

АНАЛИЗ РАЗРАБОТАННЫХ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫХ УСТАНОВОК  
ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ СЫРЬЯ

Новикова Г.В., Жданкин Г.В., Михайлова О.В., Белов А.А.

**Реферат.** Целью работы является повышение эффективности функционирования сверхвысокочастотных установок, обеспечивающих улучшение кормовой ценности белковых добавок, полученной путем термообработки непищевых отходов убоя и переработки продукции животноводства. Приведены основные критерии проектирования сверхвысокочастотных установок для термообработки непищевых отходов убоя животных в непрерывном режиме воздействием электромагнитных излучений, обеспечивающих улучшение качества продукта с наименьшими эксплуатационными затратами. Разработан новый подход к обеспечению непрерывного режима работы сверхвысокочастотной установки при максимальной добротности резонатора и высокой напряженности электрического поля. Приведены пространственные изображения разработанных установок с новыми конфигурациями объемных резонаторов, обеспечивающих термообработку и обеззараживания сырья разной структуры в непрерывном режиме или в периодическом. Причем, разработанные резонаторы образуют резонаторно-лучевую электродинамическую систему сверхвысокочастотной установки. Разработана научная концепция, предусматривающая обеспечение непрерывности технологического процесса, высокой напряженности электрического поля и собственной добротности резонатора, оптимизации конфигурации и объема резонатора, эффективного комбинирования физических факторов, позволившая выявить новые закономерности исследуемого процесса термообработки и обеззараживания сырья в резонаторах многократным воздействием электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ).

**Ключевые слова:** Методика проектирования, сверхвысокочастотные установки, непищевые отходы животного происхождения, критерии проектирования установок.

**Введение.** Для повышения ценности кормовых добавок проводят термообработку непищевых отходов убоя птиц и животных. В процессе убоя, обескровливания, снятия оперения, опалки, потрошения накапливаются технические отходы. Не пищевые отходы потрошения, отходы пуха и пера, кровь направляют в цех утилизации, где из них готовят кормовые добавки. В качестве сырья для выработки животных кормов используются кровь, кишечник, легкие, почки, селезенка, половые органы, кутикула мышечных желудков и т.д. Сырье, направляемое на выработку животных кормов, отличается высоким содержанием влаги (65...75 %). Из-за высокого содержания влаги сырье является хорошей средой для развития микроорганизмов. Поэтому все отходы следует перерабатывать сразу же после их получения из убойного цеха. Так как сырьем для производства животных кормов служат непищевые отходы, то основное условие, которое должно выполняться в процессе переработки этого сырья – стерилизация, обеспечивающая уничтожение патогенной микрофлоры. Известно, что при выработке кормов сырье варят варильниках при температуре 90...100°C и при этом полное обеззараживание продукта не происходит.

Известен способ получения мясокостной муки из отходов убоя животных в вакуумных котлах путем парового гидролиза, стерилизации и дальнейшей сушки сырья. Из-за длительности контакта сырья с высокотемпературным теплоносителем снижается качество кормового продукта. Такую технологию реализовать в цехе утилизации небольшой производительности сложно. Поэтому разработка

технологий и технических средств переработки непищевых отходов убоя птиц и животных *актуально*.

Нами предлагается варить и стерилизовать непищевые отходы животного происхождения в электромагнитном поле сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) для повышения кормовой ценности белковой добавки при сниженных эксплуатационных затратах. Для реализации такой технологии разработаны установки с сверхвысокочастотным энергоподводом [2-8].

Технологии и технические средства для переработки непищевых отходов исследованы такими авторами, как: Рогов И.А., Ивашов В.И., Болтенков И.М., Курочкин А.А. и др. [1]. Ими разработаны технологические линии производства сухих животных кормов из крови, жира, костей и т.д. Однако, задача повышения кормовой ценности белковых добавок воздействием электромагнитных излучений в непрерывном режиме, при использовании маломощных сверхвысокочастотных генераторов, остается нерешенной.

