

ТЕХНИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА УСКОРЕНИЯ ТЕНДЕРИЗАЦИИ И ПОСОЛА МЯСНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

Абдурахманов Эльшан Фараиз оглы

В целях повышения эффективности производства мясных блюд, сохранения пищевой ценности исходного сырья предложена техническая разработка устройства для тендеризации мясных полуфабрикатов (УТМП-1). Его принцип работы основан на использовании метода ударных волн для равномерного размягчения межмышечных соединительных тканей и сухожилий структуры мясного полуфабриката при сохранении питательных веществ исходного сырья. Продолжительность разряда может регулироваться ступенчато в пределах 50–100 мкс путем ступенчатого изменения мощности емкости накопительного конденсатора установки. Электрогидравлический удар от искры создает высокое пульсирующее давление как в рассоле, так и в мясном соке порционных кусков, что разрушающе действует на структуру мяса. Давление в зоне искрового разряда и на некотором удалении от нее (2-3 см) может достигать нескольких десятков кгс/см², что существенно превышает прочность не только мякоти, но и сухожилий и даже хрящей. В отличие от известных механических устройств, которые работают за счет электрогидравлического удара, наложенного на порционные мясные полуфабрикаты, помещенные в рассол, в данном устройстве обеспечивается не только интенсификация подготовки мясных полуфабрикатов, но и снижается содержания солей и специй в применяемом рассоле в 2 раза из-за более качественного растворения их до молекулярного состояния. При использовании УТМП-1 наблюдается снижение усилий среза на 32–35 % и усилий на разрыв от 22 до 25 %; происходит повышение массы и объема порций, а также сохраняются нутриенты исходного сырья и возрастает пищевая ценность мясных блюд на 10–12 %.

Ключевые слова: мясной полуфабрикат, тендеризация, пищевая ценность, ускорение созревания, электрогидравлический удар, мясные волокна, рассол.

Многочисленные удары и проколы мясных полуфабрикатов при использовании механических устройств тендеризации (рисунок 1) расширяют межклеточные расстояния в мясных волокнах и сухожилиях [1]. Данный способ тендеризации имеет недостатки, выраженные в значительных временных и физических затратах обслуживающего персонала; этот способ не позволяет сохранить мяс-

ной сок, а вместе с ним снижается пищевая ценность продукта (происходит потеря витаминов, минеральных веществ и других биологические активных веществ); он неудобен для использования в ограниченном пространстве (например, на камбузе подводной лодки); при данном способе тендеризации разрушаются только самые мягкие ткани.

