

УДК 664.861

Влияние микроволновой обработки на показатели качества и безопасности упакованных пищевых ингредиентов с низким содержанием влаги

Канд. техн. наук Д.А. Бараненко, denis.baranenko@niuitmo.ru

А.Е. Борисов, alexandr.borisov-spb@ya.ru

И.И. Борисова, irinaborisova303@gmail.com

Университет ИТМО

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

Вейхун Лу, lwh@hit.edu.cn

Харбинский политехнический университет

150090, Китай, Харбин, ул. Хуанхэ, 73

Предлагается вариант решения проблемы стерилизации пищевых компонентов с низким содержанием влаги, которые обладают низкой теплопроводностью для сухого нагрева, а обработка паром может вызвать нежелательное увлажнение поверхности. Исследовали влияние микроволновой обработки на показатели качества и безопасности сушеных специй и овощей в упаковке. Объектами исследования выбраны сушеные лук, укроп, кориандр и смесь специй с начальной влажностью 8–10%, упакованные в бумажные мешки с массой нетто от 5 до 10 кг. Методы исследования: определение и подсчет количества мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, бактерий группы кишечной палочки, дрожжей и плесеней, патогенных микроорганизмов, в том числе сальмонеллы, *B. cereus*, *Enterobacteriaceae*, молочнокислых бактерий; органолептическая оценка, определение содержания влаги. Процесс выполнялся на аппарате с 14 радиально расположенными магнетронами, работающими на частоте 2450 МГц. Определяли температуру внутри упаковки, после обработки измеряли содержание влаги, микробиологические и органолептические характеристики ингредиентов. Обоснована целесообразность применения микроволновой обработки для снижения микробной обсемененности сухих пищевых ингредиентов в упаковке. Установлено, что предлагаемые режимы обработки (14 работающих магнетрона, скорость вращения контейнера 50 Гц, продолжительность 250–300 с) наиболее эффективны в отношении дрожжей, плесеней, *B. cereus* и бактерий группы кишечной палочки и практически не влияют на органолептические свойства и содержание влаги в продукции. Таким образом, микроволновая обработка сухих пищевых ингредиентов обладает преимуществами по сравнению с широко распространенной паровой стерилизацией и запрещенной в России радиационной обработкой. Для более существенного снижения общего микробного числа может быть использована дополнительная обработка.

Ключевые слова: продукты растительного происхождения; сверхвысокочастотная обработка; стерилизация; микробиологические показатели продукции; пищевая безопасность.

DOI: 10.17586/2310-1164-2017-10-3-3-9

The effect of microwave treatment on the quality and safety of packaged food ingredients with a low moisture content

Ph.D. Denis A. Baranenko, denis.baranenko@niuitmo.ru

Alexander E. Borisov, alexandr.borisov-spb@ya.ru

Irina I. Borisova, irinaborisova303@gmail.com

ITMO University

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

Ph.D. Weihong Lu, lwh@hit.edu.cn

73, Huanghe str., Harbin, 150090, China

The article suggests a solution to the problem of dry food components sterilization with low thermal conductivity for dry heating as steam treatment of them can cause undesirable moistening of the surface. The effect of ultrahigh-frequency currents on packaged dried vegetable ingredients was studied with the aim of reducing the level of microbiological parameters while maintaining organoleptic parameters. The objects of study were a mixture of spices and dried vegetables (onion, garlic, coriander) with an initial moisture content of 8–10% packed into paper bags with a net weight of 5 to 10 kg. Methods of investigation are as follows: determination and calculation of the amount of mesophilic aerobic and

facultative anaerobic microorganisms, *Escherichia colibacteria*, yeasts and molds, pathogenic microorganisms, including *Salmonella*, *B. cereus*, *Enterobacteriaceae*, lactic acid bacteria; organoleptic characteristics, and moisture content determination. The process was performed on an apparatus with 14 radially located magnetrons with a frequency of 2450 MHz. Products packed in paper multilayer bags were exposed to ultrahigh-frequency currents for a short period of time. The article proves the expediency of using microwave treatment to reduce the microbial contamination of dry food ingredients in the package. On the basis of the data obtained, treatment regimes for 250 and 300 s at 50 Hz rotation speed were proved to be the most effective for yeast, molds, *B. cereus* and *E. coli* bacteria, and had virtually no effect on organoleptic parameters and moisture content in the processed products. Thus, the microwave treatment of dry food ingredients has advantages over widespread steam sterilization or radiation treatment that is prohibited in Russia. For a more substantial reduction of the total microbial number additional treatment can be used.