**Условия, материалы и методы исследований.** Исследования проводились на основе теории электромагнитного поля с использованием математических аппаратов электродинамики, а также графоаналитических методов. Обработка экспериментальных данных выполнена с использованием компьютерных программ Microsoft Excel 10.0, Statistic 5.0, трехмерного моделирования конструктивного исполнения сверхвысокочастотных установок в программе Компас-3D V15. В работе обосновываются методы расчета и конструирования объемных резонаторов по программам трехмерного компьютерного моделирования элек-

трического поля CST Studio Suite 2015 и ее подпрограммы CST Microwave Studio. В работе использованы современные методики, ГО-СТы, приборы и оборудования.

**Анализ и обсуждение результатов исследования.** *Научная проблема* – совершенствование сверхвысокочастотных установок и технологии термообработки непищевых отходов убоя и переработки животных с повышением кормовой ценности белковой добавки.

*Цель работы* – повышение эффективности функционирования сверхвысокочастотных установок, обеспечивающих улучшение кормовой ценности белковых добавок, полученных путем термообработки непищевых отходов убоя и переработки продукции животноводства.

*Научную новизну* результатов исследований представляют:

1. Микроволновая технология переработки непищевых отходов животного происхождения многократным воздействием электромагнитного поля сверхвысокой частоты, обеспечивающая повышение кормовой ценности белкового продукта при сниженных эксплуатационных затратах;

2. Математические модели процесса функционирования установок, обеспечивающих непрерывность технологического процесса термообработки многокомпонентного сырья высокой влажности с рациональными конструктивно-технологическими параметрами;

3. Аналитические выражения, позволяющие обосновать параметры электродинамической системы с резонаторной камерой, обеспечивающие термообработку непищевых отходов и снижение бактериальной обсемененности белкового продукта;

4. Методика проектирования сверхвысокочастотных установок, базирующаяся на выведенных аналитических зависимостях и уравнении динамики эндогенного нагрева многокомпонентного сырья при изменении электрофизических параметров в процессе термообработки;

5. Комплекс конструктивно-технологических параметров и режимы работы сверхвысокочастотных установок для термообработки непищевых отходов с учетом выявленных зависимостей и результатов исследований химического состава, микробиологических и органолептических показателей белкового продукта.

6. Разработанные сверхвысокочастотные установки для термообработки непищевых отходов животного происхождения и результаты оценки технико-экономической эффективности их внедрения в фермерские хозяйства.

Новые технические решения основных рабочих органов СВЧ установок, подтвержденные патентами. Некоторые из разработанных сверхвысокочастотных установок для

термообработки сырья и резонаторы разных конфигураций приведены на рисунках 1 и 2. Установка, приведенная на рис. 1.1 с перфорированными сферическими резонаторами (рис. 2.1), предназначена для термообработки и обеззараживания жиросодержащего сырья за счет наложения электромагнитных излучений разных длин волн в непрерывном режиме. Разработана установка для непрерывного воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты в процессе измельчения и центрифугирования сырья, обеспечивающая разделение на жидкую и твердую фракции (рис.1.2, 2.2). Для термомеханического воздействия на сырье разработаны установки с узлами, обеспечивающими дробления сырья в процессе воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты в непрерывном режиме (рис. 1.3, 1.4, 2.3). С использованием тороидальных резонаторов разработаны установки, обеспечивающие термообработку сырья в процессе транспортирования в непрерывном режиме с помощью тросошайбового (рис. 1.5) или ячеистого (рис. 1.6) транспортеров. Представленная на рисунках 1.7 и 2.5 сверхвысокочастотная установка обеспечивает массирование, посол, термообработку, обеззараживание кускового мясного сырья в периодическом режиме. Установка контейнерного типа (рис.1 8) обеспечивает термообработку сырья в периодическом режиме в цилиндрических резонаторах, установленных на вращающийся диск. На рис. 2.4 представлена установка, где совмещен тороидальный резонатор с плоскопараллельными электродами, что обеспечивает наложение электромагнитных полей разных длин волн. На рис. 2.6 приведен цилиндрический дифракционный резонатор.

