

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ КАК ФАКТОРА ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ДИСПЕРГИРОВАНИЯ В ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ

*Р.И. Фаткуллин, Н.В. Попова*

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск*

Эффективное протекание технологического процесса пищевых производств сопряжено с преодолением ряда сложностей, в частности одним из наиболее трудо- и энергозатратным является процесс диспергирования. Интенсификация этого процесса позволяет обеспечить более эффективное извлечение биологически активных веществ из сырьевых ресурсов, ускорить процессы созревания, улучшить потребительские свойства продуктов в целом. Вместе с тем, известно, что твердые частицы всегда оказывают сопротивление внешнему воздействию и значительная их часть при использовании классических приемов диспергирования остается неразрушенной. В связи с чем требуется поиск новых подходов к повышению эффективности протекания этого процесса. На решение этой задачи и направлены исследования, представленные в данной статье. Авторами исследуется возможность использования ультразвукового кавитационного воздействия как фактора интенсификации процесса диспергирования при производстве напитков. В статье представлено описание основных эффектов ультразвукового воздействия, позволяющих повысить эффективность процесса диспергирования твердых компонентов в жидкости. Представлены результаты собственных исследований дисперсного состава образцов напитков, полученных по традиционной и модифицированной технологиям, с применением ультразвукового кавитационного воздействия. Диспергирующее действие ультразвука на систему напитков оценивается по комплексу показателей, характеризующих как качественное состояние коллоидных частиц напитков, так и их количественное соотношение. Особый интерес представляют данные, полученные методом лазерного динамического светорассеяния. Статья также содержит материалы исследования потребительских характеристик напитков с использованием баллового метода, результаты этих исследований также подтверждают целесообразность применения ультразвукового кавитационного воздействия для интенсификации процесса диспергирования.

**Ключевые слова:** диспергирование пищевых сред, дисперсный состав, ультразвуковое воздействие.

Диспергирование как технологический этап определяет эффективность протекания технологий производства целого ряда продуктов как растительного, так и животного происхождения.

Известно, что в технологических процессах пищевых производств диспергирование твердых компонентов в жидкости, как правило, затруднительно и требует большего расхода энергии [4, 8]. Значительная часть твердых веществ оказывает сопротивление внешнему воздействию, т. е. при классических этапах механического воздействия значительная часть клеток не поддается разрушению. Отсюда вытекают основные трудности технологических процессов:

– низкая эффективность процесса экстракции при производстве напитков из растительного сырья;

– снижение эффективности процесса со-

зревания при производстве кисломолочных напитков;

– ухудшение потребительских характеристик напитков и т. д. [1, 2, 4, 12].

Диспергирование позволяет обеспечить эффективность протекания экстракционных процессов, способствует улучшению потребительских характеристик готовых продуктов, замедляет процессы их старения и т. д. В этой связи интенсификация достаточно трудоемкого и энергозатратного процесса диспергирования может позволить эффективно решить целый ряд производственных задач.

Целесообразность использования ультразвукового воздействия на этапе диспергирования может быть объяснена наличием ряда специфических факторов, присущих ультразвуковым колебаниям, представленных на рис. 1 [5–8, 13, 14].

