

МИКРОВОЛНОВАЯ УСТАНОВКА  
ДЛЯ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ И ТЕРМООБРАБОТКИ НЕПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ УБОЯ ЖИВОТНЫХMICROWAVE INSTALLATION FOR DEHYDRATION AND HEAT TREATMENT  
OF INEDIBLE WASTES OF ANIMAL SLAUGHTER

**Ключевые слова:** сверхвысококачественная установка, непищевые отходы убоя животных, рабочие камеры, цилиндрический резонатор, твердая фракция, непрерывный режим, магнетроны, волноводы.

Разработка технологии приготовления белкового корма из непищевых отходов убоя животных и соответствующей установки, обеспечивающей процессы измельчения, обезвоживания, термообработки и стерилизации, является актуальной задачей для фермерских хозяйств. Анализируя существующие технические средства для производства белкового продукта из непищевых отходов животного происхождения и учитывая основные критерии к проектированию сверхвысококачественных (СВЧ) установок, разработаны микроволновая технология и установка с тремя источниками электромагнитных излучений в цилиндрическом резонаторе. Установка содержит три попарно расположенные рабочие камеры. Она позволяет измельчать боенские отходы, разделять сырье на твердую и жидкую фракции, варить твердую фракцию и обеззараживать, выгружать белковый продукт из резонаторной камеры в непрерывном режиме. Установка содержит в цилиндрическом экранирующем корпусе соосно расположенный цилиндрический резонатор и диэлектрический цилиндр без оснований. К образующей цилиндрического резонатора закреплены волноводы и магнетроны с вентиляционными воздуховодами. На дне резонатора имеются вращающийся диск и патрубок с шаровым краном. На корпусе размещены электродвигатели приводов конических тарелок, расположенных в соответствующих неферромагнитных конических поддонах с крышками, содержащими усеченные конусы, верхние основания которых состыкованы с соответствующими отверстиями, имеющимися на дне лотка, куда направлен измельчающий механизм волчка. Для термообработки непищевых отходов животного происхождения разработана и создана СВЧ установка производительностью 40 кг/ч, потребляемой мощностью 4,28 кВт, содер-

жащая три источника в цилиндрическом резонаторе с шаровым краном.

**Keywords:** microwave installation, inedible wastes of animal slaughter, process chambers, cylindrical resonator, solids, continuous mode, magnetrons, waveguides.

The development of the technology of making protein feeds from inedible wastes of animal slaughter and the design of proper installation to perform grinding, drying, heat treatment and sterilization is a topical issue for farm businesses. By analyzing the existing technical means for the production of protein products from inedible wastes of animal origin and considering the main criteria for the design of microwave (MW) installations, microwave technology and the device with three sources of electromagnetic radiation in a cylindrical resonator was developed. The installation comprises three tiered process chambers. The installation makes it possible to grind animal slaughter wastes, separate the solid and liquid fractions of the raw material, to cook and decontaminate the solids and continuously discharge the protein product from the resonator chamber. In the cylindrical shielding housing the installation contains coaxially located cylindrical cavity and a dielectric cylinder without foundations. The generatrix of the cylindrical resonator holds waveguides and magnetrons with ventilation ducts. The bottom of the cavity has a rotating disk and a pipe with a ball valve. The housing holds the electric motors driving conical plates positioned in the respective non-ferromagnetic conical trays with lids containing truncated cones, the upper base of which is joined the corresponding holes available on the bottom of the tray towards which the chopping mechanism is directed. For the purpose of heat treatment of inedible wastes of animal origin, microwave installation with a capacity up 40 kg h, power consumption of 4.28 kW containing three sources in a cylindrical cavity with a ball valve has been designed and developed.

**Жданкин Георгий Валерьевич**, к.э.н., доцент, Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: gdankin@inbox.ru.

**Новикова Галина Владимировна**, д.т.н., проф., Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: NovikovaGalinaV@yandex.ru.

**Белова Марьяна Валентиновна**, д.т.н., н.с., Нижегородский государственный инженерно-экономический университет. E-mail: maryana\_belova\_803@mail.ru.

**Zhdankin Georgiy Valeryevich**, Cand. Econ. Sci., Assoc. Prof., Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. E-mail: gdankin@inbox.ru.

