УДК 66.084.8

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СОХРАННОСТЬ БАКТЕРИЙ ПРИ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СУШКЕ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, Р.Н. Голых*, В.А. Нестеров, Р.С. Доровских, Е.А. Скиба, Н.А. Шавыркина

Бийский технологический институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,
659305, Россия, г. Бийск, ул. Трофимова, 27

**e-mail: grn@bti.secna.ru*

Дата поступления в редакцию: 15.10.2015
Дата принятия в печать: 05.11.2015

Высокая востребованность сухих кисломолочных продуктов определяет актуальность модернизации способов сушки. Существующие конструкции распылительных сушилок, обладающих наиболее высокой на сегодняшний день производительностью, непригодны для сушки кисломолочных продуктов из-за жестких ограничений по допустимой температуре продукта (как правило, не более 40…45 °С), позволяющей сохранить жизнеспособность микроорганизмов. Рассмотренный в статье подход к реализации низкотемпературной распылительной сушки кисломолочных продуктов заключается в применении ультразвукового (УЗ) воздействия для распыления сырья, а также при взаимодействии сформированных распылением капель с потоком сушильного агента (воздуха). Ультразвуковое распыление сырья позволяет сформировать факел распыла, близкий к монодисперсному (со средним диаметром капель, равным 31 мкм), что исключает унос продукта благодаря отсутствию мелкой фракции и повышает производительность процесса при низких температурах. В свою очередь, применение ультразвуковых колебаний на стадии взаимодействия капель с воздухом интенсифицирует процесс испарения влаги (за счет увеличения коэффициента диффузии), что дает возможность снизить температуру сушки до величины, не влияющей на выживаемость бактерий. В результате проведения экспериментальных исследований показано, что УЗ воздействие при распылительной сушке кисломолочных продуктов как на стадии распыления, так и на стадии взаимодействия капель с потоком сушильного агента не обеспечивает выживаемость микроорганизмов. Ультразвуковое распыление сырья в сушильную камеру приводит к сокращению численности бактерий более чем в 10 раз из-за кавитационных явлений. Воздействие ультразвуковыми колебаниями при испарении влаги с поверхности капель, сформированных распылением, сокращает численность бактерий до 180 раз. Согласно полученным результатам ультразвуковое воздействие неприменимо для распылительной сушки кисломолочных продуктов, но может быть рекомендовано для сушки термолабильных растительных экстрактов и лекарственных препаратов с целью удаления контаминирующих микроорганизмов.

Ультразвук, ультразвуковая сушка, кисломолочный продукт, ультразвуковое распыление, молочнокислые бактерии, бифидобактерии

Введение

Сухие кисломолочные продукты занимают особое место в молочной промышленности. В настоящее время существенно расширяется их ассортимент и качественно изменяется подход к продуктам питания данной группы, а также существенно расширяется сфера их применения [1]. Сухие кисломолочные продукты являются основой для создания группы мультисимбиопробиотиков – биологически активных добавок, совмещающих пробиотические свойства микроорганизмов, работающих в симбиозе и включающих пребиотические компоненты [2].

Один из возможных способов получения таких продуктов – распылительная сушка [3–6]. Минимальная потеря продуктом полезных свойств – важнейшее преимущество распылительной сушки перед другими (тепловая, СВЧ, вакуумная сушка). Это преимущество обусловлено возможностью использования пониженных температурных режимов процесса (температура продукта не превышает 60 °С) за счет формируемой распылением огромной поверхности контакта сырья (до 200 $м^2$/кг) с сушильным агентом (воздухом). Такой способ сушки успешно реализуется в ряде отечественных и зарубежных промышленных распылительных сушилок [4, 7–9].

Однако большинство современных распылительных сушилок непригодно для сушки кисломолочных продуктов и других бактериальных суспензий. Это вызвано жесткими ограничениями по температуре продукта (как правило, не более 40…45 °С), обусловленными необходимостью сохранить жизнеспособность микроорганизмов в процессе сушки. Попытки практической реализации сушки при указанных невысоких температурах в рамках существующих конструкций распылительных сушилок приводят к недопустимому снижению производительности процесса, которое усугубляется уносом мелкой фракции готового продукта (менее 10 мкм), трудно улавливаемой циклонами.

При этом высокая востребованность сухих кисломолочных продуктов определяет актуальность модернизации существующих способов, а также

поиска новых технологичных методов сушки и разработки их аппаратурного оформления. Один из возможных путей повышения эффективности низкотемпературной распылительной сушки кисломолочных продуктов – применение ультразвукового (УЗ) воздействия при распылении сырья и при взаимодействии сформированных распылением капель с потоком сушильного агента.

УЗ распыление позволяет сформировать более однородный факел распыла (по сравнению с пневматическим распылением) [10–13], что исключает унос продукта из-за низкого содержания мелкой фракции (частиц размером менее 10 мкм). Применение УЗ колебаний на стадии взаимодействия капель с сушильным агентом интенсифицирует процесс испарения влаги (за счет увеличения коэффициента диффузии) [14–16], что дает возможность снизить температуру сушки до величины, не влияющей на выживаемость бактерий.