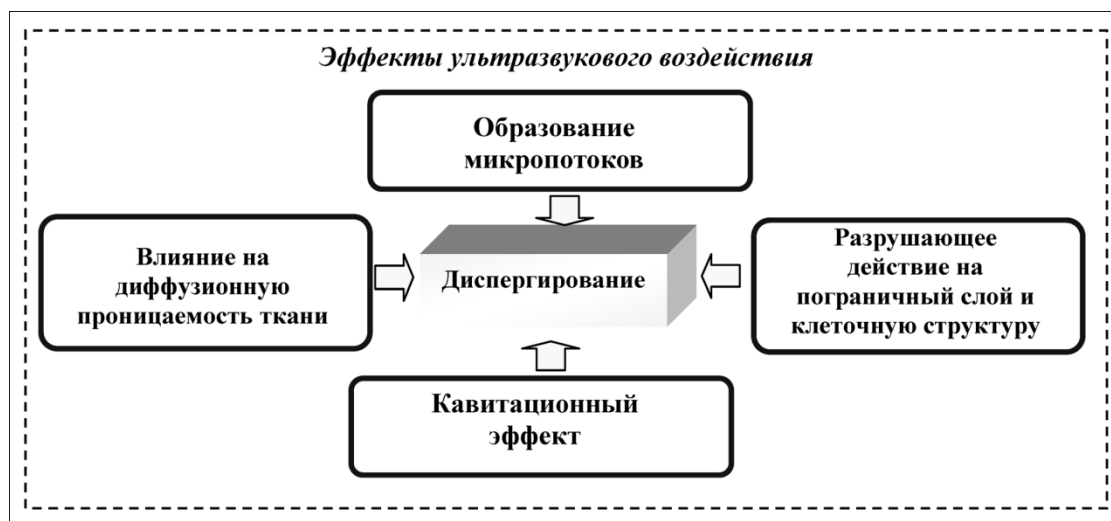


Рис. 1. Эффекты ультразвукового воздействия, интенсифицирующие процесс диспергирования

В литературе вопросы использования ультразвукового воздействия для интенсификации процессов диспергирования освещены достаточно скудно. Вместе с тем, результаты существующих исследований свидетельствуют о том, что доля различных факторов, влияющих на процесс диспергирования, неодинакова [3, 10, 11, 15].

В задачи нашего исследования входило изучить диспергирующее действие ультразвука на растительное сырье и возможность его применения для улучшения потребительских характеристик напитков на натуральном сырье.

В рамках исследования был установлен режим ультразвукового воздействия: мощность 180 Вт, продолжительность воздействия 5 мин, частота  $(22 \pm 1,65)$  кГц и сформирован перечень объектов исследований, включающий 3 образца, полученных по тра-

диционной и модифицированным технологиям. Характеристика образцов с указанием технологических особенностей их получения представлена в таблице.

В рамках работы была поставлена серия экспериментов, направленных на установление возможности использования ультразвукового воздействия в технологии производства морсов с учетом следующей схемы.

Диспергирующее действие ультразвука на систему морса оценивалось по комплексу показателей, характеризующих как количественное состояние коллоидных частиц морса (объемная доля осадка, %), так и качественное (скорость образования осадка, мин; дисперсный состав). Результаты представлены на рис. 2.

Как видно из данных, представленных на рисунке, в результате использования ультразвуковой обработки в технологии производст-

Перечень объектов исследования влияния УЗ на процесс диспергирования

Объекты исследования	Соотношение выжимки:вода	Технологические особенности получения
Контроль	1,5:10	По традиционной технологии без использования УЗВ
Образец 1	1,5:10	Обработка УЗ только на этапе экстракции (мощностью 180 Вт продолжительность воздействия 5 мин) смеси выжимок клюквы с водой без нагревания
Образец 2	1,5:10	Обработка УЗ на этапе экстракции (мощностью 180 Вт продолжительность воздействия 5 мин) смеси выжимок клюквы с водой с последующим перемешиванием в течение 5 мин при температуре 30 °С + УЗ на этапе обеззараживания готового напитка (мощностью 240 Вт продолжительность воздействия 3 мин)

