

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 2, Number 428 (2018), 201 – 211

G. V. Zhdankin<sup>1</sup>, O.V. Mikhailova<sup>2</sup>, V. G. Semenov<sup>3</sup>, D. A. Baimukanov<sup>4</sup>,  
K. Zh. Iskhan<sup>5</sup>, M. B. Kalmagambetova<sup>4</sup>, S. D. Nurbayev<sup>4</sup>, Kh. A. Aubakirov<sup>6</sup>

<sup>1</sup>State Federal-Funded Educational Institution of Higher Professional Training  
"Nizhny Novgorod State Agricultural Academy", Nizhny Novgorod, Russia,

<sup>2</sup>State-Funded Educational Institution of Higher Professional Training  
"Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University", Knyaginino, Nizhny Novgorod Region, Russia,

<sup>3</sup>State Federal-Funded Educational Institution of Higher Professional Training  
"Chuvash State Agricultural Academy", Cheboksary, Russia,

<sup>4</sup>Limited Liability Partnership "Kazakh Scientific Research Institute of Animal Breeding and Fodder Production",  
Almaty, Kazakhstan,

<sup>5</sup>Non-commercial Joint-Stock Company "Kazakh National Agrarian University", Almaty, Kazakhstan,

<sup>6</sup>Taraz State University named after M. Kh. Dulati, Taraz, Kazakhstan.

E-mail: gdankin@inbox.ru ds17823@yandex.ru semenov\_v.g@list.ru dbaimukanov@mail.ru kairat@mail.ru  
animal\_feeding@mail.ru sdnurbaev@mail.ru hamit\_a57@mail.ru

## MICROWAVE INSTALLATION WITH CONICAL RESONATORS FOR THE HEAT TREATMENT OF INEDIBLE MEAT WASTES

**Abstract.** *The aim of the research* is to develop ultrahigh-frequency installations and technologies for heat treatment of inedible wastes of animal origin in a continuous mode to increase the feed value of the protein product. In connection with the aim, the main objectives were solved, which allowed to manufacture and test in the production conditions of microwave installations for the heat treatment of inedible wastes of animal origin and to assess the technical and economic efficiency of their introduction into farms.

*The objects of research* are the technological processes that provide heat treatment of multicomponent raw materials, experimental and test samples of ultra-frequency installations. The subject of research is the detection of laws of the influence of the electromagnetic field of ultrahigh frequency on multicomponent raw materials of high humidity for determination of effective operating modes of functioning of ultrahigh-frequency installations in the continuous mode.

For the implementation of microwave technology for the heat treatment of multicomponent highly-humid raw material multi-generating radio-leak-tight installations with a low-power magnetron air cooling, ensuring the continuity of the technological process and the repeated impact of EMF of UHF, at sufficiently high electric field intensity and the own Q-factor of the resonator was developed. The configuration of the working chambers provides for the possibility of ensuring uniform heating of raw materials and varying the productivity of the installation, with the implementation of its sanitary processing.

There were developed two microwave setups with a conical resonator for the heat treatment and disinfection of inedible wastes of animal origin, providing the high electric field, the continuity of the technological process in compliance with radio leak-tightness.

**Keywords:** microwave generator, magnetron, biconical and tetraconical resonators, inedible wastes of animal origin, heat treatment and disinfection, continuous mode.

Г. В. Жданкин<sup>1</sup>, О. В. Михайлова<sup>2</sup>, В. Г. Семенов<sup>3</sup>, Д. А. Баймуканов<sup>4</sup>,  
К. Ж. Исхан<sup>5</sup>, М. Б. Калмагамбетов<sup>4</sup>, С. Д. Нурбаев<sup>4</sup>, Х. А. Аубакиров<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», Нижний Новгород, Россия,

<sup>2</sup>Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», Нижегородская область, Княгинино, Россия,

<sup>3</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», Чебоксары, Россия,

<sup>4</sup>Товарищество с ограниченной ответственностью «Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства», Алматы, Казахстан,

<sup>5</sup>Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный аграрный университет», Алматы, Казахстан,

<sup>6</sup>Таразский государственный университет им. М. Х. Дулати, Тараз, Казахстан

## МИКРОВОЛНОВЫЕ УСТАНОВКИ С КОНИЧЕСКИМИ РЕЗОНАТОРАМИ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ НЕПИЩЕВЫХ МЯСНЫХ ОТХОДОВ

**Аннотация.** Целью исследований является разработка сверхвысокочастотных установок и технологии термообработки непищевых отходов животного происхождения в непрерывном режиме для повышения кормовой ценности белкового продукта. В связи с поставленной целью решены основные задачи, позволившие изготовить и апробировать в производственных условиях СВЧ установки для термообработки непищевых отходов животного происхождения и оценить технико-экономическую эффективность их внедрения в фермерские хозяйства.

*Объектом исследования* являются технологические процессы, обеспечивающие термообработку многокомпонентного сырья, экспериментальные и опытные образцы сверхвысокочастотных установок.

*Предметом исследований* является выявление закономерностей воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты на многокомпонентное сырье высокой влажности для определения эффективных рабочих режимов функционирования сверхвысокочастотных установок в непрерывном режиме.

Для осуществления микроволновой технологии термообработки многокомпонентного высоковлажного сырья разработаны многогенераторные радиогерметичные установки с маломощными магнетронами воздушного охлаждения, обеспечивающие непрерывность технологического процесса и многократное воздействие ЭМП СВЧ, при достаточно высокой напряженности электрического поля и собственной добротности резонатора. В конфигурации рабочих камер предусмотрены возможности обеспечения равномерного нагрева сырья и варьирования производительностью установки, с осуществлением ее санитарной обработки.

Описаны две разработанные сверхвысокочастотные установки с коническими резонаторами для термообработки и обеззараживания непищевых отходов животного происхождения, обеспечивающие высокую напряженность электрического поля, непрерывность технологического процесса при соблюдении радиогерметичности.

**Ключевые слова:** сверхвысокочастотный генератор, магнетрон, биконический и тетроконический резонаторы, непищевые отходы животного происхождения, термообработка и обеззараживание, непрерывный режим.