Keywords: products of plant origin; ultrahigh-frequency processing; sterilization; microbiological indices of production; food safety.

Введение

Использование микроволновой обработки в медицинской, пищевой и микробиологической промышленности обусловлено спецификой сверхвысокочастотного (СВЧ) воздействия на облучаемые объекты, а именно, возможностью нагревать одновременно весь объем, а также регулировать скорость поглощения энергии и температуру. Тепловая обработка необходима для стерилизации продуктов питания и различных биологических объектов при максимально возможном сохранении их потребительских свойств. Разработка эффективных режимов СВЧ нагревания основывается на биофизических закономерностях взаимодействия облучения с клетками и механизмах поглощения СВЧ энергии клеточными суспензиями [1]. Установлено обезвреживающее действие СВЧ энергии на бактерии из рода сальмонелла, кишечной палочки, кампилобактерии, *Listeria monocytogenes* и *Yersinia enterocolitica* [2]. Выяснение механизма действия СВЧ энергии на микробную клетку остается важнейшей теоретической задачей промышленной микробиологии.

Пищевые ингредиенты растительного происхождения такие, как сушеные специи, пряные травы, сушеные овощи и их смеси широко используются в пищевой промышленности. Большинство из них произрастает в странах Азии. Не всегда произрастание, сбор, переработка и хранение отвечают требованиям пищевой безопасности по микробиологическим показателям, а также требованиям предприятий производителей продуктов питания. Для данной группы пищевых продуктов требуется дополнительная предварительная обработка [3]. Существуют различные ее виды: тепловая, фумигационная, ионизирующая. Использование ионизирующего излучения разрешено не во всех странах, а такие применяемые газы, как этиленоксид, зачастую являются ядовитыми, остатки которых на продукте могут оказать канцерогенное, мутагенное и другое, приносящее вред здоровью человека воздействие.

Таким образом, наиболее распространенным решением является именно тепловая обработка, не привносящая в пищевой продукт ксенобиотиков и эффективно сокращающая уровень микроорганизмов [4]. Учитывая, что сухие компоненты, особенно упакованные, обладают низкой теплопроводностью, а обработка паром может вызвать их «восстановление», то есть обводнение поверхности, использование традиционных методов тепловой стерилизации и пастеризации может оказаться неэффективным и продолжительным по времени [5]. В связи с этим перспективным направлением в этой области является использование токов сверхвысокой частоты.

Микроволновый и высокочастотный нагрев связаны с использованием электромагнитных волн определенных частот для производства тепла в материале [6, 7]. Обычно при микроволновой обработке пищевых продуктов для промышленного нагрева используются две частоты – 2450 и 915 МГц. Для микроволновых печей, эксплуатируемых в домашних условиях, применяется частота 2450 МГц [8]. Кроме того, частоты 433,92; 896 и 2375 МГц используются в основном за пределами США [9]. При этом коммерческое применение этих частот для пастеризации и стерилизации на сегодняшний день имеет малое распространение, хотя они используются при выпечке и других процессах пищевой промышленности [10, 11].

Цель работы – исследовать влияние микроволновой обработки на показатели качества и безопасности сушеных специй и овощей в упаковке.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- исследовать влияние параметров СВЧ обработки на температуру внутри упаковки с продуктом;
- предложить режимы СВЧ стерилизации растительного сырья с низким содержанием влаги;
- определить влияние предложенных режимов СВЧ стерилизации на содержание влаги, органолептические и микробиологические показатели продукции.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования выбраны сушеные лук, укроп, кориандр и смесь специй. Все пищевые ингредиенты обладали содержанием влаги не более 10,2% и были упакованы в четырехслойные бумажные мешки с массой нетто $4,97 \pm 0,11$ или $10,02 \pm 0,14$ кг. Лук сушеный, нарезанный кусочками 3–5 мм, страна происхождения Индия, влажность $9,01 \pm 0,04\%$, вес упакованного продукта около 5 кг. Зелень укропа сушеная, страна происхождения Египет, влажность $8,0 \pm 0,1\%$, вес упакованного продукта около 5 кг. Кориандр молотый, страна происхождения Россия, влажность $9,96 \pm 0,06\%$, вес упакованного продукта около 10 кг. Смесь специй: кориандр, гвоздика, смесь перцев, корица, орех мускатный, производитель ООО «Гамма-Маркет», Россия, влажность $10,03 \pm 0,16\%$, вес упакованного продукта около 10 кг.