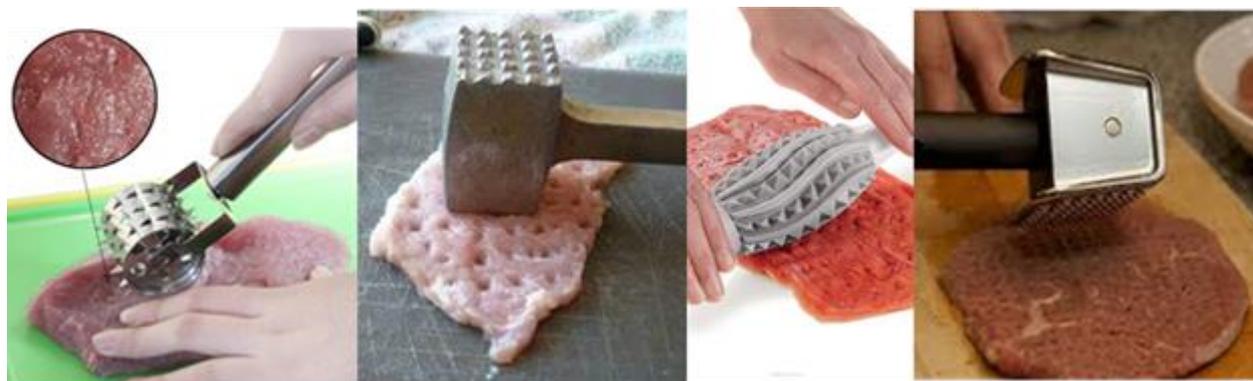
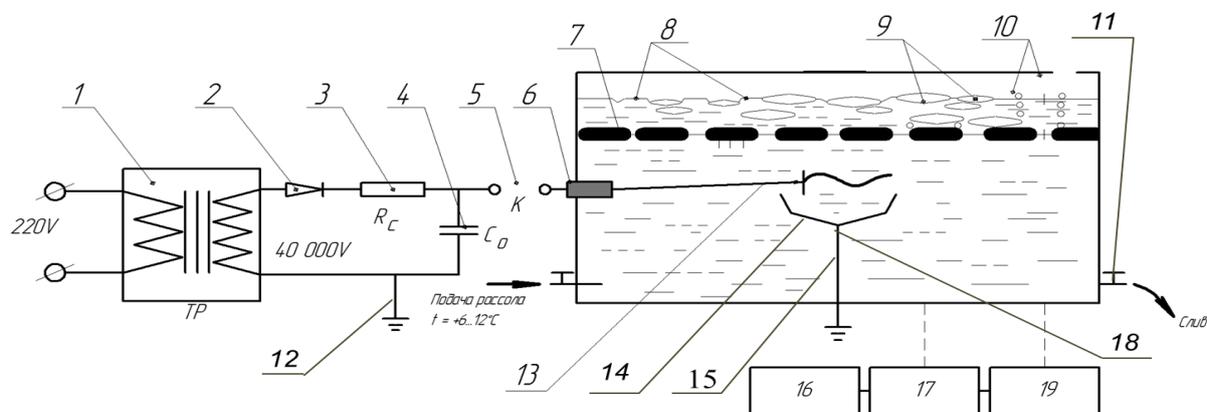


Рисунок 1 – Механические устройства для тендеризации мяса

В целях повышения эффективности приготовления мясных полуфабрикатов и возможности использования нежированного мяса предложено «Устройство для тендеризации мясных полуфабрикатов (УТМП-1)» [2]. Устройство обеспечивает эффективное размягчение сухожилий, снижение потерь мясного сока, физических и временных затрат обслуживающего персонала, повышение пищевой ценности готовых изделий, соблюдение санитарно-эпидемиологических требований при кулинарной обработке скоропортящихся продуктов.

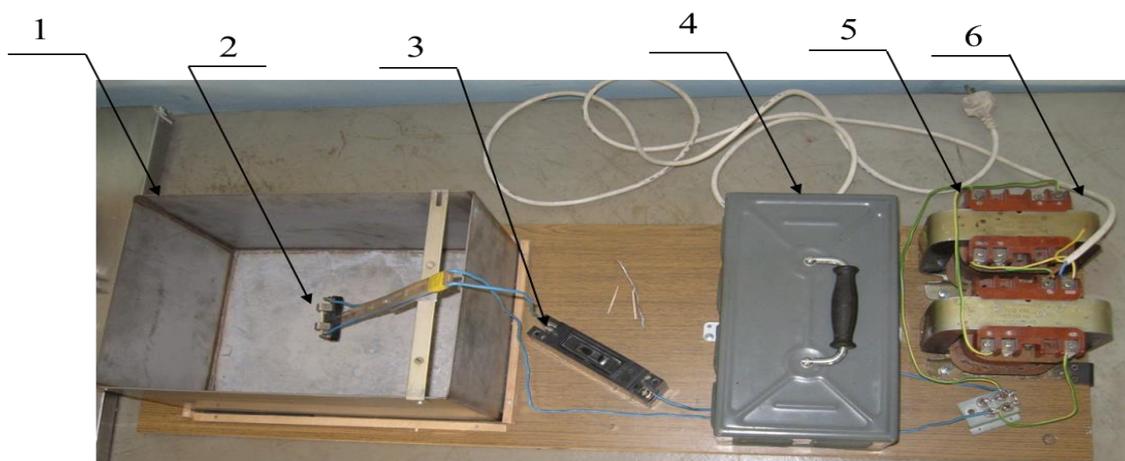
Принцип работы устройства основан на использовании метода ударных волн для равномерного размягчения межмышечных