**Введение.** В соответствии со стратегией развития перерабатывающей промышленности РФ на период до 2020 года и Федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы, утвержденной от 25.08.2017 г, № 996, предусматривающих задачи обеспечения импортозамещения биологических добавок за счет увеличения собственного производства и повышения эффективности технологии переработки непищевых отходов животного происхождения, разработка научно-обоснованной технологии и технических средств, обеспечивающих повышение кормовой ценности, *актуальна.*

Известно, что в процессе убоя птиц и животных с последующей переработкой накапливаются технические отходы, отличающиеся высоким содержанием влаги (65–75 %), направляемые на выработку животных кормов. Из-за высокого содержания влаги сырье является хорошей средой

для развития микроорганизмов, поэтому все непищевые отходы животного происхождения следует перерабатывать для уничтожения патогенной микрофлоры [1].

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 не большой производительности сложно. Известна технология производства кормовой муки из крови, где основные процессы проводят в вакуумных котлах, при высоких затратах на электроэнергию (30 кВт·ч/т сырья) и пара (1200 кг/т сырья) [2].

Поэтому для агропредприятий малой и средней мощности, разработка технологий и технических средств для термообработки непищевых отходов животного происхождения, позволяющие обеззараживать продукт, *актуально*.

Нами предлагаются технологии и технические средства для термообработки непищевых отходов животного происхождения в электромагнитном поле сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) для повышения кормовой ценности белковой добавки при сниженных эксплуатационных затратах [3-9]. Для реализации такой технологии разработаны установки с сверхвысокочастотным (СВЧ) энергоподводом [10-18].

Важность развития исследований в России эффектов сверхвысокочастотного (СВЧ) нагрева подтверждается принятием 17 декабря 2012 года Стратегической программы исследований «СВЧ технологии», определяющей развитие промышленных установок технологического нагрева.

Известно, что СВЧ установки в США, Англии, Канаде, Германии и Франции разрабатывают на основе одного или нескольких источников СВЧ - энергии, мощностью от 25 до 50 кВт. Такие установки имеют значительные размеры и вес, устройства водяного охлаждения и средств защиты магнетронов от отраженной мощности (ферритовые циркуляторы), но не обеспечивают равномерного нагрева сырья [19-25]. При выходе одного источника из строя, необходимо остановить весь технологический процесс. Стоимость установленной СВЧ мощности оценивается 2500–3000 долларов за 1 кВт. Поэтому для широкого внедрения СВЧ установок в с.-х. производство необходимо снизить стоимость установленной СВЧ мощности в среднем до 100–300 долларов [10].

**Научная проблема** – повышение эффективности функционирования сверхвысокочастотных установок, обеспечивающих термообработку и обеззараживания непищевых отходов животного происхождения с повышением кормовой ценности белковой добавки.

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. Ими разработаны технологические линии производства сухих животных кормов из крови, жира, костей и т.д. [2].

Большой вклад в теорию теплообменных процессов и теорию электромагнитных полей внесли: Архангельский Ю.С., Атабеков Г.И., Бессонов Л.А., Бунимович В.И., Гинзбург А.С., Дробахина О.О., Кисунько Г.В., Коломейцев В.А., Лыков А.В., Лурье М.Ю., Нетушил А.В., Нейман М.С., Рудобашта С.П. и др. [11, 24].

Основоположниками инновационных электротехнологий являются Бородин И.Ф., Стребков Д.С., Прищеп Л.Г. и др. Продолжаются работы по разработке и совершенствованию сверхвысокочастотной технологии и технических средств Васильевым А.Н., Вендиным С.В. и др. [12, 13].

Однако, задача повышения кормовой ценности белковых добавок воздействием электромагнитных излучений в непрерывном режиме, при использовании маломощных сверхвысокочастотных генераторов, остается нерешенной. Анализ результатов исследований, выполненных многими авторами [11, 10] по реализации электрофизических методов воздействия на сырье животного происхождения, в том числе на непищевые отходы убоя животных, позволяет выделить основные направления совершенствования микроволновой технологии.

**Целью исследований** является разработка СВЧ установок и технологии термообработки непищевых отходов животного происхождения в непрерывном режиме для повышения кормовой ценности.

В связи с поставленной целью сформулированы следующие задачи:

1. Разработать технологии переработки непищевых отходов животного происхождения многократным воздействием ЭМП СВЧ, обеспечивающие повышение кормовой ценности белкового продукта;

2. Расширить исследования способа воздействия ЭМП СВЧ на многокомпонентное сырье в нетрадиционных резонаторах и получить математические модели процесса функционирования установок, обеспечивающих непрерывность технологического процесса варки и обеззараживания непищевых отходов животного происхождения с рациональными конструктивно-технологическими параметрами;

3. Вывести аналитические зависимости, позволяющие обосновать параметры электродинамической системы с нетрадиционными резонаторными камерами, обеспечивающие варку и улучшение микробиологических показателей белкового продукта;

4. Исследовать картину распределения электромагнитного поля сверхвысокой частоты и теплового потока в резонаторах, обеспечивающих непрерывный режим работы СВЧ установок;

5. Разработать методику проектирования сверхвысокочастотных установок, базирующуюся на выведенных аналитических зависимостях и уравнении динамики эндогенного нагрева многокомпонентного сырья при изменении электрофизических параметров в процессе термообработки;

6. Обосновать комплекс конструктивно-технологических параметров и режимы работы сверхвысокочастотных установок с учетом выявленных зависимостей и результатов исследований физико-химических, микробиологических и органолептических показателей, характеризующих кормовую ценность белкового продукта;

7. Разработать, изготовить и апробировать в производственных условиях СВЧ установки для термообработки непищевых отходов животного происхождения и оценить технико-экономическую эффективность их внедрения в фермерские хозяйства; разработать научно-обоснованные практические рекомендации по созданию установок со сверхвысокочастотным энергоподводом для снижения эксплуатационных затрат и повышения кормовой ценности белкового продукта; разработать техническое задание для создания образца СВЧ установки для термообработки и обеззараживания непищевых отходов животного происхождения в непрерывном режиме.

