

Научная статья / *Original article*

УДК 641.528.2

DOI: 10.31208/2618-7353-2022-20-73-81

**СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ  
И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ СВЧ  
ПРИ ДЕФРОСТАЦИИ МЯСНОГО СЫРЬЯ**

***COMBINED USE OF ULTRASONIC PROCESSING  
AND MICROWAVE ELECTRIC FIELD  
DURING MEAT RAW MATERIALS DEFROSTING***

<sup>1,2</sup>**Иван Ф. Горлов**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН

<sup>1</sup>**Алексей С. Мирошник**, кандидат технических наук

<sup>1</sup>**Юрий Д. Данилов**, кандидат технических наук

<sup>2</sup>**Светлана Е. Божкова**, кандидат биологических наук

<sup>1,2</sup>*Ivan F. Gorlov, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Academician of RAS*

<sup>1</sup>*Aleksei S. Miroshnik, PhD (Technology)*

<sup>1</sup>*Yuri D. Danilov, PhD (Technology)*

<sup>2</sup>*Svetlana E. Bozhkova, PhD (Biology)*

<sup>1</sup>Поволжский научно-исследовательский институт производства  
и переработки мясомолочной продукции, Волгоград

<sup>2</sup>Волгоградский государственный технический университет, Волгоград

<sup>1</sup>*Volga Region Research Institute of Manufacture  
and Processing of Meat-and-Milk Production, Volgograd, Russia*

<sup>2</sup>*Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia*

**Контактное лицо:** Мирошник Алексей Сергеевич, младший научный сотрудник отдела производства продукции животноводства, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции; 400066, Россия, Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6;  
e-mail: niimmp@mail.ru; тел.: 8 (8442) 39-11-42; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8817-6435>.

**Для цитирования:** Горлов И.Ф., Мирошник А.С., Данилов Ю.Д., Божкова С.Е. Совместное использование ультразвуковой обработки и электрического поля СВЧ при дефростации мясного сырья // Аграрно-пищевые инновации. 2022. Т. 20, № 4. С. 73-81. <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2022-20-73-81>.

**Principal Contact:** Aleksei S. Miroshnik, Junior Researcher, Livestock Production Department, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production; 6, Rokossovsky st., Volgograd, 400066, Russian Federation;  
e-mail: niimmp@mail.ru; tel.: +7 (8442) 39-11-42; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8817-6435>.

**For citation:** Gorlov I.F., Miroshnik A.S., Danilov Yu.D., Bozhkova S.E. Combined use of ultrasonic processing and microwave electric field during meat raw materials defrosting. *Agrarno-pishchevye innovacii = Agrarian-and-food innovations*. 2022;20(4):73-81. (In Russ.). <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2022-20-73-81>.

## Резюме

**Цель.** Оценка целесообразности совместного использования ультразвуковой и СВЧ-обработки при дефростации мясного сырья в аспекте эффективности и влияния на функционально-технологические свойства.

**Материалы и методы.** Дефростация и оценка органолептических и функционально-технологических свойств образцов мясного сырья выполнялись в условиях комплексно-аналитической лаборатории ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт про-

изводства и переработки мясомолочной продукции». Анализы качественных характеристик производились в соответствии с общепринятыми в пищевой промышленности методами и действующими национальными стандартами. Объектами исследования служили замороженные образцы свинины нежирной, грудки куриной, сердца свиного, печени говяжьей.

**Результаты.** В ходе исследования был изучен способ дефростации мясного сырья путём последовательной обработки полями СВЧ и ультразвуковыми колебаниями в растворе поваренной соли. Для получения релевантных результатов параллельно с ним анализировались и другие используемые в пищевой промышленности способы дефростации замороженного мясного сырья. Было выяснено, что совместное воздействие электромагнитного поля СВЧ и обработки ультразвуковыми волнами в водной среде на мясное сырьё во всех изученных случаях обладает синергическим эффектом, благодаря чему повышается скорость размораживания. По сравнению с иммерсионным способом в мясном сырьё, находящимся в поле ультразвука, накопление влаги происходит медленнее. Предположительно, это происходит за счёт ингибирования процессов гидратации на поверхности мясного сырья под действием ультразвуковой кавитации в жидкости.

