

УДК 664.34:637.144

Д. С. Владыкина, С. А. Ламоткин, К. П. Колногоров, Г. Н. Ильина, А. О. Башарова
Белорусский государственный технологический университет

РАЗРАБОТКА КУПАЖЕЙ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ СО СБАЛАНСИРОВАННЫМ ЖИРНОКИСЛОТНЫМ СОСТАВОМ

Разработаны составы купажей растительных масел, обеспечивающие сбалансированный состав ω -3 и ω -6 кислот. Выбраны 9 объектов растительных масел для исследования, 5 из которых являются традиционным сырьем при получении растительных масел, а 4 альтернативными источниками – маслами семян ягод. Установлена несбалансированность жирнокислотного состава триглицеридов практически всех растительных масел, что доказывает необходимость разработки купажей исследуемых масел. Методом линейного программирования рассчитаны составы четырех купажей растительных масел, обеспечивающих необходимое для здоровья человека соотношение полиненасыщенных жирных кислот. В составы разработанных купажей входят подсолнечное, рапсовое, льняное масла и растительные масла ягод в различном соотношении. Методом газожидкостной хроматографии определено соответствие полученных составов купажей рассчитанным значениям. Установлено, что предложенные купажи № 1 и № 2 могут быть рекомендованы для ежедневного и профилактического питания населения, поскольку соотношение полиненасыщенных жирных кислот составляет 10:1, что полностью обеспечивает потребности человеческого организма в незаменимых жирных кислотах. Образцы смесей № 3 и № 4 по причине содержания льняного масла, богатого ω -3 кислотами, позволяет обеспечить соотношение 5:1, что достаточно для рекомендации данного продукта в качестве лечебного питания.

Предложенные купажи растительных масел полностью соответствуют требованиям ТНПА по качеству и безопасности данной продукции. Кроме того, разработанные растительные купажи несомненно имеют экономическую целесообразность по причине максимального вовлечения в состав отечественного сырья рапса, льна и черники, что полностью соответствует направлению импортозамещения в Республике Беларусь.

Ключевые слова: полиненасыщенные жирные кислоты, купажи растительных масел, жирнокислотный состав, газожидкостная хроматография, метод линейного программирования, оптимизированный состав.

D. S. Vladykina, S. A. Lamotkin, K. P. Kolnogorov, H. N. Il'yina, A. O. Basharova
Belarusian State Technological University

ELABORATION OF VEGETABLE OILS' MIXTURES WITH A BALANCED FATTY ACID COMPOSITION

Optimized mixtures of vegetable oils to ensure a balanced composition of ω -3 and ω -6 acids were developed. The analysis of the raw material base for oil industry of the Republic of Belarus were done. Oils of nine species were chosen for investigation, 5 of which are the traditional raw material for the production of vegetable oils, and 4 are alternative sources, the use of which is possible as enriching components of mixtures of vegetable oils. Imbalance of fatty acid composition of almost all vegetable oils was shown, which proves the need for development of oils mixtures. Different mixtures of vegetable oils that provide the necessary health ratio of polyunsaturated fatty acid were calculated by the method of linear programming formulations. GLC defined co-responsible resulting compositions blends calculated values. It was found that the proposal-conjugated blends No. 1 and No. 2 can be recommended for daily and preventive feeding of population as PUFA ratio is 10: 1, which fully meets the needs of the human body in the essential fatty acids. Samples No. 3 and No. 4 content the co-ratio of 5: 1 because flaxseed oil rich in ω -3 fatty acids, which is sufficient for a recommendation of the product as a therapeutic feeding.

The proposed blends of vegetable oils, are fully compliant with technical regulations on quality and safety of these products. In addition, the proposed mixtures of vegetable oils are undoubtedly due to the economic feasibility of the maximum using of the domestic raw canola, flax and blueberries, which fully corresponds to the direction of import substitution in the Republic of Belarus.

Key words: polyunsaturated fatty acids, blends of vegetable oils, fatty acid composition, gas-liquid chromatography, a method of linear programming, optimized structure.

