

УДК 664

## Шкаф для термостимуляции хлеба при отрицательном давлении вакуума в поле ультразвука

Канд. техн. наук С. А. РОМАНЧИКОВ

romanchkovspb@mail.ru

Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулева

*Завершающим этапом производства хлеба является процесс его охлаждения. В целях ускорения процесса охлаждения свежее испеченного хлеба без снижения качественных показателей готовой продукции предложен шкаф для охлаждения хлеба в полевых условиях ШОХ-1. Принцип работы ШОХ-1 основан на использовании метода термостимуляции хлеба при отрицательном давлении вакуума в поле ультразвука. Сущность технического решения заключается в резком снижении температуры мякиша за счет использования капиллярного эффекта, образующегося внутри мякиша и обеспечивающего сокращение усушки. Практическая значимость конструктивного решения нацелена на сокращение времени остывания готовой продукции и обеспечение возможности выдачи ее потребителям без снижения качественных показателей. Термостимуляция свежее испеченного хлеба достигается за счет синергии эффектов отрицательного давления вакуума (0,05 МПа) и ультразвукового поля (интенсивность  $I=2,2$  Вт/см<sup>2</sup>, звуковое давление 145 дБ). Новизной предложенного шкафа ШОХ-1 является включение в его конструкцию теплоизолированной камеры охлаждения, вакуумирующего компрессора, ультразвукового генератора с ультразвуковым излучателем, воздухораспределительной системы, а также автоматизированной системы управления, что обеспечивает создание синергии эффектов отрицательного давления вакуума (0,05 МПа) и ультразвукового поля (интенсивность 2,2 Вт/см<sup>2</sup>) для ускорения процесса термостимуляции свежее испеченного хлеба. Экспериментальные исследования подтвердили правильность выбранных параметров отрицательного давления вакуума и интенсивности ультразвука, обеспечивающих сокращение времени охлаждения хлебобулочных изделий в 7...10 раз; снижение усушки на 30%, исключение процессов образования микрофлоры в готовых изделиях, что увеличивает срок хранения готовой продукции в 1,3...1,5 раза.*

**Ключевые слова:** хлебобулочное изделие, свежее испеченный хлеб, термостимуляция, отрицательное давление вакуума, ультразвук, готовый продукт.

### Информация о статье:

Поступила в редакцию 11.10.2018, принята к печати 28.11.2018

DOI: 10.17586/1606-4313-2018-17-4-22-27

Язык статьи — русский

### Ссылка для цитирования:

Романчиков С. А. Шкаф для термостимуляции хлеба при отрицательном давлении вакуума в поле ультразвука // Вестник Международной академии холода. 2018. № 4. С. 22–27.

## Cabinet for bread thermostimulation with negative vacuum pressure in the ultrasound field

Ph. D. S. A. ROMANCHIKOV

romanchkovspb@mail.ru

Military academy of material support of the general A. V. Khrulev

*The final stage of bread production is the process of its cooling. In order to speed up the process of cooling freshly baked bread without reducing the quality indicators of finished product a cabinet for cooling bread in the SHOH-1 field is proposed. The principle of operation of SHOH-1 is based on the use of the method of bread thermostimulation with negative vacuum pressure in the ultrasound field. The essence of the technical solution is a sharp decrease in the temperature of the crumb due to the use of the capillary effect formed inside the crumb and providing shrinkage reduction. The practical significance of the constructive solution is to reduce the cooling time of the finished product by 5...7 times and to ensure the possibility of its issuance to consumers without compromising quality indicators. Thermostimulation of freshly baked bread is achieved due to the synergy of negative vacuum pressure (0.05 MPa) and ultrasonic field effects (intensity  $I=2.2$  W/cm<sup>2</sup>, sound pressure 145 dB). The novelty of the proposed SHO-1 cabinet is the inclusion of a heat-insulated cooling chamber, vacuum compressor, ultrasonic generator with ultrasonic emitter, air distribution system, as well as an automated control system in its design, which creates a synergy of negative vacuum pressure (0.05 MPa) and ultrasonic field (intensity 2.2 W/cm<sup>2</sup>) to accelerate the process of thermostimulation of freshly baked bread. Experimental studies have confirmed the correctness of the selected parameters of negative vacuum pressure and the intensity of ultrasound, which ensure the shortening of the cooling time of bakery products by 7...10 times; the reduction of shrinkage by 30%, the elimination of*