**Novikova Galina Vladimirovna**, Dr. Tech. Sci., Prof., Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. E-mail: NovikovaGalinaV@yandex.ru.

**Belova Maryana Valentinovna**, Dr. Tech. Sci., Staff Scientist, Nizhny Novgorod State Engineering-Economic University. E-mail: maryana\_belova\_803@mail.ru.

### Введение

В соответствии с Федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2017-2025 гг., утвержденной от 25.08.2017 г., № 996, предусматривающей задачи повышения эффективности технологии переработки сырья, разработка научно обоснованной технологии и технических средств, обеспечивающих повышение кормовой ценности непищевых отходов, актуальна. Известно, что при убое животных и птиц, а также при переработке продукции животноводства образуется большое количество непищевых отходов. Общее количество технических отходов, например, при переработке птицы методом потрошения составляет 12-14,3% от живой массы птицы. Мягкие отходы животного происхождения содержат 57-63% влаги. В сухих веществах содержится до 90% белка, который без обработки не обладает достаточно высоким коэффициентом переваримости (30-40%), поэтому для его повышения сырье подвергают термообработке [1]. Самое главное требование к обработанному сырью – это соблюдение допустимого уровня микробной обсемененности. Влажность и размеры частиц сырья должны также соответствовать нормативным показателям. Поэтому технология приготовления белкового корма из непищевых отходов убоя животных должна предусматривать процессы измельчения, обезвоживания и стерилизации.

В настоящее время для стерилизации и термообработки непищевых отходов убоя животных применяют вакуумные котлы разных конструкций [2]. При этом из-за длительности контакта сырья с высокотемпературным теплоносителем снижается качество продукта, к тому же энергозатраты достаточно высоки (30 кВт·ч/т сырья и пара 1200 кг/т сырья). Поэтому для агропредприятий малой и средней мощности предлагаются технологии термообработки вторичного сырья в электромагнитном поле сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) для повышения кормовой ценности белковой добавки при сниженных эксплуатационных затратах. В связи с этим разработка технологии и технических средств, обеспечивающих сов-

мещение процессов обезвоживания сырья, варки и стерилизации твердой фракции в одной установке, является *актуальной* задачей.

Известны разработанные сверхвысокочастотные (СВЧ) установки для термообработки разного сельскохозяйственного сырья [3, 4]. Анализ существующих СВЧ установок показал, что для снижения энергетических затрат на термообработку сырья следует предварительно обезводить боенские отходы [5-9].

Поэтому **целью** работы является разработка СВЧ установки для обезвоживания измельченных непищевых отходов убоя животных, термообработки и обеззараживания белкового продукта.

В связи с поставленной задачей решены следующие **задачи**:

- 1) разработать конструктивное исполнение СВЧ установки с резонатором, обеспечивающим непрерывность технологического процесса;
- 2) визуализировать в программе CST Microwave Studio распределение электромагнитного поля в разработанном цилиндрическом резонаторе и вычислить собственную добротность, напряженность электрического поля, плотность тока;
- 3) провести технико-экономическую оценку применения СВЧ установки для термообработки и обеззараживания непищевых отходов убоя животных.

### Материалы и методы

Анализируя существующие технические средства для производства белкового продукта из непищевых отходов животного происхождения и учитывая основные критерии к проектированию сверхвысокочастотных (СВЧ) установок, разработаны микроволновая технология и установка с тремя источниками электромагнитных излучений в цилиндрическом резонаторе.