Вместе с тем очевидно, что УЗ воздействие будет оказывать влияние на жизнеспособность микроорганизмов в процессе сушки. Поскольку численность живых микроорганизмов – важнейшая характеристика сухих кисломолочных продуктов, **цель исследований** – определение влияния ультразвука на сохранность бактерий при распылительной сушке.

Объект и методы исследований

В качестве объекта исследований, подвергавшегося распылительной сушке с применением ультразвука, использовался кисломолочный продукт, предназначенный для питания детей раннего возраста, – «Бифилин Д лакто», производимый ОАО «Модест», Россия, Алтайский край, г. Барнаул, согласно ТУ 9222-460-00419785-09 [17]. Количество бифидобактерий (*Bifidobacterium adolescentis*, штамм МС-42) в продукте составило $79{,}5 \cdot 10^6$ КОЕ/г, молочнокислых бактерий (*Lactobacillus acidophilus, Streptococcus thermophilus*) – $41 \cdot 10^7$ КОЕ/г. Массовая доля влаги в продукте составила 89,76 %.

Возможность применения ультразвуковых колебаний для распылительной сушки кисломолочных продуктов определялась на специально разработанной экспериментальной установке, технологическая схема которой приведена на рис. 1.

Экспериментальная установка состоит из сушильной камеры (вертикальный цилиндр размерами Ø600x2000 мм с коническим днищем), систем подготовки и подачи воздуха и исходного сырья в зону сушки, отвода и разделения смеси высушенного продукта с отработанным сушильным агентом, а также ультразвукового распылителя и ультразвукового излучателя, предназначенного для повышения эффективности процесса сушки. Созданная установка обеспечивает сушку с производительностью до 4,4 л/ч (по сырью) при расходе воздуха не более 340 м^3/ч (в пересчете на нормальные условия). Во всех экспериментах температура сушильного агента на входе была одинаковой и составляла 78 °С. Температура воздуха на выходе – не более 40 °С.

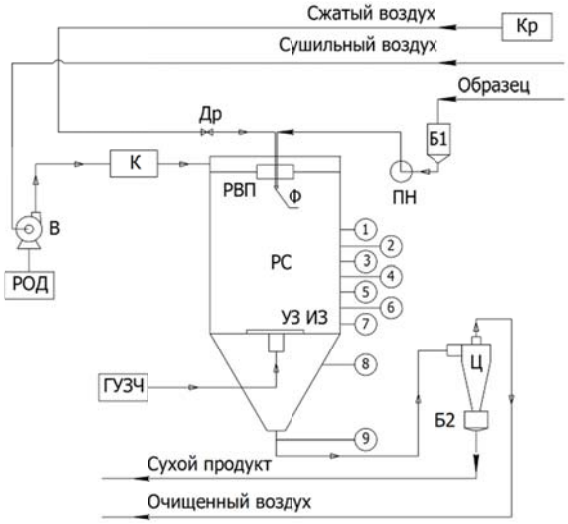

Рис. 1. Технологическая схема экспериментальной установки для исследования процесса распылительной сушки с применением УЗ воздействия:
Ф – УЗ распылитель или форсунка; Б1 – бункер влажного материала; Б2 – бункер высушенного материала; РС – распылительная сушилка; К – калорифер; Ц – циклон; В – вентилятор; Др – дроссель; ПН – перистальтический насос; РВП – распределитель воздушных потоков; Кр – компрессор; РОД – регулятор оборотов двигателя; ГУЗЧ – генератор ультразвуковой частоты; УЗ ИЗ – ультразвуковой излучатель

Ультразвуковое воздействие осуществлялось в ходе протекания каждой из двух основных стадий процесса:

а) распыления жидкости;

б) взаимодействие сформированных распылением капель с потоком сушильного агента (воздуха).

Для определения **влияния ультразвукового воздействия на жизнеспособность микроорганизмов на стадии распыления** экспериментальные исследования проводились с использованием пневматического и ультразвукового распылителей (обозначение Ф на технологической схеме, рис. 1).

В качестве пневматического распылителя использовался стандартно выпускающийся распылитель типа HYVST LVMP. Фото ультразвукового распылителя в комплекте с электронным генератором высокочастотных колебаний представлено на рис. 2 [18].

Рис. 2. Фото ультразвукового распылителя

Ультразвуковой распылитель имеет следующие технические характеристики (табл. 1).

