

Механизация

УДК 621.385.6, 637.513

DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019665-69>**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ УСТАНОВКИ СВЧ
ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ НЕПИЩЕВОГО СЫРЬЯ
ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ****Г.В. Жданкин**, кандидат экономических наук,
В.Ф. Сторчевой, Г.В. Новикова, доктора технических наук,
П.М. Уманский*Российский государственный аграрный университет –
Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева,
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49
E-mail: V_Storchevoy@mail.ru*

Авторами разработано несколько типов установок СВЧ для термообработки сырья, различающиеся по принципу действия и конструкции. Известно, что технологический процесс переработки продукции животноводства включает ряд операций, в результате выполнения которых получают готовые продукты и непищевые отходы, используемые для производства животных кормов. Поэтому для агропредприятий средней мощности актуальна разработка технологий и технических средств переработки непищевых отходов убоя животных, позволяющих получить белковый продукт. В связи с этим проведены исследования режимов работы установки СВЧ для термообработки отходов убоя животных, дано описание принципа действия СВЧ установки с комбинированным резонатором для термообработки непищевых отходов мясного сырья в непрерывном режиме. Комбинированный резонатор представлен как разновидность цилиндрического, но с полусферическим основанием, обеспечивающим подачу сырья в резонатор с обеспечением электромагнитной безопасности. Получены регрессионные модели, на основе которых оптимизированы режимы работы установки. Представлено описание технологии и установки для термообработки непищевого сырья животного происхождения воздействием энергии электромагнитного поля сверхвысокой частоты в непрерывном режиме. Рассмотрены особенности диэлектрического нагрева многокомпонентного сырья в процессе измельчения в резонаторной камере, а также аналоги сверхвысокочастотных установок.

**STUDY OF MICROWAVE OPERATIONAL REGIMES
FOR THERMAL PROCESSING AND DISINFECTION OF INEDIBLE RAW STOCK
OF ANIMAL ORIGIN****Zhdankin G.V., Storchevoy V.F., Novikova G.V., Umansky P.M.***Russian state agrarian university –
Moscow agricultural academy named after C. A. Timiryazev,
127550, Moskva, ul. Timiryazevskaya, 49
E-mail: V_Storchevoy@mail.ru*

It is known that the technical process of animal products treatment includes a number of operations resulting in obtaining finished products and inedible non-food wastes used for production of animal feed. Therefore for agrarian enterprises of average capacity development of technologies and technical processing means of inedible wastes of animals slaughtering is actual. In this connection there were developed several microwave types for thermal processing of raw stock differing principally in operation and structure. There were researched operational microwave modes for thermal processing of wastes of animals slaughter, description of the operating mode of the combined resonator for thermal processing inedible wastes of meat raw material in the continuous operation. Combined resonator is presented as a variety of the cylindrical one but with a hemispherical base providing raw stock supplying to the resonator under ensuring electromagnetic safety. There are obtained regression models on the basis of which the operation conditions of the installation are optimized. The article presents the description of the technology and installation for thermal processing of inedible raw stock of animal origin by the influence of the electromagnetic field energy of microwave frequency in the continuous mode. There are considered features of dielectric heating of multicomponent raw material in the grinding process in the resonator chamber. Analogues of microwave installations are considered.

Ключевые слова: комбинированный резонатор, измельчение, обезвоживание, обеззараживание, термообработка, белковый корм, непищевые отходы животного происхождения

Key words: combined resonator, grinding, dehydration, disinfection, thermal treatment, protein feed, inedible wastes of animal origin

В настоящее время особое значение приобретает внедрение прогрессивных технологических процессов переработки сельскохозяйственной продукции и более совершенных технологических средств. Разработанная установка предназначена для получения высококачественной продукции в результате воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты на измельченное непищевое сырье животного происхождения [1-3]. Основными задачами были получение качественной продукции, организация производства принципиально новых видов продуктов для животных, а также создание и внедрение современного высокоэффективного

технологического оборудования, которое на основе использования прогрессивной микроволновой технологии повышает производительность и способствует экономии сырья и материальных ресурсов [4-8].