Упакованные ингредиенты обрабатывались на установке «Родник-Гамма» (ООО «Синергис», Россия). Установка снабжена 14-ю радиально расположенными магнетронами с частотой 2450 МГц. Внутри установки расположен вращающийся контейнер, где происходит вращение упакованного продукта во время обработки. Частота вращения контейнера изменялась в диапазоне от 10 до 80 Гц, с шагом 1 Гц. Время работы магнетронов изменялось в диапазоне от 100 до 500 с при условии отсутствия изменений органолептических показателей продукта.

Во время обработки измерялась температура продукта в центре мешка; после обработки определялись микробиологические и качественные показатели. Температура измерялась логгером iButton (Dallas Semiconductor, США). Для фиксации логгера в центре упакованного продукта разработан шарообразный полый держатель из пищевого полипропилена толщиной 5 мм, полностью проницаемый для СВЧ волн, который помещался в середину мешка с продуктом. Данный держатель способствовал снятию значений температуры продукта в центре упаковки и препятствовал перемещению логгера к краям мешка. Влажность продукта измерялась на влагомере MX-50 (A&D, Япония). Микробиологическую и органолептическую экспертизу проводили в соответствии с российскими или международными нормами. Пробы отбирались по ГОСТ Р 54004-2010 «Продукты пищевые. Методы отбора проб для микробиологических испытаний». Подготовленную среднюю пробу продукта исследовали по следующим показателям: количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) по ISO 4833-1-2013, бактерии группы кишечной палочки (БГКП) по ГОСТ Р 52816-2007 «Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий)», дрожжи и плесени по ISO 21527-1-2013, ISO 21527-2-2013, сальмонеллы по ISO 6579:2002, *B.Cereus* по ISO 7932-2004, *Enterobacteriaceae* по ISO 21528-1:2004, ISO 21528-2:2004, молочнокислые бактерии по ISO 15214-1998. Органолептическую оценку проводили по ГОСТ 13340.1-77 «Овощи сушеные. Методы определения массы нетто, формы и размера частиц, крупности помола, дефектов по внешнему виду, соотношения компонентов, органолептических показателей и развариваемости» в группе из четырех опытных дегустаторов, закрытым способом по 5-балльной шкале. Сравнивались эталонные образцы продукта (до обработки) по цвету, вкусу и аромату с продуктом после обработки; выставлялись оценки от 0 до 5, где 0 – не отвечает требованиям ГОСТ 32065-2013 «Овощи сушеные. Общие технические условия», 5 – изменений не произошло.

Результаты и их обсуждение

Упакованный в бумажные четырехслойные мешки продукт с логгером загружали во вращающийся контейнер, расположенный внутри рабочей камеры. Проводили изменение температуры в центре продукта при изменении частоты вращения контейнера, при одинаковом времени нагрева и количестве работающих магнетронов.

На рисунках 1 и 2 представлены графики изменения температуры продукта от времени обработки при частотах вращения продукта 30 и 50 Гц.