**Методы исследований.** Исследования проводились на основе теории электромагнитного поля с использованием математических аппаратов электродинамики. Обработка экспериментальных данных выполнена с использованием компьютерных программ Microsoft Excel 10.0, Statistic 5.0, трехмерного моделирования конструктивного исполнения СВЧ установок в программе Компас-3DV15. Вычисления и визуализация распределения электромагнитного поля в разработанных резонаторах проведены по программам трехмерного компьютерного моделирования электрического поля CST Studio Suite 2015 и ее подпрограммы CST Microwave Studio. Экспериментальные исследования процесса многократного воздействия ЭМП СВЧ на сырье проводились с применением электронной цифровой регистрирующей аппаратуры. Модель разделения сырья на твердую и жидкую фракцию выполнена в программе Flow Vision 2.5. Многокритериальную оценку технологического процесса воздействия ЭМП СВЧ на сырье проводили через регрессионные модели, полученные на основе теории активного планирования трехфакторного эксперимента типа  $2^3$  в программах Statistic 8.0, Excel 10.0. Качество обработанного продукта оценивали через органолептические, физико-химические и микробиологические показатели в специализированных лабораториях, и с помощью инфракрасного анализатора «SpectraStar 2400». Трехмерное моделирование конструктивного исполнения СВЧ установок проводили в программе Компас-3DV15.

**Результаты исследований.** Для снижения эксплуатационных затрат на технологический процесс производства белкового продукта из непищевых отходов животного происхождения предлагается провести термообработку в ЭМП СВЧ сырья, предварительно измельченного и обезвоженного. Для осуществления микроволновой технологии переработки многокомпонентного высоковлажного сырья разработаны разные нетрадиционные конфигурации объемных резонаторов, обеспечивающих реализацию следующих критериев [14]:

1. Непрерывность технологического процесса воздействия ЭМП СВЧ;

2. Высокая напряженность электрического поля, достигаемая за счет использования особой конфигурации резонаторов и нескольких источников излучений в одном резонаторе, обеспечивающих многократное воздействие ЭМП СВЧ на сырье, повышающее бактерицидный эффект;

3. Высокая собственная добротность резонатора, при которой сохраняется высокий КПД установки, достигаемая за счет особых конфигураций камер;



4. Радиогерметичность установки, за счет использования экранирующего корпуса из неферромагнитного материала и запердельных волноводов вместо приемных и разгрузочных патрубков;

5. Вариативность производительности установки и универсальность для многокомпонентного сырья с большой влажностью, достигаемые за счет использования нескольких маломощных магнетронов с воздушным охлаждением;

6. Равномерность распределения электрического поля и непищевых отходов в резонаторе;

7. Возможность обеспечения санитарной обработки рабочей камеры после проведения термообработки сырья.

Далее приведено описание разработанных микроволновых установок, содержащих конические резонаторы, позволяющие создать высокую напряженность электрического поля и непрерывность технологического процесса, при сохранении предельно допустимого уровня радиогерметичности.

**1. Сверхвысокочастотная установка с биконическим резонатором для термообработки непищевых отходов животного происхождения.** Известно, что с целью повышения радиационной добротности используют открытый биконический резонатор, сечение которого уменьшается от центра к краям [12, 13]. В средней части такого резонатора существуют волны, постоянные распространения которых уменьшаются в случае удалении от центра резонатора. При достижении диаметра открытого торца резонатора определенных предельных значений, которые могут быть охарактеризованы значением половины диаметра основания конических составляющих резонатора, добротность резонатора значительно снижается и его применение теряет смысл [22-24].

Характерной особенностью биконического резонатора является наличие в них областей с резко выраженным экспоненциальным законом изменения электромагнитного поля. Такое распределение поля позволяет удалить часть поверхности без существенных потерь добротности для некоторых типов колебаний и тем самым реализовать открытую резонансную систему. Биконический резонатор по сравнению с цилиндрическим резонатором [14, 25] исключают вырождение паразитных типов колебаний, а это позволяет достичь высоких значений добротности. Соответствующим выбором угла при вершине конуса можно сформировать электромагнитное поле, сконцентрированное в основном в центральной области резонатора, а это способствует большему повышению добротности резонатора [3, 12].

Разработанная СВЧ установка с биконическим резонатором (рисунок 1) обладает достаточно высокой собственной добротностью, радиогерметичностью и где можно возбудить электрическое поле высокой напряженности. Основными узлами установки являются биконический резонатор 5, сверхвысокочастотные генераторы, шнековый транспортер 3, 4 с мотором редуктором 1 и загрузочная емкость 2. Внутри горизонтально расположенного биконического резонатора 5 соосно по центральной его оси установлен шнековый транспортер 3,4. Он выполнен в виде цилиндрического диэлектрического корпуса 4 с винтовым диэлектрическим шнеком 3. Отверстие на одной вершине кругового конуса 5 и конец цилиндрического диэлектрического корпуса 4 пристыкованы к нижнему основанию загрузочной емкости 2. Продолжение винтового диэлектрического шнека 3 расположено в загрузочной емкости 2, и соединено с валом мотора-редуктора 1. Мотор-редуктор 1 для привода шнека установлен с наружной стороны загрузочной емкости 2. Эта емкость 2 выполнена из неферромагнитного материала. Диаметр отверстия на другой вершине кругового конуса (биконический резонатор 5) меньше, чем четверть длины волны, тогда ограничивается излучение. Магнетроны 6 СВЧ генераторов установлены по периметру стыка оснований круговых конусов, со сдвигом на 120 градусов. В области вершин круговых конусов в биконическом резонаторе возбуждается электрическое поле высокой напряженности. Это значит, при двукратном воздействии высокой напряженности электрического поля сверхвысокой частоты происходит уничтожение бактериальной микрофлоры, т.е. обеспечивается стерильность сваренного белкового корма для животных.

Непрерывность технологического процесса обеспечивается с помощью винтового шнека 3, выполненного из диэлектрического материала, например из фторопласта.