Технология производства белкового корма представляет собой совокупность операций, позволяющих получить из различного исходного сырья животного происхождения, различающегося по физико-механическому и диэлектрическим свойствам, химическому составу продукт для кормления животных и птиц с заданными параметрами в зависимости от рецептуры. Основное условие к технологии – получение продук-

ции высокого качества при соблюдении всех этапов технологических процессов, осуществляемых системой взаимосвязанных машин и механизмов [9-12].

Известна центробежная установка для термообработки жиродержащего сырья в электромагнитном поле сверхвысокой частоты. Она содержит экранирующий цилиндрический корпус, перфорированный диск-ротор, приемный патрубок; СВЧ генераторные блоки, стационарные и передвижные перфорированные полусферы; выпускной патрубок. В установке реализованы передвижные перфорированные сферические резонаторы в кольцевом волноводе прямоугольного сечения.

Установка для выделения расплавленного жира из жиродержащего сырья содержит множество генераторов с одним коаксиальным резонатором и конусный ограничитель излучения. Поточность процесса обеспечивают перфорированный барабан с ротором и шнек. Измельченную жиродержащую кость непрерывно загружают в цилиндрический перфорированный барабан-резонатор через кольцевой зазор. За счет центробежной силы расплавленный жир и частицы шквары определенного размера выдавливаются через перфорацию в барабане и отбрасываются на перфорированные стенки ротора. Вытопленный жир через перфорацию ротора стекает к патрубку и отводится. Шквара, прижатая к перфорированной поверхности ротора, перемещается вверх витками шнека и сбрасывается в карман. Генераторные блоки расположены над кольцевым пространством со сдвигом на 120° для их надежной работы в один коаксиальный резонатор.

Целью наших исследований была разработка установки с использованием энергии электромагнитного поля сверхвысокой частоты, обеспечивающей интенсификацию процесса термообработки и обеззараживания непищевого сырья животного происхождения в процессе измельчения.

Методика. Эксперименты проведены в лаборатории энергетического и технологического оборудования Российского государственного аграрного университета – Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева в 2018 г. Конструктивное исполнение узлов микроволновой установки для термообработки непищевого сырья животного происхождения в процессе измельчения осуществляли при помощи прикладных компьютерных программ КОМПАС-3D V13. Обоснование конструктивно-технологических параметров микроволновой установки и режимов ее работы проведено на основе математических моделей, описывающих рабочие процессы воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты на сырье в перфорированном цилиндрическом резонаторе, выполненном в виде терки для одновременного измельчения сырья в непрерывном режиме. Рациональные режимы работы СВЧ установки для термообработки измельченных и обезвоженных непищевых отходов животного происхождения определяли при помощи прикладных компьютерных программ Statistics 17 [13-15].

Результаты и обсуждение. Электрофизические методы воздействия на исходное сырье способны интенсифицировать теплообменные процессы, обеспечить микробиологическую безопасность, а также улучшить и повысить пищевую ценность продукта [16-19]. Поэтому разработанная и изготовленная СВЧ установка с комбинированным резонатором (рис.) предназначена для отделения жидкой фракции от измельченных непищевых отходов убоя животных, термообработки и обеззараживания твердой фракции. Основные узлы установки

– экранирующий корпус 1, 2; три источника СВЧ энергии (магнетроны 3); диск 4 с электродвигателем 5; шаровой кран 6 со сливным патрубком; комбинированный резонатор 7; съемная перекаладина 8 на направляющей трубе; емкость 9 для приема твердой фракции; центрифуга 10. Верхняя часть комбинированного резонатора представлена полусферой, центральная – образующей цилиндра, нижняя – наклонным конусом. Причем на дне резонатора, выполненного под наклоном, расположен перемешивающий механизм – вращающийся диск, и имеется выгрузной патрубок с шаровым вентилем. Измельченное сырье влажностью до 85% попадает в центрифугу, далее твердая фракция падает на поверхность полусферы. Она свободно подвешена с центральной точки с помощью цепи на съемную перекаладину 8, установленную на направляющую трубу. Полусфера расположена под направляющей трубой. Между ними имеется кольцевой зазор, через который твердая фракция сырья при колебании полусферы соскальзывает с ее поверхности и падает в комбинированный резонатор. Зазор, предназначенный для загрузки сырья в резонаторную камеру, и диаметр неферромагнитного патрубка с шаровым клапаном для выгрузки продукта не могут превышать четверти длины волны. В этом зазоре образуется стоячая электромагнитная волна, которая имеет нулевое амплитудное значение, поэтому волна не распространяется за пределы установки. К боковой поверхности комбинированного резонатора присоединены волноводы и направлены три излучателя от соответствующих магнетронов. Магнетроны 3 с волноводами установлены со сдвигом на 120° с наружной стороны боковой поверхности комбинированного резонатора. Внутри резонатора расположен диэлектрический цилиндр, ограничивающий попадание сырья на волновод в процессе перемешивания с помощью вращающегося диска, расположенного на дне резонатора. Твердая фракция непищевых мягких отходов подвигается в резонаторе воздействием ЭМП СВЧ (электромагнитным полем сверхвысокой частоты), варится, обеззараживается и выгружается через патрубок с шаровым краном 6.

