

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ УСКОРЕННОЙ СУШКИ МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ В ПОЛЕ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

С.А. Романчиков

*Сушка полуфабрикатов макаронных изделий сложный, многоступенчатый и продолжительный процесс, влияющий на качество готовых изделий. Понижение влажности структуры полуфабрикатов макаронных изделий путем увеличения температуры позволяет значительно снизить развитие микробиологических, биохимических и других процессов, а также существенно влияет на сроки хранения готовых изделий. В работе предложено устройство, работа которого основана на принципах высокотемпературной сушки макаронных изделий в поле инфракрасного излучения при непрерывном воздействии ультразвука. Рассмотрены и описаны особенности и преимущества модернизации сушильного шкафа. Предложенное техническое решение позволяет в автоматическом режиме осуществить ускорение процесса сушки, стабилизации и охлаждения полуфабрикатов макаронных изделий, без снижения их качественных характеристик. Модернизация сушильного шкафа обеспечивает ускорение интенсификации скорости высокотемпературной сушки на 24 – 26 %. Работа устройства основано на комплексном использовании ультразвуковых волн и инфракрасного излучения в процессе сушки, стабилизации и охлаждения макаронных полуфабрикатов. Комбинированное воздействие инфракрасного излучения с ультразвуком обеспечивает равномерное распределение влаги между частицами теста, позволяет быстрее увлажнять частицы дисперсной фазы. Это приводит к образованию расслабляющей клейковины, которая вызывает адгезийный и когезийный эффекты и упрочняет «склеивание» теста. Проведенные экспериментальные исследования позволили установить, что основными факторами ускорения сушки полуфабрикатов макаронных изделий являются повышенный коэффициент теплоотдачи и снижение вязкости жидкости от ультразвука. Воздействие ультразвука способствует ускорению перемещения влаги по капиллярам из глубины макаронного теста на поверхность и высокочастотным колебаниям кавитирующих пузырьков газа, находящихся в структуре изделий, которые выдавливают воду из капилляров. В процессе исследования установлены наиболее рациональные значения параметров уровня давления ультразвука и диапазона инфракрасного излучения.*

*Ключевые слова: устройство для сушки, ультразвуковой концентратор, инфракрасное излучение, полуфабрикат макаронных изделий, сушка.*

В рамках реализации Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности до 2020 года, «Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации», федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» [1, 2, 3], предложено техническое решение направленное на модернизацию технических средств (устройств) производство (ускоренную сушку) макаронных изделий, до влажности готовых изделий 11 %.

Уплотненное в процессе прессования макаронное тесто при сушке плохо отдает воду. Удаление влаги из макаронного теста позволяет снизить развитие микробиологи-

ческих, биохимических и других процессов. Процесс сушки макаронных полуфабрикатов достаточно энергоёмкий, он оказывает существенное влияние на качественные показатели готовой продукции. Основные режимы сушки макаронных изделий представлены в таблице 1 [4]. Процесс сушки включает следующие стадии предварительная сушка, отволаживание, окончательная сушка.

Под «режимом сушки полуфабрикатов макаронных изделий» понимается совокупность параметров сушильного воздуха (температура, влажность, скорость), длительность сушки, наличие периодов сушки и отволаживания, их продолжительность и частота чередования [5].

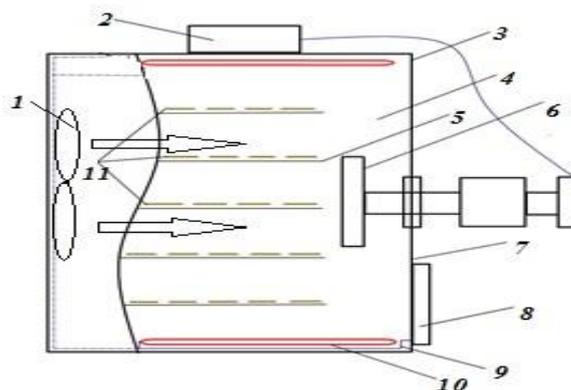
## УСТРОЙСТВО ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ УСКОРЕННОЙ СУШКИ МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ В ПОЛЕ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Для автоматизации и ускорения процесса сушки, стабилизации и охлаждения полуфабрикатов макаронных изделий, без

снижения их качественных характеристик, предложено «Устройство для ускоренной сушки макаронных изделий» (рис. 1) [6].