*microflora formation processes in finished products. All these factors provide increasing the storage of finished products by 1.3...1.5 times.*

**Keywords:** bakery product, freshly baked bread, thermal stimulation, negative vacuum pressure, ultrasound, finished product.

**Article info:**

Received 11/10/2018, accepted 28/11/2018

DOI: 10.17586/1606-4313-2018-17-4-22-27

Article in Russian

**For citation:**

Romanchikov S. A. Cabinet for bread thermostimulation with negative vacuum pressure in the ultrasound field. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2018. No 4. p. 22–27.

**Введение**

Процесс охлаждения хлеба является сложным и важным этапом при его производстве, поскольку он требует создания необходимых специальных условий, таких как определенная влажность воздуха (~ 80...85%), температура окружающей среды (~ 27...35 °С), а также отсутствия посторонних запахов и ряда других факторов. Охлаждение хлеба, с использованием уже существующих, отличающихся значительной продолжительностью (~ 4...5 ч), технологий, приводит к усушке, увеличению его кислотности, развитию вредных бактерий, потере прочности корочки и другим нежелательным последствиям.

Целью данной работы является разработка принципиально нового технического решения по термостимуляции хлебобулочных изделий, основанного на использовании вепольной технологии (нескольких полей).

Актуальность разработки устройства обосновывается тем, что для выполнения задач по назначению, снижению активности воздействия противника на объекты производства хлеба будут требовать от них мобильности и ускорение процесса производства. Учитывая удаление подразделений от складов и баз обеспечения исходное сырье может отличаться от требований руководящих документов по качественным показателям, при этом задачу по своевременному обеспечению личного состава доброкачественной пищей никто не отменит. Апробация данного устройства планируется в районах Крайнего Севера и Арктической зоны при обеспечении хлебом группировок войск (сил) РФ.

**Описание и принцип действия ШОХ-1**

В целях повышения эффективности производства хлеба предлагается «Шкаф для охлаждения хлеба в полевых условиях ШОХ-1» [1]. Данное устройство обеспечивает ускорение процесса охлаждения свежеспеченного хлеба без снижения качественных показателей готовой продукции. Принцип работы ШОХ-1 основан на использовании метода термостимуляции хлеба при отрицательном давлении вакуума в поле ультразвука. Сущность технического решения заключается в резком снижении температуры мякиша за счет использования капиллярного эффекта, образующегося внутри мякиша и обеспечивающего сокращение усушки.

Термостимуляция свежеспеченного хлеба достигается за счет синергии эффектов отрицательного давления вакуума (0,05 МПа) и ультразвукового поля (интенсивность  $I=2,2$  Вт/см<sup>2</sup>, звуковое давление 145 дБ). Кон-

струкция шкафа (рис. 1) включает в себя теплоизолированную камеру охлаждения, вакуумирующий компрессор, ультразвуковой генератор с ультразвуковым излучателем, воздухораспределительную систему, а также автоматизированную систему управления.

Шкаф для охлаждения хлеба (ШОХ-1) работает следующим образом. Формованный хлеб, после выемки из форм (температура корки  $102\pm 2$  °С, мякиша  $97\pm 2$  °С), размещается на сетчатых подах внутри охлаждающей камеры. Включение блока управления 8 и запуск программы, обеспечивает подачу сигнала на вакуумный насос 14 для создания отрицательного давления вакуума 0,05 МПа в охлаждающей камере, а также обеспечивает включение генератора ультразвука 9 и подачу ультразвуковых волн (интенсивность 2,2 Вт/см<sup>2</sup>) в камеру. Создании принудительной конвекции внутри охлаждающей камеры обеспечивается включением вентилятора 6.