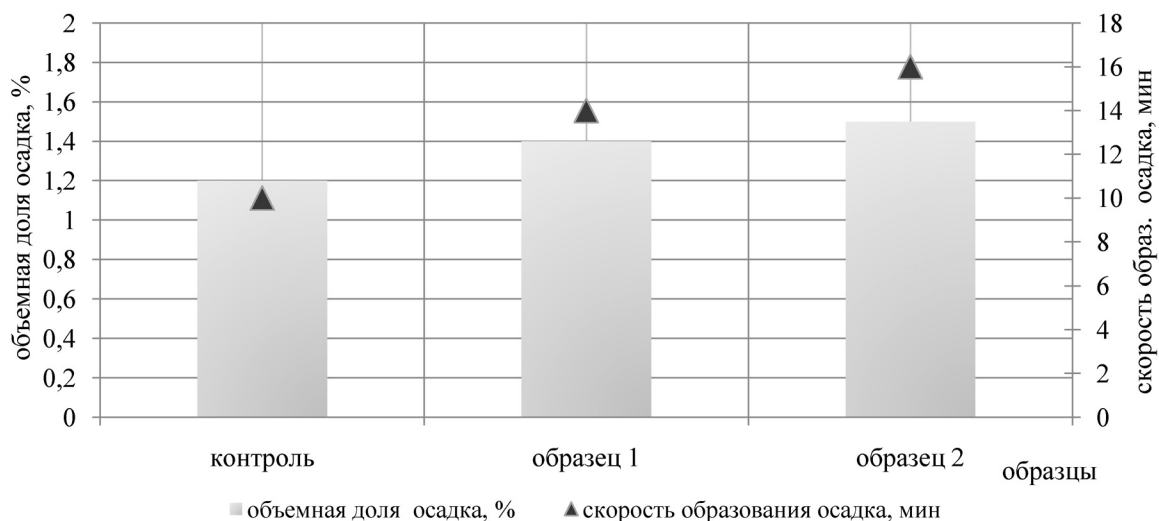


Рис. 2. Объемная доля и скорость образования осадка в исследуемых образцах морса

ва морса несколько увеличилась объемная доля осадка (16,7 и 25 % для образцов 1 и 2 соответственно), что может быть связано с интенсификацией процесса экстракции и увеличением общего количества сухих веществ в модифицированных морсах.

Анализ показателя скорости образования осадка в морсах, полученных с использованием ультразвукового воздействия, также возросла по отношению к контрольному образцу: на 4 и 6 минут для образцов 1 и 2 соответственно. Это напрямую указывало на влияние ультразвукового воздействия на коллоидное состояние частиц морса, в первую очередь, размер коллоидных частиц.

Для более глубоко изучения влияния ультразвукового воздействия на коллоидные вещества морса был применен метод лазерного динамического светорассеивания, в результате использования которого были получены данные по дисперсному составу исследуемых образцов напитков (рис. 3).

Полученные результаты свидетельствуют о выраженном влиянии ультразвукового воздействия на дисперсный состав морса. Как видно из рисунка соотношение дисперсных частиц по размерам подвержено значительным изменениям. Для контрольного образца морса характерно присутствие дисперсных частиц, размер которых составляет 5670 нм.

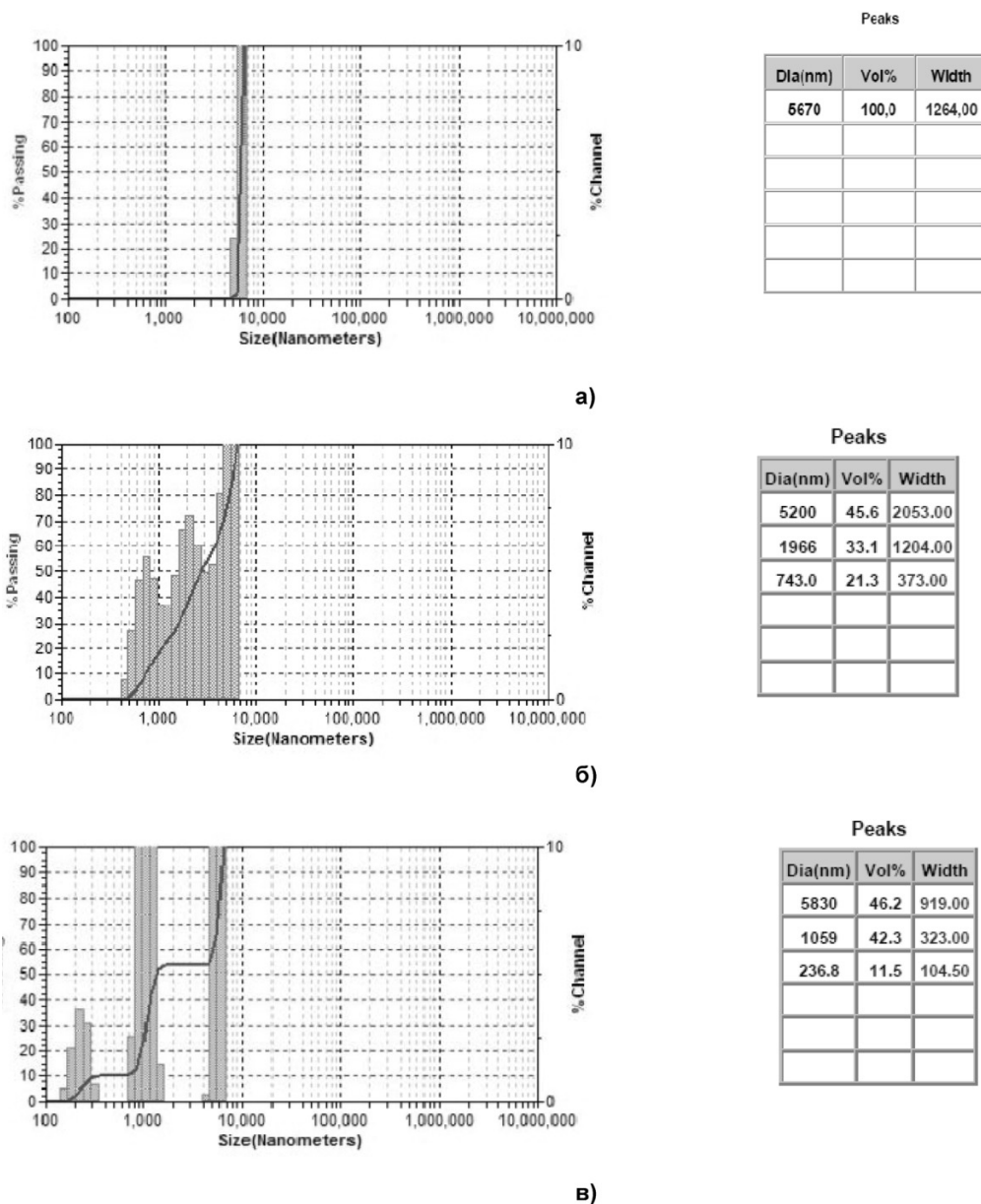
Для морса, полученного на основе однократного озвучивания на этапе экстракции, принципиально меняется размерный ряд дисперсных частиц. В исследуемом образце при-