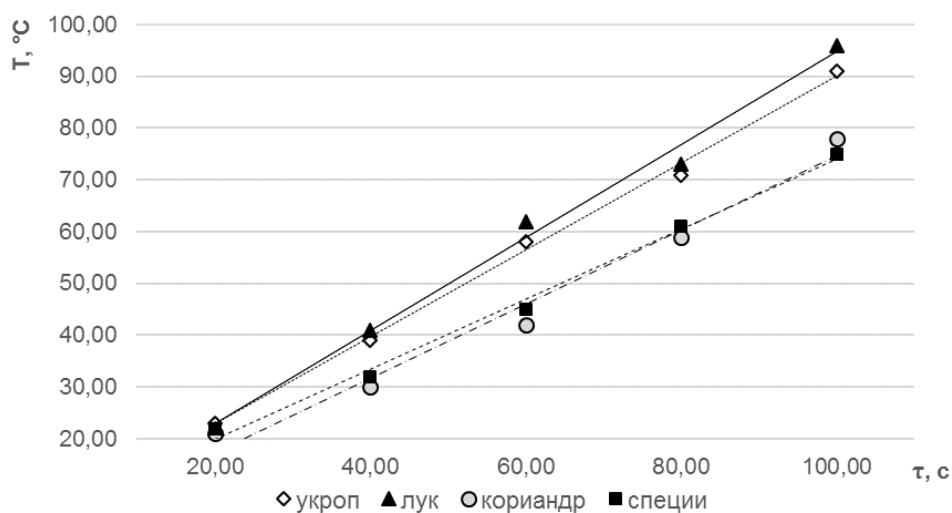


Рисунок 1 – Изменение температуры продукта при частоте вращения 30 Гц

При частоте вращения контейнера менее 30 Гц отмечалось неудовлетворительное перемешивание и нагрев продукции. При изменении показателей частоты от 30 до 50 Гц происходило улучшение перемешивания продукта и равномерности нагрева. Как видно из рисунка 2, увеличение частоты вращения контейнера и более равномерное перемешивание продукта внутри упаковки при 50 Гц приводило к более интенсивному нагреву продукта. По всей видимости, это связано с эффектом локального перегрева в объеме продукции, когда в точках с более высокой температурой сопротивление для СВЧ излучения выше и, таким образом, нагрев происходит быстрее. Увеличение интенсивности перемешивания приводит к более эффективному перераспределению теплоты в объеме продукта и выравниванию температуры и сопротивления СВЧ излучению. При частотах вращения контейнера более 50 Гц практически не происходит изменения температурных характеристик, а при частотах свыше 54 Гц происходит проскальзывание бумажного мешка внутри контейнера.

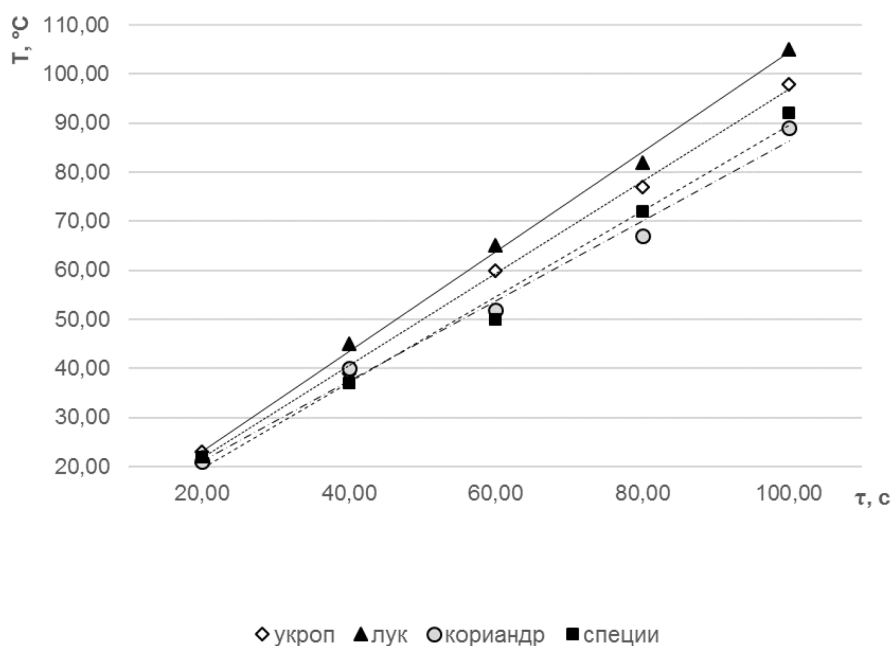


Рисунок 2 – Изменение температуры продукта при частоте вращения 50 Гц

На основании полученных данных для дальнейшего исследования были использованы два режима СВЧ обработки на 14-ти работающих магнетронах при скорости вращения контейнера 50 Гц. Для режима № 1 время работы магнетронов составило 250 с, температура продукта по завершении нагрева достигает 95°С. В случае режима № 2 время нагрева было увеличено на 20% и составило 300 с, при этом температура достигает 115°С.

