

**РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ЦЕНТРОБЕЖНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ БОЕНСКИХ ОТХОДОВ****Жданкин Г.В., Сторчевой В.Ф., Новикова Г.В.**

Реферат. На основе критериальных уравнений получены регрессионные зависимости, позволяющие оценить влияние технологических параметров, электрофизических и физико-механических свойств непищевого сырья на продолжительность термообработки и обеззараживания белкового корма и определить рациональные режимы работы многомодульной центробежной сверхвысокочастотной установки для термообработки непищевых отходов животного происхождения и отделения жидкой фракции.

Ключевые слова: матрица планирования активного эксперимента, критерии проектирования сверхвысокочастотных установок, многомодульная центробежная установка, оптимальные режимы работы, сверхвысокочастотные генераторы, конусообразные терочные резонаторы.

Введение. Известно, что цеха по переработке продукции животноводства и птицеводства постоянно сталкиваются с проблемой переработки непищевых отходов. Это ярко проявляется на малых фермерских хозяйствах, где количество голов скота не очень высокое, но требуется продуманный подход к переработке отходов и эффективное использование продукции в качестве белкового корма. Непищевые отходы это смесь твёрдых частиц, жидкости и жира. Решение проблемы переработки отходов убоя животных заключается в том, чтобы отделить твёрдые частицы прежде, чем их загрязняющие окружающую среду элементы вступят в химическую реакцию (растворятся) в жидкости, т.е. сепарировать и обеззараживать.

Технология переработки такого сырья предусматривает мойку, измельчение, варку, стерилизацию, отделение жидкой фазы от общей массы. Для выполнения этих операций применяют отдельные машины. Процессы переработки указанного сырья энергоёмки. Для тепловой обработки такого сырья применяют конвективный или кондуктивный метод подвода теплоты. При термообработке применяют котлы и аппараты разных конструкций [16, стр. 323...333]. При этом качество готовой продукции зависит от максимальной температуры и продолжительности ее воздействия. При обработке указанного сырья повышение температуры среды выше 120...130°C нежелательно, так как это приводит к ухудшению качества конечной продукции. Расход горячей воды на варку непищевых отходов при производительности 125...300 кг/ч составляет 0,6...0,7 м³/ч. Поэтому совмещение процессов варки, стерилизации и отделения жидкой фракции в одном устройстве – актуальная задача.

Нами предлагается варить и обеззараживать непищевые отходы животного происхождения в электромагнитном поле сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) для повышения кормовой

ценности белковой добавки при сниженных эксплуатационных затратах [15]. Для реализации такой технологии разработаны много установок с СВЧ энергоподводом [1, 2, 3, 4, 5].

Условия, материалы и методы исследований. Научные исследования проводились с использованием математических аппаратов электродинамики, теории электромагнитного поля, активного планирования трехфакторного эксперимента типа 2³. Трехмерное моделирование конструктивного исполнения центробежной установки для термообработки боенских отходов проведено в программе Компас-3D V15. Обоснование размеров и конфигурации коаксиального резонаторов проведено по программе трехмерного компьютерного моделирования электрического поля CST Studio Suite 2015 [6, 7, 8, 9].

Анализ и обсуждение результатов исследований. Экспериментальные исследования процессов термообработки многокомпонентного сырья проведены с целью проверки адекватности математических моделей и аргументирования основных теоретических выражений.

При экспериментальном исследовании технологических процессов варки и обеззараживания непищевых отходов животного происхождения воздействием ЭМП СВЧ следует:

- изучить динамику нагрева многокомпонентного сырья разного состава и отдельных ингредиентов при разной их влажности и удельных мощностях СВЧ генератора;
- получить регрессионные модели для оптимизации конструктивно-технологических параметров и режимов работы СВЧ установки (метод планирования многофакторных экспериментов);
- оценить микробиологические и органолептические показатели продукта и анализировать их физико-химический состав и получить эмпирические выражения;
- провести производственную проверку

опытного образца СВЧ установки непрерывного действия для варки и обеззараживания многокомпонентного сырья с целью корректировки режимов работы;

- проверить радиогерметичность опытного образца СВЧ установки и обосновать продолжительность обслуживания персоналом.

Исследования включают: снятие кривых динамики нагрева многокомпонентного сырья и ингредиентов; оценка равномерности распределения температуры в сырье; определение общего микробного числа; расчет производительности; определение удельных энергетических затрат. На основании полученных и проверенных методами математической статистики данных и многокритериальной оценки определены эффективные технологические параметры СВЧ установок и режимы работы.

Разработанная многомодульная установка (рисунок 1) предназначена для обезвреживания и термообработки непищевых отходов убоя животных и рекомендуется использовать при производстве животных кормов. Многомодульная центробежная сверхвысокочастотная установка для термообработки сырья животного происхождения и отделения жидкой фракции содержит цилиндрический экранирующий корпус 1, внутри которого по периферии расположены рабочие камеры 2.