сутствуют частицы в диапазоне 743–5200 нм, с преобладанием частиц размером 5200 и 1960 нм.

Для образца полученного 2-кратным озвучиванием размер дисперсных частиц находился в диапазоне значений 236,8–5830 нм, с преобладанием частиц размером 1059 и 5830 нм, т. е. двукратное озвучивание привело к протеканию двух процессов: дальнейшее измельчение частиц и агломерация.

Согласно данным, представленным в литературе, механизм действия ультразвука на коллоидные вещества заключается в том, что при воздействии ультразвука на гетерогенную систему на границе раздела фаз возникают зоны сжатия и разрежения, которые, в свою очередь, обуславливают возникновения давления. Избыточное давление, формируемое ультразвуковой волной, накладывается на постоянное гидростатическое давление и синергетический эффект этого может составлять несколько атмосфер. В фазе разрежения во всем объеме жидкости, в особенности у границ раздела фаз, в тех местах, где встречаются мельчайшие твердые частицы и имеются пузырьки газа, образуются полости [6, 9, 10, 12].

При повторном сжатии кавитационные пузырьки захлопываются, развивая давление до сотен атмосфер. Высокая интенсивность образующейся ударной волны приводит к механическому разрушению твердых частиц. Однако следует учитывать, что при ультразвуковом воздействии на процесс диспергирования может происходить не только разру-



**Рис. 3. Результаты определения дисперсного состава образцов клюквенного морса: а – контроль; б – однократное озвучивание; в – двукратное озвучивание**

шение частиц, но и их коагуляция, что связано с разрушением сольватной оболочки на частицах дисперсной фазы.

Полученные нами результаты свидетельствуют о выраженном диспергирующем действии ультразвука на частицы морса, причем двукратное воздействие является более эффективным и позволяет достичь снижения размера частиц до 24 раз. Вместе с тем следует отметить, что для образца морса, полученного с использованием двукратного ультразвукового воздействия, наряду с диспергирующим эффектом было отмечено и некоторое увеличение размера частиц в сравнении с

образцом 1. Такой эффект может быть связан со способностью ультразвука в некоторых режимах вызывать агломерацию дисперсных частиц [2, 4, 13, 14].