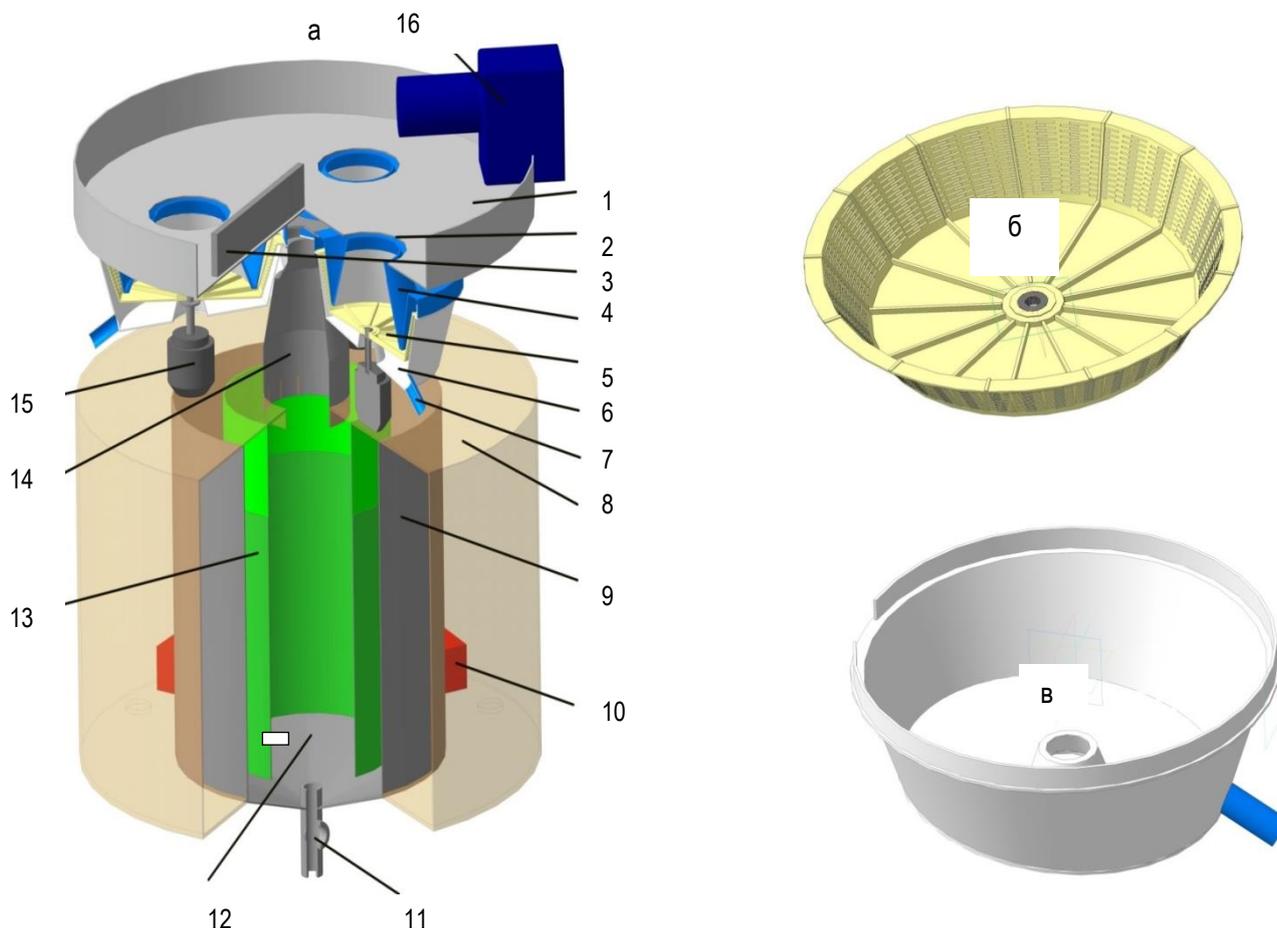
### Результаты и их обсуждение

Установка может быть использована при производстве белкового продукта из обезвоженных непищевых отходов животного происхождения [10]. Микроволновая установка (рис. 1) позволяет измельчать боенские отходы, разделять измельчённое сырье на твердую и жидкую фракции, ва-

ритель твердую фракцию и обеззараживать, выгружать белковый продукт из резонаторной камеры в непрерывном режиме. Установка содержит три попарно расположенные рабочие камеры.

Первая рабочая камера представлена измельчителем 16 (волчок), расположенным над лотком 1, имеющим на дне отверстия 2, и скребком 3, расположенным на валу электродвигателя. Первая камера обеспечивает измельчение с помощью нагнетательного шнека, ножа и решетки; перемещения измельченного сырья в виде пюре через отверстия с помощью скребка в соответствующие усеченные конусы 4, расположенные над коническими тарелками 5 каждого модуля.

