

УДК 664.6, 664.7

Исследование и практика определения (расчета) состава многокомпонентных смесей

Д-р техн. наук В.А. Балубаш, 9206599@mail.ru;
канд. техн. наук С.Е. Алёшичев, sergspbcprf@rambler.ru

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

В статье приведены результаты исследований определения емкостным методом содержания клейковины в пшеничной хлебопекарной муке, сопутствующим компонентом в составе которой является крахмал. Кроме того, проводились измерения параметра содержания влаги в пищевых продуктах, сопутствующим параметром состава которой является объемная плотность, а также форма связи влаги для сыпучих продуктов и переменный фазовый состав молочного жира в сливочном масле.

Установлен уровень влияния сопутствующих компонентов состава и предложены способы их учета при организации экспрессного контроля состава продуктов. Содержание клейковины определяют по величине диэлектрической проницаемости «связанной» воды путем перевода ее в свободное состояние при температуре 70°C, а допустимость не учета крахмала обоснована его значительно меньшей величиной энергии связи по сравнению с клейковиной. При измерении параметра влажности сливочного масла предлагается вносить коррекцию в систему контроля, рассчитанную по предлагаемой формуле, а для сыпучих материалов необходимо принудительно стабилизировать величину объемной плотности пробы, а измерение влажности емкостным методом проводить при температуре, обеспечивающей перевод «связанной» влаги в свободное состояние.

Ключевые слова: связанная влага, диэлектрическая проницаемость, энергия связи, смесь, компоненты смеси, клейковина, крахмал.

Research and practice of definitions (calculating) the composition of multicomponent mixtures

D. Sc. V.A. Balubash, 9206599@mail.ru
Ph. D. S.E. Aleshichev, sergspbcprf@rambler.ru
ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

These results of the studies related to the definition capacitive method gluten content in baking wheat flour and associated components in the composition that is starch, and measurement of the moisture content in food products, concomitant parameter composition which is the bulk density and shape of moisture binding to the solid and the variable phase composition dairy fat in butter. Set the level of influence of related components of the composition and provides methods for taking them into account when organizing the rapid control of product composition. Gluten content is determined by the value of the dielectric constant «bound» water by transferring it to a free state at a temperature of 70°C, and the admissibility of neglect of starch proved its value significantly lower binding energy compared to gluten. In the measurement of humidity parameters butter invited to make the correction in the control system, designed by the proposed formula, and for bulk materials must be forced to stabilize the value of the bulk density of the sample, and the capacitive humidity measurement method carried out at a temperature that allows translation of «bound» of moisture in the free state.

Keywords: bound moisture, dielectric permittivity, binding energy, mixture, components of the mixture, gluten, starch.

Внедрение в производство пищевых продуктов аппаратурно-технологических комплексов (АТК), обеспечивающих при высокой производительности непрерывно-поточные технологии производственных процессов, обусловили необходимость автоматизации. Это связано с необходимостью производства больших объемов пищевых продуктов при строго нормированных качественных показателях состава и свойств готового продукта.

Серьезным сдерживающим фактором внедрения систем автоматического контроля и управления является многообразие видов и форм аппаратурно-технологических процессов, а также ограниченный выбор технических средств, обеспечивающих экспрессной информацией системы управления качественными показателями состава и свойств сырья, полуфабрикатов и готового продукта.

Известно, что при переработке сырья в технологических комплексах пищевых производств используют продукты, имеющие многокомпонентный состав, за счет чего достигается наиболее полное обеспечение организма физиологически полезными веществами в требуемом количестве. В работах отечественных и зарубежных ученых отмечено, что достижение уровня сбалансированности состава пищевых продуктов возможно только за счет их многокомпонентности [1].

При проектировании пищевых продуктов сложного сырьевого состава используют основной принцип теории сбалансированного питания – пищевые компоненты должны поступать в организм человека в определенном количестве и соотношении. При разработке новых рецептур большое значение имеет также возможность моделирования потребительских характеристик готовых изделий, прогнозирования их биологической безопасности, качества и функционально-технологических свойств с учетом необходимых требований, что позволяет в конечном итоге повысить их конкурентоспособность.

Задача определения компонентного состава пищевых продуктов может быть обусловлена, например, необходимостью соблюдения технологических требований при переработке сырья, расчетом энергетической ценности готового продукта, а также разработкой систем экспрессного контроля в технологическом потоке.