Конструктивные особенности шкафа для охлаждения хлеба сводятся к следующему. Камера охлаждения содержит дверь загрузки-выгрузки. Внутри теплоизоли-

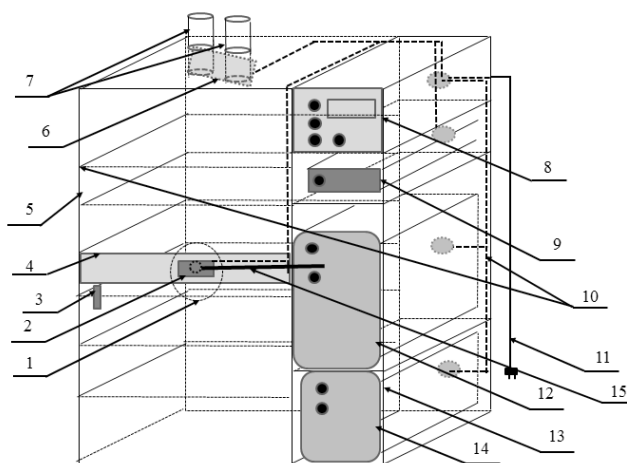


Рис. 1. Шкаф для охлаждения хлеба (ШОХ-1): 1 — ультразвуковой излучатель; 2 — ультразвуковой преобразователь; 3 — ручка; поз. 4 — крепежная планка; 5 — дверка; 6 — вентилятор; 7 — трубка; 8 — блок управления; 9 — генератор ультразвука; 10 — шина; 11 — кабель; 12 — компрессор; 13 — корпус; 14 — вакуумный насос; 15 — шланг

Fig. 1. Bread coling cabinet: 1 — ultrasonic source; 2 — ultrasonic transducer; 3 — position-sensing stick. 4 — securing bar; 5 — door; 6 — fan; 7 — duct; 8 — control panel; 9 — ultrasonic generator; 10 — busline; 11 — cable; 12 — compressor; 13 — housing; 14 — vacuum pump; 15 — flexible tubing

рованной камеры охлаждения расположены решетки-полки для охлаждаемых хлебобулочных изделий. Решетки-полки изготовлены в виде металлических прутьев, что обеспечивает равномерный доступ разреженного воздуха и ультразвука к горячему хлебу [2, 3].

При откачивании паров из охлаждающей камеры вакуумированием, изменяется равновесие между фактическим давлением и давлением их насыщенных паров. Интенсивное испарение влаги, тем более в присутствии ультразвука, который ее выдавливает на поверхность изделия, сопровождается отбором тепла из мякиша и вызывает его охлаждение. В отсутствие теплопритоков извне, испарение и кипение жидкости приводит к одновременному охлаждению каждой частицы мякиша до температуры насыщенных паров воды, соответствующей давлению в камере. Так как паропроницаемость мякиша считается высокой, то в них не возникают заметные градиенты давления и соответствующие им градиенты равновесной температуры.

Мякиш подвергается микроколебаниям на глубину до 10 см (при интенсивности ультразвука  $2,2 \text{ Вт/см}^2$ ), что способствует интенсивной отдаче тепла и равномерному распространению его внутри изделий. Под действием вакуума, градиента влажности и капиллярного эффекта происходит более быстрое перемещение влаги из внутренних слоев к поверхности хлеба. Влажность корки после выпечки быстро увеличивается, достигая значения равновесной влажности для остывшего хлеба ( $12\text{--}14\%$ ) [4, 5, 6].

Внутри влажного пористого хлебобулочного продукта создаются условия для изотропного объемного испарения и кипения жидкости. В отсутствие теплопритоков извне испарение и кипение жидкости приводит к одновременному охлаждению каждой частицы продукта до температуры насыщенных паров воды. Поэтому охлаждение хлеба под частичным вакуумом и в присутствии ультразвукового поля существенно ускоряется.