Таким образом, полученные результаты, показали явную прослеживаемость влияния ультразвукового воздействия на органолептические и физико-химические показатели качества клюквенного морса.

Клюквенный морс, полученный по модифицированной технологии, отличался улучшенными потребительскими свойствами и был оценен дегустаторами на 0,3–0,4 балла выше (рис. 4).

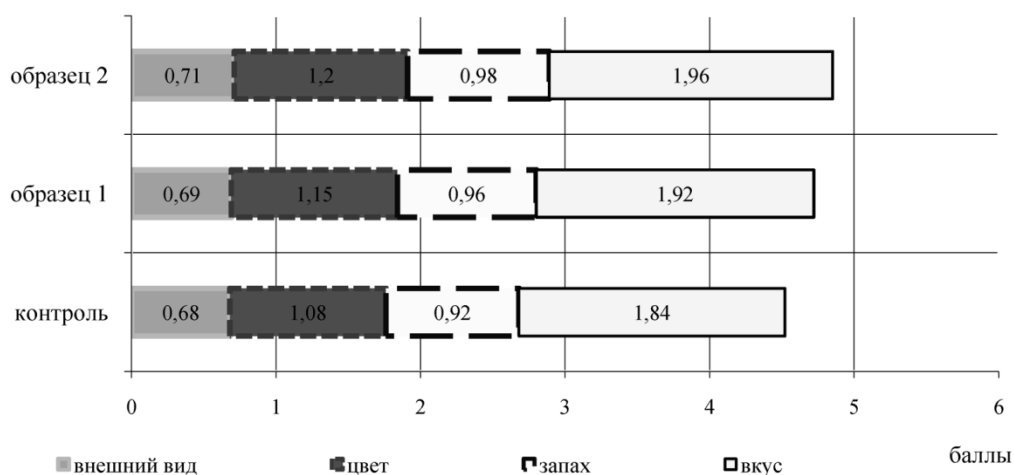


Рис. 4. Результаты дегустационного анализа образцов морса с учетом коэффициентов весомости

Данные, представленные на рис. 4, свидетельствуют о том, что ультразвуковое воздействие положительно сказывается на органолептических характеристиках морса. Более выражено это влияние на таких показателях как цвет и вкус. Внешний вид и запах контрольного образца морса и модифицированных дегустаторы оценили достаточно близкими оценками.

На основании расчета комплексного показателя качества все образцы морса были признаны напитками высшего качества, при этом значение комплексного показателя для контрольного образца морса составило 90,4 %, а для морса, полученного по модифицированной технологии, – 94,4 и 97,0 % для образцов 1 и 2 соответственно.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование ультразвукового воздействия в технологии производства клюквенного морса позволяет интенсифицировать процесс диспергирования, тем самым улучшая органолептические показатели напитка и их качество в целом.

#### Литература

1. Гореликова, Г.А. Влияние растительных экстрактов на качество и функциональные свойства сокодержащих напитков / Г.А. Гореликова, Л.А. Маюрникова, О.А. Степанова // *Пиво и напитки*. – 2008. – № 4. – С. 40–41.
2. Калинина, И.В. Инновационные подходы в формировании потребительских свойств продуктов питания социально значимых

групп / И.В. Калинина // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент»*. – 2015. – № 3. – С. 180–184.

3. Науменко, Н.В. Возможности использования биотехнологий при производстве пищевых продуктов / Н.В. Науменко // *Актуальная биотехнология*. – 2013. – № 2 (5). – С. 14–17.

4. Потороко, И.Ю. Практические аспекты использования ресурсоэффективных технологий в пищевых производствах как фактора качества готовой продукции / И.Ю. Потороко, Ю.И. Кретова, И.В. Калинина // *Товаровед продовольственных товаров*. – 2014. – № 10. – С. 8–13.

5. Потороко, И.Ю. Современные подходы и методы интенсификации процессов пищевых производств / И.Ю. Потороко, Ю.И. Кретова, Л.А. Цирульниченко // *Товаровед продовольственных товаров*. – 2014. – № 1. – С. 41–45.