**Заключение.** Предлагаемый способ размораживания можно считать перспективным в аспекте снижения потерь мясного сока. При этом ультразвуковая обработка препятствует процессу накопления избыточной влаги в сырьё. Замачивание в растворе поваренной соли позволяет повысить теплопередачу и тем самым избежать локальных перегревов поверхности, и даже увеличивать мощность электромагнитного поля СВЧ. В то же время такого рода обработка приводит к незначительному росту твердости и потемнению поверхности, что ограничивает возможности использования сырья.

**Ключевые слова:** размораживание, потери массы, мясные субпродукты, мясо птицы, свинина нежирная, органолептическая оценка, функционально-технологические показатели

### **Abstract**

**Purpose.** *Combined use of ultrasonic and microwave treatment potential evaluation in the meat raw materials defrosting in terms of efficiency and impact on functional and technological properties.*

**Materials and Methods.** *Defrosting and evaluation of organoleptic and functional-technological properties of meat raw materials samples were performed in conditions of the complex analytical laboratory of Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-And-Milk Production. Analyses of qualitative characteristics were carried out in accordance with generally accepted methods in the food industry and actual national standards. The objects of the study were frozen samples of lean pork, chicken breast meat, pork heart, beef liver.*

**Results.** *In the research, a defrosting meat raw materials method, based on successive processing with microwave fields and ultrasonic vibrations in a solution of sodium chloride was studied. To obtain relevant results, other methods of defrosting frozen meat raw materials used in the food industry were also analyzed. It was found that the combined effect of the microwave electromagnetic field and ultrasonic treatment in an aqueous medium on meat raw materials in all the studied cases has a synergistic effect, thereby increasing the rate of defrosting. In comparison with the immersion method in meat raw materials located in the ultrasound field, moisture accumulation is slower. Supposedly, this occurs due to the hydration processes inhibition on the meat raw materials surface under the effect of ultrasonic cavitation in a liquid.*

**Conclusion.** *The proposed method of defrosting can be considered promising in terms of reducing weight loss of meat raw materials. At the same time, ultrasonic treatment prevents the accumulation of excess moisture. Soaking in a solution of sodium chloride makes it possible to increase heat transfer and thereby avoid local overheating of the surface, and even increase the power of the mi-*

*crowave electromagnetic field. At the same time, this type of processing leads to a insignificant increase in hardness and darkening of the surface, which limits the raw materials possibilities use.*

**Keywords:** *defrosting, weight loss, meat by-products, poultry meat, lean pork, organoleptic evaluation, functional and technological indicators*

**Введение.** Наиболее распространенным до настоящего времени способом консервирования мясного сырья, предотвращающим микробиологическую порчу и замедляющим процессы окисления, является замораживание (Ишевский А.Л. и Давыдов И.А., 2017; Литвинова Е.В. и др., 2020). Этот способ обработки пищевых систем неразрывно связан с теплопередачей и фазовыми переходами свободной влаги, из-за чего обладает рядом недостатков (Горбунова Н.А., 2016).

Медленный процесс передачи тепловой энергии из толщи сырья на поверхность и наоборот требует создания значительного температурного дифференциала (Антуфьев В.Т. и Бычихин О.В., 2011; Ивашов В.И. и др., 2014). Если при замораживании его наличие не подразумевает значительных негативных изменений структуры тканей, то при дефростации локальное повышение температуры может приводить к денатурации белков, росту нежелательной микрофлоры и активизации ферментов, что приводит к ухудшению функционально-технологических свойств мясного сырья (Dolatowski ZJ et al., 2007; Fulladosa E et al., 2013).

Размораживание также неизбежно приводит к потерям мясного сока, как правило, увеличивающимся по мере уменьшения продолжительности применяемого метода. В то же время увеличение длительности размораживания негативно сказывается на структуре мышечной ткани (Ивашов В.И. и др., 2014; Позняковский В.М., 2015).