Введение. В соответствии с СТБ 1818-2007 функциональные продукты питания – пищевые продукты, предназначенные для систематического употребления в составе пищевых рационов всеми возрастными группами здорового населения, снижающие риск развития заболеваний, связанных с питанием, сохраняющие и улучшающие здоровье за счет наличия в его составе физиологически функциональных пищевых ингредиентов.

В настоящее время продукты «здорового» питания составляют не более 3% всех известных пищевых продуктов. Прогнозируется, что в ближайшие один-два десятилетия потенциал рынка данных продуктов превысит 30% от всех реализуемых продуктов питания. Наиболее динамично развивающиеся продуктовые группы в секторе «здоровых» продуктов питания – молочная и масложировая, поэтому расширение ассортимента масложировых продуктов, полезных для здоровья, имеет хорошие перспективы [1]. В то же время жир занимает второе место после углеводов в рационе питания белорусского населения [2].

Основными технологическими решениями при разработке функциональных жировых продуктов являются снижение общей калорийности, исключение холестерина, повышение содержания полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), снижение содержания трансизомеров жирных кислот, использование физиологически функциональных ингредиентов: витаминов (А, Д, группы В, фолиевой кислоты, токоферолов), минералов (кальция и др.), пищевых волокон, фитостеролинов и их эфиров, пребиотиков и др. [3].

За последние годы получено много новых данных о влиянии ПНЖК на организм, выявлены клеточные и молекулярные механизмы их профилактического и лечебного эффектов [4–5]. Полиненасыщенные жирные кислоты оказывают благоприятное воздействие при атеросклерозе, коронарной болезни сердца, артериальной гипертензии, сахарном диабете второго типа, ожирении, хронических воспалительных заболеваниях, нейродегенеративных заболеваниях (в частности при болезни Альцгеймера), глазных болезнях, снижают риск развития инфаркта миокарда, инсульта, некоторых онкологических заболеваний [6, 7]. Увеличение потребления полиненасыщенных жирных кислот сопровождается снижением уровня липидов плазмы крови; получены данные, свидетельствующие о том, что большинство эффектов гиполипидемических препаратов обусловлено влиянием ПНЖК [1, 4, 7]. Артериальное давление снижается за счет их диуретического действия, влияния на ренин-ангиотензиновую систему подобно ингибиторам ангиотензин-превращающего фермента

(АПФ), усиления продукции оксида азота эндотелиальными клетками кровеносных сосудов, снижения тонууса симпатической и повышения тонууса парасимпатической нервной системы [5]. Эйкозапентаеновая и докозагексаеновая кислоты снижают количество и агрегацию тромбоцитов, увеличивают время кровотечения, поэтому их образно называют «эндогенным аспирином». В ряде исследований показано, что ω -3 жирные кислоты предупреждают развитие сердечных аритмий [4, 8].

ПНЖК могут поступать в организм с рационом в разных количествах, но реализация их биологического действия возможна только при соблюдении конкретного соотношения ω -3 и ω -6 жирных кислот. В соответствии с рекомендациями Института питания соотношение ω -6: ω -3 в рационе здорового человека должно быть 10:1, а для лечебного питания – от 3:1 до 5:1. Адекватный уровень потребления ω -3 и ω -6 жирных кислот – 11 г в сутки (из них ω -3 – 1 г) [1].

Индивидуальные растительные масла предположительно не обеспечивают рекомендованное специалистами соотношение ω -6 и ω -3 жирных кислот. Известно, что основным растительным маслом в питании населения Республики Беларусь является подсолнечное, которое содержит достаточное количество жирных кислот семейства ω -6 (олеиновую 19,4 мас. % и линолевую 65,9 мас. %) и очень мало кислот семейства ω -3, относящихся к незаменимым.

Целью проводимых исследований является разработка купажей растительных масел, как функциональных продуктов питания, способных удовлетворить потребность организма в ПНЖК. Достижение поставленной цели потребовало решения следующих задач:

- анализ жирнокислотного состава растительных масел масложировой промышленности Республики Беларусь;
- расчет купажей растительных масел, имеющих сбалансированный жирнокислотный состав по соотношению ω -3 и ω -6 жирных кислот;
- получение и исследование физико-химических показателей качества опытных купажей растительных масел.