Поточность (*непрерывность*) технологического процесса достигается совмещением операций измельчения и дозирования сырья, опрокидывания резонаторов, или центрифугирования сырья, или перекачивания жидкого сырья. Для обеспечения непрерывности технологического процесса термообработки жидкого либо вязкого сырья необходимо перфорировать резонатор и разделить на две части, для других видов сырья использовать опрокидывающиеся передвижные резонаторы. В некоторых установках через отверстия перфорации в полусферах и через зазор между полусферами, происходит распространение волн за пределами резонатора, т.е. в тороидальном экранном корпусе может появиться бегущая волна, а в резонаторах всегда возбуждается стоячая волна. В волноводе максимумы напряженности электрического поля и поперечной составляющей магнитного поля совпадают, а в резонаторе они смещены на четверть длины волны. Электродинамическая система включает в себя волновод от генератора и объемный резонатор с сырьем. В связи с тем, что резонаторы разделены на две части и стационарная

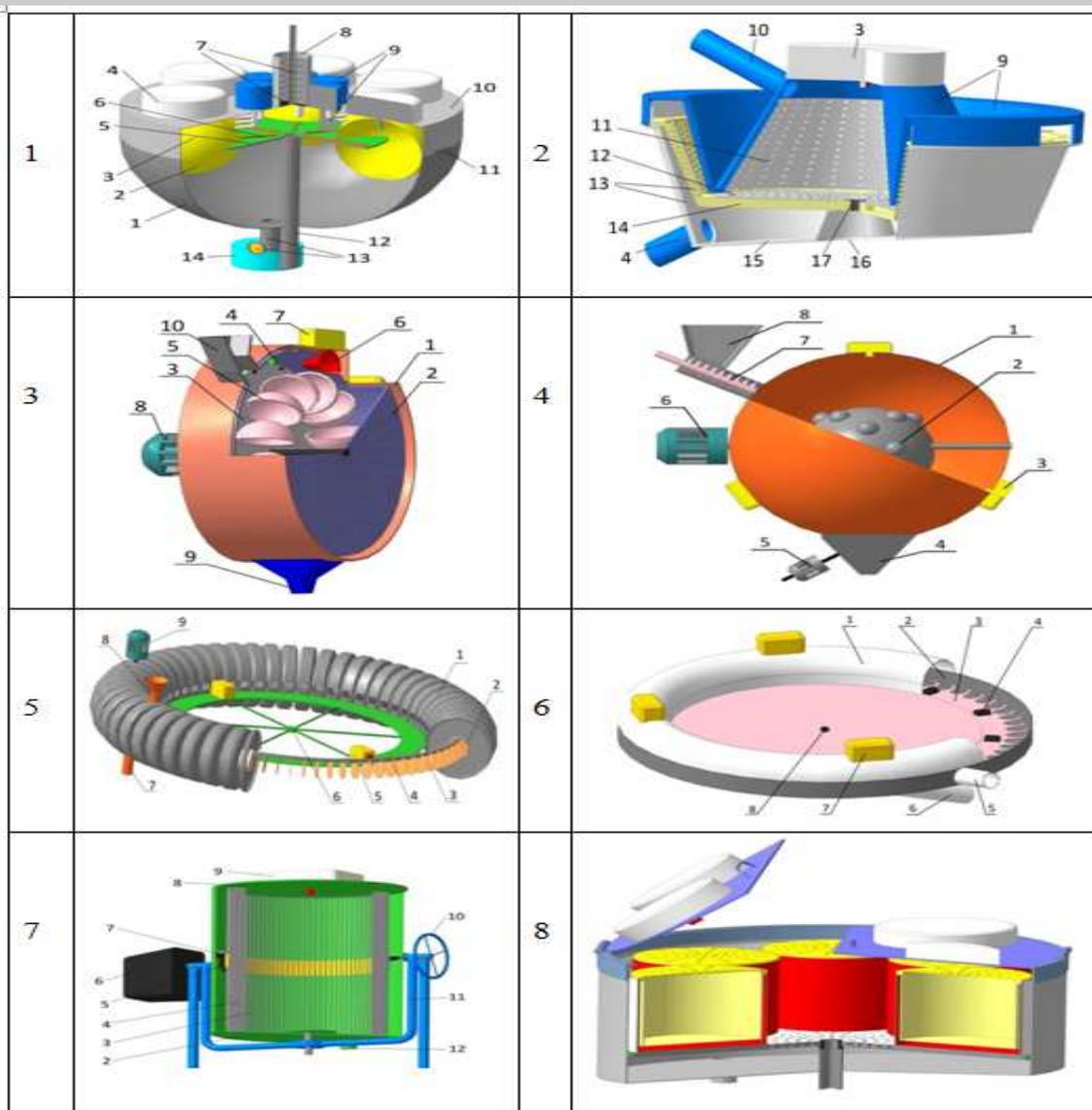


Рисунок 1 – Разработанные сверхвысокочастотные установки для термообработки непищевых отходов

часть выполняет функцию лучевой электродинамической системы, поэтому считаем, что весь резонатор относится к резонаторно-лучевой электродинамической системе.