Потери массы продукта при тепловой обработке связаны с изменением содержания влаги. Данные по содержанию влаги до и после обработки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание влаги в продукте до и после СВЧ обработки, %

Содержание влаги	Лук	Укроп	Кориандр	Специи
до обработки	9,01±0,04	8,0±0,1	9,96±0,06	10,03±0,16
после обработки в режиме 1	8,83±0,05	7,90±0,05	9,88±0,02	9,86±0,05
после обработки в режиме 2	8,79±0,03	7,83±0,04	9,82±0,04	9,81±0,03

Одним из преимуществ использования токов СВЧ по сравнению с традиционными методами тепловой обработки являются низкие потери влаги продукта и, соответственно, низкие потери массы [12, 13]. СВЧ волны воздействуют непосредственно на молекулы воды, создавая их дипольный сдвиг, что дает возможность повышения температуры продукта за короткий промежуток времени [14, 15]. В предложенных режимах обработки потери влаги составляли не более 0,22%.

В основном специи, сушеные овощи и травы выступают как вкусовые добавки или декоративные обсыпки, поэтому для них особенно важно сохранение органолептических характеристик при тепловой обработке. Процессы, протекающие в сухих продуктах растительного происхождения, связаны в первую очередь с углеводами, то есть достигаемые в предложенных режимах обработки уровни температур до 115°С не должны приводить к их существенному изменению [16, 17]. Данные органолептической оценки обработанных продуктов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Оценка органолептических показателей после тепловой обработки

Продукт	Вкус	Цвет	Аромат	Средняя оценка
Режим № 1				
лук	5	4	5	4,7
укроп	5	5	4	4,7
кориандр	5	5	5	5,0
специи	5	5	5	5,0
Режим № 2				
лук	4	4	5	4,3
укроп	5	4	4	4,3
кориандр	5	5	5	5
специи	5	5	5	5

Частичные потери экстрактивных веществ и изменения цвета более выражены при втором варианте обработки, при повышении конечной температуры продукта. Однако кориандр и смесь на основе специй не изменили своих первоначальных органолептических характеристик, что позволяет говорить о возможности использования более длительного режима обработки № 2 для данного вида продукции.

В таблице 3 показаны изменения микробиологических показателей в продукции после обработки на установке «Родник-Гамма» по сравнению необработанным сырьем.

Таблица 3 – Влияние СВЧ обработки на микробиологические показатели сушеных овощей, трав и смеси специй

Продукт	КМАФАнМ, КОЕ/г	БГКП, отсутствие в 0,01 г	Плесени, КОЕ/г	Дрожжи, КОЕ/г	<i>V. cereus</i> , КОЕ/г	Молочнокислые бактерии, КОЕ/г
до обработки						
лук	1,2·10 ⁶	обнаружено	2,3·10 ³	550	1·10 ³	7·10 ²
укроп	8,2·10 ⁵	обнаружено	800	650	700	4,2·10 ²
кориандр	2,1·10 ⁶	обнаружено	1,1·10 ³	500	1,0·10 ³	9,4·10 ²
специи	7·10 ⁵	обнаружено	1,4·10 ³	600	800	8,2·10 ²
после обработки по режиму №1						
лук	3,5·10 ⁴	не обнаружено	400	менее 100	менее 100	менее 100
укроп	1,2·10 ⁴	не обнаружено	200	менее 100	менее 100	менее 100
кориандр	5,6·10 ⁴	не обнаружено	150	менее 100	менее 100	менее 100
специи	1,2·10 ⁴	не обнаружено	240	менее 100	менее 100	менее 100
после обработки по режиму №2						
лук	4,0·10 ³	не обнаружено	менее 10	менее 100	менее 100	менее 100
укроп	1,1·10 ⁴	не обнаружено	60	менее 100	менее 100	менее 100
кориандр	3·10 ³	не обнаружено	менее 10	менее 100	менее 100	менее 100
специи	7,8·10 ³	не обнаружено	менее 10	менее 100	менее 100	менее 100

При обработке по первому режиму наблюдается резкое снижение содержания плесеней, дрожжей, *V. cereus* и молочнокислых микроорганизмов в продукции. Однако КМАФАнМ остается на уровне близком к предельно допустимому по нормативным документам. При втором режиме обработки наблюдается снижение уровня КМАФАнМ до уровня ниже 10⁴ КОЕ/г для всех видов продукции, кроме укропа. При необходимости дальнейшего снижения КМАФАнМ, а также при обработке укропа, кроме предложенного режима СВЧ обработки № 2 может потребоваться воздействие с помощью дополнительных средств.