Основная часть. Объектами исследования были выбраны как наиболее распространенные в Республике Беларусь масла, так и мало изученные масла, которые могут быть использованы в качестве добавок к купажам растительных масел, обеспечивая необходимый баланс ПНЖК.

На первом этапе был исследован жирнокислотный состав исследуемых масел методом газожидкостной хроматографии.

Приготовление метиловых эфиров жирных кислот осуществляли в соответствии с ГОСТ 31665–2012.

Условия проведения ГЖХ анализа: кварцевая капиллярная колонка: длина – 100 м, диаметр – 0,25 мм, нанесенная фаза – цианопропилфенилполисилоксан. ПИД детектор, газ-носитель – азот, объем вводимой пробы – 1 мкл. Начальная температура термостата колонок – 140°C в течение 4 мин, затем программированный подъем температуры со скоростью 3 °C/мин до 180°C – изотермический режим в течение 40 мин. Программированный подъем температуры со скоростью 3°C/мин до 240°C – изотермический режим – 25 мин.

Идентификацию отдельных компонентов проводили с использованием эталонных смесей метиловых эфиров жирных кислот Restek 35077 и Restek 35079, а также на основании известных литературных данных по индексам удерживания.

Количественное содержание жирных кислот (ЖК) в исследуемых образцах определяли методом внутренней нормализации с помощью пакета Unichrome®.

В качестве объектов исследования были выбраны следующие нетрадиционные масла:

– масло, выделенное из семян ягод брусники (*Vaccinium vitis idaeae* L.), Республика Беларусь, Старые дороги (образец I);

– масло, выделенное из семян ягод голубики (*Vaccinium uliginosum* L.), Республика Беларусь, Старые дороги (образец II);

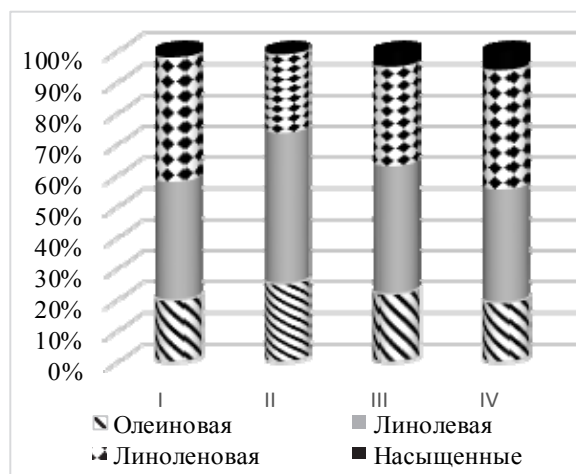
– масло, выделенное из семян ягод клюквы (*Vaccinium Macrocarpon*), Республика Беларусь, Мядель (образец III);

– масло, выделенное из семян ягод черники (*Vaccinium corymbosum*), Республика Беларусь, Раубичи (образец IV).

Состав исследованных образцов представлен на рисунке.

Как видно, жирнокислотный состав масел ягод в основном представлен олеиновой, линолевой и линоленовой кислотой. Наибольшее количество линолевой (ω -6 кислоты) содержится в масле семян голубики ~50 мас. %. В то время как масла брусники, клюквы и черники

наиболее богаты ω -3 линоленовой кислотой (около 40 мас. %).



Содержание основных ЖК в маслах ягод, мас. %

Исходя из полученных данных, наибольший практический интерес в качестве сырья для оптимизации жирнокислотного состава купажей представляет масло черники и клюквы, по причине значительного количества в их составе ПНЖК. Следует также отметить, что возможность получения черничного и клюквенного масел в Республике Беларусь обусловлена промышленной заготовкой данных ягод в значительных количествах, достаточных для промышленной переработки.

В качестве традиционных масел были изучены:

– масло подсолнечное рафинированное дезодорированное, вымороженное, марки П (образец V);

– масло подсолнечное нерафинированное (образец VI);

– масло рапсовое рафинированное дезодорированное (образец VII);

– масло соевое нерафинированное (образец VIII);

– масло льняное пищевое нерафинированное (образец IX).