Так, поиск оптимальных путей, методов и режимов дефростации, в том числе с использованием различных теплоносителей и механизмов теплопередачи, позволяющих получать оптимальные органолептические и функционально-технологические показатели мясного сырья, был и остается актуальной задачей как для ученых, так и для технологов мясоперерабатывающих производств (Leong T et al., 2011; Chandrapala J et al., 2012; Козаченко А.В. и Демченко В.А., 2017; Warner RD et al., 2022).

Целью работы является оценка целесообразности совместного использования ультразвуковой и СВЧ-обработки при дефростации мясного сырья в аспекте эффективности и влияния на функционально-технологические свойства.

**Материалы и методы.** Исследования образцов мясного сырья выполняли в условиях комплексной аналитической лаборатории Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции». Объектами исследования служили замороженные образцы свинины нежирной, грудки куриной, сердца свиного, печени говяжьей массой от 100 до 150 г.

В рамках работы изучались следующие способы дефростации мясного сырья:

– комбинированный (путём последовательной обработки полями СВЧ мощностью 300 Вт в течение 1 минуты и ультразвука в 2%-ном растворе поваренной соли;  $t = 6^{\circ}\text{C}$ ;  $\tau = 15$  минут);

– двухстадийная в воздушной среде;

– иммерсионный (путём погружения в 2%-ный раствор NaCl;  $t = 6^{\circ}\text{C}$ );

– путем двухстадийной обработки СВЧ излучением мощностью 800 Вт с длительностью экспозиции 1,5 минуты (СВЧ800);

– путем обработки СВЧ излучением мощностью 300 Вт (СВЧ300);

– иммерсионный с обработкой УЗ-излучением (УЗ).

Контрольное размораживание осуществлялось путём выдержки при температуре 2-4°C. Мясное сырьё считалось размороженным при достижении температуры в толще образца  $4,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ .

В качестве источника ультразвукового излучения использовалась ультразвуковая ванна с цифровым управлением МЕГЕОН 76004 (рисунок 1).



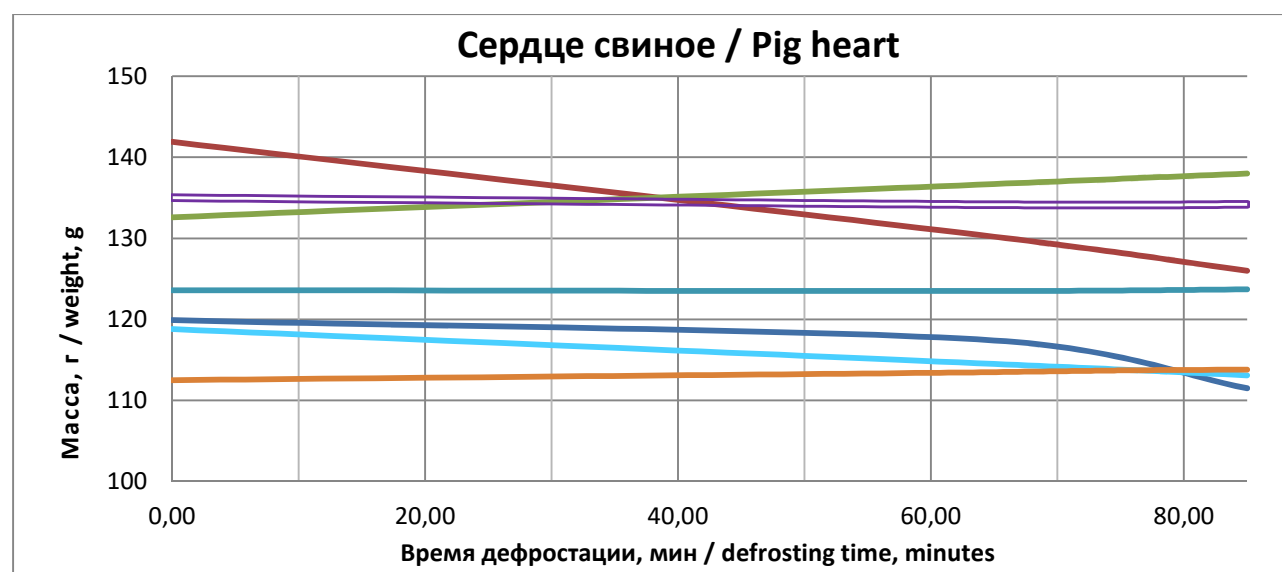
Рисунок 1. Ультразвуковая ванна МЕГЕОН 76004

