of innovative food products*. 2015, no. 3(32), pp. 8–14.
10. MR 2.3.1.2432-08. *Normy fiziologicheskikh potrebnostei v energii i pishchevykh veshchestvakh dlya razlichnykh grupp naseleniya Rossiiskoi Federatsii*. [Norms of physiological needs for energy and nutrients for different population groups of the Russian Federation]. Moscow, Federal'nyi tsentr gigieny i epidemiologii Rospotrebnadzora Publ., 2009, 38 p.
11. *Khimicheskii sostav pishchevykh produktov: spravochnik* [The chemical composition of food products]. In ed. I.M. Skurikhina, M.N. Volgareva. Moscow, Agropromizdat Publ., 1987, V. 2, 360 p.
12. Lipatov N.N., Sazhinov G.Yu. Formalizovannyi analiz amino- i zhirkislotnoi sbalansirovannosti syr'ya, perspektivnogo dlya proektirovaniya produktov detskogo pitaniya s zadavaemoi pishchevoi adekvatnost'yu [A formal analysis of amino and fatty acid balance of raw materials, promising for the design of baby food with a food adequacy]. *Storage and processing of agricultural*. 2001, no. 8, P. 11.
13. Koryachkina S.Ya., Berezina N.A. Opredelenie konkurentosposobnosti khlebobulochnykh izdelii [The definition of competitiveness of bakery products]. *Khleboprodukty*. 2007, no. 7, pp. 62–63.
14. Berezina N.A. *Sostav dlya proizvodstva rzhano-pshenichnykh khlebobulochnykh izdelii* [Composition for production of rye-wheat bakery products]. Patent RF, no. 2533042. 2014.
15. Berezina N.A., Zhdanova O.V. *Sostav dlya khlebobulochnykh izdelii iz smesi rzhanoi i pshenichnoi muki* [Composition for bakery products from a mixture of rye and wheat flour]. Patent RF, no. 2527298. 2014.

Статья поступила в редакцию 23.08.2016