6. Шестаков, С.Д. Технология и оборудование для обработки пищевых сред с использованием кавитационной дезинтеграции // С.Д. Шестаков, О.Н. Красуля, В.И. Богуш, И.Ю. Потороко. – М.: Изд-во «ГИОРД», 2013. – 152 с.

7. Ashokkumar M., Rink R., Shestakov S. Hydrodynamic cavitation – an alternative to ultrasonic food processing // *Electronic Journal «Technical Acoustics»*. – <http://www.ejta.org>, 2011, 9.

8. Ashokkumar M., Krasulya O., Shestakov S. and Rink R. A New Look at Cavitation and the Applications of Its Liquid-Phase Effects in the Processing of Food and Fuel // *Applied Physics*

## Технологические процессы и оборудование

---

*Research.* – February 2012. – Vol. 4, № 1. – P. 19–29.

9. Krefling D., Mettin R. and Lauterborn W. *High-speed observation of acoustic cavitation erosion in multibubble systems // Ultrasonics Sonochemistry.* – 2004. – Vol. 11. – P. 119–123.

10. Mawson R., Knoerzer K. *A brief history of the application of ultrasonics in food processing // 19-th ICA Congress.* – Madrid, 2007.

11. Zisu B. *at al. Ultrasonic processing of*

*dairy systems in large scale reactors // Ultrasonics Sonochemistry,* 17, 2010, pp. 1075–1081.

12. *Ультразвуковые технологии и установка.* – <http://www.reltec.biz/ru>

13. *Ультразвук для обработки жидкости.* – <http://www.hielscher.com>

14. *Особенности производства экстракционных продуктов.* – <http://www.biozevtika.ru>

15. *Ультразвуковые аппараты и технологии.* – <http://www.u-sonic.com>.

**Фаткуллин Ринат Ильгидарович.** Кандидат технических наук, доцент кафедры «Экспертиза и управление качеством пищевых производств», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), 5792687@mail.ru.

**Попова Наталия Викторовна.** Кандидат технических наук, доцент кафедры «Экспертиза и управление качеством пищевых производств», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), tef\_popova@mail.ru.

*Поступила в редакцию 20 ноября 2015 г.*

---

DOI: 10.14529/food150406

## THE USE OF ULTASONIC EXPOSURE AS THE FACTOR OF INTENSIFICATION OF DISPERSION PROCESS IN FOOD PRODUCTION

**R.I. Fatkullin, N.V. Popova**

*South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation*

The effective technological process of food production is associated with overcoming a number of obstacles, in particular one of the most time- and energy-consuming is a dispersion process. The intensification of this process helps to provide more efficient extraction of biologically active substances from primary resources, accelerate the maturing process, and improve consumer properties on the whole. Besides, it's known that solid particles always resist external actions and a large part of them remains undisturbed when classical dispersion methods are used. Therefore, the search for new approaches to improvement of effectiveness of this process is required. The study presented in this paper tries to solve this problem. The authors examine the applicability of ultrasonic cavitation exposure as a factor of intensification of the dispersion process in beverage production. The description of main effects of ultrasonic exposure, which enable one to enhance the effectiveness of solid particles dispersion in fluids, is given. The results of studies on disperse composition of beverage samples, received according to traditional and modified technologies, with the use of ultrasonic cavitation exposure, are presented. The dispersing impact of ultrasound on the beverage system is evaluated with a help of indicators, which characterize not only the quality of colloidal particles, but also their quantitative relation. Special attention is paid to the data obtained by the method of laser dynamic light scattering. The article contains the research materials on consumer properties of beverages using the number method, the results of these studies prove the applicability of ultrasonic cavitation exposure for intensification of the dispersion process.