Винтовой шнек состоит из цилиндрического диэлектрического корпуса 4, внутри которой вращается диэлектрический шнек 3 с спиралевидным ребром. На вершинах конусов с общим основанием круглого сечения, имеются отверстия для подачи сырья и выгрузки готовой продукции в

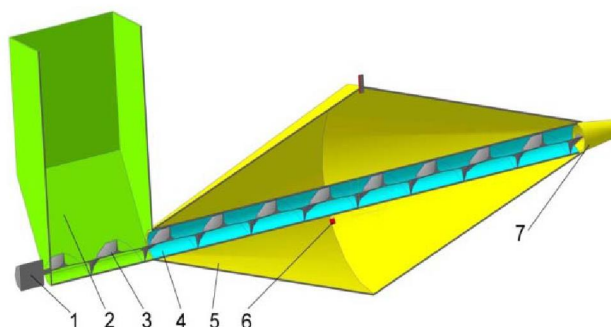


Рисунок 1 – Сверхвысокочастотная установка с биконическим резонатором для термообработки и обеззараживания отходов животного происхождения: 1 – мотор-редуктор для привода диэлектрического шнека; 2 – загрузочная емкость для измельченного сырья; 3 – винтовой шнек; 4 – цилиндрический корпус шнека; 5 – биконический резонатор; 6 – магнетроны СВЧ генератора; 7 – выгрузное отверстие на вершине кругового конуса

непрерывном режиме. Если диаметр этих отверстий меньше, чем четверть длины волны, то установка соответствует по требованиям радиогерметичности, т.е. предельно допустимый уровень (ПДУ) потока мощности излучения не превышает нормативное значение. Конструкционные параметры конического резонатора согласованы с длиной волны.

*Технологический процесс термообработки отходов убоя животных* в биконическом резонаторе в непрерывном режиме происходит следующим образом. Загрузить измельченным непищевым отходом загрузочную емкость 2. Включить мотор-редуктор 1 для привода винтового шнекового транспортера 3, 4. При вращении винтового диэлектрического шнека 3 спиралевидные ребра проталкивают сырье по диэлектрическому цилиндрическому корпусу 4. Включить СВЧ генераторы, излучатели от магнетронов 6, направленные внутрь биконического резонатора 5, возбуждают в нем электромагнитное поле. Причем напряженность электрического поля сверхвысокой частоты в биконическом резонаторе увеличивается от центра к вершинам круговых конусов. Поэтому при перемещении сырья с помощью винтового шнека через биконический резонатор 5, сырье подвергается воздействию электрического поля сразу высокой напряженности с постепенным спадом до центральной части резонатора, далее с увеличением напряженности электрического поля к выгрузному отверстию 7. Такое двукратное воздействия электрического поля с плавным изменением напряженности от минимума до максимума, обеспечивает уничтожение патогенных микроорганизмов и выравнивание температуры сырья в объеме межвиткового пространства винтового шнека в процессе его перемещения и перемешивания. Это обеспечивает равномерный диэлектрический нагрев и термообработку сырья. Принцип действия шнека из диэлектрического материала основывается на использовании вращающегося винта, спиралевидные ребра которого перемещает сырье, расположенный в полостях между цилиндрическим корпусом и винтом шнека. Вращение шнеку передается от мотора редуктора со стороны загрузочной емкости 2. Применение такого винтового шнека обусловлено физическими свойствами непищевых отходов убоя животных, и возможностью технического обслуживания электропривода. Привод шнека осуществляется при помощи мотора-редуктора, позволяющего регулировать частоту вращения, для регулирования продолжительности перемещения сырья через биконический резонатор. Цилиндрический корпус шнека 4 изготовлен из диэлектрического материала. Размеры корпуса 4 (диаметр и длина) согласованы с размерами биконического резонатора, которые свою очередь согласованы с длиной волны. Форма и исполнение подающего винтового шнека в значительной степени зависит от физико-механических свойств сырья.

Производительность установки зависит от количества СВЧ генераторов и дозы (Вт·с/г) воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ), т.е. произведения удельной мощности генератора (Вт/г) и продолжительности воздействия (с).

**2. Сверхвысокочастотная установка с коническими резонаторами для термообработки непищевых мясных отходов.** Основными узлами микроволновой установки (рисунок 2) являются сферический экранирующий корпус 11, конические резонаторы с круглыми основаниями 3 и СВЧ генераторы 2 малой мощности. Рабочая камера представлена в виде конических резонаторов,