Figure 1. MEGEON 76004 Ultrasonic bath

Мощность излучателя составляла 50 Вт при частоте 40 кГц. Экспериментальные данные обрабатывались с использованием табличного процессора Microsoft Excel, входящего в пакет Microsoft Office 2010. Определение потерь при размораживании замороженного мяса кур осуществляли в соответствии с ГОСТ 31467-2012. Отбор и подготовку проб проводили согласно требованиям ГОСТ Р 51447-99.

**Результаты и обсуждение.** В ходе опыта помимо комбинированного также изучались и другие используемые в пищевой промышленности способы дефростации замороженного мясного сырья для получения релевантных результатов.

Было выяснено, что совместное воздействие электромагнитного поля СВЧ и обработки ультразвуковыми волнами в водной среде на мясное сырьё во всех изученных случаях обладает синергическим эффектом и по интенсивности размораживания превосходит УЗ, СВЧ300 и иммерсионный способ. Следует отметить, что по сравнению с последним в мясном сырьё, обработанном УЗ и комбинированным способом, накопление влаги происходит медленнее. Предположительно, это происходит за счёт ингибирования процессов гидратации на поверхности мясного сырья под действием ультразвуковой кавитации в жидкости. Динамика изменения массы при размораживании отражена на рисунке 2.