Радиогерметичность, т.е. свойство средства локализовать электромагнитные колебания в пределах установки, достигали за счет запердельных волноводов, размеры которых согласованы с длиной волны. Основными характеристиками поточности технологического процесса являются конструкционные особенности резонаторов, скорости движения механизмов установки, мощности источников и их количество.

Ниже приведены пространственные изображения разработанных установок с новыми конфигурациями объемных резонаторов, обеспечивающие термообработку и обеззараживание сырья разной структуры в непрерывном режиме или в периодическом. Причем, разработанные резонаторы образуют резонаторно-лучевую электродинамическую систему

сверхвысокочастотной установки. При разработке резонаторов учитывали то, что самой максимальной собственной добротностью обладают сферические резонаторы, так как максимальный объем резонатора при минимальной его площади поверхности возможен только при сферическом исполнении резонатора. Поэтому во многих установках реализованы сферические резонаторы, у которых добротность 6000...10000. Нагруженная добротность резонатора это отношение запасенной энергии к общим потерям. Ее величина одного и того же резонатора может изменяться в широких пределах (100...500) за счет изменения связи с нагрузкой.

**Выводы.** 1. Новизна результатов исследований состоит: в выявлении резервов, повышающих эффективность функционирования сверхвысокочастотных установок; в разработке методики инженерного расчета параметров резонатора, обеспечивающего наложение электромагнитных полей разных частот.