Таблица 1 - Основные режимы сушки макаронных полуфабрикатов

Режим сушки	Параметры сушки				
	Температура предварительной сушки, °С	Температура окончательной сушки, °С	Продолжительность, ч.		Относительная влажность, %
Низкотемпературная сушка	50-56	38-56	сушки	стабилизации	
Высокотемпературная сушка	55-67	60-82	10,5	2-2,5	66-80
Сверх высокотемпературный режим	Свыше 95	85	4,25	3	85



1 – вентилятор; 2 – генератор ультразвука; 3 – корпус пароконвектомата; 4 – сушильная камера; 5 – сетчатый противень; 6 – пьезоэлектрический ультразвуковой излучатель; 7 – дверь; 8 – блок управления; 9 – порт подключения к компьютеру; 10 – трубчатый электронагреватель

Рисунок 1 – Устройство для ускоренной сушки макаронных изделий:

Работа устройства основана на принципах высокотемпературной сушки макаронных изделий в поле инфракрасного излучения при

непрерывном уровне воздействии ультразвука.

С этой целью в конструкцию устройства для ускоренной сушки макаронных изделий предлагается включить пароконвектомат с неподвижно зафиксированным по центру его двери пьезоэлектрическим ультразвуковым излучателем, связанным с генератором ультразвука.



Рисунок 2 – Размещение полуфабрикатов при сушке в сушильной камере

Внутри сушильной камеры в верхней и нижней части устанавливаются трубчатые электронагреватели (ТЭНы), являющиеся источником инфракрасного излучения.

Процесс работы устройства сводится к следующему.

Отформованные на макаронном прессе в поле ультразвука макаронные полуфабрикаты помещаются на сетчатый противень (3) внутри сушильной камеры (4) (рис. 2).

Блок управления (8) запускает программу процесса сушки, стабилизации и охлаждения полуфабрикатов макаронных изделий. Через 15 – 45 секунд, в сушильной камере (4) автоматически устанавливается температура и влажность сушки полуфабрикатов. На первой стадии сушки включаются пьезоэлектрический ультразвуковой излучатель (5) и ТЭНы инфракрасного излучения (10). При этом, ТЭН размещенный в нижней части сушильной камеры, в 1,5-2 раза мощнее ТЭНа, расположенного в ее верхней части.

Работа пьезоэлектрического источника ультразвуковых колебаний, сводится к тому, что изменение размера (удлинение или укорочение) кристаллической пластинки (сегнетова соль, кварц и титанат бария) при воздействии высокочастотного электрического поля, создаваемого электрогенератором высокой частоты (в диапазоне до 3 МГц), создает пьезоэлектрический эффект (рис. 3) [7, 8].

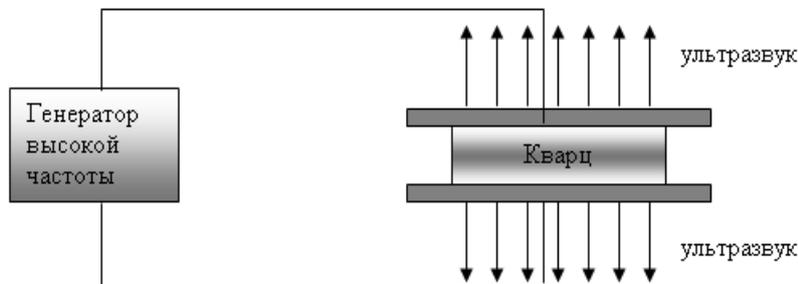


Рисунок 3 – Принципиальная схема ультразвукового пьезоэлектрического излучателя

Источником возникновения волн ультразвука являются элементы (частицы кристаллической пластинки, колеблющейся возле среднего положения их равновесия).