Учитывая, что пищевые продукты имеют сложный многокомпонентный состав, а в производственных условиях проходят обработку под воздействием различных технологических факторов, включая режимы обязательной санитарной обработки, это обуславливает применение высокоизбирательных методов анализа и ограничивает универсальность приборов определения состава и качества. Разработка и промышленное внедрение влагометрических систем для экспрессного контроля влажности пищевых продуктов в технологическом потоке показало, что применение электрофизических методов контроля не обеспечивает однозначной зависимости выходного косвенного параметра только от содержания влаги, поскольку обусловлено состоянием форм связи влаги с продуктом. Практически все сыпучие пищевые продукты имеют содержание влаги в «связанном» виде на границе нормированного значения влажности. В таблице 1 приведены результаты методов количественного определения «связанной» влаги в пищевых продуктах, уровень которой необходимо учитывать при разработке емкостных влагометрических систем и предусматривать внесение коррекции в измерительную схему или использовать способ перевода «связанной» влаги в свободное состояние [7].

Таблица 1

Результаты количественного определения «связанной» влаги в пищевых продуктах

Продукты	Количество связанной воды, $W_{св}$, %			
	по влажностным характеристикам	по изотермам сорбции	по расчетным данным	
			с учетом белка	с учетом белка и лактозы
Альбумин	7,50	7,21	8,30	-
Белково-витаминный концентрат	7,80	-	8,40	-
Молоко сухое	4,24	3,92	3,82	5,74
Сливки сухие	3,10	2,91	3,30	4,83
Молоко сухое (для детей)	-	4,18	2,10	4,79
Мясокостная мука	-	7,30	7,60	-

Для повышения метрологических характеристик емкостных влагометрических систем необходимо учитывать влияние таких «мешающих» факторов состава сыпучих пищевых продуктов, как их объемная плотность, изменение которой при размещении пробы в рабочем объеме измерительного преобразователя на величину 2,0% для сухих молочных продуктов и 15,0% для кормовых белков эквивалентно изменению диэлектрической проницаемости продукта на 1,0% влажности (таблица 2).

Таблица 2

Влияние изменения плотности сыпучих продуктов на изменение влажности

Продукт	Плотность анализируемого продукта, ρ , кг/м ³	Величина изменения плотности продукта, эквивалентная приросту диэлектрической проницаемости ϵ на 1,0% влажности	
		$\Delta\rho$, кг/м ³	$\Delta\rho$, %
Белково-витаминный концентрат (БВК)	650	88,5	13,61
	680	99,6	14,64
	700	110,0	15,71
	730	116,0	15,89
Альбумин	550	23,8	4,30
	570	25,2	4,40
	600	26,7	4,45
	630	28,4	4,50
Молоко сухое	500	10,9	2,18
	600	12,1	2,02
	700	13,7	1,96
	800	17,2	2,15
	900	18,7	2,08

При измерении влажности сливочного масла емкостным методом, как показали исследования, необходимо учитывать переменный (сезонный) состав молочного жира (йодное число), влияющий на величину диэлектрической проницаемости (рисунок 1). Величина вносимой поправки в систему контроля влажности рассчитывается по приведенной формуле [1].