Вторая рабочая камера, расположенная под лотком, представлена модулями, находящимися на столе 8, имеющем по центру отверстие. Каждый модуль установлен вплотную под соответствующее отверстие на дне лотка и состоит из неферромагнитного конического поддона 6, внутри которого соосно расположена вращающаяся от электродвигателя 15 коническая тарелка 5 с прорезями. Поддон 6 закрыт крышкой, содержащей усеченный конус, через верхнее основание которого измельченное сырье попадает на тарелку с прорезями.



**Рис. 1. Микроволновая установка для обезвоживания и термообработки непищевых отходов убоя животных:**  
 а) общий вид; б) конический поддон с патрубком для слива жидкой фракции; в) коническая тарелка с прорезями;  
 1 – лоток для приема измельченного сырья с отверстиями 2; 3 – скребок с электродвигателем;  
 4 – усеченный конус; 5 – коническая тарелка с прорезями; 6 – конический поддон; 7 – патрубок для слива жидкой фракции; 8 – цилиндрический стол; 9 – цилиндрический резонатор; 10 – магнетрон с волноводом;  
 11 – патрубок с шаровым краном; 12 – диск с оребрением; 13 – диэлектрический цилиндр;  
 14 – направляющий усеченный конус; 15 – электродвигатель привода конической тарелки;  
 16 – измельчающий механизм

Во второй рабочей камере измельченное сырье прижимается к периферии конической тарелки 5 за счет центробежной силы, жидкая фракция просачивается через прорезы конической тарелки 5 и выводится через сливной патрубок 7, а твердая фракция перемещается вверх и выносится через вырез на верхнем крае конического поддона 6 в направляющий усеченный конус 14. При этом вырезы от всех поддонов 6 состыкованы с верхним основанием направляющего конуса, расположенного с основанием большого диаметра в диэлектрическом цилиндре 13. Итак, во второй рабочей камере происходит разделение сырья на твердую и жидкую фракции за счет избыточного давления между вращающейся конической тарелкой 5 с прорезями и образующей конического поддона 6.

Третья рабочая камера представлена как цилиндрический резонатор 9, соосно расположенный в вертикальном цилиндрическом экранирующем корпусе 8. К образующей резонатора пристыкованы волноводы и магнетроны 10 с вентиляционными воздухопроводами. На дне резонатора расположен вращающийся диск с оребрением 12 для перемешивания продукта и патрубок 11 с шаровым клапаном для выгрузки готового продукта.

Установка работает следующим образом. Закрывают шаровой кран в патрубке 11 для выгрузки. Включают электродвигатели привода диска 12, конических тарелок 5, скребка 3 и измельчителя. После попадания твердой фракции сырья в резонатор включают сверхвысокочастотные генераторы. Сырье измельчается в виде пюре, попадает в лоток 1, с помощью скребка 3 перемещается в соответствующие конические тарелки 5 через усеченный конус 4. За счет центробежной силы сырье обезвоживается, т.е. жидкая фракция выдавливается через прорезы конических тарелок, вытекает в поддон 6, далее через патрубок 7 в специальную накопительную емкость. Твердая фракция поднимается на край конических тарелок и далее в диэлектрический цилиндр 13. Это ограничивает забрызгивание продукта на волноводы с излучателем 10, расположенные на образующей цилиндрического резонатора 9. В резонаторе

происходит воздействие ЭМП СВЧ на твердую фракцию сырья, оно варится и обеззараживается в процессе перемешивания с помощью диска 12. Сваренный белковый продукт выгружается через патрубок 11 с шаровым клапаном.

Скорость вращения конической тарелки, объем измельченного и обезвоженного сырья в резонаторе, мощность СВЧ генераторов и их количество, электрофизические параметры сырья, размер прорезей тарелки, содержание твердой фракции в сырье, температура нагрева влияют на производительность установки. Вареный продукт направляется для использования в качестве кормовой белковой добавки для животных. Все процессы управляемы и контролируются, имеются датчики температуры и блокировки, автоматической защиты от перегрузки и переполнения сырья. В шкаф управления выведены высоковольтные трансформаторы, другие элементы генераторного блока, кнопки включения и выключения генераторов и электродвигателей, сигнальные лампы.

Пользуясь методикой поиска собственных мод резонатора, при помощи программного обеспечения CSTStudio 2017 и модуля MicrowaveStudio – системой параметрического моделирования трехмерных структур [11], проведены исследования напряженности электромагнитного поля, плотности тока, собственной добротности резонатора.