Таблица 1

Основные технические характеристики ультразвукового распылителя

Параметр	Значение
Мощность, ВА, не более	100
Частота ультразвуковых колебаний, кГц	60±4,0
Питание от сети переменного тока напряжением, В	220±22
Амплитуда колебаний рабочего инструмента, мкм	20–30
Габаритные размеры: электронный генератор, мм колебательная система, мм	300×300×80 Ø70×60
Вязкость распыляемой жидкости, мПа·с	1–4
Средний размер распыляемых частиц, мкм	31
Производительность (по воде), мл/с, не более	1,2

Для определения влияния ультразвука на численность бактерий кисломолочный продукт распылялся в предварительно стерилизованные герметичные колбы объемом 200 мл.

Определение численности бактерий производилось глубинным методом с использованием двух питательных сред (производитель ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии», г. Оболенск, РФ): бифидум-среды по ТУ 9398-041-78095326-2008 и лактобакагара по ТУ 9398-104-7809532602010. Культивирование осуществлялось при температуре (37±1) °С в течение 60–72 ч.

Для **определения влияния УЗ колебаний высокой интенсивности на жизнеспособность микроорганизмов в высыхающих каплях** был использован УЗ излучатель с рабочим инструментом в виде изгибно-колеблющегося диска (обозначение УЗ ИЗ на технологической схеме, см. рис. 1) [19], позволяющий создавать в объеме сушильной камеры акустическое поле с уровнем звукового давления более 140 дБ.

Фото аппарата (УЗ излучатель в комплекте с генератором электрических колебаний) для воздействия на газовые среды (капли распыленного кисломолочного продукта, находящиеся в среде сушильного агента) представлено на рис. 3, а его технические характеристики – в табл. 2.

а б

Рис. 3. Ультразвуковой технологический аппарат для воздействия на газовые среды: а – дисковый излучатель; б – электронный генератор

Таблица 2

Основные технические характеристики ультразвукового технологического аппарата для воздействия на газовые среды

Параметр	Значение
Мощность, ВА, не более	140
Максимальный уровень звукового давления (в пределах 1 м от поверхности рабочего инструмента), дБ, не менее	150
Рабочая частота механических колебаний, кГц	22±1,65
Диаметр рабочего инструмента, мм, не более	320
Габаритные размеры, мм: электронный генератор колебательная система	300×300×130 Ø320×380

Для анализа численности бактерий после сушки с применением УЗ воздействия использовалась методика, аналогичная методике определения численности бактерий при распылении.

Далее представлены результаты экспериментальных исследований численности бактерий в высушиваемом материале при ультразвуковом и пневматическом распылении, а также при УЗ воздействии на сформированную распылением воздушно-капельную взвесь.

Результаты и их обсуждение

Полученные результаты, позволяющие оценить **влияние ультразвукового и пневматического способов распыления на численность бактерий,** представлены в табл. 3.

Таблица 3

Зависимость численности бактерий от способа распыления кисломолочного продукта

Вариант опыта	Количество молочнокислых бактерий, млн КОЕ/мл	Количество бифидобактерий, млн КОЕ/мл
Пневматическое распыление	530,0	91,0
Ультразвуковое распыление	47,5	3,9

Установлено, что ультразвуковое распыление приводит к сокращению численности молочнокислых бактерий более чем в 10 раз, бифидобактерий более чем в 20 раз. Причина этого заключается в том, что ультразвуковое воздействие, осуществляемое при распылении кисломолочного продукта, сопровождается возникновением кавитационных явлений, вызывающих образование микроударных волн с амплитудой давления до 100 МПа и локальными повышениями температуры в ядрах кавитационных пузырьков до 5000 К [20], приводящих к разрушению мембран бактерий [21–25].

Таким образом, УЗ способ распыления неприменим для сушки кисломолочных продуктов, по-

скольку не обеспечивает жизнеспособность молочнокислых и бифидобактерий. Вместе с тем полученные экспериментальные данные свидетельствуют об эффективном уничтожении микроорганизмов в результате УЗ распыления. Это свидетельствует о возможности его применения при распылительной сушке, в частности, растительных экстрактов и лекарственных препаратов. При этом УЗ распыление не только сформирует однородный факел распыла, но и обеспечит частичную стерилизацию продукта.

Далее представлены результаты экспериментальных исследований **влияния УЗ колебаний высокой интенсивности на жизнеспособность микроорганизмов в высыхающих каплях.**

Экспериментальные исследования, направленные на определение выживаемости бактерий при сушке и ультразвуковом воздействии на капли распыленного кисломолочного продукта, находящиеся в среде сушильного агента, проводились с использованием дискового излучателя (см. рис. 3а). Создаваемый излучателем уровень звукового давления в сушильной камере составлял 140…151 дБ. Измеренные значения уровня звукового давления в различных точках сушильной камеры представлены в табл. 4. Нумерация точек в табл. 4 осуществлена в соответствии с технологической схемой, представленной на рис. 1.