Колебательная скорость частиц определяется по следующему уравнению:

$$V = U \cdot \sin(2\pi ft + G), \quad (1)$$

где  $V$  – колебательная скорость;  $U$  – амплитуда;  $f$  – частота колебаний;  $t$  – время;  $G$  – разность фаз между переменным ультразвуковым давлением и колебательной скоростью.

Амплитуда колебательной скорости описывает максимальную скорость движения частиц при колебаниях. Она определяется с помощью амплитуды смещения частиц среды и частоты колебаний по уравнению:

$$U = 2\pi fA, \quad (2)$$

где  $A$  – амплитуда смещения частиц среды.

Для ускоренной сушки макаронных полуфабрикатов необходимо значение уровня звукового давления 140 дБ. В соответствии с этим, в качестве ультразвукового пьезоэлектрического излучателя предложен «Соловей» УЗАГС-0,3/22-О, модернизированный для ра-

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ УСКОРЕННОЙ СУШКИ МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ В ПОЛЕ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

боты в высоких температурах (до + 200 °С) за счет добавления водяной рубашки охлажде-

ния. Характеристики аппарата «Соловей» УЗАГС-0,3/22-О представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Характеристика аппарата «Соловей» УЗАГС-0,3/22-О

Модель	УЗАГС-0,3/22-Ов
Мощность, Вт	300
Диаметр излучателя, мм	340
Интенсивность колебаний, дБ	до 175

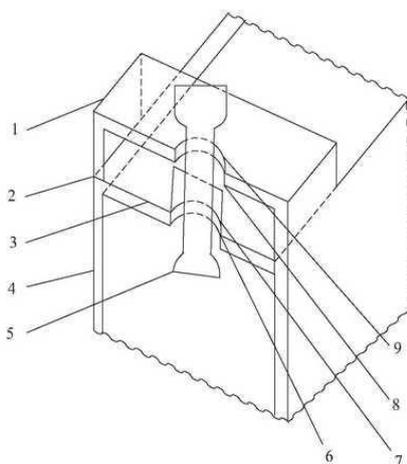
Колебательная система оснащена фазо-выравнивающим дисковым излучателем и дисковым излучателем с преимущественным направлением излучения, позволяющими воздействовать частотой  $22 \pm 1,65$  кГц.

Нагрев полуфабриката интенсифицируется физическими эффектами ультразвука. Энергия ультразвука интенсивно поглощается в коллоидных веществах макаронного теста и стимулирует быстрый его прогрев на всю глубину. Для ультразвуковой волны (УЗВ) не представляет препятствия слой паровоздушной смеси на поверхности полуфабриката. Нагрев полуфабриката при воздействии УЗВ в 2 – 2,5 раза интенсивнее, чем при передаче ему теплоты только от подогретого сушильного воздуха.

Тепловая энергия внутри сушильного шкафа затрачивается на объемное испарение воды, что ускоряет процесс сушки макаронных полуфабрикатов. Температура сушки и стабилизации макаронных изделий, а также необходимый режим влажности для второй стадии, в зависимости от вида макаронных изделий, устанавливается автоматически. При снижении влажности макаронных полуфабрикатов до 11 % [9], обогрев сушильной камеры прекращается.

Пьезоэлектрический ультразвуковой излучатель (6), продолжает работать, интенсифицируя процесс стабилизации и охлаждения макаронных полуфабрикатов до температуры 30-26 °С. В процессе стабилизации происходит выравнивание температурно-влажностных показателей по всему объему (слоям) и снижается величина остаточных механических напряжений в изделиях до приемлемого уровня, исключающего возможность ухудшения механической прочности. Охлаждение макаронных изделий до температуры окружающей среды осуществляется посредством принудительного обдува их воздухом аналогичной температуры в поле ультразвука.