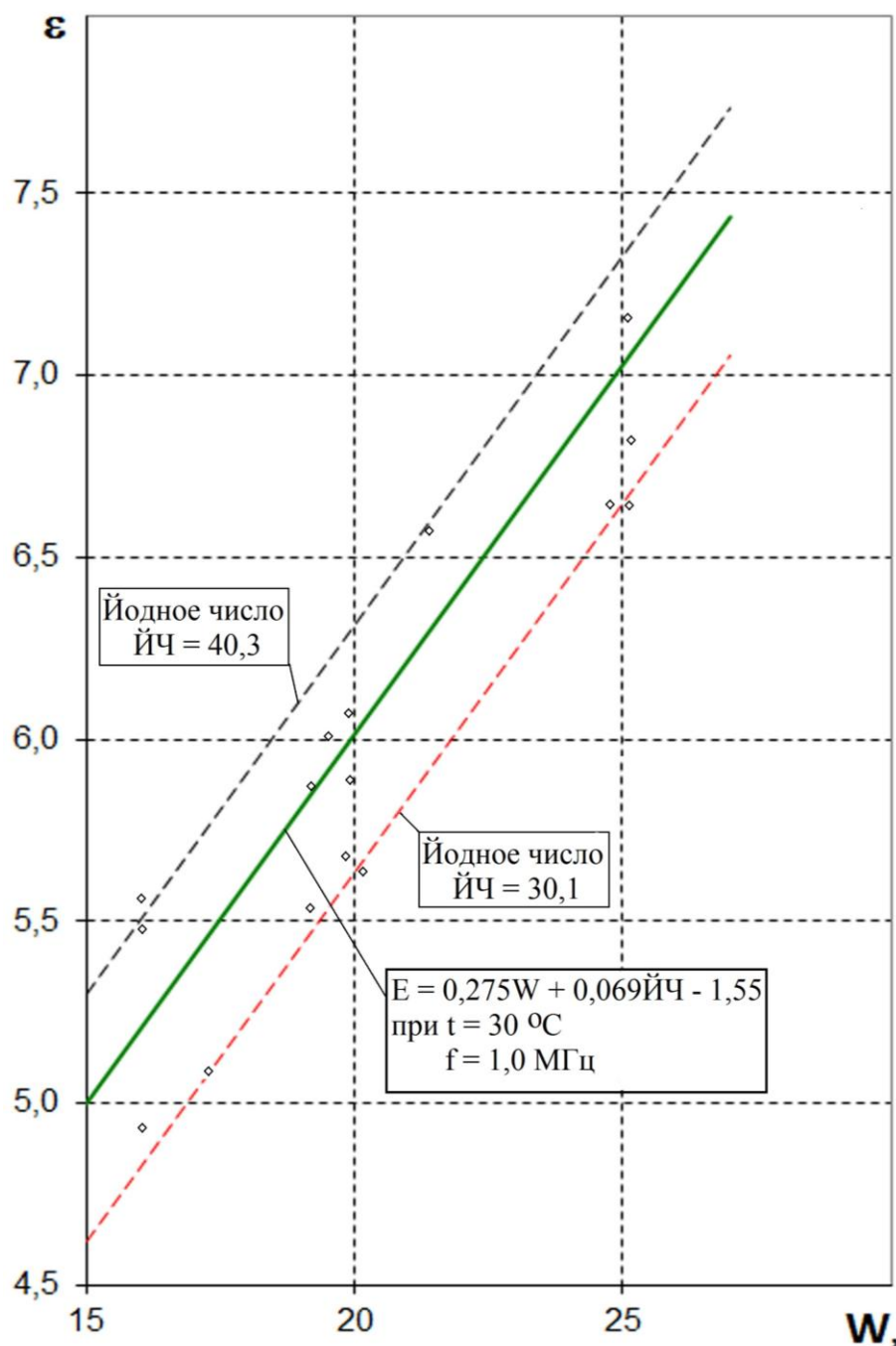


Рисунок 1 – Зависимость диэлектрической проницаемости сливочного масла от влажности:

— расчетная,
- - - экспериментальные

В хлебопекарной промышленности одними из основных факторов, обуславливающих качество готовой продукции, является содержание клейковины и крахмала в пшеничной хлебопекарной муке, экспрессность определения которых является важным фактором, связанным с целевым использованием муки в хлебопекарном производстве, ценовым уровнем зерна, а также технологией его хранения и переработки.

Длительность лабораторного анализа отмеченных компонентов муки (до 80 мин.), а также внесение в результаты субъективной погрешности, обусловленной человеческим фактором в соответствии с известными способами, указанными в ГОСТ 27839-88 и ГОСТ 10845-98, обуславливает необходимость разработки новых методов экспрессного определения отмеченного компонентного состава смеси [2, 3].

В этой связи на основе выполненных исследований предложен экспрессный метод, основанный на определении содержания «связанной» влаги в пшеничной муке, содержащей клейковину и крахмал, с последующим расчетом содержания клейковины с учетом влияния фактора энергии связи влаги отмеченными компонентами и предложенным способом расчета содержания количества клейковины [4, 5]. При этом следует отметить, что и крахмал и клейковина обладают способностью «связывать» свободную воду. Например, в обычных условиях крахмал сорбирует до 35% воды, клейковина – в 2–3 раза больше собственной массы [6].