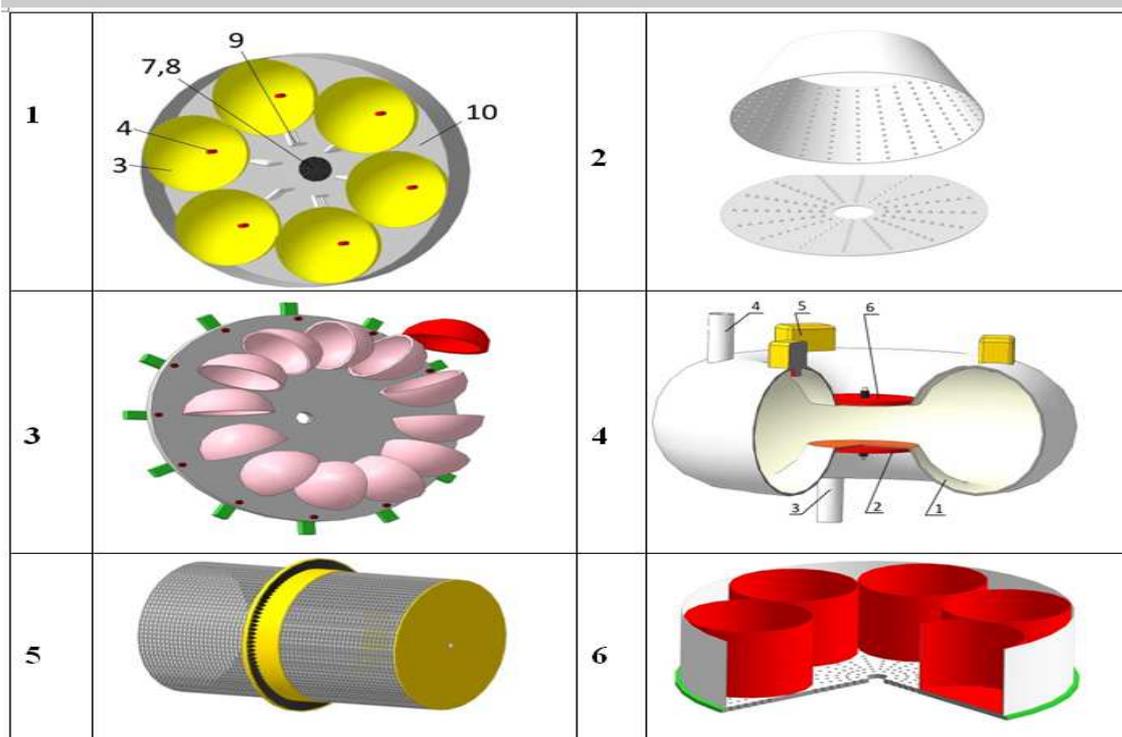


Рисунок 2 – Разработанные конфигурации резонаторов для СВЧ установок

2. Для сохранения качества термолабильного сырья следует сокращать продолжительность термообработки сырья при высоких температурах за счет: уменьшения размеров частиц, лимитирующих внутренний теплоперенос; обеспечения вибрации сырья или его распыления.

3. Применение электромагнитного поля сверхвысокой частоты позволит:

- интенсифицировать технологический процесс;
- снизить энергозатраты (отсутствуют другие энергоносители: газ, пар, горячая вода и т.п.);

- улучшить усвояемость белковых продуктов;

- снизить микробиологическую обсеменённость продуктов;

- уменьшить загрязнение окружающей среды (отсутствуют выбросы в атмосферу, стоки и вторичные отходы);

- регулировать производительность установки в широком диапазоне;

- обеспечить безотходность производства продукции;

- обеспечить радиогерметичность установки без сложных систем ограничения излучений.

#### Литература

1. Ивашов В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. Часть 1. Оборудование для уоя и первичной обработки. – М.: Колос, 2001. – 552 с

2. Белова М.В. Установка для термообработки крови убойных животных / Г.В. Новикова, М.В. Белова, Б.Г. Зиганшин, Н.Т. Уездный // Монография. – Чебоксары: ФГБОУ ВО «Чувашский ГУ им. И.Н. Ульянова», 2014. – 162 с. (10,13 п.л., ISBN 978-5-7677-1901-3).

3. Белова М.В. Сверхвысокочастотные установки для термообработки сырья / М.В. Белова // Монография. – Чебоксары: ФГБОУ ВО «Чувашский ГУ им. И.Н. Ульянова», 2016. – 336 с. (21 п.л., ISBN 978-5-7677-2193-1).

4. Белова М.В. Конструктивные особенности резонаторов сверхвысокочастотных установок для термообработки сырья в поточном режиме / М.В. Белова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – Казань: 2015, № 4 (38) – С. 31...37.

5. Новикова Г.В. Многорезонаторная установка для плавления жира. / Г.В. Новикова, А.Г. Самоделкин, М.В. Белова, И.Г. Ершова, А.А. Белов // Естественные и технические науки, 2015, № 6. – С.12...14. ISSN 1684-2626.

6. Патент № 2541694 РФ, МПК С11В1/12. Установка для термообработки жиросодержащего сырья / М.В. Белова, Г.В. Новикова; И.Г. Ершова, М.Г. Сорокина, заявитель и патентообладатель ЧГСХА (RU). – № 2013145358; заявл. 09.10.2013. Бюл. № 5 от 20.02.2015. – 6 с.