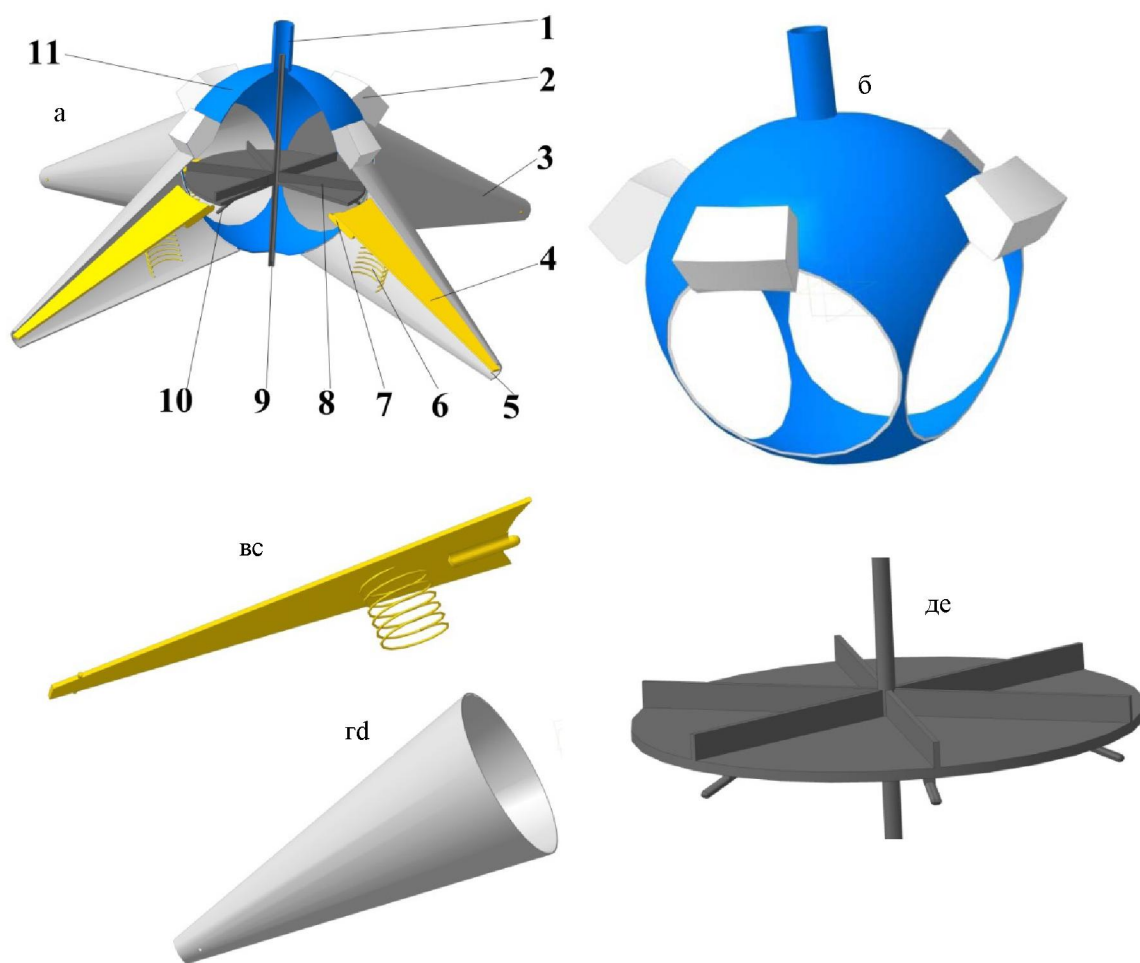


Рисунок 2 – Микроволновая установка с коническими резонаторами для термообработки непищевого мясного сырья в непрерывном режиме: а – общий вид, б – сферический экранирующий корпус с СВЧ генераторами; в – направляющий лоток с пружиной; г – конический резонатор; д – диск; 1 – загрузочный патрубкок; 2 – СВЧ генератор; 3 – круговой конический резонатор; 4 – диэлектрический направляющий лоток; 5 – выгрузное отверстие; 6 – пружина с радиопоглощающим покрытием; 7 – упорный элемент; 8 – диэлектрический диск с направляющими лопатками; 9 – вал электропривода; 10 – диэлектрический толкатель; 11 – сферический экранирующий корпус

круглые основания которых, состыкованы со сферическим экранирующим корпусом. В верхней части полусферы установлен загрузочный патрубкок 1. К нижней полусфере равномерно по периметру пристыкованы конические резонаторы. Для этого в экранирующем корпусе имеются отверстия в области нижних полусфер. При этом оси конических резонаторов являются продолжением радиальных осей сферического корпуса, внутри которого соосно установлен диск 8, вращающийся от вала 9 электропривода. На диске имеются направляющие лопатки, а под диском – толкатели 10. Диск, направляющие лопатки, толкатели выполнены из диэлектрического материала. Лопатки расположены по радиальным осям диска. Толкатели и упорные элементы обеспечивают вибрацию диэлектрического лотка 4.

СВЧ генераторы установлены на стыках сферического экранирующего корпуса и круговых конических резонаторов 3. На вершинах конических резонаторов имеются выгрузные отверстия 5. Для сохранения радиогерметичности СВЧ установки, диаметр выгрузного отверстия не может превышать четверть длины волны. Диаметр сферического экранирующего корпуса и конструктивные параметры конических резонаторов согласованы с длиной волны.

*Технологический процесс термообработки отходов убоя животных в непрерывном режиме происходит следующим образом.* Включить электропривод диска, измельчающий механизм, который подаст измельченные непищевые отходы в рабочую камеру, через загрузочный патрубкок 1,



имеющийся на сферическом корпусе 11. Далее включить сверхвысокочастотные генераторы 2. Сырье падает на вращающийся диэлектрический диск 8 и с помощью направляющих лопастей, за счет центробежной силы сбрасывается на диэлектрические лотки. В рабочей камере (в сфере 11 и в конических резонаторах 3) возбуждается электромагнитное поле сверхвысокой частоты. Сырье при передвижении по диэлектрическому диску 8 и по диэлектрическим лоткам 4 нагревается, варится и обеззараживается в непрерывном режиме. При этом диэлектрические лотки за счет упорных элементов 7 и толкателей 10 приподнимаются до уровня диэлектрического диска 8 и опускаются, и за счет вибрации пружины 6 сырье по диэлектрическим лоткам передвигается к выгрузным окнам 5.

Разработана номограмма (рисунок 3), позволяющая согласовать конструкционные параметры с режимами работы установки в зависимости от исходной бактериальной обсемененности сырья (ОМЧ); согласовать дозу воздействия ЭМП СВЧ, удельную мощность генератора и приращение температуры нагрева; определить производительность установки.