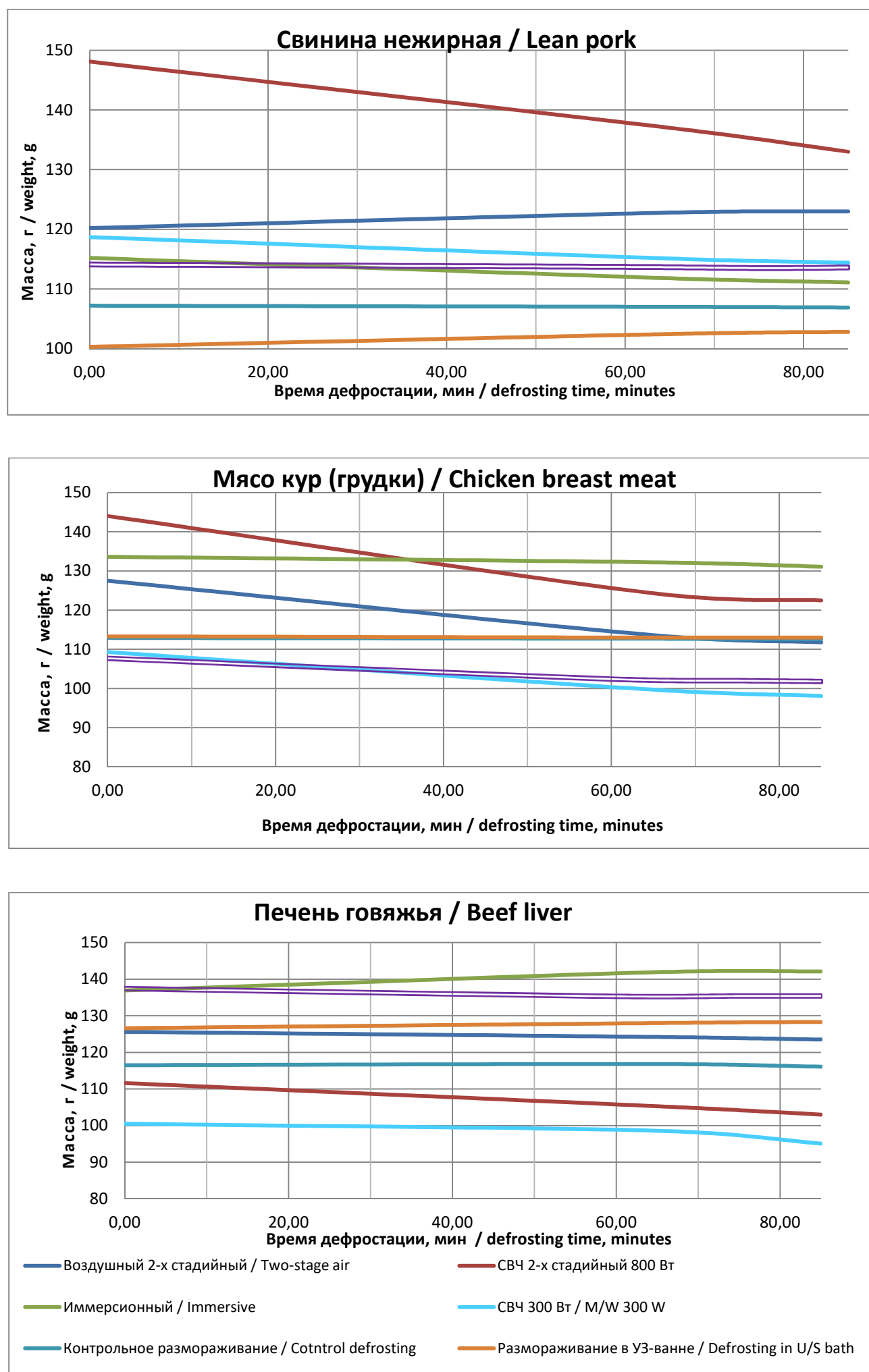


Рисунок 2. Изменение массы при дефростации

Figure 2. Weight change during defrosting

Как видно из графиков, приведенных на рисунке 2, потери мясного сока наиболее выражены в случае мяса кур. Более того, для образцов этого мяса имело место нехарактерное увеличение массы при использовании способа иммерсионной дефростации, что в совокупности указывает на наличие технологически добавленной влаги.



Следует отметить появление корочки подсыхания в образцах мяса кур и печени говяжьей уже после первой экспозиции и нарушение целостности структуры при обработке СВЧ излучением мощностью 800 Вт, что можно видеть на рисунке 3.



Печень говяжья



Мясо куриное (грудка)

**Рисунок 3.** Изменения мясного сырья при СВЧ-обработке субоптимальной мощностью  
*Figure 3. Changes in meat raw materials during microwave processing of suboptimal power*

В случае комбинированного способа признаков деструкции белка ни в одном из исследованных вариантов не выявлено. Размораживание сырья наблюдается уже после получаса после начала дефростации, что на 10 минут быстрее, чем в случае СВЧ300. Это можно объяснить более интенсивной теплопередачей как на поверхности, так и в толще сырья вследствие кавитации. Одновременно с этим наблюдалось повышение усилия резания и незначительное потемнение образцов, дефростируемых путем погружения в соляной раствор, которое сохраняется после термической обработки путем варки до достижения температуры в центре образца 72°C (рисунок 4).



**Рисунок 4.** Потемнение поверхности сердца свиного при дефростации в растворе поваренной соли  
*Figure 4. Darkening of the pig heart when defrosting using sodium chloride solution*

У сырого термически необработанного сырья снижалась выраженность мясного аромата, что ограничивает возможности его использования и является основным недостатком способа.

**Заключение.** Предлагаемый способ размораживания можно считать перспективным в аспекте снижения потерь мясного сока. При этом ультразвуковая обработка препятствует процессу накопления избыточной влаги в сырье. Замачивание в растворе поваренной соли позволяет повысить теплопередачу и тем самым избежать локальных перегревов поверхности, и даже увеличивать мощность электромагнитного поля СВЧ. В то же время такого рода обработка приводит к незначительному росту твердости и потемнению поверхности, что ограничивает возможности использования сырья. Получение практически значимых результатов требует масштабирования и апробации способа в условиях производственного цеха, а также проведения дальнейших исследований в данной области.