соединительных тканей и сухожилий структуры мясного полуфабриката при сохранении питательных веществ исходного сырья. Техническая разработка базируется на способности возникновения электрической искры непосредственно в толще мяса (состоящего на 75 % из воды) и ее возможности достаточно эффективно разрушать коллагеновые волокна, оболочки, хрящи и другие прочные части, где выделяется основная часть энергии искры. Конструктивные изменения предусматривают дополнительное включение в комплект устройства генератора импульсных токов, состоящего из воздушного разрядника, накопительного конденсатора, выпрямительного моста и трансформатора (рисунок 2, 3).



1 – высоковольтный трансформатор; 2 – выпрямитель; 3 – зарядное сопротивление; 4 – конденсаторная батарея; 5 – контактор; 6 – изолятор; 7 – ванна; 8 – порционное мясо 9 – рассол; 10 – направляющие; 11 – кран; 12 – заземление; 13 – высоковольтный электрод; 14 – разрядная камера; 15 – шина; 16 – осциллограф; 17 – пульт управления стендом; 18 – место установки пьезодатчика давления; 19 – приборы контроля

Рисунок 2 – Принципиальная схема УТМП-1



1 – емкость для рассола; 2 – контакты разрядные; 3 – выключатель; 4 – генератор импульсного тока; 5 – трансформатор высокого напряжения до 40000 Вольт; 6 – электрическая сеть

Рисунок 3 – Устройство для тендеризации мясных полуфабрикатов

ТЕХНИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА УСКОРЕНИЯ ТЕНДЕРИЗАЦИИ И ПОСОЛА МЯСНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

Устройство работает следующим образом. Полуфабрикаты фиксируются на сетке. Рабочая среда (рассол) заливается в емкость. На электроды подаются импульсы высокого напряжения, создающие разряды в рассоле, в результате чего от каверны они распространяются на сетку и порционные полуфабрикаты, где теряют свою энергию. Это обеспечивает возникновение механического удара, который разрыхляет в первую очередь сухожилия и пленки, оказывающие интенсивное сопротивление, и в достаточной степени мякоть, а также существенно ускоряет проникновение рассола в соединительную и прилегающую костную ткани мяса (снижается время просаливания).

Процесс распределения рассола и его компонентов в мышечной, соединительной и прилегающей костной ткани в условиях механических воздействий подчиняется закону нестационарной фильтрации и описывается выражением [3, 4]:

$$\frac{dp}{d\tau} = \varepsilon \frac{d^2 c}{dh^2}, \quad (1)$$

где p – давление, Па;

τ – длительность воздействия, с;

ε – коэффициент пьезопроводности, м²/с;

h – глубина перемещения рассола, м;

c – концентрация соли на расстояниях h от поверхности тела, %.

Внешне процесс электрогидравлической обработки выглядит в виде незначительного (на 2-3 см.) вспучивания поверхности жидкости в емкости.

Продолжительность разряда может регулироваться ступенчато в пределах 50-100 мкс путем ступенчатого изменения мощности емкости накопительного конденсатора установки. Электрогидравлический удар от искры создает высокое пульсирующее давление как в рассоле, так и в мясном соке порционных кусков, что разрушающе действует на структуру мяса. Давление в зоне искрового разряда и на некотором удалении от нее (2...3 см) может достигать нескольких сотен кг/см², что существенно превышает прочность не только мякоти, но и любых сухожилий и хрящей [4].

Скорость перемещения фронта ударной волны в рассоле от искры может достигать 4300 м/с, при этом на расстоянии от 5 см до 10 см уже падает до 260–300 м/с и, учитывая существенную массу воды, к поверхности приближается к нулю.

Из этого следует, что импульсивный подвод энергии для создания искры позволяет при использовании источника энергии малой мощности выделить в объекте значительную мгновенную мощность.