**Keywords:** dispersion of food media, dispersion composition, ultrasonic exposure.

## References

1. Gorelikova G.A., Mayurnikova L.A., Stepanova O.A. Vliyanie rastitel'nykh ekstraktov na kachestvo i funktsional'nye svoystva sokosoderzhashchikh napitkov [Influence of plant extracts on the quality and functional properties of juices]. *Pivo i napitki* [Beer and drinks], 2008, no. 4, pp. 40–41.
2. Kalinina I.V. Innovative Approaches in Formation of Consumer Properties of Socially Important Food Products. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2015, no. 3, pp. 180–184. (in Russ.)
3. Naumenko N.V. Vozmozhnosti ispol'zovaniya biotekhnologiy pri proizvodstve pishchevykh produktov [The applicability of biotechnology when producing food products]. *Aktual'naya biotekhnologiya* [Topical biotechnology], 2013, no. 2 (5), pp. 14–17.
4. Potoroko I.Yu., Kretova Yu.I., Kalinina I.V. Prakticheskie aspekty ispol'zovaniya resursoeffektivnykh tekhnologiy v pishchevykh proizvodstvakh kak faktora kachestva gotovoy produktsii [Practical aspects of using resource-saving technology in food production as a quality factor of finished products]. *Tovarovod prodovol'stvennykh tovarov* [Commodity expert of food products], 2014, no. 10, pp. 8–13.
5. Potoroko I.Yu., Kretova Yu.I., Tsurul'nichenko L.A. Sovremennye podkhody i metody intensivifikatsii protsessov pishchevykh proizvodstv [Modern approaches and methods of intensification of processes in food production]. *Tovarovod prodovol'stvennykh tovarov* [Commodity expert of food products], 2014, no. 1, pp. 41–45.
6. Shestakov S.D., Krasulya O.N., Bogush V.I., Potoroko I.Yu. *Tekhnologiya i oborudovanie dlya obrabotki pishchevykh sred s ispol'zovaniem kavitatsionnoy dezintegratsii* [Technology and equipment for food processing environments using cavitation disintegration]. Moscow, GIORD Publ., 2013. 152 p.
7. Ashokkumar M., Rink R., Shestakov S. Hydrodynamic cavitation – an alternative to ultrasonic food processing. *Electronic Journal "Technical Acoustics"*. Available at: <http://www.ejta.org>, 2011, 9.
8. Ashokkumar M., Krasulya O., Shestakov S. and Rink R. A New Look at Cavitation and the Applications of Its Liquid-Phase Effects in the Processing of Food and Fuel. *Applied Physics Research*, 2012, vol. 4, no. 1, pp. 19–29. DOI: 10.5539/apr.v4n1p19
9. Krefting D., Mettin R. and Lauterborn W. High-speed observation of acoustic cavitation erosion in multibubble systems. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2004, vol. 11, pp. 119–123. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2004.01.006
10. Mawson R., Knoerzer K. A brief history of the application of ultrasonics in food processing. *19-th ICA Congress*, Madrid, 2007.
11. Zisu B. et al. Ultrasonic processing of dairy systems in large scale reactors. *Ultrasonics Sonochemistry*, 17, 2010, pp. 1075–1081. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2009.10.014
12. *Ul'trazvukovye tekhnologii i ustanovki* [Ultrasonic technology and facilities]. Available at: <http://www.reltec.biz/ru>
13. *Ul'trazvuk dlya obrabotki zhidkosti* [Ultrasound for fluid processing]. Available at: <http://www.hielscher.com>
14. *Osobennosti proizvodstva ekstraktsionnykh produktov* [Specifics of producing extract products]. Available at: <http://www.biozevtika.ru>
15. *Ul'trazvukovye apparaty i tekhnologii* [Ultrasonic devices and technology]. Available at: <http://www.ultasonic.com>.

**Fatkullin Rinat Igidarovich**, Ph.D., associate professor of “Expertise and quality control of food production”, South Ural State University (Chelyabinsk), 5792687@mail.ru.

**Popova Natalia Viktorovna**, Ph.D., associate professor of “Expertise and quality control of food production”, South Ural State University (Chelyabinsk), tef\_popova@mail.ru.

*Received 20 November 2015*

## ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Фаткуллин, Р.И. Использование ультразвукового воздействия как фактора интенсификации процесса диспергирования в пищевых производствах / Р.И. Фаткуллин, Н.В. Попова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2015. – Т. 3, № 4. – С. 41–47. DOI: 10.14529/food150406

## FOR CITATION

Fatkullin R.I., Popova N.V. The Use of Ultrasonic Exposure as the Factor of Intensification of Dispersion Process in Food Production. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2015, vol. 3, no. 4, pp. 41–47. (in Russ.) DOI: 10.14529/food150406