Из электрофизических методов наибольшее распространение получил емкостной метод, основанный на значительной разнице диэлектрической проницаемости воды и обезвоженного продукта. Для пищевых продуктов было предложено проводить измерение связанной влаги емкостным методом при температуре порядка 60°C, переводя тем самым «связанную» влагу в свободное состояние, при которой величина диэлектрической проницаемости позволяет количественно измерять клейковину [8, 15].

Для пшеничной муки при содержании влаги до 14% вода прочно связана в виде второго мономолекулярного слоя. При этом содержание белка клейковины является основным показателем влагопоглощения, и, следовательно, белок клейковины и создает в муке основную «конкуренцию» с крахмалом за «свободную» воду в отмеченном диапазоне влажности [9].

Это связано с тем, что энергия связи влаги клейковиной более чем на порядок превышает энергию связи влаги крахмалом и, соответственно, способна связать почти в три раза большее количество воды, чем крахмал [10].

На основании проведенных экспериментальных исследований диэлектрической проницаемости образцов муки влажностью 12,5 и 15,0% получена зависимость

$$\varepsilon = a_0 + a_1 \cdot \eta_{\text{кл}} + a_2 \cdot \eta_{\text{кр}},$$

где ε – диэлектрическая проницаемость пробы муки; $a_0 = 1,92$, $a_1 = 1,56$, $a_2 = -0,25$ – коэффициенты регрессии уравнения; $\eta_{\text{кл}}$ и $\eta_{\text{кр}}$ – содержание клейковины и крахмала, соответственно, в пробе муки, %. Проверка адекватности полученной зависимости по критерию Фишера подтвердила ее статистическую значимость для значения доверительной вероятности $\beta = 95\%$.

Учитывая, что пшеничная мука кроме клейковины содержит крахмал, были проведены исследования для сравнительной количественной оценки величины энергий связи влаги муки клейковиной и крахмалом. Анализ результатов проверки на адекватность полученных уравнений регрессии зависимости емкости проб муки от значений параметров клейковины и крахмала в диапазоне 23,0÷32,0% и 69,6÷75,0%, соответственно, при температуре нагрева пробы 70°C показал, что в уравнении значимость коэффициента регрессии параметра клейковины на порядок превышает коэффициент регрессии параметра крахмала. Проверка значимости приведенного на уравнения регрессии без учета параметра крахмала $\varepsilon = 1,7 + 0,02 \cdot \eta_{\text{кл}}$ с помощью критерию Фишера подтвердила его адекватность [12].

Тогда зависимость количества клейковины от диэлектрической проницаемости пробы муки можно представить в виде диаграммы (рисунок 2), а значение количества клейковины можно определить по формуле $\eta = 53,283 \cdot \varepsilon - 88,162$, где η – количество клейковины, %, ε – диэлектрическая проницаемость пробы муки.