Импульсный подвод энергии к цельномышечным мясопродуктам способен вызвать не только количественные (мясные порции несколько насыщаются рассолом, увеличивая массу и объем), но и качественные изменения процессов. Происходит мгновенный сдвиг мышц мяса на расстояние до 8 мм, идет разрыв коллагеновых волокон, хрящей, а также клеточное разрыхление и размягчение структуры мяса, что существенно ускоряет процесс обработки мясного сырья и его тендеризацию.

Аккумуляция энергии и ее мгновенное выделение посредством электрического разряда позволяет достичь высоких значений мгновенной мощности и интенсифицировать химико-технологические процессы. Ударные перемещения жидкости, возникающие при развитии и схлопывании кавитационных полостей, обеспечивают деструктурирование и пластические деформации слоев мяса, помещенных вблизи зоны разряда. Известно, что мощные ультразвуковые колебания, сопровождающие электрогидравлический эффект, дополнительно диспергируют мышцы, которые становятся при такой большой скорости волны очень хрупкими. Это вызывает резонансное разрушение крупных объектов на отдельные составляющие части, осуществляются интенсивные химические процессы синтеза, разрыва сорбционных и химических связей. Электромагнитные поля разряда также оказывают мощное влияние на ионные процессы, протекающие в окружающей его жидкости [6, 7]. Изменяется окислительно-восстановительный потенциал рассола, а также происходят физические и химические изменения в обрабатываемом сырье.

Ультрафиолетовое излучение искры, как и мощные пульсации давления, губительно влияют на микрофлору обрабатываемой среды [5]. Образование кавитационных пузырьков происходит уже на начальной стадии формирования электрического разряда и является результатом взаимодействия ударных волн. При генерировании кавитации в рассоле образуются гигантские импульсы давления, которые распространяются в нем со скоростью звука и вызывает соответствующие ему деформации тканей, в том числе и разрушение микрофлоры.

Трансформация потенциальной энергии этих деформаций реализует надтепловой механизм разрушения молекулярных ассоциатов. При этом рассол переходит в термодина-

мически неравновесное состояние, а растворенная в нем поваренная соль и концентрат специй полностью диссоциируют на ионы, которые будут иммобилизованы полярными мономолекулами жидкости, либо прочно связаны в образующихся сольватных оболочках белков мяса [6]. Это приводит к увеличению массы порций из-за содержания связанной воды и возрастанию пассивного и активного транспорта ионов в примембранной области.

Кавитационные воздействия схлопывающихся пузырьков, возникающие при электрогидравлическом ударе, существенно интенсифицируют технологические процессы проникновения ионов солей и специй вглубь мышц. За счет схлопывания кавитационных пузырьков образуются кумулятивные микроструи и микровихри с большой плотностью энергии.

Электромагнитные поля в несколько тысяч эрстед обеспечивают ускорение скорости проникновения и распределения посолочных веществ в толще мяса за счет релаксационного эффекта и мгновенной деполяризации белковых молекул сырья и компонентов рассола. При интенсивном перемешивании рассола в результате электрогидравлического удара пограничный слой диффузии сокращается в десятки раз. Это ускоряет процесс проникновения соли и специй в мышечные ткани в 2,5...3 раза по сравнению с традиционным способом [3]. При этом в мышечной ткани наблюдается деструкция миофибрилл с образованием отдельных фрагментов, в результате чего дополнительно повышается проницаемость мышечной ткани для посолочных ингредиентов [4, 5].

Новизной технического решения является применение электрогидравлического удара для тендеризации мясных полуфабрикатов, которое обеспечивает сдвиг мышц мяса (на расстояние до 8 мм) и равномерный раз-

рыв коллагеновых волокон, хрящей, а также разрыхление и размягчение структуры исходного сырья. Это снижает усилие резания и разрыва, обеспечивает сохранение пищевой ценности исходного сырья, увеличивает объём и массу, а также повышает усвояемость, стерилизацию и вкусовые качества готовых изделий.