Заключение

Проведенные исследования показали, что при проведении СВЧ обработки сушеного кориандра и специй в упаковке, на установке «Родник-Гамма» целесообразно применять режим 14-ти работающих магнетронов при скорости вращения контейнера 50 Гц с продолжительностью 300 с. Данный режим обеспечивает потери влаги менее 0,22%, оставляет неизменными органолептические характеристики, значительно снижает в продукции КМАФАнМ и содержание БГКП, плесеней, дрожжей, *V. cereus* и молочнокислых микроорганизмов. Для лука и укропа рекомендуемая продолжительность обработки 250 с, остальные параметры остаются неизменными, применение дополнительных средств в случае необходимости достижения КМАФАнМ менее 10⁴ КОЕ/г.

Литература/References

1. Chandrasekaran S., Ramanathan S., Basak T. Microwave food processing. A review. *Food Research International*, 2013, V. 52, no. 1, pp. 243–261.
2. Datta A.K. *Handbook of microwave technology for food application*. CRC Press, 2001. 491 p.
3. Peter K.V. *Handbook of herbs and spices*. V. 2. Woodhead publishing, 2012. 624 p.
4. Peter K.V. *Handbook of herbs and spices*. V. 3. CRC Press, 2006. 568 p.
5. Wang Y., Wig T.D., Tang J., Hallberg L.M. Dielectric properties of foods relevant to RF and microwave pasteurization and sterilization. *Journal of Food Engineering*. 2003, V. 57, no. 3, pp. 257–268.
6. Venkatesh M. S., Raghavan G. S. V. An overview of microwave processing and dielectric properties of agri-food materials. *Biosystems Engineering*. 2004, V. 88, no. 1, pp. 1–18.
7. Wang Y., Wig T.D., Tang J., Hallberg L. M. Sterilization of foodstuffs using radio frequency heating. *Journal of Food Science*. 2003, V. 68, no. 2, pp. 539–544.
8. Tang J., Feng H., Lau M. Microwave heating in food processing. *Advances in bioprocessing engineering*. 2002, V. 1, pp. 1–43.

9. Zhang H., Datta A.K., Taub I.A., Doona C. Electromagnetics, heat transfer, and thermokinetics in microwave sterilization. *AIChE Journal*. 2001, V. 47, no. 9, pp. 1957–1968.
10. Ahmed J., Ramaswamy H.S. Microwave pasteurization and sterilization of foods. *Food science and technology*. 2004, V. 167, pp. 691.
11. Feng H., Yin Y., Tang J. Microwave drying of food and agricultural materials: basics and heat and mass transfer modeling. *Food Engineering Reviews*. 2012, V. 4, no. 2, pp. 89–106.
12. Peng J., Tang J., Jiao Y., Bohnet S.G., Barrett D.M. Dielectric properties of tomatoes assisting in the development of microwave pasteurization and sterilization processes. *LWT-Food Science and Technology*. 2013, V. 54, no. 2, pp. 367–376.
13. Kim J.E., Oh Y.J., Won M.Y., Lee K.S., Min S.C. Microbial decontamination of onion powder using microwave-powered cold plasma treatments. *Food Microbiology*. 2017, V. 62, pp. 112–123.
14. Das I., Kumar G., Shah N.G. Microwave heating as an alternative quarantine method for disinfestation of stored food grains. *International journal of food science*. 2013, V. 2013, pp. 1–13.
15. Ramya H.G., Kumar S., Alam M.S. Microwave drying of fruits and vegetables: a fourth generation drying technology. *The Journal of Community Health Management*. 2015, V. 2, no. 2, pp. 85–88.
16. Lyng J.G., Arimi J.M., Scully M., Marra F. The influence of compositional changes in reconstituted potato flakes on thermal and dielectric properties and temperatures following microwave heating. *Journal of Food Engineering*. 2014, V. 124, pp. 133–142.
17. Yang M., Zheng C., Zhou Q., Liu C., Li W., Huang F. Influence of microwaves treatment of rapeseed on phenolic compounds and canolol content. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2014, V. 62, no. 8, pp. 1956–1963.

Статья поступила в редакцию 20.06.2017