Таблица 1

Жирнокислотный состав растительных масел

Наименование ЖК	Содержание жирных кислот, мас. %				
	Образец V	Образец VI	Образец VII	Образец VIII	Образец IX
Миристиновая	0,08	0,07	0,07	0,07	0,05
Пальмитиновая	6,62	6,13	5,61	10,04	5,98
Пальмитолеиновая	0,12	0,07	0,19	0,07	0,09
Стеариновая	3,22	4,38	2,47	5,04	4,88
Олеиновая	24,78	23,88	41,27	22,33	13,29
Линолевая	62,52	62,74	40,14	52,98	16,12
Линоленовая	0,91	0,37	5,13	6,63	54,17

Полученные результаты о составе жирных кислот триглицеридов масел представлены в табл. 1. Как видно из полученных результатов, компонентный состав кислот остается практически постоянным и представленные в таблице семь жирных кислот являются основными компонентами практически всех растительных масел. Однако по количественному содержанию отдельных жирных кислот в триглицеридах исследованные масла существенно отличаются. Результаты газохроматографического анализа показывают, что наибольшее количество линолевой кислоты содержится в подсолнечном масле (около 60 мас. %), при невысоком содержании линоленовой кислоты (менее 1 мас. %). Полученные данные о составе растительных масел коррелируют с литературными данными [6] и подтверждают несбалансированность жирнокислотного состава масел подсолнечного рафинированного и нерафинированного, одного из наиболее употребляемых масел населением Республики Беларусь (95,4 тыс. т. в год).

Рапсовое и соевое масла имеют схожий жирнокислотный состав (40–50 мас. % линолевой кислоты и 5–7 мас. % линоленовой), что может быть использовано масложировой промышленностью для обогащения подсолнечного масла. Наибольшее содержание линоленовой кислоты можно отметить в льняном масле (до 54 мас. %), что обуславливает выбор данного масла в качестве одного из основных компонентов купажей при разработке сбалансированных продуктов по жирнокислотному составу.

Для расчета составов многокомпонентных купажей масел специалистами МГУПП была предложена методика, учитывающая требуемое соотношение линолевой и линоленовой кислот, а также исходное содержание данных кислот в маслах. Расчет проводится по формулам (1) и (2):

$$\frac{m_a \cdot c_a^1 + m_b \cdot c_b^1}{m_a \cdot c_a^2 + m_b \cdot c_b^2} = 10; \quad (1)$$

$$m_a + m_b = 1, \quad (2)$$

где m_a , m_b – масса растительного масла, кг; c_a^1 , c_b^1 – концентрация линолевой кислоты в растительном масле, мас. %; c_a^2 , c_b^2 – концентрация

линоленовой кислоты в растительном масле, мас. %.

На основании проведенных расчетов были предложены купажи масел, представленные в табл. 2. При составлении купажей был сделан акцент не только на получение функциональных продуктов, а также были учтены себестоимость и возможность импортозамещения дорогого подсолнечного и соевого сырья отечественными рапсовым, льняным и ягодными маслами. За базовое масло в составе практически всех смесей было выбрано рапсовое низкоэруковое рафинированное дезодорированное масло.

Купажи получали в лабораторных условиях путем смешения сначала двух основных масел (при 20°C при постоянном перемешивании с помощью магнитной мешалки), с последующим введением минорных компонентов купажей.

Образцы полученных купажей растительных масел подвергались исследованиям на определение их органолептических и физико-химических показателей (табл. 3).

Полученные результаты по значению кислотного и перекисного чисел для всех образцов соответствовали требованиям, предъявляемым к смесям нерафинированных пищевых масел. Однако следует отметить, что образцы с льняным маслом обладают более низкими значениями и кислотного и перекисных чисел, что обуславливает некоторое преимущество данных смесей при производстве, розливе и хранении. Тем не менее результаты проведенных исследований доказывают возможность выпуска всех предложенных смесей растительных масел, поскольку они полностью соответствуют по органолептическим и физико-химическим показателям установленным требованиям ТУ ВУ 190239501.136-2006 : Масла растительные – смеси.

Кроме того, методом газовой хроматографии оценили соответствие рассчитанному отношению ПНЖК в составе полученных смесей растительных масел. Как видно из данных в табл. 3, соотношение линолевой и линоленовой кислот полностью коррелирует с ожидаемыми результатами. Следует отметить, что в случае разработки купажей с применением соевого масла целесообразным является введение масел ягод, богатых линоленовой кислотой, что позволяет обеспечить необходимое соотношение ПНЖК.