Установка пьезоэлектрического ультразвукового излучателя в корпусе стеклянной дверцы пароконвектомата представляет определённую трудность, вызванную тем, что закаленное стекло под воздействием вибрации разрушается. Для повышения эффективности передачи ультразвуковых волн от пьезоэлектрического ультразвукового излучателя и сохранения целостности стекла дверцы предложено «Устройство для фиксации излучателя к стеклянной дверце» (рис. 4) [10].



1 – рамка; 2 – стекло; 3 – отверстие в стекле; 4 – пластина; 5 – отверстие в пластине; 6 – буртик; 7 – гайка; 8 – пьезоэлектрический ультразвуковой излучатель

Рисунок 4 – Устройство для фиксации излучателя к стеклянной дверце

В последующем происходит падение скорости сушки, она замедляется из-за создания градиента влажности. Колебания пьезоэлектрического ультразвукового излучателя позволяют уменьшить толщину гидродинамического пограничного слоя. Проникая внутрь макаронного полуфабриката ультразвуковые волны ускоряют процесс испарения. Сушка макаронных полуфабрикатов в поле ультразвука с использованием инфракрасного излучения позволяет достичь уменьшения толщины пограничного слоя, а так же создание быстро сменяющихся зон повышенного и пониженного давления, что положительно влияет на интенсификацию процесса переноса влаги из внутренних слоев в ходе сушки.

По мере испарения влаги из макаронных полуфабрикатов происходит их усадка на 6 – 8 %. Причем, наружные слои высыхают быстрее и уменьшаются в размерах, а внутренние слои сохраняют влажность. Вследствие этого в полуфабрикатах возникают внутренние напряжения сдвига, что приводит к сегрегации (расслоению) и образованию трещин.

Дополнительно следует отметить, что на начальном этапе сушки, пока влажность полуфабриката выше 20 %, его структура обладает пластичными свойствами, ослабляющими внутренние напряжения сдвига. Полуфабрикаты меняют свою форму, уменьшаясь в размерах, но не разрушаются. Дальнейшее снижение влажности полуфабрикатов с 20 до 16 %, способствует постепенному утрачиванию свойств пластичности структуры и приобретают упругие свойства, т. е. они становятся упруго-пластичным телом. При этом, следует учесть, что если внутренние напряжения сдвига превысит предельно допустимые значения, то появляются микротрещины, которые могут привести к разламыванию (лому) и крошению готовых изделий. В последующем, когда влажность снижается с 16 до 13,5 %, полуфабрикаты ведут себя как упруго-хрупкие тела и малейшая усадка ведет к их растрескиванию. При снижении влажности с 13,5 до 11 % переходит в зону упруго эластичных свойств к состоянию хрупкого тела.

в структуре полуфабрикатов происходит окончательная усадка.

Обработка макаронного теста ультразвуком вызывает незначительное перемещение набухших частиц, что приводит к более плотной их укладке в структуре теста и ведет к закрытию образующихся при сушке трещин, а также выдавливанию из них паров воды и

воздуха, что равносильно процессу вакуумирования теста на производстве.

При сушке полуфабрикатов в поле ультразвука, выдавленная на поверхность влага вместе с растворимыми белками и сахарами оставляет на поверхности тонкую герметизирующую пленку, улучшающую не только внешний вид изделий, но положительно влияющую на увеличение сроков их хранения.

Эффективность процесса сушки макаронных полуфабрикатов можно определить по остаточному влагосодержанию изделия и скорости удаления влаги в килограммах в секунду, отнесенные к массе исследуемой навески.

Влажность подлежащей высушиванию навески макарон, определяется с учетом начального ( $m_{нач.общ}$ ) и текущего ( $m_{тек}$ ) влагосодержания по формуле:

$$\mu = \frac{m_{тек}}{m_{нач.общ}} 100\% . \quad (3)$$

Среднюю скорость сушки в %/с можно определить по зависимости:

$$V_{\mu} = \frac{m_{нач.} - m_{тек}}{t_{эксп} m_{нач.общ}} 100\%, \quad \% / с, \quad (4)$$

где  $t_{эксп}$  – время цикла сушки, с.  $m_{нач}$  – масса образцов, измеренная непосредственно перед началом сушки.