Таблица 4

Уровни звукового давления
в разных точках сушильной камеры

Номер точки	Уровень звукового давления, дБ
1 (1,4 м)	147
2 (1,2 м)	151
3 (1,0 м)	147
4 (0,8 м)	146
5 (0,6 м)	145
6 (0,4 м)	147
7 (0,2 м)	150
8 (0 м)	140
9 (выход)	140

Полученные результаты по численности бактерий после сушки с применением ультразвукового воздействия представлены в табл. 5. Поскольку контрольный образец (исходный продукт) представляет собой жидкую суспензию и массы сухих веществ в опытных и контрольном (высушенных с применением и без УЗ колебаний) образцах различаются, то полученные данные представлены в пересчете на 1 г сухого вещества согласно выражению (1):

$$N_0 = \frac{N}{\omega} \cdot 100\%, \qquad (1)$$

где ω – массовая доля сухого вещества в образце, %; N – количество бактерий в образце, млн КОЕ/мл; N_0 – приведенное количество бактерий (в пересчете на 1 г сухого вещества), млн КОЕ/мл.

Таблица 5

Численность бактерий при взаимодействии сырья
с потоком воздуха в сушильной камере
(в пересчете на 1 г сухого вещества)

Вариант опыта	Количество молочнокислых бактерий, млн КОЕ/мл	Количество бифидобактерий, млн КОЕ/мл
Контрольный образец (исходный продукт)	1193,4	219,7
Продукт, высушенный с применением УЗ колебаний	48,9	1,2
Продукт, высушенный без применения УЗ колебаний	405,4	5,5

Как следует из представленных результатов, ультразвуковые колебания высокой интенсивности эффективны для уничтожения микроорганизмов и при воздействии на капли распыленного кисломолочного продукта, находящиеся в среде сушильного агента (в частности, численность молочнокислых бактерий сокращается более чем в 24 раза, бифидобактерий – более чем в 180 раз). По-видимому, это обусловлено тем, что при уровне звукового давления более 140 дБ в среде происходит деформация капель высушиваемого материала, приводящая к разрушению мембраны бактерий.

Согласно полученным результатам УЗ воздействие неприменимо ни для распыления, ни для сушки кисломолочных продуктов. Однако воздействие УЗ колебаниями может быть рекомендовано для распылительной сушки термолабильных растительных экстрактов и лекарственных препаратов и на стадии испарения наряду с распылением. Это не только интенсифицирует процесс сушки, но и обеспечивает частичную стерилизацию продукта.

Заключение

В результате проведения экспериментальных исследований показано, что УЗ воздействие при распылительной сушке кисломолочных продуктов как на стадии распыления, так и на стадии взаимодействия капель с потоком сушильного агента не обеспечивает выживаемость микроорганизмов.

В частности, установлено:

1. Ультразвуковое распыление приводит к разрушению бактерий (число снижается более чем в 10 раз) в сравнении с пневматическим распылением.

2. Поскольку ультразвуковое распыление обеспечивает формирование факела распыла с малым разбросом размеров капель относительно среднего значения (практически полностью отсутствует мелкодисперсная фракция размером менее 10 мкм, трудно улавливаемая циклонами), оно может быть использовано для формирования капель с одновре-

менным снижением количества болезнетворных бактерий.

3. Для обеспечения повышенной скорости массообмена в условиях низкой температуры сушильного агента рабочая частота распылителя должна быть не ниже 60 кГц (средний диаметр формируемых капель не более 35 мкм).

4. Ультразвуковое воздействие на воздушно-капельную взвесь при взаимодействии капель с сушильным агентом приводит к сокращению численности бактерий до 180 раз и более (при уровне звукового давления в объеме сушильной камеры 140...152 дБ на частоте 22 кГц).

Таким образом, ультразвуковое воздействие неприменимо для сушки кисломолочных продуктов (бактериальных суспензий) вплоть до стадии взаимодействия капель с нагретым воздухом. Поэтому один из возможных путей повышения эффективности распылительной сушки бактериальных суспензий – уменьшение размеров распыляемых капель (чтобы увеличить поверхность контакта фаз и использовать меньшие температуры для испарения влаги) и дальнейшая ультразвуковая коагуляция частиц сухого продукта с целью повышения эффективности его улавливания. Для определения выживаемости микроорганизмов при УЗ коагуляции сухого продукта необходимы дальнейшие исследования.

УЗ воздействие может быть рекомендовано для сушки термолабильных растительных экстрактов и лекарственных препаратов, требующих стерилизации продукта.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-957.2014.8.

Список литературы

1. ГОСТ 10382-85. Консервы молочные. Продукты кисломолочные сухие. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2008. – 6 с.

2. Занданова, Т.Н. Симбиотическая закваска для производства курунги / Т.Н. Занданова, И.С. Хамагаева, Т.Е. Хурхесова // Пищевая промышленность. – 2007. – № 9.– С. 48–49.

3. Алексанян, И.Ю. Математическое моделирование тепломассопереноса при распылительной сушке растительных экстрактов / И.Ю. Алексанян, Ю.А. Максименко, Ю.С. Феклунова // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2013. – № 1. – С. 9–13.