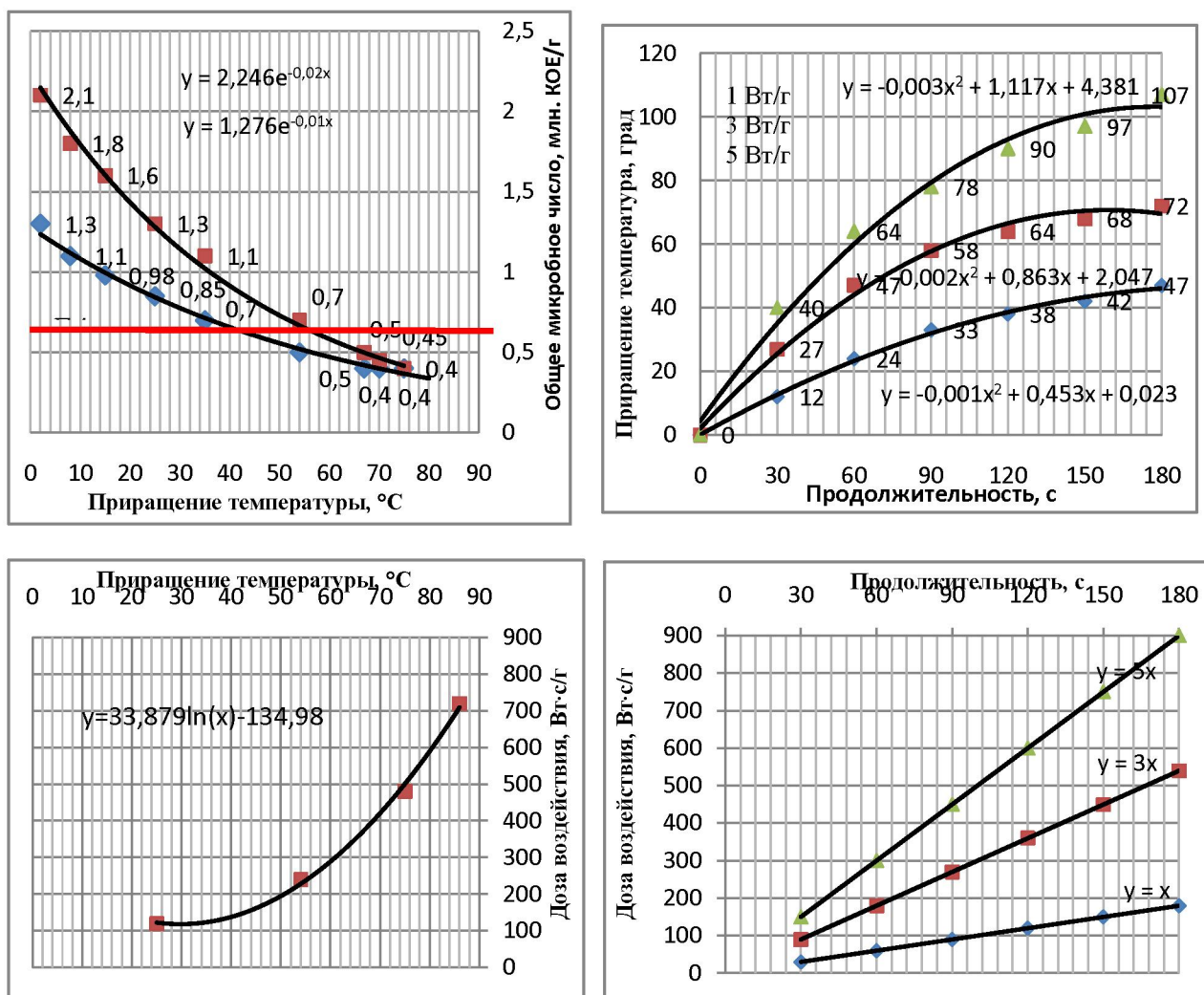


Рисунок 3 – Номограмма для согласования режимных параметров СВЧ установки с критерием оптимизации – с снижением ОМЧ в сырье

При термообработке непищевых отходов убоя скота в ЭМП СВЧ происходит: гидролиз крахмала и его декстринизация за счет чего повышается усвояемость; химическая модификация пищевых волокон клетчатки; увеличение стабильности жиров за счет разрушения ферментов, что увеличивает срок годности продукта. Под воздействием ЭМП СВЧ происходит модификация сырья, т.е. оно стабилизируется по составу и полностью стерилизуется. СВЧ установка позволяет

эффективно перерабатывать все образующиеся отходы убоя и обвалки с получением эффективного кормового продукта. Состав продукта зависит от вида перерабатываемых мясных отходов.

Технические характеристики СВЧ установки для термообработки непищевых отходов животного происхождения в непрерывном режиме с коническими резонаторами приведены в таблице.

Технические характеристики СВЧ установки с коническими резонаторами

Наименование	Параметры
Производительность, кг/ч	40–50
Мощность СВЧ генераторов, кВт	4,8
Мощность привода диска, кВт	0,5
Мощность СВЧ установки, кВт	5,3
Удельные энергетические затраты, кВт·ч/кг	0,11–0,13
Габаритные размеры, м	2,0-1,0

### Заключение.

1. Разработанные операционно-технологические схемы термообработки и обеззараживания непищевого мясного сырья воздействием электромагнитного поля сверхвысокой частоты и конструкционные схемы обеспечивают реализацию микроволновой технологии в непрерывном режиме с соблюдением электромагнитной безопасности установок, оцененной по значению мощности потока излучений не превышающей  $10 \text{ мкВт/см}^2$ , при работе 8 часов в сутки.

2. Выведенные математические зависимости динамики нагрева непищевого мясного сырья при изменении электрофизических параметров в процессе воздействия ЭМП СВЧ, позволяют согласовать конструкционно-технологические параметры с режимами работы СВЧ установки, а именно: собственную добротность (4000) и объем резонатора с напряженностью электрического поля (2,89 кВ/см) и скоростью нагрева (0,6–0,8°С/с) сырья разной влажности (65–80 %).

3. Вычислено и визуализировано распределение электромагнитного поля в режиме переходного процесса в программе CST Microwave Studio в конических резонаторах. Результаты позволили комплексно оценить изменение параметров электродинамической системы «генератор-резонатор-нагрузка».

4. На основе анализа регрессионных моделей и оценки химического состава белкового продукта выявлены рациональные конструкционно-технологические параметры и режимы работы СВЧ установки. Разработан, изготовлен образец СВЧ установки для термообработки и обеззараживания непищевых отходов убоя животных, потребляемой мощностью 4,28 кВт, обеспечивающей производительность до 30 кг/ч при энергетических затратах 0,15 кВт·ч/кг. Микробиологические параметры сырья с исходной бактериальной обсемененностью  $2 \cdot 10^6$  КОЕ/г и при термообработке в ЭМП СВЧ до 100°С улучшились до  $0,2 \cdot 10^6$  КОЕ/г. Химический состав обработанного продукта соответствует нормативным данным.