Таблица 2

Содержание растительных масел в купаже

Номер объекта	Образец V	Образец VII	Образец VIII	Образец IX	Образец IV
Купаж 1	20%	50%	30%	–	–
Купаж 2	20%	45%	30%	–	5%
Купаж 3	30%	60%	–	10%	–
Купаж 4	10%	80%	–	5%	5%

Таблица 3

Физико-химические показатели купажированных масел

Номер купажа	Кислотное число, мг КОН/г	Перекисное число, $\frac{1}{2}$ O моль/кг	Массовая доля влаги и летучих веществ, %	Содержание линолевой кислоты, мас. %	Содержание линоленовой кислоты, мас. %	Расчетное соотношение ω -3 и ω -6 кислот	Действительное соотношение ПНЖК
Купаж 1	0,4	4,4	0,05	44,73	5,83	10:1	8,0:1
Купаж 2	0,5	4,7	0,06	42,68	7,27	5:1	5,7:1
Купаж 3	0,4	3,4	0,06	41,91	7,60	5:1	5,5:1
Купаж 4	0,3	3,2	0,04	28,68	10,84	3:1	2,6:1
Требования ТНПА	4,0	10,0	0,2				

Заключение. Изучены составы растительных масел и масел из различных видов ягод (голубика, черника, клюква и брусника), произрастающих на территории Республики Беларусь. Анализ жирнокислотных составов триглицеридов показал, что растительные масла не обеспечивают необходимого соотношения ω -3 и ω -6 кислот, что обуславливает необходимость разработки купажей растительных масел.

В качестве сырья для получения купажей наряду с использованием традиционного масличного сырья, такого как подсолнечное, соевое, рапсовое и льняное масла, стоит обратить внимание на масла ягод, произрастающих в достаточном количестве в Республике Беларусь, в качестве альтернативного масличного сырья, в целях обогащения данными маслами оптимизированных купажей растительных масел. Содержание ω -3 жирных кислот в маслах ягод черники и брусники составляет около 40 мас. %. Так

же не менее ценным по содержанию линоленовой кислоты является масло клюквы (32 мас. %).

На основе метода линейного программирования в работе предложены составы четырех купажей, которые могут быть использованы в качестве функциональных или профилактических продуктов. В составы разработанных купажей входят подсолнечное, рапсовое, соевое и льняное масла в различном соотношении, с введением растительного масла черники (до 5%) купажи растительных масел полностью соответствуют по органолептическим и физико-химическим требованиям ТУ ВУ 190239501.136-2006 : Масла растительные – смеси.

Изучение жирнокислотного состава предложенных смесей растительных масел показало, что соотношение ω -3 и ω -6 ПНЖК, необходимые человеку для обеспечения сбалансированного питания было достигнуто, что позволяет рекомендовать данные смеси для ежедневного, профилактического или лечебного питания.

Литература

1. Campos H., Baylin A., Willett W. C. Alpha-linolenic acid and risk of nonfatal acute myocardial infarction // *Circulation*. 2008. Vol. 118. P. 339–345.
2. Купажированное растительное масло для геродиетического питания / И. И. Кондратова [и др.] // *Пищевая промышленность: наука и технологии*. 2010. № 4. С. 21–26.
3. Lauretani F., Bandmelli F., Benedetta B. Omega-6 and omega-3 fatty acids predict accelerated decline of peripheral nerve function in older persons // *Journal of Neurology*. 2007. Vol. 14, no. 7. P. 801–808.
4. Weaver K. L., Ivester P., Seeds M. Effect of dietary fatty acids on inflammatory gene expression in healthy humans // *J. Biol. Chem*. 2009. Vol. 284, no. 23. P. 15 400–15 407.
5. Сборник научных материалов по оздоровительной продукции фирмы «Дэльфа» [Электронный ресурс] // Интернет магазин АРГО и новая жизнь: сайт. URL: http://www.argo-shop.com.ua/img_page/books/delfa_nauka.pdf (дата обращения: 10.02.2015).
6. Chapkin R. S., McMurray D. N., Davidson L. A. Bioactive dietary long-chain fatty acids: Emerging mechanisms of action // *British Journal of Nutrition*. 2008. Vol. 100, no. 6. P. 1152–1157.
7. Эффективность использования кедрового масла в комплексном лечении больных с артериальной гипертензией / Ю. В. Бахтин [и др.] // *Вопросы питания*. 2006. Т. 75. № 1. С. 51–53.
8. Жировые продукты для здорового питания. Современный взгляд / Л. Г. Ипатова [и др.]. Москва, ДеЛи принт, 2009. 396 с.