Максимальная скорость в период постоянной скорости сушки определяется по формуле

$$V_{\max} = \left( \frac{d\mu}{d\tau} \right)_{\max} (\% / с). \quad (5)$$

К концу процесса при равновесной влажности скорость сушки равна 0.

Новизна данного устройства состоит в том, что его работа, в отличие от имеющихся аналогов, основана на комплексном использовании ультразвуковых волн и инфракрасного излучения в процессе сушки, стабилизации и охлаждения макаронных полуфабрикатов. К настоящему времени устройств, использующих в процессе сушки макаронных изделий ультразвук и инфракрасное излучение, не существует. Воздействие инфракрасного излучения совместно с ультразвуком обеспечивает равномерное распределение влаги между частицами теста; позволяет более быстро увлажнять частицы дисперсной фазы, что приводит образованию расслабляющей клейковины, которая вызывает адгезийный и

**ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1 2018**

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ УСКОРЕННОЙ СУШКИ МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ В ПОЛЕ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

когезийный эффект и прочее происходит «склеивание» теста.

Экспериментальные исследования показали, что основными факторами ускорения сушки макаронных полуфабрикатов являются повышенный коэффициент теплоотдачи и снижение вязкости жидкости от ультразвука. Это ускоряет перемещение влаги по капиллярам из глубины теста на поверхность и высокочастотные колебания кавитирующих пузырьков газа, находящихся в изделиях, которые выдавливают воду из капилляров [11].

Работоспособность предложенного устройства для ускоренной сушки макаронных изделий подтверждена проведением ряда экспериментальных исследований. В ре-

зультате проведенных экспериментов по ускоренной сушке макаронных полуфабрикатов выявлены наиболее рациональные значения параметров уровня звукового давления ультразвука (140 дБ при частоте  $22 + 1,65$  кГц) и диапазона инфракрасного излучения ( $1,5 < \lambda \leq 5,6$  мкм), а также установлены:

зависимость производительности устройства для ускоренной сушки по готовым макаронным изделиям от уровня звукового давления ультразвука в период сушки (рис. 5);

зависимость предела прочности на излом макаронных изделий влажностью 11 % (рис. 6).

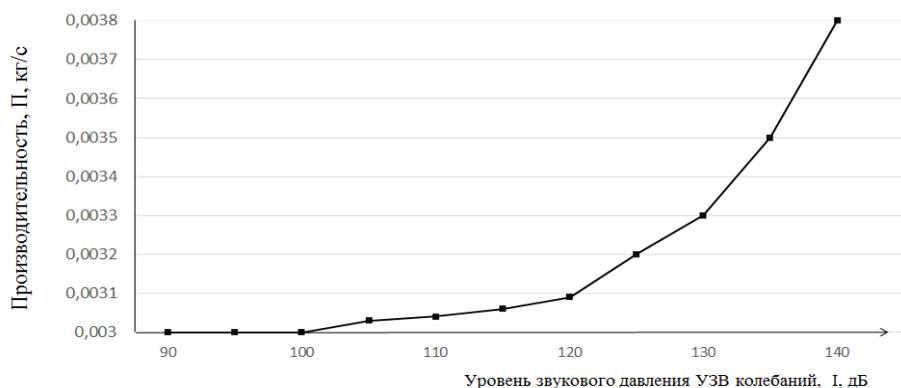


Рисунок 5 – Зависимость производительности устройства для ускоренной сушки по готовым макаронным изделиям от уровня давления ультразвука в период сушки