Передвижение одной волны возмущения способствует созданию вакуума у поверхности, и подосу новых порций воздуха-теплоносителя. Мякиш при этом охлаждается быстрее и равномернее, т. к. при озвучивании ультразвук многократно отражается от стен камеры и изделий, и проникает во все трещины и раковины заготовки, снижая термическое сопротивление тепло- и массопереносу. При этом важную роль играет звукокапиллярный эффект, который увеличивает массообмен с паровой средой аппарата.

При использовании вакуумно-ультразвукового охлаждения повышается объем продукта, обеспечивается равномерная пористость изделия, исключается появление микротрещин на корочке хлебобулочных изделий. При этом вкусовые и ароматические свойства изделий не ухудшаются. Более продолжительный срок хранения изделий обуславливается тем, что при вакуумном охлаждении происходит резкое снижение температуры. Известен тот факт, что максимальное развитие плесневых грибов и прочих микроорганизмов происходит при температуре от  $25$  до  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  [7–10]. При обычном охлаждении хлебобулочные изделия довольно продолжительное время (от 1 ч до 3 ч) находятся в этой среде [4].

Новизной технического решения является применение синергии эффектов отрицательного давления вакуума ( $0,05 \text{ МПа}$ ) и ультразвукового поля (интенсивность  $2,2 \text{ Вт/см}^2$ ) для ускорения процесса охлаждения свежеиспеченного хлеба в полевых условиях без снижения качественных показателей и потерь при усушке.

Практическая значимость технического решения заключается в значительном сокращении в  $5\text{--}7$  раз времени и обеспечении возможности выдачи готовой продукции потребителям без снижения качественных показателей. При этом не требуется дополнительного помещения для хранения готовой продукции.

### Обсуждение результатов исследования

В целях апробации и подтверждения эффективности предложенных технических решений, подтверждения эффективности предложенного технического решения была изготовлена экспериментальная установка, внешний вид которой представлен на рис. 2.

Исследования, проведенные с использованием установки для охлаждения хлеба, позволили получить результаты, по которым был составлен акт экспериментальных исследований (№ 4, 4–5.10.2018, ООО «СПТ»).

1. Установлено, что ультразвук (интенсивность  $2,2 \text{ Вт/см}^2$ ) обеспечивает продвижение тепла из центра мякиша по капиллярам. Отрицательное давление вакуума ( $0,05 \text{ МПа}$ ), внутри охлаждающей камеры позволяет обеспечить кипение жидкости при температуре  $70\text{--}85 \text{ }^\circ\text{C}$ .

По результатам исследований время на охлаждение хлеба до  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  в центре мякиша составило  $7\text{--}10$  мин, что ускоряет процесс. На рис. 3 приведены графики динамики температуры и влажности хлеба в зависимости от совместного воздействия отрицательного давления и ультразвука. Динамика графиков показывает, что, по сравнению с традиционной технологией, применение технического решения позволяет сократить время охлаждения хлеба в  $5\text{--}7$  раз.

2. Применение предлагаемого технического решения позволяет преодолеть критический этап формирования бактерий при температуре в  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ , что повышает качество хлеба и увеличивает срок его хранения. При этом охлажденный хлеб соответствует требованиям стандартов по: влажности (ГОСТ 21094–75); пористости (ГОСТ 5669–96); кислотности (ГОСТ 5670–96); количеству мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) (ГОСТ 10444.15–94); бактерий группы кишечной палочки (БГКП) (ГОСТ Р 52816–07), патогенных, в т. ч. сальмонелл (ГОСТ Р 52814–07); дрожжей и плесневых грибов (ГОСТ 10444.15–94). В таком состоянии изделие готово к нарезке и упаковке.

3. Выявлено, что при комбинированном воздействии вакуума и ультразвука получается плотная и очень тонкая корочка, препятствующая потере паров мякиша, определяющих в значительной степени аромат и вкус готового хлеба.