#### Список источников

1. Антуфьев В.Т., Бычихин О.В. Эффективность дефростации замороженного блока методом электрогидравлического удара // Научный журнал НИУ ИТМО. 2011. № 2. С. 248-253.
2. Горбунова Н.А. Альтернативные технологии – ультразвук в мясной промышленности (по материалам зарубежной литературы) // Все о мясе. 2016. № 2. С. 37-41.
3. Ивашов В.И., Захаров А.Н., Лисицын А.Б., Каповский Б.Р., Кожевникова О.Е. Современная практика переработки замороженного мясного сырья // Все о мясе. 2014. № 2. С. 24-29.
4. Ишевский А.Л., Давыдов И.А. Замораживание как метод консервирования пищевых продуктов // Теория и практика переработки мяса. 2017. № 2. С. 43-59. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2017-2-2-43-59>.
5. Козаченко А.В., Демченко В.А. Исследование размораживания рыбного филе в поле ультразвука // Новые технологии. 2017. № 4. С. 43-53.
6. Литвинова Е.В., Артамонова М.П., Бухтеева Ю.М. Сравнительная оценка способов замораживания мясного сырья с различным характером автолиза // Health, Food & Biotechnology. 2020. № 2. С. 103-115. <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i2.s275>.
7. Позняковский В.М. Безопасность продовольственных товаров (с основами нутрициологии). М.: Инфра-М, 2015. 271 с.
8. Chandrapala J, Oliver C, Kentish S, Ashokkumar M. Ultrasonics in food processing, Ultrason // Sonochem. 2012. № 5. P. 975-983. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2012.01.010e>.
9. Dolatowski ZJ, Stadnik J, Stasiak D. Application of ultrasound in food technology // Acta Sci. Pol. 2007. № 3. P. 89-99.
10. Fulladosa E, De Prados M, García-Perez JV, Benedito J, Muñoz I, Arnau J, Gou P. Determination of dry-cured ham composition using X-ray absorptiometry and ultrasound technologies // 59th International Congress of Meat Science and Technology. Izmir, 2013. S7B-3.
11. Leong T, Ashokkumar M, Kentish S. The fundamental of power ultrasound. A review // Acoustics Australia. 2011. № 2. P. 54-63.
12. Warner RD, Wheeler TL, Minh Ha, Xin Li, Alaa El-Din Bekhit, Morton J, Vaskoska R, Dunshea FR, Rui Liu, Purslow P, Wangang Zhang. Meat tenderness: advances in biology, biochemistry, molecular mechanisms and new technologies // Meat Science. 2022. Vol. 185. P. 108657. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108657>.

### References

1. Antufyev VT, Bychikhin OV. Efficiency of frozen block defrosting by electrohydraulic shock method. *Nauchnyj zhurnal NIU ITMO = Scientific journal of NRU ITMO*. 2011;(2):248-253. (In Russ.).
2. Gorbunova NA. Alternative technologies – ultrasound in the meat industry (based on materials of foreign literature). *Vse o myase = All about meat*. 2016;(2):37-41. (In Russ.).
3. Ivashov VI, Zakharov AN, Lisitsyn AB, Kapovsky BR, Kozhevnikova OE. Modern practice of processing frozen meat raw materials. *Vse o myase = All about meat*. 2014;(2):24-29. (In Russ.).
4. Ishevskiy AL, Davydov IA. Freezing as a method of food preservation. *Theory and practice of meat processing*. 2017;(2):43-59. (In Russ.). <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2017-2-2-43-59>.
5. Kozachenko AV, Demchenko VA. Study of fish fillet defrosting in the ultrasonic field. *Novyte tekhnologii = New technologies*. 2017;(4):43-53. (In Russ.).
6. Litvinova EV, Artamonova MP, Bukhteeva YuM. Comparative evaluation of methods for freezing raw meat with different nature of autolysis. *Health, Food & Biotechnology*. 2020;(2):103-115. (In Russ.). <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i2.s275>.
7. Poznyakovskiy VM. Food safety (with the basics of nutrition). M.: Infra-M Publ.; 2015. 271 p. (In Russ.).
8. Chandrapala J, Oliver C, Kentish S, Ashokkumar M. Ultrasonics in food processing, Ultrasound. *Sonochem*. 2012;(5):975-983. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2012.01.010e>.
9. Dolatowski ZJ, Stadnik J, Stasiak D. Application of ultrasound in food technology. *Acta Sci. Pol.* 2007;(3):89-99.
10. Fulladosa E, De Prados M, García-Perez JV, Benedito J, Muñoz I, Arnau J, Gou P. Determination of dry-cured ham composition using X-ray absorptiometry and ultrasound technologies. *59th International Congress of Meat Science and Technology*. Izmir, 2013. S7B-3.
11. Leong T, Ashokkumar M, Kentish S. The fundamental of power ultrasound. A review. *Acoustics Australia*. 2011;(2):54-63.
12. Warner RD, Wheeler TL, Minh Ha, Xin Li, Alaa El-Din Bekhit, Morton J, Vaskoska R, Dunshea FR, Rui Liu, Purslow P, Wangang Zhang. Meat tenderness: advances in biology, biochemistry, molecular mechanisms and new technologies. *Meat Science*. 2022;(185):108657. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108657>.