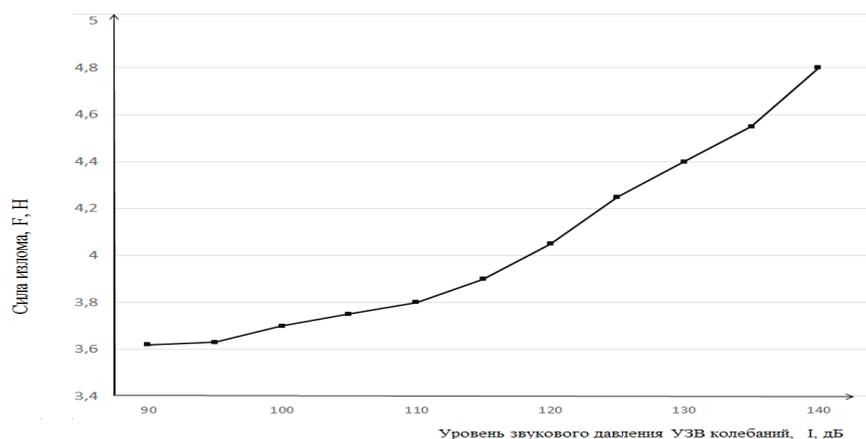


Рисунок 6 – Зависимость предела прочности на излом макаронных изделий влажностью 11 %

Характер кривых показывает, что ультразвуковой эффект весьма значителен и позволяет интенсифицировать процесс даже высокотемпературной сушки на 24 – 26 %.

Таким образом, сушка макаронных изделий в предложенном устройстве имеет ряд

преимуществ: сокращает время сушки; значительно ускоряете весь производственный цикл; улучшает качество готовых изделий; позволяет осуществить инактивацию процессов меланоидинообразования; улучшает натуральный бледно-кремовый цвет; улуч-

шает санитарно-гигиенические характеристики готовой продукции за счет пастеризации продукта; уменьшает вязкость воды (в капиллярах теста) и пограничный слой; выдавить воду и ее пары из капилляров теста за счет разрушения кавитирующих пузырьков газа; обеспечить подъем влаги из внутренних слоев к поверхности полуфабриката за счет радиационного давления; получить качественные макаронные изделия влажность 11 %.

Однако, для применения технического устройства необходимо разработать технологические принципы его использования в органах продовольственной службы Вооруженных сил Российской Федерации, других войск, воинских формирований и органов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распоряжение от 17.04.2012 года № 559-р «Об утверждении Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности до 2020 года»
2. Указ Президента РФ от 30 января 2010 г. N 120 "Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации".
3. Постановление Правительства РФ от 21.05.2013 N 426 (ред. от 26.12.2016). Федеральная целевая программа "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы".
4. Сушка макаронных изделий [Электронный ресурс] <http://mppnik.ru/publ/1020-sushka-makaronnyh-izdeliy.html>.
5. Иванова З.А, Нагурова Ф.Х., Шогенов Ю.М., Влияние режимов сушки на качественные показатели макаронных изделий /Современные проблемы науки и образования 2015. – № 4.
6. Пат. 167724 Российская Федерация, МПК А21С 9/00, Устройство для сушки макаронных изделий ускоренным способом [Текст]/ Николук О.И. (RU), Абдурахманов Э.Ф. (RU), Романчиков С.А. (RU), Верболюз Е.И. (RU), Антуфьев В.Т. (RU); заявитель и патентообладатель ФГКВ ОУ ВПО ВАМТО (RU). -№ 2016123879/13; заявл. 15.06.2016 г опубли. 10.01.2017 г. Бюл. № 1. – 10 с. : ил.
7. Хмелев В.Н., Голых Р.Н., Хмелев С.С., Шалун А.В. Режимы и условия эффективного ультразвукового воздействия на высоковязкие среды в технологических объемах. – Бийск: АГТУ, 2014. – 6 с.
8. Хмелев В. Н. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности [Текст] / В. Н. Хмелев [и др.]. – Барнаул: АлтГТУ, 2007. – 416 с.
9. ГОСТ 31743-2012 Изделия макаронные. Общие технические условия М.: Стандартиформ, 2013.
10. Пат. 170398 Российская Федерация, МПК E03B 3/00, Устройство для крепления ультразвукового концентратора к стеклянной дверце [Текст]/ Николук О.И. (RU), Безгин М.В. (RU), Романчиков С.А. (RU), Верболюз Е.И. (RU), Антуфьев В.Т. (RU); заявитель и

патентообладатель ФГКВ ОУ ВПО ВАМТО (RU). – № 2016129643/11; заявл. 11.03.2016 г. опубли. 24.04.2017 г. Бюл. № 12. – 10 с. : ил.