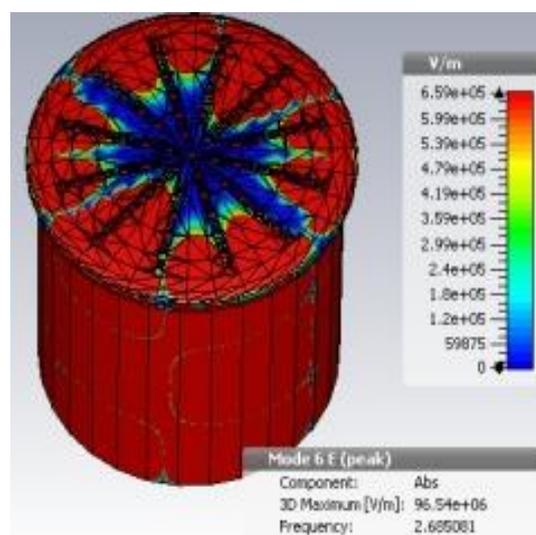


Рис. 2. Результаты исследования электродинамических параметров резонатора

Результаты исследования основных электродинамических параметров резонатора показывают, что:

- вектора напряженности электрического поля собственных мод резонатора в соответствии с графической визуализацией и текстовой информацией не равномерно распределены по всей рабочей области;
- амплитудные значения напряженности электрического поля концентрируются в наибольшей степени по месту расположения излучателя в резонаторах;

- собственная добротность резонатора 6530 и напряженность ЭП составляет 0,6-3,6 кВ/см.

Итак, в резонаторе с тремя СВЧ источниками напряженность электрического поля высокая, достаточная для обеззараживания непищевых отходов убоя животных, причем при такой собственной добротности резонатора КПД микроволновой установки не менее 0,57-0,58.

Технические характеристики разработанной и изготовленной СВЧ установки приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Технические характеристики СВЧ установки**

Производительность установки по твердой фракции, кг/ч	30-40
Потребляемая мощность СВЧ установки, кВт	6,08
Потребляемая мощность СВЧ установки без измельчителя, кВт	4,28
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	0,24
Мощность перемешивающего диска, кВт	0,32
Мощность измельчителя, кВт	1,8
Мощность центрифуги, кВт	0,32
Потребляемая мощность трех СВЧ генераторов, кВт	3,4
Удельные энергетические затраты без измельчения, кВт·ч/кг	0,11-0,14
Габаритные размеры, м	0,8x0,8x1,5

Проведена технико-экономическая оценка проектируемой СВЧ установки для термообработки непищевых отходов животного происхождения. Балансовая стоимость разработанной СВЧ установки с тремя магнетронами в цилиндрическом резонаторе составляет 40000 руб.

За базовый вариант принимали экструдер фуражного зерна ЭК-40 стоимостью 88 тыс. руб. Технические характеристики приведены в таблице 2. Он обладает такой же производительностью, что и проектный вариант; обеспечивает высокотемпературное формование белкового продукта из смеси растительного и животного происхождения.

Эффективность применения СВЧ технологии оценивали: сравнением энергетической эффективности других технологий; выявлением эффек-

тивного сочетания СВЧ технологии с другими видами обработки непищевых отходов убоя животных, в том числе с измельчением, обезвоживанием; оценкой эксплуатационных затрат на оборудование для реализации СВЧ технологии.

Результаты оценки технико-экономических показателей применения СВЧ установки для термообработки непищевых отходов сведены в таблице 3.

Годовой экономический эффект от применения СВЧ установки с комбинированным резонатором для термообработки и обеззараживания непищевых мясного сырья по сравнению с экструдером ЭК-40 составляет 288 тыс. руб. за счет снижения эксплуатационных затрат, при объеме выработанной продукции 84 т.