**Вклад авторов:** Иван Ф. Горлов: постановка опыта и контроль проведения научного исследования на всех стадиях его проведения в условиях комплексной аналитической лаборатории ГНУ НИИММП; Алексей С. Мирошник: проведение исследований, отбор проб, обработка и анализ полученных результатов, оформление рукописи; Юрий Д. Данилов: анализ результатов, их графическое представление и формулировка выводов; Светлана Е. Божкова: анализ результатов исследования, подготовка рукописи к опубликованию. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность за плагиат и самоплагиат.

**Contribution of the authors:** Ivan F. Gorlov: experiment planning and control of scientific research at all stages of its implementation in the integrated analytical laboratory of VRIMMP; Alexei S. Miroshnik: research conducting, sampling, processing and analysis of obtained results,



*the experiment description; Yuri D. Danilov: the results analysis, their graphical representation and formulation of conclusions; Svetlana E. Bozhkova: the results analysis, preparation the manuscript. All authors participated equally in writing the manuscript and are responsible for plagiarism and self-plagiarism.*

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** *The authors declare no conflict of interest.*

**Информация об авторах (за исключением контактного лица):**

**Горлов Иван Федорович** – <sup>1</sup>главный научный сотрудник отдела производства продукции животноводства, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции; 400066, Россия, Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6; <sup>2</sup>заведующий кафедрой технологий пищевых производств, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Россия, Волгоград, пр-т им. Ленина, д. 28; e-mail: niimmp@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8683-8159>;

**Данилов Юрий Дмитриевич** – младший научный сотрудник отдела производства продукции животноводства, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции; 400066, Россия, Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6; e-mail: niimmp@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6157-4479>;

**Божкова Светлана Евгеньевна** – доцент кафедры технологии пищевых производств, Волгоградский государственный технический университет; 400005, Россия, Волгоград, пр. Ленина, д. 28; e-mail: bozhkova@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9992-3515>.

**Information about the authors (excluding the contact person):**

**Ivan F. Gorlov** – <sup>1</sup>Chief Researcher, Livestock Production Department, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production; 6, Rokossovsky st., Volgograd, 400066, Russian Federation; <sup>2</sup>Head of Department of Food Production Technologies, Volgograd State Technical University; 28, Lenin Av., Volgograd, 400005, Russian Federation; e-mail: niimmp@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8683-8159>;

**Yuri D. Danilov** – Junior Researcher, Livestock Production Department, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production; 6, Rokossovsky st., Volgograd, 400066, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6157-4479>;

**Svetlana E. Bozhkova** – Associate Professor of the Department of Food Production Technology, Volgograd State Technical University; Volgograd State Technical University; 28, Lenin Av., Volgograd, 400005, Russian Federation; e-mail: bozhkova@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9992-3515>.

Статья поступила в редакцию / *The article was submitted:* 05.12.2022;  
одобрена после рецензирования / *approved after reviewing:* 26.12.2022;  
принята к публикации / *accepted for publication:* 28.12.2022