Проведены экспериментальные исследования технологического процесса. Получена эмпирическая зависимость приращения температуры непищевого сырья от дозы воздействия ЭМП СВЧ:

$$\Delta T = 33,89 \ln D - 135, \quad (1)$$

где D – доза воздействия Вт·с/г; ΔT – приращение температуры, $^\circ\text{C}$.

Эмпирические зависимости, описывающие изменения общего микробного числа (ОМЧ) от приращения температуры сырья при разной исходной обсемененности (1,3 и 2,1 млн КОЕ/г), представлены соответственно формулой 2:

$$\begin{aligned} \text{ОМЧ} &= 1,28 \cdot e^{-0,017 T}, \text{ КОЕ/г;} \\ \text{ОМЧ} &= 2,25 \cdot e^{-0,022 T}, \text{ КОЕ/г.} \end{aligned} \quad (2)$$

На основе критериальных уравнений получены регрессионные зависимости, позволяющие оценить влияние технологических параметров на продолжительность термообработки и обеззараживание белкового корма, определить рациональные режимы работы СВЧ установки для термообработки измельченных и обезвоженных непищевых отходов животного происхождения. Для этого воспользовались матрицей планирования 3- факторного активного эксперимента типа 2^3

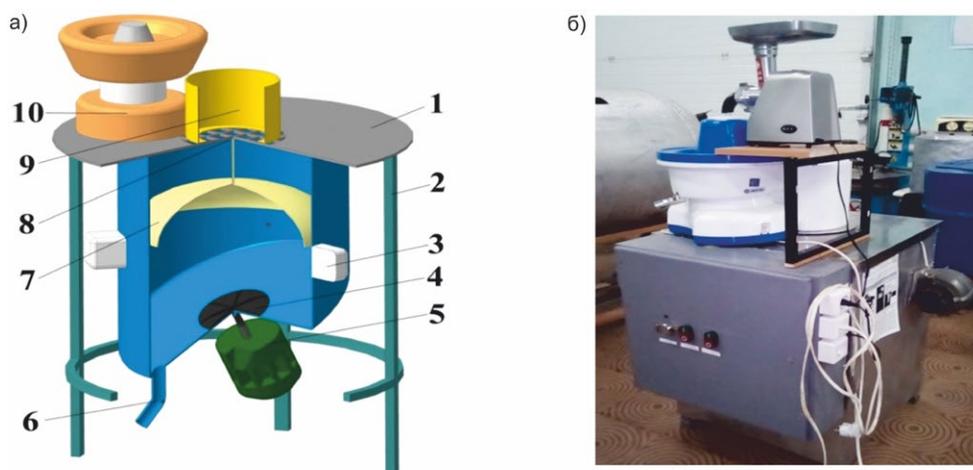


Рис. 1. СВЧ установка с комбинированным резонатором: а – схематическое изображение, б – опытный образец, 1-10 – обозначения в тексте.