4. Автоматизация технологических процессов при переработке сырья растительного происхождения / Ю.А. Максименко, Э.П. Дяченко, Ю.С. Феклунова, Э.Р. Теличкина // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2014. – № 3. – С. 21–29.

5. Войновский, А.А. Исследование влияния распылительной сушки на качественные характеристики биомассы Rhodotorula Rubra / А.А. Войновский // Фармацевтические и медицинские технологии, материалы междунар. науч.-практ. конф. – 2011. – С. 483.

6. Dobry, D.E. A model-based methodology for spray-drying process development / D.E. Dobry, D.M. Settel, J.M. Baumann, R.J. Ray, L.J. Graham, R.A. Beyerinck // J. Pharm. Innov. – 2009. – 4(3). – P. 133–142.

7. Fernandes, R.V.B. Influence of spray drying operating conditions on microencapsulated rosermary essential oil properties / R.V.B. Fernandes, S.V. Borges, D.A. Botrel // Cienc. Tecnol. Aliment. – Campinal, 2013. – 33. – P. 171–178.

8. Aundhia, C.J. Spray Drying in the Pharmaceutical Industry – A Review / C.J. Aundhia, J.A. Raval, M.M. Patel, N.V. Shah, S.P. Chauhan, G.U. Sailor, A.R. Javia, R.A. Mahashwari // Indo American Journal of Pharmaceutical Research. – 2011. – P. 125–138.

9. Semyonov, R.Sh. Using ultrasonic vacuum spray dryer to produce highly viable dry probiotics / R.Sh. Semyonov // LWT – Food Science and Technology. – 2011. – V. 44(9). – P. 1844–1852.

10. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности, сельском и домашнем хозяйстве / В.Н. Хмелев, Г.В. Леонов, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов;/ Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2007. – 400 с.

11. Khmelev, V.N. Revelation of optimum modes of ultrasonic influence for atomization of viscous liquids by mathematical modeling / V.N. Khmelev, R.N. Golykh, A.V. Shalunov, A.V. Shalunova, D.V. Genne // 13th International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM). – Novosibirsk: NSTU, 2012. – P. 114–123.

12. Разработка и исследование новых принципов построения мелкодисперсных ультразвуковых распылителей вязких жидкостей / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, Д.В. Генне, А.В. Шалунова, Р.Н. Голых // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – № 4. – С. 158–163.

13. Ramisetty, K.K. Investigations into ultrasound induced atomization / K.K. Ramisetty, A.B. Pandit, P.R. Gogate // Ultrasonics sonochemistry. – 2013. – V. 20(1). – P. 254–264.

14. Khmelev, V.N. Studies of ultrasonic dehydration efficiency / V.N. Khmelev, A.V. Shalunov, D.S. Abramenko, R.V. Barsukov, A.N. Lebedev // Journal of Zhejiang University SCIENCE A (Applied Physics & Engineering). – 2011. – V.12. – №.4. – P. 247–354.

15. Ультразвуковая сушка в пищевой промышленности / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, А.Н. Галахов, Р.В. Барсуков // Вестник алтайской науки. – 2012. – № 1. – С. 143–144.

16. Gallego-Juarez, J.A. Application of high-power ultrasound for dehydration of vegetables: processes and devices / J.A. Gallego-Juarez, E. Riera-Franco De Sarabia, G. Rodriguez-Corral, V.M. Acosta-Aparicio, A. Blanco // Drying Technology. – 2007. – 25(11). – P. 1893–1901.

17. ОАО «Модест» [Электронный ресурс]. – Каталог. Режим доступа: http://www.модест22.рф/catalog (Дата обращения: 06.10.2015).

18. Хмелев, В.Н. Разработка и исследование высокочастотного ультразвукового распылителя жидкости / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, А.В. Шалунова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. – № 4. – С. 212–215.

19. Ультразвуковая колебательная система для газовых сред: пат. 132000 Рос. Федерация: МПК B06B 1/00 (2006.01) / Хмелев В.Н., Галахов А.Н., Шалунов А.В., Нестеров В.А., Голых Р.Н.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ». – № 2013123940/28; заявл. 24.05.2013; опубл. 10.09.2013, Бюл. № 25. – 5 с.

20. Моделирование процесса формирования кавитационной области в вязких жидкостях для определения оптимального обрабатываемого технологического объема и режимов воздействия / В.Н. Хмелев, Р.Н. Голых, С.С. Хмелев, Р.В. Барсуков, А.В. Шалунов // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2010. – № 4 (22). – С. 58–62.

21. Silva, M.P. Methods of destroying bacterial spores / M.P. Silva, C.A. Pereira, J.C. Jinqueira, A.O.C. Jorge // Microbial pathogens and strategies for combating them: science, technology and education. – 2013. – Vol. 1. – P. 490–496.