4. Установлена достаточная адаптивность предлагаемых технических решений к сложным условиям эксплуатации и удобство технического их обслуживания, а также надежность всех узлов и автоматики.



Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки для охлаждения хлеба

Fig. 2. Experimental bread cooling unit

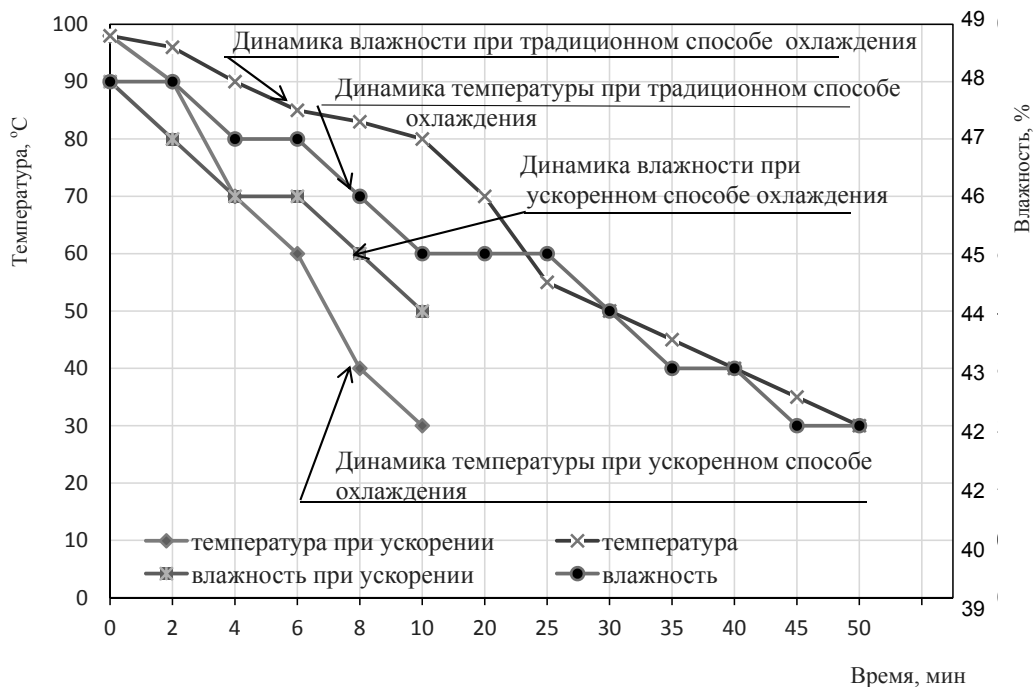


Рис. 3. Сравнительная характеристика динамики температуры и влажности хлеба в зависимости от совместного воздействия отрицательного давления и ультразвука

Fig. 3. The dynamics of bread temperature and moisture content depending on the combined action of negative pressure and ultrasound

## Технические характеристики шкафа для охлаждения хлеба

## Technical parameters of the bread cooling cabinet

Наименование параметра	Количественные показатели
Размер, мм	750×470×1800
Материал изготовления	Нержавеющая сталь
Производительность за 1 технологическую операцию (масса булки 1,2), кг	192
Время охлаждения, мин	7÷10
Площадь охлаждения, м <sup>2</sup>	0,9
Количество размещенных хлебных лотков, шт	10
Вакуумный насос	компрессор поршневой безмасляный FINI CIAO 25/185 с электроприводом
Генератор ультразвука	«Соловей» модель УЗАГС-0,3/22-О
Вентилятор	Лопастной
Компрессор	Fini Genius 230
Потребляемая мощность, кВт	
— вакуумный насос	1,1
— генератор ультразвука	0,7
— компрессор	1,1
— вентилятор	0,9
Потребляемая мощность, кВт	4
Питание от сети переменного тока, В	220±22
Частота тока, Гц	50

5. Обоснованы технические характеристики шкафа для охлаждения хлеба (таблица).