5. Экономический эффект от применения СВЧ установки для термообработки и обеззараживания непищевого мясного сырья в непрерывном режиме составляет в пределах 400 тыс. руб./год за счет снижения эксплуатационных затрат.

Разработаны научно-обоснованные практические рекомендации по созданию и эксплуатации СВЧ установок для термообработки и обеззараживания непищевого мясного сырья.

Полученные результаты могут быть успешно использованы для термообработки и обеззараживания непищевого мясного сырья в молочном скотоводстве, при выращивании молодняка самцов [15-18].

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кадыров Д.И., Гарзанов А.Л. Экструзионная переработка биологических отходов в корма // Птицеводство. – 2008. – № 7. – С. 51-54.  
 [2] Ивашов В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. – М.: Колос, 2001. – 552 с.



[3] Белова М.В., Жданкин Г.В., Новикова Г.В. Разработка сверхвысокочастотной установки контейнерного типа для термообработки крови и жиродержащего сырья // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – Казань, 2016. – № 4(42). – С. 74-78.

[4] Жданкин Г.В., Зиганшин Б.Г., Белова М.В. Разработка и обоснование параметров СВЧ установки со сферическим резонатором для термообработки боенских отходов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – Казань, 2017. – № 5. – С. 109-114.

[5] Жданкин Г.В., Зиганшин Б.Г., Белова М.В. Разработка многомодульной сверхвысокочастотной установки для термообработки сырья животного происхождения // Вестник Казанского ГАУ. – Казань: КГАУ, 2016. – № 4(42). – С. 79-83.

[6] Жданкин Г.В., Новикова Г.В., Зиганшин Б.Г. Разработка рабочих камер сверхвысокочастотных установок для термообработки непищевых отходов мясного производства // Вестник Ижевской ГСХА. – Ижевск: Ижевский ГСХА, 2017. – № 1(50). – С. 61-69.

[7] Жданкин, Г.В., Сторчевой В.Ф., Зиганшин 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.

[8] Патент № 2541634 РФ, МПК А23J1/06. Способ термообработки крови сельскохозяйственных животных / М.В. Белова, А.А. Белов, И.Г. Ершова, Н.Т. Уездный, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заявитель и патентообладатель ЧГСХА (RU). – № 2013146767; заявл. 18.10.2013. – Бюл. № 5 от 20.02.2015. – 7 с.

[9] Патент № 2629259 РФ, МПК А23К 1/10. Сверхвысокочастотная установка для варки отходов убоя птицы и животных / Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова; заявитель и патентообладатель НГСХА (RU). – № 2016146640; заявл. 28.11.2016. – Бюл. № 25 от 28.08.2017. – 10 с.

[10] Коломейцев В.А., Комаров В.В. Микроволновые установки с равномерным объемным нагревом. – Ч. 2. – Саратов: СГТУ, 2006. – 233 с.

[11] Диденко А.Н. СВЧ энергетика: теория и практика. – М.: Наука, 2003. – 447 с.

[12] Дробахин, О.О., Заболотный П.И., Привалов Е.Н. Резонансные свойства аксиально-симметричных микроволновых резонаторов с коническими элементами // Радиофизика и радиоастрономия. – 2009. – Т. 1, № 4. – С. 433-441.

[13] Стрекалов А.В., Стрекалов Ю.А. Электромагнитные поля и волны. – М.: РИОР: ИНФРА-М, 2014. – 375 с.

[14] Шамин Е.А., Б.Г. Зиганшин, Г.В. Новикова. Разработка сверхвысокочастотной установки с цилиндрическими резонаторами для сушки пушно-мехового сырья в непрерывном режиме В // Вестник НГИЭИ. – Княгинино: ГБОУ ВО НГИЭУ, 2017. – № 9(76). – С. 57-64.

[15] Begaliyeva D.A., Alentayev A.S., Ombayev A.M., Baimukanov D.A. Improvement of the Technology for Young-Stock Breeding of Black-and-White Dairy Cattle in the Southeast of Kazakhstan // OnLine Journal of Biological Sciences (<http://thescpub.com/abstract/10.3844/ofsp.11376>), 2017. – DOI: 10.3844/ojbsci.2017.

[16] Алентаев А.С., Смаилов С.Д., Баймуканов Д.А., Абдрахманов К.Т. Продуктивность заводского типа «ADAL» черно-пестрого скота АО «Агропромышленная Компания «АДАЛ» // Ж. Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан. – Алматы, 2017. – № 5. – С. 125-140.

[17] Бегалиева Д.А., Баймуканов Д.А., Алентаев А.С. Влияние технологии направленного выращивания нетелей молочных пород на формирование продуктивности // Исследования, результаты. – Алматы: КазНАУ, 2017. – № 4. – С. 45-51.

[18] Омбаев А.М., Бегалиева Д.А., Алентаев А.С., Баймуканов Д.А. Интенсивные технологии направленного выращивания молодняка молочных пород в Акмолинской и Алматинской областях // Исследования, результаты. – Алматы: КазНАУ, 2017. – № 4. – С. 166-170.

[19] Makimoto M., Yamashita S. Microwave resonators for wireless communication. Theory, design and application. – Berlin: Springer-Verlag, 2001. – 162 p.

[20] Harrington R.F. Time-harmonic electromagnetic fields. – New York: Wiley, 2001. – 480 p.

[21] Sherstnev V.V., Krier A., Monakhov A.M., Hill G. // Electron. Lett. – 2003. – Vol. 39. – P. 916.

[22] Sidoruk V.A., Fiorani F., Jahnke S., Krause H.-J. Design and characterization of microwave cavity resonators for noninvasive monitoring of plant water distribution. IEEE Trans. Microwave Theory Tech. – 2016. – Vol. 64, N 9. – P. 2894-2904. – DOI: 10.1109/TMTT.2016.2594218.

[23] Drobakhin O.O., Privalov Ye.N., Saltykov D.Yu. Open-ended waveguide cutoff resonators for monitoring dielectrics parameters of gases // Telecommun. Radio Eng. – 2013. – Vol. 72, N 7. P. 627-640. – DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v72.i7.60.