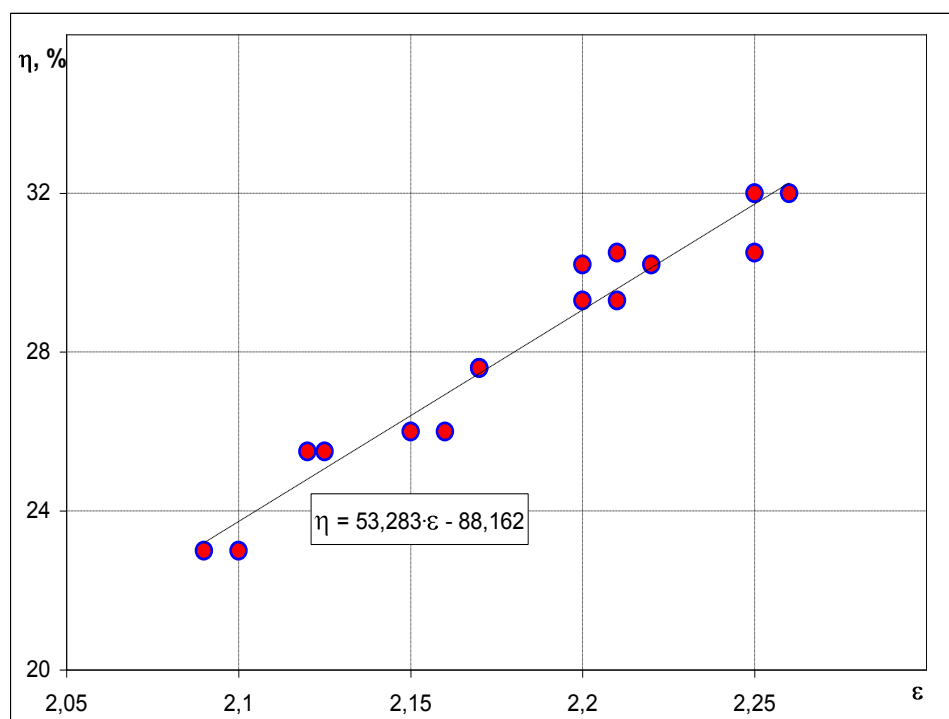


Рисунок 2 – Зависимость количества клейковины (η, %) от диэлектрической проницаемости пробы муки (ε)

Обоснованность исключения из уравнения модели параметра крахмала получило подтверждение также по результатам сравнительного анализа, который показал, что удельная энергия связи влаги клейковиной, как отмечено выше, более чем на порядок превышает энергию связи влаги крахмалом. Учитывая, что энергия связи является единственной количественной характеристикой формы связи с материалом, формирование основного уровня связанной влаги в пшеничной муке влажностью до 15%, как показал сравнительный анализ, определяет клейковина [11, 13].

Аналогичное заключение получено также по данным анализа изотерм сорбции, которые подтверждают, что в пшеничной хлебопекарной муке, содержащей до 15% влаги, вода прочно связана клейковиной в виде второго мономолекулярного слоя. При этом клейковина является основным показателем влагопоглощения и создает основную конкуренцию связывания свободной воды стальному составу муки в отмеченном диапазоне влажности [9, 14].

Таким образом, предлагаемый способ, основанный на измерении по количеству связанной клейковиной воды, величину которой определяют емкостным методом, предварительно переводя нагревом связанную влагу клейковиной в свободное состояние, позволяет сократить время анализа до трех раз по сравнению со стандартным методом и потенциально снизить погрешность определения клейковины при приборной реализации предлагаемого способа. Кроме этого ожидается улучшение метрологических характеристик: для сливочного масла обеспечивается погрешность в пределах нормированных требований (0,2%), а для клейковины погрешность не превышает погрешность стандартного метода (2,0%).

Литература

1. *Лунатов Н.Н., Сажинов Г.Ю., Башкиров О.Н.* Формализованный анализ amino- и жирокислотной сбалансированности сырья, перспективного для проектирования продуктов детского питания с задаваемой пищевой адекватностью // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2001. № 8. С. 11–14.
2. ГОСТ 27839-2013. Мука пшеничная. Методы определения количества и качества клейковины. М: Стандартинформ. 2014. 19 с.

3. ГОСТ 10845-98 Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала. Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск. 2009. 4 с.
4. Балюбаш В.А., Алёшичев С.Е., Назарова В.В. Определение количества клейковины в пшеничной хлебопекарной муке // *Хлебопродукты*. 2014. № 7. С. 46-47.
5. Кретович В.Л. Биохимия зерна. М.: Наука, 1981. 150 с.
6. Цыганова Т.Б. Технология хлебопекарного производства. М.: ПрофОбрИздат, 2002. 432 с.
7. Балюбаш В.А., Лапшин А.А., Назимов Н.П. Способ определения влажности сыпучих материалов: А.С. 273508 (СССР). 1970. Б.И. № 2.
8. Балюбаш В. А., Назарова В. В., Алёшичев С.Е и др. Способ определения количества клейковины в пшеничной муке: пат. 2526187 Российская Федерация. 2014. Бюл. № 23.
9. Дакуорт Р.Б. Вода в пищевых продуктах. М.: Пищевая промышленность, 1980. 376 с.
10. Гинзбург А.С., Савина И.М. Массовлагообменные характеристики пищевых продуктов. М.: Легкая и пищевая промышленность. 1982. 280 с.
11. ГОСТ Р 52189-2003 Мука пшеничная. Общие технические условия. М: Стандартинформ, 2004. 8 с.
12. Балюбаш В.А., Алёшичев С.Е., Назарова В.В. Экспрессный метод анализа содержания клейковины в пшеничной муке // *Материалы VI Международной научно-технической конференции «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке» (Санкт-Петербург, 13–15 ноября 2013 г.)*. СПб., 2013. С. 575-576.
13. Бегунов А.А. Метрология. Аналитические измерения в пищевой и перерабатывающей промышленности: Учебник для вузов. СПб.: ГИОРД. 2014. 440 с.
14. Балюбаш В.А., Назарова В.В., Алёшичев С.Е. Экспрессный анализ технологических параметров сыпучих пищевых продуктов // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств»*. 2013. №1.
15. Назарова В.В., Балюбаш В.А., Алёшичев С.Е. Температурная зависимость электрофизических характеристик сыпучих пищевых продуктов // *Материалы науч.-практ. конф. с междуна. участием (Санкт-Петербург, 3-8 декабря 2012 г.) [Электронное издание]*. Режим доступа: <http://week-science.spbstu.ru/conf2012/about/proceedings/5-FPM.pdf>, (дата обращения 29.10.2012 г.).