Табл. 1. Матрица активного планирования эксперимента типа 2³

Удельная мощность генератора, Вт/г	Масса загрузки в резонатор, кг		Продолжительность обработки, с		Количество СВЧ генераторов, шт. (потребляемая мощность, кВт)			Доза воздействия, Вт·с/г
	X_1	G	X_2	τ	X_3	n	$P_{ген}$	
2,22	+	1,8	+	180	+	5	4	400
0,44	+	1,8	-	60	-	1	0,8	26,4
1,33	-	0,6	+	180	-	1	0,8	240
6,67	-	0,6	-	60	+	5	4	400
2	0	1,2	0	120	0	3	2,4	240
4	-	0,6	0	120	0	3	2,4	480
1,33	+	1,8	0	120	0	3	2,4	160
2	0	1,2	-	60	0	3	2,4	120
2	0	1,2	+	180	0	3	2,4	360
0,67	0	1,2	0	120	-	1	0,8	80,4
3,33	0	1,2	0	120	+	5	4	400

(табл. 1). В качестве основных факторов, влияющих на процесс термообработки непищевого сырья, выбрали следующие: масса загрузки сырья в резонатор M , кг (x_1); продолжительность воздействия непищевых отходов в ЭМП СВЧ τ , с (x_2); количество СВЧ генераторов n , шт. (x_3). Выбор интервалов изменения факторов обусловлен технологическими условиями и конструктивными параметрами СВЧ установки.

Критерии оптимизации режимных параметров установки (табл. 2.): Y_1 – приращение температуры (ΔT , °C); Y_2 – производительность СВЧ установки (Q , кг/ч); Y_3 – доза воздействия ЭМП СВЧ (D , Вт·с/г); Y_4 – энергетические затраты на технологический процесс, (W , кВт·ч/кг); Y_5 – общее микробное число в белковом продукте, (ОМЧ, КОЕ/г).

Варьируемые факторы были совместимы и не коррелированы между собой, а пределы их изменения принимали равными:

- (x_1): $0,6 \leq M \leq 1,8$ кг;
- (x_2): $60 \leq \tau \leq 180$ с;
- (x_3): $1 \leq n \leq 5$ шт.

Получили двумерные сечения и поверхности откликов в программе Statistics 17 (рис. 2).

Табл. 2. Критерии оптимизации

Приращение температуры, °C (T), $T_0=18$ °C	Производительность установки, кг/ч (Q)		Энергетические затраты, кВт·ч/кг (W)	Бактериальная обсемененность, КОЕ/г·10 ³ (ОМЧ)
Y_1	Y_2	г/с	Y_3	Y_4
70	36	10	0,111	0,38
8	108	30	0,0073	1,1
54	12	3,3	0,067	0,5
70	36	10	0,111	0,4
54	36	10	0,067	0,5
75	18	5	0,133	0,35
35	54	15	0,0444	0,7
25	72	20	0,0333	0,85
67	24	80	0,1	0,4
15	36	10	0,0223	0,98
70	36	10	0,111	0,38

Примечание. Мощность установки без учета мощности измельчающего механизма. ОМЧ исходное – 1,2 млн КОЕ/г.