References

1. Campos H., Baylin A., Willett W. C. Alpha-linolenic acid and risk of nonfatal acute myocardial infarction. *Circulation*, 2008, Vol. 118, pp. 339–345.
2. Kondratova I. I., Babodey V. N., Golubeva V. S., Khonyak D. A., Nikolaevich L. N. Blended vegetable oil for gerodietary nutrition. *Pishchevaya promyshlennost': nauka i tekhnologii* [Food industry: science and technology], 2010, no. 4, pp. 21–26 (in Russian).
3. Lauretani F., Bandmelli F., Benedetta B. Omega-6 and omega-3 fatty acids predict accelerated decline of peripheral nerve function in older persons. *Journal of Neurology*, 2007, vol. 14, no. 7, pp. 801–808.
4. Weaver K. L., Ivester P., Seeds M. Effect of dietary fatty acids on inflammatory gene expression in healthy humans. *J. Biol. Chem.*, 2009, vol. 284, no. 23, pp. 15 400–15 407.
5. *Sbornik nauchnykh materialov po ozdorovitel'noy produkcii firmy "Del'fa"* [Compilation of scientific papers by health care products of the company "Delfa"]. Available at: http://www.argo-shop.com.ua/img_page/books/delfa_nauka.pdf (accessed: 13.03.2006).
6. Chapkin R. S., McMurray D. N., Davidson L.A. Bioactive dietary long-chain fatty acids: Emerging mechanisms of action. *British Journal of Nutrition*, 2008, vol. 100, no. 6, pp. 1152–1157.
7. Bakhtin Yu. V., Budaeva I. I., Vereshchagin A. L. The effectiveness of the use of cedar oil in the complex treatment of patients with hypertension. *Voprosy pitaniya* [Nutrition], 2006, vol. 75, no. 1, pp. 51–53 (in Russian).
8. Ipatova I. G., Kochetkova A. A., Nechaev A. P., Tutel'yan V. A., Yegorova Ye. Yu., Zhukova Ye. Ye., Saratikov A. S. *Zhirovyye produkty dlya zdorovogo pitaniya. Sovremennyy vzglyad* [Fat products for a healthy diet. The modern view]. Moscow, DeLi print Publ., 2009. 396 p.

Информация об авторах

Владыкина Дарья Сергеевна – магистр биологических наук, ассистент кафедры физико-химических методов сертификации продукции. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: VladykinaD@belstu.by

Ламоткин Сергей Александрович – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры физико-химических методов сертификации продукции. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: jossby@rambler.ru

Колногоров Кирилл Петрович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры физико-химических методов сертификации продукции. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kolnogorov@belstu.by

Ильина Галина Николаевна – аспирант кафедры физико-химических методов сертификации продукции. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь).

Башарова Александра Олеговна – студентка. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь).

Information about the authors

Vladykina Dar'ya Sergeevna – M. Sc. Biology, assistant, Department of Physical-chemical Methods of Products Certification. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: VladykinaD@belstu.by

Lamotkin Sergey Aleksandrovich – Ph. D. Chemistry, associate professor, associate professor, Department of Physical-chemical Methods of Products Certification. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: jossby@rambler.ru

Kolnogorov Kirill Petrovich – Ph. D. Engineering, senior lecturer, Department of Physical-chemical Methods of Products Certification. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kolnogorov@belstu.by

I'yina Galina Nikolaevna – graduate student, Department of Physical-chemical Methods of Products Certification. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus).

Basharova Aleksandra Olegovna – student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus).

Поступила 20.02.2015