[24] Kuryliak D.B., Nazarchuk Z.T., Trishchuk B.O. Axially-symmetric TM-waves diffraction by sphere-conical cavity // PIER B. – 2017. – Vol. 73. – P. 1-16. – DOI: 10.2528/PIERB16120904.

[25] Kuryliak D.B., Sharabura O.M. Diffraction of axially-symmetric TM-wave from Bi-cone formed by finite and semi-infinite shoulders // Progress In Electromagnetics Research B. – 2016. – Vol. 68. – P. 73-88. – DOI: 10.2528/PIERB16041302.

Г. В. Жданкин<sup>1</sup>, О. В. Михайлова<sup>2</sup>, В. Г. Семенов<sup>3</sup>, Д. А. Баймуханов<sup>4</sup>,  
К. Ж. Исхан<sup>5</sup>, М. Б. Қалмағамбетов<sup>4</sup>, С. Д. Нурбаев<sup>4</sup>, Х. А. Әубәкіров<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Нижегород мемлекеттік ауыл шарушылық академия, Нижний Новгород, Ресей,

<sup>2</sup>Нижегород мемлекеттік экономикалық-инженерлік университет, Княгино, Ресей,

<sup>3</sup>Чуваш мемлекеттік ауылшаруашығы академиясы, Чебоксары, Ресей,

<sup>4</sup>ЖШС «Қазақ мал шаруашылығы және азық өндірісі» ҒЗИ, Алматы, Қазақстан,

<sup>5</sup>Қазақ ұлттық аграрлық университеті, Алматы, Қазақстан,

<sup>6</sup>Тараз ұлттық университеті М. Х. Дулати атындағы, Тараз, Қазақстан

## ТАҒАМДЫҚ ЕМЕС ЕТ ҚАЛДЫҚТАРЫН ТЕРМОӨНДЕУГЕ АРНАЛҒАН КОНУСТЫ РЕЗОНАТОРЛЫ МИКРОТОЛҚЫНДЫ ҚҰРЫЛҒЫЛАР

**Аннотация.** *Зерттеу мақсаты* Ақуызды өнімнің азықтық құндылығын арттыру үшін азықтық емес жануар шығу тегіне ие қалдықтарды үздіксіз режимде термоөндеу технологиясы мен жоғары жиілікті құрылғыларды жасау болып табылады. Қойылған мақсатқа сәйкес өндірістік жағдайларда азықтық емес жануар шығу тегіне ие қалдықтарды термоөндеу үшін ЖЖҚ құрылғылар орнатылған және оларды шаруа қожалықтарына енгізудің технико-экономикалық тиімділігі бағалалды. *Зерттеу нысаны* көпкомпонентті шикізаттың термоөндеуін қамтамасыз ететін технологиялық процестер, ЖЖҚ экспериментальды және сынамалы үлгілері. *Зерттеу үлгісі* (предмет) Үздіксіз режимдегі ЖЖҚ тиімді жұмыс жасау режимдеріне жоғары жиіліктегі электромагнитті жазықтың ылғалдылығы жоғары көпкомпонентті шикізатқа әсер ету заңдылықтары зерттеледі. Көпкомпонентті ылғалдылығы жоғары шикізатты термоөндеудің микротолқынды технологиясын іске асыру үшін көпгенераторлы радиогерметикалық қуаттылығы аз магнетронды ауалы салқындатқышты, технологиялық процестің үздіксіздігін қамтамасыз ететін құрылғылар жасалды. ЖЖҚЭМЖ, электрлі жазықтың жоғары қуаттылығында және резонатордың сапалылығында тиімділігі жоғары. Жұмыс камераларының конфигурациясында шикізатты бір қалыпты жылыту және құрылғының өнімділігін басқару қарастырылған, санитарлық өндеу жасалады. Жануар шығу тегіне ие тағамдық емес қалдықтарды термоөндеудің және залалсыздандырудың жоғары жиілікті конусты резонаторлы екі құрылғысы сипатталған. Радиогерметиканы сақтағанда технологиялық процестің үздіксіздігін қамтамасыз етеді.

**Түйін сөздер:** жоғары жиілікті генератор, магнетрон, биоконусты және тетраконусты резонаторлар, жануар шығу тегіне ие тағамдық емес қалдықтар, термоөндеу және майсыздандыру, үздіксіз режим.

### Сведения об авторах:

Жданкин Георгий Валерьевич – кандидат экономических наук, доцент, проректор по учебно-методической работе, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», Нижний Новгород, Нижегородская область, Россия.

Михайлова Ольга Валентиновна – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры инфокоммуникационных технологий и систем связи, Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», Княгинино, Нижегородская область, Россия.

Семенов Владимир Григорьевич – доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки Чувашской Республики, профессор кафедры морфологии, акушерства и терапии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», Чебоксары, Чувашская Республика, Россия.

Баймуханов Дастанбек Асылбекович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент Национальной академии наук Республики Казахстан, главный научный сотрудник отдела разведения и селекции молочного скота Казахского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства, Товарищество с ограниченной ответственностью «Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства», Алматы, Казахстан. E-mail: dbaimukanov@mail.ru

Исхан Кайрат Жалелович – кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор, профессор кафедры «Технология производства продуктов животноводства» факультета «Технология и биоресурсы» Некоммерческого акционерного общества «Казахский национальный аграрный университет», НАО «Казахский национальный аграрный университет», Алматы, Казахстан. E-mail: kairat@mail.ru

Қалмағамбетов Мурат Байтүгелович – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий отделом кормления сельскохозяйственных животных Казахского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства, Товарищество с ограниченной ответственностью «Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства», Алматы, Казахстан.

Нурбаев Серик Долдашев – доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией генетики Казахского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства, Товарищество с ограниченной ответственностью «Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства», Алматы, Республика Казахстан.

Аубакиров Хамит Абилгазиевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры биотехнологии Таразского государственного университета им. М. Х. Дулати, Тараз, Казахстан. E-mail: hamit\_a57@mail.ru