22. Garcia, M.L. Effect of heat and ultrasonic waves on the survival of two strains of Bacillus subtilis / M.L. Garcia, J. Burgos, B. Sanz, J.A. Ordoňes // J. Appl. Bacteriol. – 1989. – 67. – P. 619–628.

23. Scouten, A.J. Combined effects of chemical, heat and ultrasound treatments to kill Salmonella and Escherichia coli O157:H7 on alfalfa seeds / A.J. Scouten, L.R. Beuchat // J. Appl. Microbiol. – 2002. – 92. – P. 668–674.

24. Skiba, E.A. Sterilization of Milk by Ultrasound / E.A. Skiba, V.N. Khmelev // International Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2007: Workshop Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2007. – P. 308–310.

25. Скиба, Е.А. Повышение термоустойчивости молока при его ультразвуковой стерилизации / Е.А. Скиба, Е.А. Дорофеева, В.Н. Хмелев // Товарный консалтинг и аудит потребительского рынка: материалы Всерос. науч.-практ. конф.: под ред. А.Л. Верещагина. – Бийск: АлтГТУ, 2006. – С. 36–39.

INFLUENCE OF ULTRASONIC TREATMENT ON BACTERIA PRESERVATION DURING SPRAY DRYING OF FERMENTED MILK PRODUCTS

V.N. Khmelev, A.V. Shalunov, R.N. Golykh*, V.A. Nesterov, R.S. Dorovskikh, E.A. Skiba, N.A. Shavyrkina

Biysk Technological Institute (branch),
Altai State Technical University named after I.I. Polzunova,
27, Trophimova Str., Biysk, 659305, Russia

**e-mail: grn@bti.secna.ru*

Received: 15.10.2015
Accepted: 05.11.2015

High demand for dry fermented milk products determines the relevance of the modernization of drying methods. The existing designs of spray dryers having the highest efficiency are not suitable for drying of fermented milk products because of strict limitations on allowable product temperature (commonly 40 – 45 deg. C) enabling to preserve the viability of microorganisms. The considered in the paper approach to the implementation of a low-temperature spray drying of fermented milk products is characterized by the use of ultrasonic treatment for spraying of raw materials and the interaction between the droplets formed by spraying and the stream of drying agent (air). Ultrasonic spraying of raw materials makes it possible to form an almost monodispersed spray jet (with an average droplet diameter equal to 31 μm), which prevents the entrainment of the product due to the absence of fine fraction and increases the productivity of the process at low temperatures. In turn, the application of ultrasonic vibrations at the stage of interaction between droplets and air intensifies the process of moisture evaporation (by increasing the diffusion coefficient), which makes it possible to reduce the drying temperature to a value not affecting the survival of the bacteria. A result of experimental studies have shown that ultrasonic exposure at spray drying of fermented milk products, both at the stage of spraying and at the stage of interaction of droplets with a stream of the drying agent, does not ensure the survival of microorganisms. Ultrasonic spraying of raw materials in the drying chamber reduces the number of bacteria by more than 10 times because of cavitation. Ultrasonic vibration exposure during evaporation of moisture from the droplets formed by spraying reduces the number of bacteria up to 180 times. The results obtained showed that ultrasonic treatment is not applicable to the spray drying of fermented milk products, but it may be recommended for the drying of thermolabile plant extracts and medicines to remove contaminating microorganisms.

Ultrasonic, ultrasonic drying, fermented milk product, ultrasonic spraying, lactobacilli, bifidobacteria

References

1. *GOST 10382-85. Konservy molochnye. Produkty kislomolochnye suhie. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard 10382-85. Canned milk. Fermented milk products, are dry. Technical conditions]. Moscow, Standardinform Publ., 2008. 6 p.

2. Zandanova T.V., Khamagaeva I.S., Khukhesova T.E. Simbioticheskaya zakvaska dlya proizvodstva kurungi [Symbiotic starters for the production of Kurung]. *Pishchevayapromyshlennost'* [Food industry], 2007, no. 9, pp. 48–49.

3. Alexanyan I.Y., Maximenko Y.A., Feklunova Y.S. Matematicheskoe modelirovanie teplomassoperenosa pri raspylitel'noy sushke rastitel'nyh ehkstraktov [Mathematical modeling of heat and mass transfer at spray-drying plant extracts]. *Astrakhan State Technical University Bulletin*. *Series*: *Control, computational technical and informatics*, 2013, no. 1, pp. 9–13.

4. Maximenko Y.A., Dyachenko E.P., Feklunova Y.S., Telichkina E.R. Avtomatizaciya tekhnologicheskih processov pri pererabotke syr'ya rastitel'nogo proiskhozhdeniya [Automation of technological processes in the processing of raw materials of plant origin]. *Astrakhan State Technical University Bulletin*. *Series*: *Control, computational technical and informatics*, 2014, no. 3, pp. 21–29.