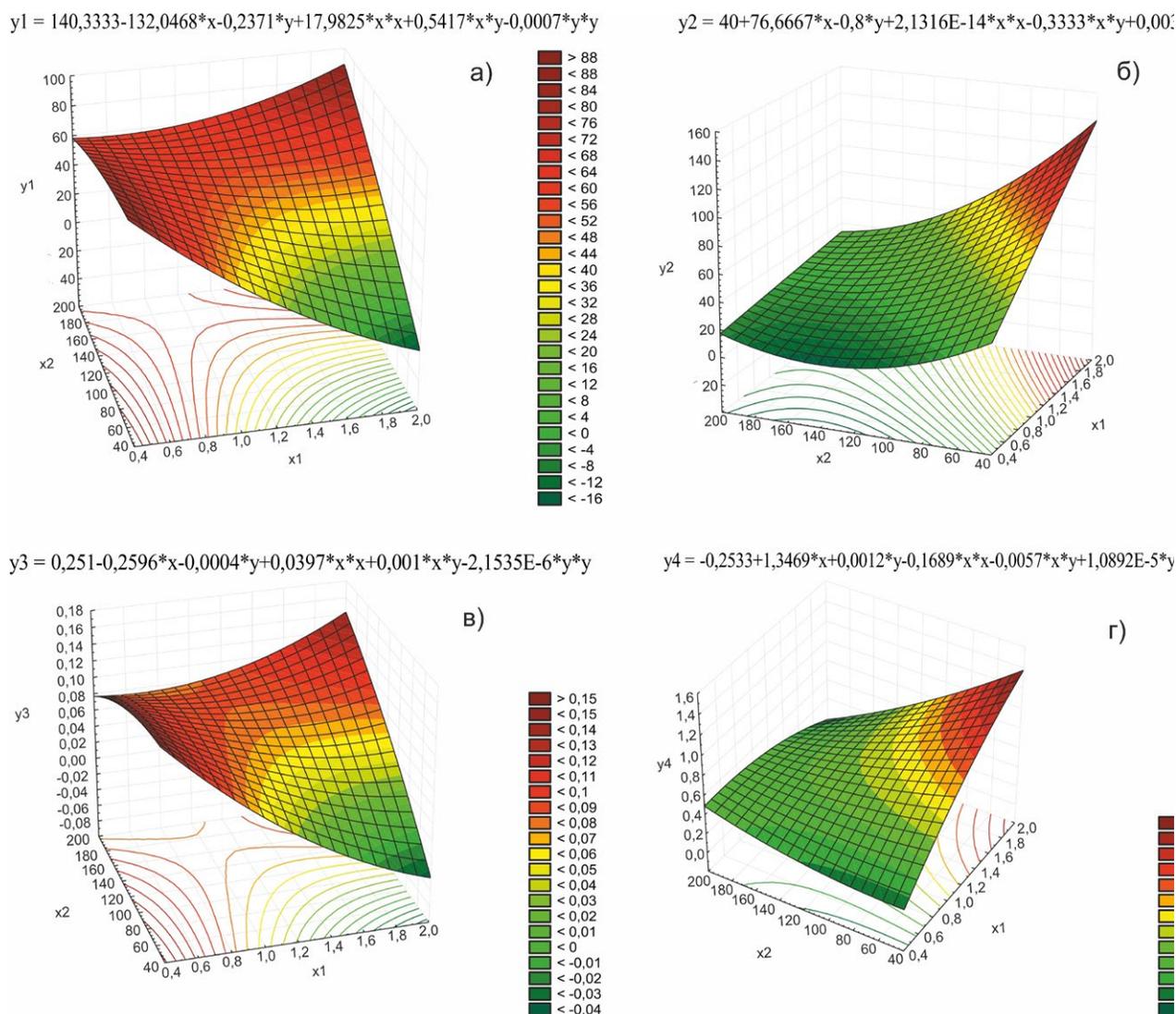


Рис. 2. Двумерные сечения и поверхности откликов в программе Statistics 17.

Получены регрессионные модели и эффективные режимы термообработки непищевых отходов убоя животных в СВЧ установке с комбинированным резонатором.

$$DT = 140,33-132 x_1-0,24x_2+118x_1^2+0,54x_1 x_2-0,0007x_2^2, (3)$$

$$Q = 40+76,67 x_1-0,8x_2-0,33x_1 x_2-0,003x_2^2,$$

$$D = 0,251-0,26x_1-0,0004x_2+0,04 x_1^2+0,001 x_1 x_2,$$

$$W = 0,253+1,35 x_1-0,0012x_2-0,17 x_1^2-0,006x_1 x_2.$$

Из анализа уравнений выявлены такие режимы работы установки, которые обеспечивают минимум удельных энергетических затрат на производство белкового корма из непищевых отходов животного происхождения и максимум снижения микробиологической обсемененности продукта. Рациональные режимы: масса единовременной загрузки обезвоженного сырья в резонатор – 1,2 кг; продолжительность воздействия – 120-150 с; количество СВЧ генераторов – 3 шт. При этом общее микробное число снижается с 1,2 млн до 0,5 млн КОЕ/г; производительность установки равна 36-40 кг/ч, температура нагрева достигает 80-90°С.