Практическая значимость технической разработки заключается в реализации возможностей осуществления технологического процесса тендеризации при снижении временных и физических затрат в ограниченном пространстве, что позволяет значительно расширить ассортимент готовых блюд и повысить пищевую ценность на 18–22 %, а также позволяет заблаговременно осуществить подготовку мясных полуфабрикатов до начала морского похода, с последующей заморозкой, что позволит сократить технологический процесс приготовления пищи на 8–12 %.

Проведенные экспериментальные исследования с использованием порционных полуфабрикатов (массой $m = 100 \pm 5$ г) из нежированного мяса (говядины 1 кат., свинины и баранины), выделенных из тазобедренной части туш, нарезанные поперек волокон и толщиной до 18 мм, с традиционным ходом автолиза ($pH = 5,7...6,3$), позволили получить следующие результаты. В качестве рабочей среды использовали рассол, состоящий из водопроводной воды температурой от 8 °C до 12 °C, соли – 5 %, сахара – 2 %, специй (перец) – 0,1 %.

1) Установлено влияние воздействия электрогидравлического удара (частота – от 0,5 до 1,0 удар/с, количество ударов, от 50 до 200 ударов) на структуру мясных полуфабрикатов. Результаты обработки полуфабрикатов разных сортов мяса электрогидравлическим ударом представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты воздействия электрогидравлического удара на мясо

Показатели	Вид мяса		
	Говядина	Свинина	Баранина
Толщина мясного полуфабриката, мм до ЭГУ после ЭГУ	17...18 25...28	17...18 26...29	17...18 24...25
Толщина разрыхленных коллагеновых прожилок, мм до ЭГУ после ЭГУ	Около 0,7 мм 2...4	Около 0,8 мм 4...6	Около 0,6 мм 2...4
Масса полуфабрикатов, г до ЭГУ после ЭГУ	101±2 106...109	102±2 109...112	104±2 109...110
Увеличение массы порции, %	5...8	7...10	5...7
Цвет полуфабрикатов незначительно	обесцвечивается	обесцвечивается	обесцвечивается

ТЕХНИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА УСКОРЕНИЯ ТЕНДЕРИЗАЦИИ И ПОСОЛА МЯСНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

2) Определено, что давление силы ударной волны должно регулироваться от $180 \text{ кН}\cdot\text{см}^2$ до $420 \text{ кН}\cdot\text{см}^2$ при её длительности порядка $0,08 \dots 0,15 \text{ с}$, что достаточно для разрушения межклеточных связей мышц и сухожилий. На рисунке 4 показано влияние электрогидравлического удара на снижение на $32 \dots 35 \%$ усилий среза и на $22 \dots 25 \%$ усилий на разрыв.

3) Определены электрические и энергетические параметры разряда. Разрядно-импульсная обработка системы «рассол – мясо» позволяет и без контакта электродной системы с мясным сырьем интенсифицировать процесс посола и повысить основные показатели качества полуфабрикатов. Интенсивность процесса достигается при следующих параметрах: напряжение заряда $U = 15 \text{ кВ}$; емкость конденсаторов $C = 0,1 \text{ мкФ}$; активное сопротивление кабеля, $R = 0,2 \text{ Ом}$; индуктивность $L = 0,7 \text{ мкГн}$; межэлектродный промежуток $\delta = 5 \dots 11 \text{ мм}$ (рисунок 4).

4) Установлены оптимальные значения

параметров разряда. Период заряда конденсаторной батареи составлял около 1 с , т. е. частота разряда составляла 1 Гц , на уровне запасаемой энергии – 7 кДж . Время разряда около 20 микросекунд .

5) Выявлено, что после 200 ударов в течение $100 \dots 120$ секунд уже наблюдается визуальное разрыхление волокон мясной порции и быстрое небольшое помутнение рассола мясным соком из-за нарушения целостности структуры клеток. Проведенный микроскопический анализ показал, что происходит: размягчение, частичные разрывы структуры волокон жестких тканей и частичные изменения формы волокон на гофрированную и извитую; частичное разрушение структуры мышечной ткани, а также набухание мышечных волокон, что свидетельствует об интенсивном проникновении и распределении соли в толще кусков мяса и деструктивном влиянии электрогидравлических ударов на структуру мышечной ткани (рисунок 5).