7. Патент № 2537552 РФ, МПК А23J 3/12. Установка для термообработки крови сельскохозяйственных животных / М.В. Белова, Н.Т. Уездный, Б.Г. Зиганшин, А.А. Белов, И.Г. Ершова, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель ЧГСХА (RU). – № 2013137720; заявл. 12.08.2013. Бюл. № 1 от 10.01.2015. – 14 с.

8. Патент № 581224 РФ, МПК. Центробежная установка для термообработки жиросодержащего сырья в электромагнитном поле сверхвысокой частоты / М.В. Белова, О.В. Михайлова, А.А. Белов, Г.В. Новикова, И.Г. Ершова; заявитель и патентообладатель МАДИ (RU). – № 2014150840/20 (081472); заявл. 17.12.2014. Бюл. № – 12 с.

9. Патент № 2600697 РФ, МПК. Сверхвысокочастотная установка для плавления жира / Г.В. Новикова, И.М. Селиванов, М.В. Белова, А.А. Белов, И.Г. Ершова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель АНОВО «АТУ» (RU). – № 2015117451; заявл. 28.04.2015. Бюл. № 30 от 03.10.2016. – 12 с.

**Сведения об авторах:**

Новикова Галина Владимировна – доктор технических наук, e-mail: NovikovaGalinaV@yandex.ru  
 Волжский филиал ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», г. Чебоксары, Россия  
 Жданкин Георгий Валерьевич – кандидат экономических наук, e-mail: dankin@inbox.ru  
 ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», г. Нижний Новгород, Россия  
 Михайлова Ольга Валентиновна – доктор технических наук, e-mail: ds17823@yandex.ru  
 Белов Александр Анатольевич – кандидат технических наук, e-mail: sofronich.bel@mail.ru  
 Волжский филиал ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», г. Чебоксары, Россия.

**ANALYSIS OF MICROWAVE INSTALLATIONS FOR HEAT TREATMENT OF RAW MATERIALS**

**Novikova G.V., Zhdankin G.V., Mikhaylova O.V., Belov A.A.**

**Abstract.** The aim of the work is to improve the efficiency of microwave units that provide improved nutritional value of protein supplements, obtained by heat treatment of non-food slaughter waste and processing of livestock products. The article shows the basic criteria for the design of microwave systems for the heat treatment of non-edible animal slaughter waste in continuous exposure to electromagnetic radiation, providing improved product quality with the lowest operating costs. A new approach was created to continuous operation of microwave installation at maximum Q resonator and a high electric field. The paper results the dimensional image of developed plants with new configurations of cavities, providing heat treatment and disinfection of different structure of raw materials in a continuous mode or in batch. Moreover, the developed form of resonator cavities makes ray electrodynamic systems of microwave installation. A scientific concept was developed, which aims to guarantee the continuity of the process, a high electric field and unloaded Q of the resonator, optimize the configuration and volume of the cavity, the effective combination of physical factors, which allowed to reveal new patterns of the test process of heat treatment and disinfection of raw materials in the cavities repeated exposure to the electromagnetic field of ultrahigh frequency.