Литература

1. Жданкин Г.В., Зиганин Б.Г., Белова М.В. Разработка многомодульной сверхвысокочастотной установки для термообработки сырья животного происхождения // Вестник Казанского ГАУ. – 2016. – № 4 (42). – С. 79–83.
2. Жданкин Г.В., Новикова Г.В., Зиганин Б.Г. Разработка рабочих камер сверхвысокочастотных установок для термообработки непищевых отходов мясного производства // Вестник Ижевской ГСХА. – 2017. – № 1(50). – С. 61–69.
3. Жданкин Г.В., Сторчевой В.Ф., Зиганин Б.Г., Новикова Г.В. Разработка и обоснование параметров многоярусной сверхвысокочастотной установки для термообработки влажного сырья в непрерывном режиме // Научная жизнь. – 2017. – №4. – С. 4-14.
4. Бредихин С.А. Технологическое оборудование мясокомбинатов – М.: Колос, 2000. – 206 с.
5. Белова М.В. Конструктивные особенности резонаторов сверхвысокочастотных установок для термообработки сырья в поточном режиме // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4 (38) – С. 31-37.

6. Стребков Д. С. Резонансные методы передачи и применения электрической энергии. Изд. 4-е, перераб. и доп. – М., 2013. – 584 с.
7. Толмачева Т.А. Влияние СВЧ-поля на микрофлору и качественные показатели сухофруктов: дис. канд. биол. наук. – Красноярск, 2004. – 136 с.
8. Уездный Н.Т. СВЧ установка для термообработки крови убойных животных. Автореферат дис. канд. тех. наук. – М.: ВИЭСХ. – 2013. – 20 с.
9. Новикова Г.В. Разработка радиоволновых установок для переработки мясокостных отходов. // Научное обозрение ЗАО «АЛКОР». – 2016. – № 18. – С 56-60.
10. Орлов В.В., Алферов А.С. Перспективы применения микроволновой обработки жирных пищевых продуктов // НИИУИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». – 2006. – № 2 (2).
11. Михайлова, О.В., Белова М.В., Белов А.А., Новикова, Г.В. Ершова И.Г. Патент № 2581224 РФ, МПК. С11В1/12. Центробежная установка для термообработки жиросодержащего сырья в электромагнитном поле сверхвысокой частоты. – № 2014150840/20 (081472); заявл. 17.12.2014. Бюл. № 11 от 20.04.2016. – 11 с.
12. Белова М.В., Белов А.А., Новикова Г.В., Михайлова О.В., Ершова И.Г. Патент № 2505355 РФ, МПК С11В1/12. Сверхвысокочастотная установка для выделения расплавленного жира из жиросодержащего сырья. Бюл. № 35 от 20.12.2016. – 15 с.
13. Сторчевой В.Ф., Жданкин Г.В., Новикова Г.В. Разработка и обоснование сверхвысокочастотной установки для термопереработки непищевых отходов убоя и переработки птиц и животных. // Научная жизнь. – 2016. – № 11. – С. 17-23.
14. Новикова Г.В., Жданкин Г.В., Михайлова О.В., Белов А.А. Анализ разработанных сверхвысокочастотных установок для термообработки сырья // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4 (42). – С. 89-93.
15. Новикова Г.В., Жданкин Г.В., Михайлова О.В., Белов А.А. Анализ разработанных сверхвысокочастотных установок для термообработки сырья // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4 (42). – С. 89-93.
16. Жданкин Г.В., Сторчевой В.Ф., Новикова Г.В. Сверхвысокочастотная установка для термообработки непищевых отходов убоя животных в непрерывном режиме // Патент на изобретение №2671712 от 06.11.2018 г.- 15 с.
17. Жданкин Г.В., Сторчевой В.Ф., Новикова Г.В., Белова М.В. Сверхвысокочастотная установка с ячеистыми барабанами для термообработки непищевых отходов убоя животных // Патент на изобретение № 2671714 от 06.11.2018 г.-16 с.
18. Белова М.В., Зиганишин Б.Г., Федорова А.Н., Поручиков Д.В. Объемные резонаторы СВЧ генератора для термообработки сырья в поточном режиме // Естественные и технические науки. – 2015. – № 1. – С.121-123.
19. Жданкин Г.В., Михайлова О.В., Семенов В.Г. Microwave installation with conical resonators for the heat treatment of inedible meat wastes /Микроволновые установки с коническими резонаторами для термообработки непищевых мясных отходов // Of the National academy of sciences of the republic of Kazakhstan (Series of geology and technical sciences) / Известия Национальной академии наук Республики Казахстан (серия геологии и технических наук).-2018. –V. 2. – N. 428. –P. 44-54.

Поступила в редакцию 25.03.19
 После доработки 11.04.19
 Принята к публикации 07.06.19