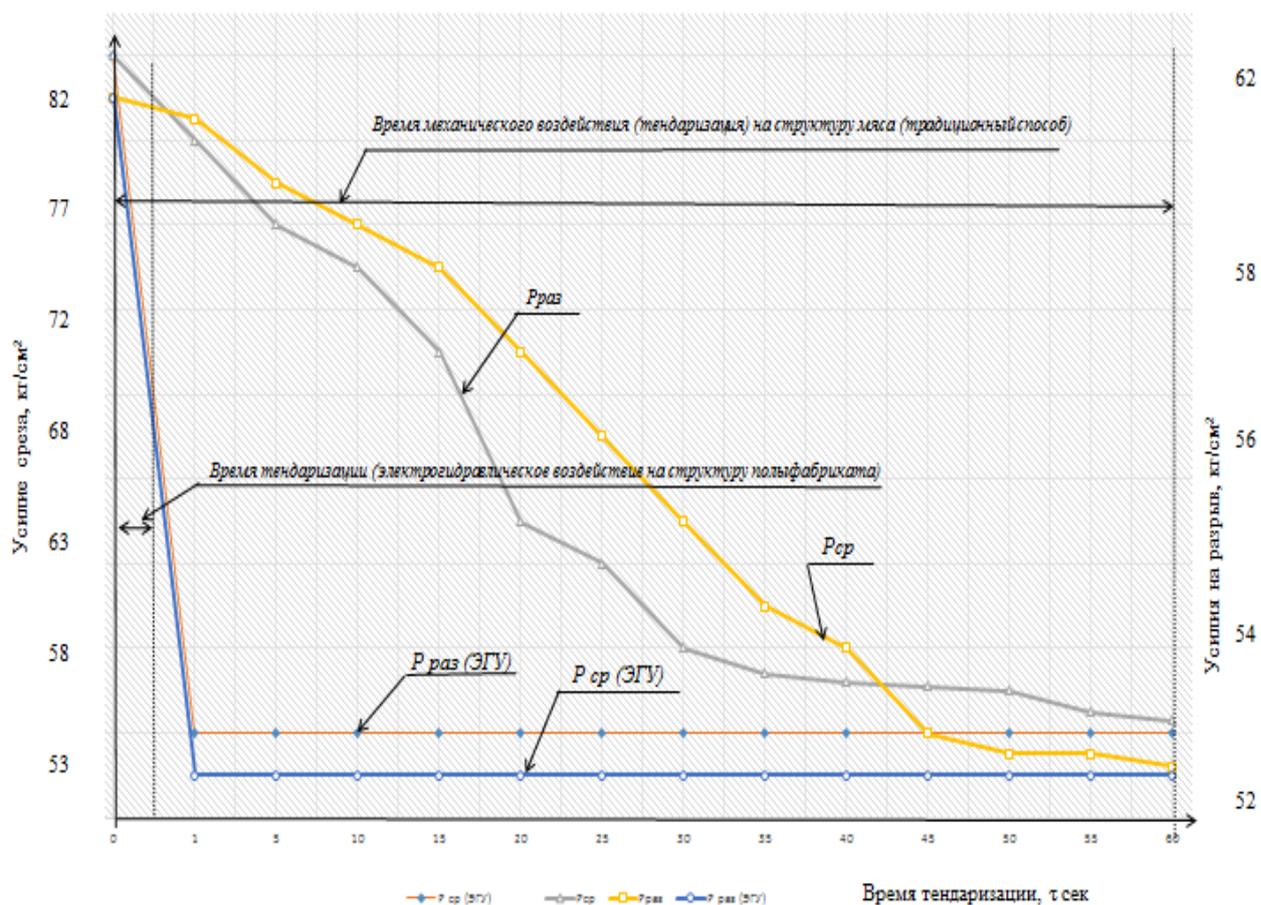


Рисунок 4 – Влияние электрогидравлического удара на процесс тендеризации



Рисунок 5 – Общий вид мясной порции до обработки и после 200 ударов

б) Детальное изучение продольных гистологических срезов контрольных образцов показало, что мышечные волокна представляли собой плотно прилегающие друг к другу прямые структуры со слабо заметной поперечной исчерченностью. Микроструктурные исследования показали, что обработка мясного сырья в рассоле оказывает также деструктивное воздействие на волокна, способствует заполнению пространства между ними рассолом и ускорению проникновения соли растворенных специй в глубь мышечной ткани, причем в кратчайшие отрезки времени, что подтверждают исследования [3].