References

1. Lipatov N.N., Sazhinov G.Yu., Bashkirov O.N. Formalizovannyi analiz amino- i zhirkislotnoi sbalansirovannosti syr'ya, perspektivnogo dlya proektirovaniya produktov detskogo pitaniya s zadavaemoi pishchevoi adekvatnost'yu. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya*, 2001, no. 8, pp. 11–14.
2. GOST 27839-2013 *Muka pshenichnaya. Metody opredeleniya kolichestva i kachestva kleikoviny*. Moscow, Standartinform Publ. 2014, 19 p.
3. GOST 10845-98 *Zerno i produkty ego pererabotki. Metod opredeleniya krakhmala. Mezghosudarstvennyi Sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii*. Minsk, 2009, 4 p.
4. Balyubash V.A., Aleshichev S.E., Nazarova V.V. Opredelenie kolichestva kleikoviny v pshenichnoi khlebopekarnoi muke. *Khleboprodukty*. 2014, no. 7, pp. 46-47.
5. Kretovich V.L. *Biokhimiya zerna*. Moscow, Nauka Publ., 1981, 150 p.
6. Tsyganova T.B. *Tekhnologiya khlebopekarnogo proizvodstva*. Moscow, ProfObrIzdat Publ., 2002, 432 p.
7. Balyubash V.A., Lapshin A.A., Nazimov N.P. *Sposob opredeleniya vlazhnosti sypuchikh materialov* : A.S. 273508 (SSSR). 1970.
8. Balyubash V. A., Nazarova V. V., Aleshichev S.E. i dr. *Sposob opredeleniya kolichestva kleikoviny v pshenichnoi muke*. Patent RF, no. 2526187. 2014.
9. Dakuort R.B. *Voda v pishchevykh produktakh*. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1980, 376 p.
10. Ginzburg A.S., Savina I.M. *Massovlagoobmennyye kharakteristiki pishchevykh produktov*. Moscow, Legkaya i pishchevaya promyshlennost' Publ., 1982, 280 p.
11. GOST R 52189-2003 *Muka pshenichnaya. Obshchie tekhnicheskie usloviya*. Moscow, Standartinform Publ., 2004, 8 p.
12. Balyubash V.A., Aleshichev S.E., Nazarova V.V. Ekspressnyi metod analiza sodержaniya kleikoviny v pshenichnoi muke. *Materialy VI Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Nizko-temperaturnye i pishchevye tekhnologii v XXI veke» (Sankt-Peterburg, 13–15 noyabrya 2013 g.)*. St-Petersburg, 2013, pp. 575-576.

13. Begunov A.A. Metrologiya. *Analiticheskie izmereniya v pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti: Uchebnik dlya vuzov*. St-Petersburg, GIORP Publ., 2014, 440 p.
14. Balyubash V.A., Nazarova V.V., Aleshichev S.E. Ekspressnyi analiz tekhnologicheskikh parametrov sypuchikh pishchevykh produktov. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv*. 2013, no. 1.
15. Nazarova V.V., Balyubash V.A., Aleshichev S.E. Temperaturnaya zavisimost' elektrofizicheskikh kharakteristik sypuchikh pishchevykh produktov. *Materialy nauch.-prakt. konf. s mezhdun. uchastiem* (St-Petersburg 3-8 dekabrya 2012 g.). URL: <http://week-science.spbstu.ru/conf2012/about/proceedings/5-FPM.pdf>, (data obrashcheniya 29.10.2012 g.).

Статья поступила в редакцию 29.05.2015 г.