11. Акт проведения испытаний по комбинированной сушке макаронных изделий ускоренным способом, СПб, ИТМО, № 4, 2016. – 4 с

### References

1. Rasporyazhenie ot 17.04.2012 goda № 559-r «Ob utverzhdenii Strategii razvitiya pishchevoj i pererabatyvayushchej promyshlennosti do 2020 goda»
2. Ukaz Prezidenta RF ot 30 yanvarya 2010 g. N 120 "Ob utverzhdenii Doktriny prodovol'stvennoj bezopasnosti Rossijskoj Federacii".
3. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 21.05.2013 N 426 (red. ot 26.12.2016). Federal'naya celevaya programma "Issledovaniya i razrabotki po prioritnym napravleniyam razvitiya nauchno-tehnologicheskogo kompleksa Rossii na 2014 - 2020 gody".
4. Sushka makaronnyh izdelij [Elektronnyj resurs] <http://mppnik.ru/publ/1020-sushka-makaronnyh-izdeliy.html>.
5. Ivanova Z.A, Nagurova F.H., Shogenov YU.M., Vliyanie rezhimov sushki na kachestvennye pokazateli makaronnyh izdelij /Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya 2015. – № 4.
6. Pat. 167724 Rossijskaya Federaciya, MPK A21S 9/00, Ustrojstvo dlya sushki makaronnyh izdelij uskorennyim sposobom [Tekst]/ Nikolyuk O.I. (RU), Abdu-rahmanov E.H.F. (RU), Romanchikov S.A. (RU), Verboloz E.I. (RU), Antuf'ev V.T. (RU); zayavitel' i patentoobladatel' FGKVOU VPO VAMTO (RU). -№ 2016123879/13; zayavl. 15.06.2016 g opubl. 10.01.2017 g. Byul. № 1. – 10 p. : il.
7. Hmelev V.N., Golyh R.N., Hmelev S.S., Shalunov A.V. Rezhimy i usloviya ehffektivnogo ul'trazvukovogo vozdejstviya na vysokovyazkie sredy v tekhnologicheskikh ob'yomah. – Bijsk: AGTU, 2014. – 6 p.
8. Hmelev V. N. Ul'trazvukovye mnogofunkcional'nye i specializirovannye apparaty dlya intensivatsii tekhnologicheskikh processov v promyshlennosti [Tekst] / V. N. Hmelev [i dr.]. – Barnaul: AltGTU, 2007. – 416 s.
9. GOST 31743-2012 Izdeliya makaronnye. Obshchie tekhnicheskie usloviya M.: Standartinform, 2013.
10. Pat. 170398 Rossijskaya Federaciya, MPK E03B 3/00, Ustrojstvo dlya krepneniya ul'trazvukovogo koncentratora k steklyannoju dverce [Tekst]/ Nikolyuk O.I. (RU), Bezgin M.V. (RU), Romanchikov S.A. (RU), Verboloz E.I. (RU), Antuf'ev V.T. (RU); zayavitel' i patentoobladatel' FGKVOU VPO VAMTO (RU). – № 2016129643/11; zayavl. 11.03.2016 g. opubl. 24.04.2017 g. Byul. № 12. – 10 p. : il.
11. Akt provedeniya ispytaniy po kombinirovannoj sushke makaronnyh izdelij uskorennyim sposobom, SPb, ITMO, № 4, 2016. – 4 p.

**Романчиков Сергей Александрович,**  
кандидат технических наук, докторант, Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева. 199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова д.8. romanchkovspb1983@mail.ru, тел 8-911-209-49-67

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1 2018