### Выводы

Основным направлением дальнейшего исследования являются подбор оптимальных параметров подачи ультразвука с учетом массы, влажности и сорта хлебобулочных изделий. Техническая разработка имеет большой практический интерес при производстве хлеба в особых условиях. При решении задач (выявлении оптимальных показателе) устройство ШОХ-1 будет

включено в комплект технологического оборудования разрабатываемого хлебозавода, для проведения войсковых испытаний.

Предлагаемое техническое решение, в отличие от существующего способа отличается тем, что обеспечивает сокращение сроков охлаждения хлебобулочных изделий 7...10 раз; снижение усушки готовых изделий на 30%, исключение процессов образования микрофлоры в готовых изделиях. Следствием этого является увеличение времени хранения готовой продукции в 1,3...1,5 раза и сокращение потребности в складских помещениях и стеллажном оборудовании на 38...47%.

### Литература

1. Патент РФ № 184226, МПК А21В 1/00, Шкаф для охлаждения хлеба в полевых условиях (ШОХ-1ПУ) / Романчиков С. А. (RU), Кононов А. В. (RU), Пахомов В. И. (RU) и др; заявитель и патентообладатель: федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулева» (RU). № 2018123096; заявл. 25.06.2018 г. опубл. 20.10.2018 г. Бюл. № 30. 140 с.
2. Патент РФ № 158128, МПК А21В 1/00, Устройство для производства хлебобулочных изделий / Романчиков С. А. (RU), Безгин М. В. (RU), Антуфьев В. Т. (RU), Иванова М. А. (RU), Николюк О. И. (RU), Стулов С. В. (RU), Пахомов В. И. (RU); заявитель и патентообладатель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулева» (RU). № 201500836/10; заявл. 12.01.2015 г. опубл. 20.12.2015 г. Бюл. № 35. 10 с.

### References

1. Patent No 184226 Russian Federation, IPC A21B 1/00, Cabinet for cooling bread in the field (SHOH-1PU) [Text] / Romanchikov S. A. (RU), Kononov A. V. (RU), Pakhomov V. I. (RU) and others; applicant and patent holder Federal State State Military Educational Establishment of Higher Professional Education «Military Academy of Material and Technical Support named after Army General A. V. Khruleva»(RU). No. 2018123096; declare 06.25.2018, publ. 10/20/2018 Bull. No. 30. 140 p. (in Russian)
2. Patent No 158128 Russian Federation, IPC A21B 1/00, Device for the production of bakery products / Romanchikov S. A. (RU), Bezgin, M. V. (RU), Antufiev V. T. (RU), Ivanova, MA (RU), Nikoljuk OI (RU), S. V. Stulov (RU), V. I. Pakhomov (RU); applicant and patent holder Federal State State Military Educational Establishment of Higher Professional Education «Military Academy of Material and Technical Support named after Army General A. V. Khruleva»(RU). No. 201500836/10; declare 01/12/2015, publ. 12.20.2015 Byul. No 35. 10 p. (in Russian)