5. Voynovskiy A.A. Issledovanie vliyaniya raspylitel'noy sushki na kachestvennye harakteristiki biomassy Rhodotorula Rubra [Investigation of the influence of spray drying on the qualitative characteristics of biomass Rhodotorula Rubra]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Farmatsevticheskie i meditsinskie tekhnologii»* [Proc. of the international scientific-practical conference "Pharmaceutical and medical technology"], 2011, 483 p.

6. Dobry D.E., Settel D.M., Baumann J.M., Ray R.J., Graham L.J., Beyerinck R.A. A model-based methodology for spray-drying process development. *J. Pharm. Innov.*, 2009, no. 4(3), pp. 133–142.

7. Fernandes R.V.B., Borges S.V., D.A. Botrel. Influence of spray drying operating conditions on microencapsulated rosermary essential oil properties. *Cienc. Tecnol. Aliment*, 2013, Iss. 33, pp. 171–178.

8. Aundhia C.J., Raval J.A., Patel M.M., Shah N.V., Chauhan S.P., Sailor G.U., Javia A.R., Mahashwari R.A. Spray Drying in the Pharmaceutical Industry – A Review. *Indo American Journal of Pharmaceutical Research*, 2011, pp. 125–138.

9. Semyonov R.Sh. Using ultrasonic vacuum spray dryer to produce highly viable dry probiotics. *LWT – Food Science and Technology*, 2011, vol. 44, no. 9, pp. 1844–1852.

10. Khmelev V.N., Leonov G.V., Barsukov R.V., Tsyganok S.N., Shalunov A.V. *Ul'trazvukovye mnogofunkcional'nye i specializirovannye apparaty dlya intensifikacii tekhnologicheskih processov v promyshlennosti, sel'skom i domashnem hozyajstve* [Ultrasonic Multifunctional and Specialized Equipment for Intensification of technological processes in industry, agriculture and households]. Biysk: Altai State Technical University Publ., 2007. 400 p.

11. Khmelev V.N., Golykh R.N., Shalunov A.V., Shalunova A.V., Genne D.V. Revelation of optimum modes of ultrasonic influence for atomization of viscous liquids by mathematical modeling. *13th International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM)*, 2012, pp. 114–123.

12. Khmelev V.N., Shalunov A.V., Genne D.V., Shalunova A.V., Golykh R.N. Razrabotka i issledovanie novyh principov postroeniya melkodispersnyh ul'trazvukovyh raspylitelej vyazkih zhidkostej [Development and research of new principles of fine ultrasonic nebulizers of viscous liquids]. *Tomsk Polytechnic University proceedings*, 2011, vol. 319, no. 4, pp. 158–163.

13. Ramisetty K.K., Pandit A.B., Gogate P.R.. Investigations into ultrasound induced atomization. *Ultrasonics sonochemistry*, 2013, vol. 20(1), pp. 254–264.

14. Khmelev V.N., Shalunov A.V., Abramenko D.S., Barsukov R.V., Lebedev A.N. Studies of ultrasonic dehydration efficiency. *Journal of Zhejiang University SCIENCE A (Applied Physics & Engineering)*, 2011, vol. 12, no. 4, pp. 247–354.

15. Khmelev V.N., Shalunov A.V., Galakhov A.N., Barsukov R.V. Ul'trazvukovaya sushka v pishchevoj promyshlennosti [Ultrasonic drying in the food industry]. *Altai science bulletin*, 2012, no. 1, pp. 143–144.

16. Gallego-Juarez J.A., Riera-Franco De Sarabia E., Rodriguez-Corral G., Acosta-Aparicio V.M., Blanco A. Application of high-power ultrasound for dehydration of vegetables: processes and devices. *Drying Technology*, 25(11), 2007, pp. 1893–1901.

17. JSC "Modest". *Catalog* [Catalogue]. Available at: http://www.модест22.рф/catalog. (accessed 06 October 2015).

18. Khmelev V.N., Shalunov A.V., Shalunova A.V. Razrabotka i issledovanie vysokochastotnogo ul'trazvukovogo raspylitelya zhidkosti [Development and research of high-frequency ultrasonic liquid atomizer]. *Science and engineering bulletin of the Volga region*, 2011, no. 4, pp. 212–215.

19. Khmelev V.N., Galakhov A.N., Shalunov A.V., Nesterov V.A., Golykh R.N. *Ul'trazvukovaya kolebatel'naya sistema dlya gazovykh sred* [Ultrasonic oscillation system for gaseous mediums]. Patent RF, no. 132000. 2013.

20. Khmelev V.N., Golykh R.N., Khmelev S.S., Barsukov R.V., Shalunov A.V. Modelirovanie processa formirovaniya kavitacionnoj oblasti v vyazkih zhidkostyah dlya opredeleniya optimal'nogo obrabatyvaemogo tekhnologicheskogo ob"ema i rezhimov vozdejstviya [Simulation of the formation of cavitation area in viscous fluids to determine the optimal processed technological volume and influence modes], *Tidings of higher educational institutions of Chernozem region*, 2012, no. 4 (22), pp. 58–62.