Таблица 2

**Технические характеристики экструдера ЭК-40**

Потребляемая мощность, кВт	4,0
Производительность, кг/ч	40
Удельные энергетические затраты, кВт·ч/кг	0,1
Габаритные размеры установки, мм	600x600x1200
Масса, кг	90

Таблица 3

**Экономические показатели внедрения СВЧ установки**

Показатели	Базовая, ЭК-40	Проектная
Балансовая стоимость, руб.	88000	40000
Производительность установки, кг/ч (твердая фракция, влажностью 35-40%)	40	40
Потребляемая мощность, кВт	4,0	4,28
Потребляемая электроэнергия, кВт·ч/кг	0,1	0,107
Эксплуатационные расходы на термообработку сырья, руб/мес.	48062	33674
Себестоимость расходов на термообработку сырья, руб/кг	6,87	4,81
Цена непищевых отходов, руб/кг	10	10
Себестоимость термообработанного продукта, руб/кг	16,87	14,81
Цена реализации продукта, руб/кг	50	50
Прибыль, руб/кг (чистый доход)	33,13	35,19
Объем выработанной продукции, кг/мес.	7000	7000
Капитальные затраты, руб/(кг/мес.)	12,57	5,71
Экономический эффект $[(6,87+0,2 \cdot 12,57) - (4,81+0,2 \cdot 5,71)] \cdot 7000 = 24024$ руб/мес.		
Рентабельность, %	196	238
Повышение рентабельности, %		42

**Заключение**

Анализ результатов исследований показывает, что термообработку и обеззараживание непищевых отходов убоя животных производительностью 40 кг/ч в непрерывном режиме при энергетических затратах 0,11-0,2 кВт·ч/кг может обеспечить СВЧ установка с цилиндрическим резонатором и

3 магнетронами малой мощности (700-800 Вт) при измельчении и обезвоживании сырья (до 35-40%).

**Библиографический список**

1. Бредихин С.А. Технологическое оборудование мясокомбинатов. – М.: Колос, 2000. – 206 с.

2. Ивашов В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. – М.: Колос, 2001. – 552 с.
3. 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.
4. Зиганшин Б.Г., Белова М.В., Новикова Г.В. Электродинамический анализ резонаторов, используемых в сверхвысокочастотных установках // Естественные и технические науки. – М.: Спутник+, 2015. – № 6. – С. 477-480.
5. Жданкин 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.
6. Белова М.В. Разработка сверхвысокочастотных установок для термообработки сельскохозяйственного сырья: автореф. дис. ... докт. техн. наук. – М.: ФГБНУ ВИЭСХ, 2016. – 40 с.
7. Пат. 2505355 РФ, МПК С11В1/12. Сверхвысокочастотная установка для выделения расплавленного жира из жиросодержащего сырья / Белова М.В., Белов А.А., Новикова Г.В., Михайлова О.В., Ершова И.Г.; заявитель и патентообладатель АНОВО «АТУ» (RU). – № 2015138179/13(058546); заявл. 2.08.2015. Бюл. № 35 от 20.12.2016. – 15 с.
8. Уездный Н.Т. СВЧ установка для термообработки крови убойных животных: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: ВИЭСХ, 2013. – 20 с.
9. Пат. 2629259 РФ, МПК А23К 1/10. Сверхвысокочастотная установка для варки отходов убоя птицы и животных / Жданкин Г.В., Новикова Г.В.; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016146640; заявл. 28.11.2016. Бюл. № 25 от 28.08.2017. – 10 с.
10. Жданкин Г.В., Зиганшин Б.Г., Белова М.В. Разработка многомодульной сверхвысокочастотной установки для термообработки сырья животного происхождения // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4 (42). – С. 79-83.
11. Глушаков С.В., Жакин И.А. Математическое моделирование. MathCad 2000. Matlab 5.3. – М.: Фолио, 2001. – 528 с.
12. agrosver.ru Торговая площадка kormovoy-ekstruder-ek-40.