3. Патент РФ № 2636759, МПК А21D 8/00 А21D 8/02. Способ производства мелкоштучных хлебобулочных изделий / Романчиков С. А. (RU); Безгин М. В. (RU); заявитель и патенто-обладатель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения» имени генерала армии А. В. Хрулева (RU). № 2017101776 приор 19.01.2017, опубл 28.11.2017 Бюл. № 34.
4. Романчиков С. А. Устройство для ультразвуковой ускоренной сушки макаронных изделий в поле инфракрасного излучения // Ползуновский вестник. 2018. № 1. С. 70–76.
5. Верболоз Е. И., Романчиков С. А. Особенности низкотемпературной тепловой обработки мясопродуктов в пароконвектомате с наложением ультразвуковых колебаний // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2017. № 3 (73). С. 35–41.
6. Хмелев В. Н., Барсуков Р. В., Леонов Г. В., Ильченко Е. В. Исследование работы электронного генератора ультразвукового технологического аппарата в импульсном режиме // Ползуновский вестник 2014. № 2. С. 194–198.
7. Хмелев В. Н. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности. Барнаул: АлтГТУ, 2007. 416 с.
8. Малахов Л. Н., Дьяченко С. В. Совершенствование основного технологического оборудования мини-пекарен // Пищевая промышленность. 2000. № 3. С. 60–61.
9. Галаган Т. В. Вакуумно-испарительное охлаждение пищевых продуктов // Потребительский рынок: качество и безопасность товаров и услуг: материалы МНПК. Орел, 2002. С. 93–94.
10. Малахов Н. Н., Горбачев Н. Б., Галаган Т. В., Меркушев С. И. Конвективное и вакуумно-испарительное охлаждение пищевых продуктов // Известия вузов. Пищевая технология. 2003. № 1. с 89–90.
3. Patent No 2636759 Russian Federation, IPC A21D 8/00 A21D 8/02 Method for the production of small-piece bakery products / Romanchikov S. A. (RU); Bezgin M. V. (RU); applicant and patent holder Federal State-Owned Military Educational Institution of Higher Education «Military Academy of Material and Technical Support» named after Army General A. V. Khruleva (RU). No 2017101776, prior 01/19/2017, publ 28.11.2017 Bull. No. 34. (in Russian)
4. Romanchikov S. A. A device for ultrasonic accelerated drying of pasta in the infrared radiation field. *Polzunovsky Vestnik*. 2018. No. 1. P. 70–76. (in Russian)
5. Verboloz E. I., Romanchikov S. A. Features of low-temperature heat treatment of meat products in a combi-steamer with the imposition of ultrasonic vibrations *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2017. No. 3 (73). pp. 35–41. (in Russian)
6. Khmelev V. N., Barsukov R. V., Leonov G. V., Ilchenko E. V. Study of the operation of an electronic generator of an ultrasonic technological apparatus in a pulsed mode. *Polzunovsky Vestnik*. 2014. No 2. p. 194–198. (in Russian)
7. Khmelev V. N. Ultrasonic multifunctional and specialized devices for the intensification of technological processes in industry. Barnaul: AltGTU, 2007. 416 p. (in Russian)
8. Malakhov L. N., Dyachenko S. V. Improvement of the main technological equipment of mini-bakeries. *Food industry*. 2000. No. 3. p. 60–61. (in Russian)
9. Galagan T. V. Vacuum-evaporative cooling of food. Materials of the international scientific-practical conference «Consumer market: quality and safety of goods and services.» Orel, 2002. p. 93–94. (in Russian)
10. Malakhov H. N., Gorbachev N. B., Galagan T. V., Merkushev S. I. Convective and evaporative cooling of food. *News of universities. Food technology*. 2003. No 1. P. 89–90. (in Russian)

### Сведения об авторе

#### Романчиков Сергей Александрович

к. т. н., докторант Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулева, 199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова 8, romanchkovspb@mail.ru

### Information about author

#### Romanchikov Sergei Aleksandrovich

Ph. D., doctoral candidate of Military academy of material support of the general A. V. Khrulev, 199034, Saint-Petersburg, nab. Makarova, 8, romanchkovspb@mail.ru



17-я Международная выставка оборудования и технологий для животноводства, молочного и мясного производств

## Молочная и мясная индустрия

19 февраля – 22 февраля 2019 года

<http://www.md-expo.ru>

#### Разделы выставки:

- ✓ Оборудование и технологии для выращивания и содержания сельскохозяйственных животных;
- ✓ Оборудование и технологии для производства кормов;
- ✓ Племенная продукция;
- ✓ Оборудование и технологии для производства молока и молочной продукции;
- ✓ Кормовые добавки и витамины. Ветпрепараты и инструменты;
- ✓ Оборудование и технологии для производства мясной продукции.

#### Место проведения:

Россия, Москва, МВЦ «Крокус Экспо», павильон 2

#### Организатор выставки: ITE Москва

+7 (499) 750-08-28, 750-08-30  
md@ite-expo.ru