21. Silva M.P., Pereira C.A., Jinqueira J.C., Jorge A.O.C. Methods of destroying bacterial spores. *Microbial pathogens and strategies for combating them: science, technology and education*, 2013, vol. 1, pp. 490–496.

22. Garcia M.L., Burgos J., Sanz B., Ordoňes J.A.. Effect of heat and ultrasonic waves on the survival of two strains of Bacillus subtilis. *J. Appl. Bacteriol*, 1989, 67, pp. 619–628.

23. Scouten A.J., Beuchat L.R. Combined effects of chemical, heat and ultrasound treatments to kill Salmonella and Escherichia coli O157:H7 on alfalfa seeds. *J. Appl. Microbiol.*, 2002, 92, pp. 668–674.

24. Skiba E.A., Khmelev V.N. Sterilization of Milk by Ultrasound. *International Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2007: Workshop Proceedings*, 2007, pp. 308–310.

25. Skiba E.A., Dorofeeva E.A., Khmelev V.N. Povyshenie termoustojchivosti moloka pri ego ul'trazvukovoj sterilizacii [Increasing the heat stability of milk at its ultrasonic sterilization]. *Materialy Vserossiyskoy nauchno – prakticheskoy konferentsii «Tovarnyy konsalting i audit potrebitel'skogo rynka»* [Proc. of the scientific - practical conference "Product consulting and audit consumer market"], 2006, pp. 36–39.

Дополнительная информация / Additional Information

Влияние ультразвукового воздействия на сохранность бактерий при распылительной сушке кисломолочных продуктов / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, Р.Н. Голых, В.А. Нестеров, Р.С. Доровских, Е.А. Скиба, Н.А. Шавыркина // Техника и технология пищевых производств. – 2015. – Т. 39. – № 4. – С. 116–123.

Khmelev V.N., Shalunov A.V., Golykh R.N., Nesterov V.A., Dorovskikh R.S., Skiba E.A., Shavyrkina N.A. Influence of ultrasonic treatment on bacteria preservation during spray drying of fermented milk products. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2015, vol. 39, no. 4, pp. 116–123 (In Russ.)

Хмелев Владимир Николаевич
д-р техн. наук, профессор, заместитель директора по научной работе, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 659305, Россия, Алтайский край, г. Бийск, ул. Трофимова, 27

Vladimir N. Khmelev
Dr.Sci.(Eng.), Professor, Deputy Director for Scientific Work, Biysk Technological Institute (branch), Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, 27, Trophimova Str., Biysk, 659305, Russia

Шалунов Андрей Викторович
д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры «Методы и средства измерений и автоматизации», Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 659305, Россия, Алтайский край, г. Бийск, ул. Трофимова, 27

Andrey V. Shalunov
Dr.Sci.(Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Measuring and Automation Methods and Tools, Biysk Technological Institute (branch), Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, 27, Trophimova Str., Biysk, 659305, Russia

Голых Роман Николаевич
канд. техн. наук, старший научный сотрудник кафедры «Методы и средства измерений и автоматизации», Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 659305, Россия, Алтайский край, г. Бийск, ул. Трофимова, 27, тел.: +7 (3854) 43-25-70, e-mail: grn@bti.secna.ru

Roman N. Golykh
Cand.Sci.(Eng.), Senior Researcher of the Department of Measuring and Automation Methods and Tools, Biysk Technological Institute (branch), Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, 27, Trophimova Str., Biysk, 659305, Russia, phone: +7 (3854) 43-25-70, e-mail: grn@bti.secna.ru

Нестеров Виктор Александрович
канд. техн. наук, научный сотрудник кафедры «Методы и средства измерений и автоматизации», Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 659305, Россия, Алтайский край, г. Бийск, ул. Трофимова, 27

Victor A. Nesterov
Cand.Sci.(Eng.), Researcher of the Department of Measuring and Automation Methods and Tools, Biysk Technological Institute (branch), Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, 27, Trophimova Str., Biysk, 659305, Russia

Доровских Роман Сергеевич
аспирант, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 659305, Россия, Алтайский край, г. Бийск, ул. Трофимова, 27

Roman S. Dorovskikh
Postgraduate Student, Biysk Technological Institute (branch), Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, 27, Trophimova Str., Biysk, 659305, Russia

Скиба Екатерина Анатольевна
канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Биотехнология», Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 659305, Россия, Алтайский край, г. Бийск, ул. Трофимова, 27

Ekaterina A. Skiba
Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biotechnology, Biysk Technological Institute (branch), Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, 27, Trophimova Str., Biysk, 659305, Russia

Шавыркина Надежда Александровна
канд. техн. наук, доцент кафедры «Биотехнология», Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 659305, Россия, Алтайский край, г. Бийск, ул. Трофимова, 27

Nadezhda A. Shavyrkina
Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Biotechnology, Biysk Technological Institute (branch), Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, 27, Trophimova Str., Biysk, 659305, Russia