#### References

1. Bredikhin S.A. Tekhnologicheskoe oborudovanie myasokombinatov. – М.: Kolos, 2000. – 206 s.
2. Ivashov V.I. Tekhnologicheskoe oborudovanie predpriyatiy myasnoy promyshlennosti. – М.: Kolos, 2001. – 552 s.
3. Belova M.V. Konstruktivnye osobennosti rezonatorov sverkhvysokochastotnykh ustanovok dlya termoobrabotki syrya v potochnom rezhime // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – No. 4 (38). – S. 31-37.
4. Ziganshin B.G., Belova M.V., Novikova G.V. Elektrodinamicheskiy analiz rezonatorov, ispolzue-mykh v sverkhvysokochastotnykh ustanovkakh // Yestestvennye i tekhnicheskie nauki. – 2015. – No. 6. – S. 477-480.
5. Novikova G.V., Zhdankin G.V., Mikhaylova O.V., Belov A.A. Analiz razrabotannykh sverkhvysokochastotnykh ustanovok dlya termoobrabotki syrya // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – No. 4 (42). – S. 89-93.
6. Belova, M.V. Razrabotka sverkhvysokochastotnykh ustanovok dlya termoobrabotki selskokhozyaystvennogo syrya: avtoreferat dis. na soiskanie uch. stepeni dokt. tekhn. nauk. – М.: FGBNU VIESKh, 2016. – 40 s.
7. Patent No. 2505355 RF, МПК S11V1/12. Sverkhvysokochastotnaya ustanovka dlya vydeleniya rasplavlennoy zhiro iz zhirosoderzhashchego syrya / M.V. Belova, A.A. Belov, G.V. Novikova, O.V. Mikhaylova, I.G. Yershova; yayavitel i patentoobladatel ANOVO «ATU» (RU). – No. 2015138179/13(058546); yayavl. 2.08.2015. Byul. No. 35 ot 20.12.2016. – 15 s.
8. Uezdnyy, N.T. SVCh ustanovka dlya termoobrabotki krovi uboynykh zhivotnykh: avtoref-

erat dis. ... kand. tekhn. nauk. – M.: VIESKh, 2013. – 20 s.

9. Patent No. 2629259 RF, MPK A23K 1/10. Sverkhvysokochastotnaya ustanovka dlya varki ot-khodov uboaya ptitsy i zhivotnykh / G.V. Zhdankin, G.V. Novikova; zayavitel i patentoobladatel NGSKhA (RU). – No. 2016146640; zayavl. 28.11.2016. Byul. No. 25 ot 28.08.2017. – 10 s.

10. Zhdankin G.V., Ziganshin B.G., Belova M.V. Razrabotka mnogomodulnoy sverkhvysokochas-

totnoy ustanovki dlya termoobrabotki syrya zhivotnogo proiskhozhdeniya // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – No. 4 (42). – S. 79-83.

11. Glushakov S.V., Zhakin I.A. Matematicheskoe modelirovanie. MathCad 2000. Matlab 5.3. – M.: Folio, 2001. – 528 s.

12. agroservers.ru» Torgovaya ploshchadka» kormovoy-ekstruder-ek-40.



УДК 631.33

**В.Ф. Пашченко, Ю.Н. Сыромятников, Н.С. Храмов**  
**V.F. Pashchenko, Yu.N. Syromyatnikov, N.S. Khramov**

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПРИЦЕПНЫХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

### SOLVING THE PROBLEMS OF STABILITY OF TRAILED TILLAGE EQUIPMENT

**Ключевые слова:** дифференциальное уравнение, обратная задача, вероятностный характер, динамические системы, устойчивость движения, метод, процессы эксплуатации, математический аппарат, механические системы, начальный момент.

Практика решения систем дифференциальных уравнений, описывающих динамику функционирования сельскохозяйственных машин и агрегатов в целом, показала, что они могут решаться только численным методом и само решение можно получить крайне редко. Это объясняется тем, что в задачах земледельческой механики, как правило, решается обратная задача, в которой задаются силы, действующие на механическую систему, и определяется закон движения последней. Поэтому дифференциальное уравнение или их система решаются

только в том случае, если в начальный момент её движения силы, действующие на неё, будут находиться в равновесии. Процессы, которые проходят в машинно-тракторных агрегатах при взаимодействии с внешней средой, имеют сложный вероятностный характер и не являются стационарными. Поэтому результаты решений дифференциальных уравнений не всегда могут удовлетворять необходимой степени адекватности реальным условиям. В реальных условиях внешнее воздействие на машинные агрегаты носит вероятностный характер и представлено дискретными скачками. Для изучения степени такого влияния на динамические системы проводили исследования на устойчивость движения. В связи с наличием в машинных агрегатах управляющих механизмов и сравнительно небольшими значениями внешних возмущающих воздействий по отношению массы энерго-