**Key words:** methods of designing, microwave installation, inedible waste of animal origin, plant design criteria.

**References**

1. Ivashov V.I. *Tekhnologicheskoe oborudovanie predpriyatiy myasnoy promyshlennosti. Chast 1. Oborudovanie dlya uboia i pervichnoy obrabotki.* [Technological equipment of meat industry enterprises. Part 1: Equipment for slaughtering and primary processing]. – М.: Kolos, 2001. – P. 552.
2. Belova M.V. *Ustanovka dlya termoobrabotki krovi uboynnykh zhivotnykh: monografiya.* [Installation for the heat treatment of blood of slaughtered animals: monograph]. / G.V. Novikova, M.V. Belova, B.G. Ziganshin, N.T. Uezdnyy – Cheboksary: FGBOU VO “Chuvashskiy GU im. I.N. Ulyanova”, 2014. – P. 162. (10,13 p.l., ISBN 978-5-7677-1901-3).
3. Belova M.V. *Sverkhvysokochastotnye ustanovki dlya termoobrabotki syrya: monografiya.* [Microwave installation for the heat treatment of raw material: monograph]. – Cheboksary: FGBOU VO “Chuvashskiy GU im. I.N. Ulyanova”, 2016. – P. 336. (21 p.l., ISBN 978-5-7677-2193-1).
4. Belova M.V. Features of resonators of microwave installations for thermal treatment of the raw material in-line mode. [Konstruktivnye osobennosti rezonatorov sverkhvysokochastotnykh ustanovok dlya termoobrabotki syrya v potochnom rezhime]. / M.V. Belova // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – The Herald of Kazan State Agrarian University.* – Kazan: 2015, № 4 (38) – P. 31...37.
5. Novikova G.V. Multiresonator installation for melting of fat. [Mnogorezonatornaya ustanovka dlya plavleniya zhir]. / A.G. Samodelkin, G.V. Novikova, M.V. Belova, I.G. Ershova, A.A. Belov // *Estestvennyye i tekhnicheskie nauki. – Natural and technical sciences.* 2015, № 6. – P. 12...14. ISSN 1684-2626.
6. *Patent №2541694 RF, MPK S11V1/12. Ustanovka dlya termoobrabotki zhirosoderzhashego syrya.* (Patent №2541694 of the Russian Federation, the IPC S11V1/12. An installation for heat treatment of fat-containing raw materials. / I.G. Ershova, M.G. Sorokina, M.V. Belova, G.V. Novikova; the applicant and the patentee is Chuvash State Agricultural Academy (RU)). - № 2013145358; appl. 09/10/2013. Bull. №5 of 02.20.2015. – P. 6.
7. *Patent №2537552 RF, MPK A23J 3/12. Ustanovka dlya termoobrabotki krovi selskokhozyaystvennykh zhivotnykh.* (Patent №2537552 of the Russian Federation, the IPC A23J 3/12. Installation for the heat treatment of farm animals' blood. / M.V. Belova, N.T. Uezdnyy, B.G. Ziganshin, A.A. Belov, I.G. Ershova, G.V. Novikova; the applicant and the patentee is Chuvash State Agricultural Academy (RU)). - №2013137720; appl. 08/12/2013. Bull. №1 of 10/01/2015. – P.14.
8. *Patent №581224 RF, MPK. Tsentrovezhnaya ustanovka dlya termoobrabotki zhirosoderzhashego syrya v elektromagnitnom pole sverkhvysokoy chastoty.* (Patent №581224 RF, IPC. Centrifugal installation for heat treatment of fat-containing raw material in the electromagnetic field of ultrahigh frequency. / O.V. Mikhaylova, M.V. Belova, A.A. Belov, G.V. Novikova, I.G. Ershova; the applicant and the patentee is MADI (RU)). - №2014150840/20 (081,472); appl. 17/12/2014. Bull. № - P. 12.
9. *Patent №2600697 RF, MPK. Sverkhvysokochastotnaya ustanovka dlya plavleniya zhira.* (Patent №2600697 RF IPC. Microwave installation for melting of fat. / I.M. Selivanov, M.V. Belova, A.A. Belov, I.G. Ershova, G. V. Novikova, O.V. Mikhaylova; the applicant and the patentee is ANOVO “АТУ” (RU)). - № 2015117451; appl. 04/28/2015. Bull. №30 of 10/03/2016. – P. 12.

**Authors:**

Galina Novikova Vladimirovna - Doctor of Technical sciences, NovikovaGalinaV@yandex.ru  
 Volga branch of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Cheboksary, Russia  
 Zhdankin Georgiy Valerevich – Ph.D. of Economic sciences, dankin@inbox.ru  
 Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia  
 Mikhaylova Olga Valentinovna - Doctor of Technical sciences, ds17823@yandex.ru, Volga branch of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Cheboksary, Russia;  
 Belov Aleksandr Anatolevich – Ph.D. of Technical sciences, sofronich.bel@mail.ru, Volga branch of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Cheboksary, Russia