Таким образом, предложенная техническая разработка устройства для тендеризации мясных полуфабрикатов (УТМП-1) в отличие от известных механических устройств за счет электрогидравлического удара, наложенного на порционные мясные полуфабрикаты, помещенные в рассол, обеспечивает не только интенсификацию подготовки мясных полуфабрикатов, но и снижение содержания солей и специй в применяемом рассоле в 2 раза из-за более качественного растворения их до молекулярного состояния; снижение усилий среза на 32...35 % и усилий на разрыв 22...25 %; повышение массы и объема порций, сохранение нутриентов исходного сырья и повышение пищевой ценности мясных блюд на 10...12 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отбивание мяса: физика процесса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.sostavproduktov.ru. – Дата обращения: 17.09.2017 г. – Загл. с экрана.
2. Патент 183819 Мобильное устройство для отбивания мясных полуфабрикатов в ограниченном пространстве МПК G01N1/22, G01N7/18 [Текст] Абдурахманов Э.Ф.о (RU), Романчиков С.А. (RU), Топоров А.В. (RU), Пахомов В.И. (RU), заявитель и патентообладатель ВАМТО (RU), № 2017145196, проир 21.12.2017, опубл., Бюл. – 198 с.
3. Нагдалян, А. А. Влияние электрогидравлического эффекта на гидратацию биополимеров / А. А. Нагдалян, Н. П. Оботурова // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2012. – № 12. – С. 74-78.

4. Оботурова, Н. П. Разрядно-импульсное воздействие для интенсификации посола мяса / Н. П. Оботурова, О. Н. Кожевникова, Л. И. Барыбина, А. А. Нагдалян // Мясная индустрия. – 2012. – № 12. – С. 32-35.

5. Дашковский, Ю. А. О механизме деструкции микроорганизмов от воздействия ударной волны / Ю. А. Дашковский // Электронная обработка материалов. – 2009. – №5. – С. 80-85.

6. Технология и оборудование для обработки пищевых сред с использованием кавитационной дезинтеграции: учебное пособие / С. Д. Шестаков [и др.] – Санкт-Петербург, ГИОРД, 2013.

7. Антуфьев, В. Т. О вепольной технологии в пищевой промышленности / В. Т. Антуфьев, С. А. Громцев // Сборник рефератов депонированных рукописей. Сер.В. – М.: ЦВНИ МО РФ, выпуск № 51, 2000.

8. Потороко, И. Ю. Исследование кинетических закономерностей посола мяса птицы с использованием кавитационно активированных жидких сред / И. Ю. Потороко, Л. А. Цирульниченко // Прикладная биохимия и биотехнологии. – 2014. – №3. – Том 2. – С. 21-28.

9. Романчиков, С. А. Инновационные решения для повышения пищевой ценности продовольственного пайка / С. А. Романчиков, О. И. Николюк // Ресурсное обеспечение силовых министерств и ведомств: вчера, сегодня, завтра: сборник статей II Международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 308-311.

10. Романчиков, С. А. Пути совершенствования технических средств продовольственной службы / С. А. Романчиков, Д. В. Фитерер // Актуальные вопросы совершенствования системы технического обеспечения: сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). – 2017. – С. 141-148.

11. Романчиков, С. А. Изменение условий разработки новых продуктов питания для импортозамещения в условиях экономических санкций // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4 (49). – С. 178-183.

Абдурахманов Эльшан Фарайиз оглы – соискатель Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева.199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова д.8, тел 8-9197682828. E-mail: elshan2709@icloud.com.