Каждая рабочая камера состоит из верхней 9 и нижней 13 частей. Верхняя часть камеры из ферромагнитного материала представлена как соосно стыкованные периметрами большого и малого диаметров усеченные конические корпуса. В внутреннем усеченном коническом корпусе к образующей пристыкована усеченная коническая часть резонатора 11, выполненная в виде тарки с внутренней насечкой, а также установлен измельчающий механизм от волчка 10, расположенного на крышке экранирующего корпуса 1, а в нижней части рабочей камеры 2 соосно расположены тарелка 14 и поддон 15 в виде усеченных конусов и установленных на вал электродвигателя 8. Причем образующая диэлектрической тарелки 14 имеет прорези, а к кольцевому основанию ферромагнитного поддона 15, расположенного под наклоном, пристыкован сливной патрубков 4, и по центру имеется подставка в виде усеченного цилиндра, куда горизонтально установлена диэлектрическая тарелка 14 с ребрами жесткости. При этом в тарелку 14 уложена и закреплена с помощью зажимного винта дисковая тарка 12, как основание конического резонатора. Через нижнее основание цилиндрического экранирующего корпуса 1 проходят валы индивидуальных электродвигателей 8, прикрепленных на монтажный каркас. Сливные патрубки 4 от всех рабочих камер 2 направлены к центру экранирующего корпуса 1, где расположена емкость

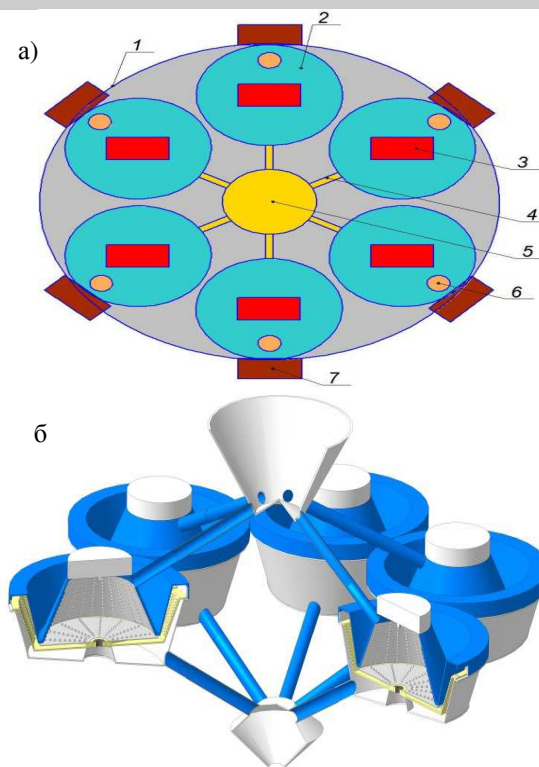


Рисунок 1 – Многомодульная центробежная сверхвысокочастотная установка для термообработки сырья и отделения жидкой фракции: а) – схема установки; б) – пространственное изображение установки; 1– цилиндрический экранирующий корпус; 2 – рабочие камеры; 3 – сверхвысокочастотные генераторные блоки; 4 – сливные патрубки; 5 – емкость для жидкой фракции; 6 – измельчители «Волчек»; 7 – емкости для твердой фракции

5 для приема жидкой фракции, а емкости 7 для твердой фракции пристыкованы к образующей цилиндрического корпуса 1 с наружной стороны в тех местах, где на верхних краях поддонов имеются вырезы.

Возрастающая сложность современных СВЧ установок и повышение требований к качеству их функционирования влечет за собой резкое увеличение объема проектных работ. Отсюда возникает необходимость разработки рациональных методов расчета систем, позволяющих производить подробное исследование различных вариантов. Для решения этой задачи целесообразно использовать методы планирования эксперимента, применение которых дает возможность получить удовлетворительные проектные решения при сравнительно небольшом объеме расчетов [10]. Из многообразия существующих методов рассматривается отдельный метод активного планирования эксперимента по плану Хартли, применение которого, как показали проведенные исследования, достаточно эффективно при обосновании параметров СВЧ установок. Поведение теплообменных процессов при воздействии ЭМП СВЧ на многокомпонентное

сырье, как правило, описывается нелинейными дифференциальными и алгебраическими уравнениями сравнительно высокого порядка. Поэтому расчеты таких сложных электродинамических систем с учетом всех факторов, влияющих на их работу, целесообразно воспользоваться теорией планирования эксперимента, применение которой позволяет упростить исходную модель и произвести эффективное исследование системы на основе строгих количественных методов. Эти методы в значительной мере исключают возможность влияния субъективного подхода при проектировании СВЧ установок для термообработки многокомпонентного сырья. Вначале следует определить факторы, наиболее существенно влияющие на качество функционирования системы. Такими факторами могут быть пара-

метры проектируемой рабочей камеры СВЧ установки, а также управляющие и возмущающие воздействия, приложенные к системе в различных режимах ее функционирования.

Далее составляют приближенные модели проектируемой системы, представляющих собой аналитические зависимости показателей ее качества от указанных факторов; определяют оптимальные параметры системы с учетом ограничений, накладываемых на значения некоторых показателей качества, и допустимого диапазона изменения этих параметров.

С целью оптимизации конструктивно-технологических параметров и режимов работы многомодульной центробежной сверхвысокочастотной установки воспользовались матрицей планирования 3-х факторного активно-

Таблица 1 – Матрица активного планирования эксперимента типа 2^3 по оптимизации режимов термообработки непищевого сырья в установке с источниками ЭМП СВЧ

№	Варьируемые параметры								
	Удельная мощность генератора, Вт/г		Продолжительность обработки, мин		Количество СВЧ генераторов, шт. (потребляемая мощность, кВт)				
	X1	$P_{уд}$	X2	τ	X3	n	$P_{ген}$	$P_{привода}$	$P_{общ}$
1	+	8	+	2,5	+	6	7,2	1,92	9,12
2	+	8	-	0,5	-	2	2,4	0,64	3,04
3	-	2	+	2,5	-	2	2,4	0,64	3,04
4	-	2	-	0,5	+	6	7,2	1,92	9,12
5	0	5	0	1,5	0	4	4,8	1,28	6,08
6	-	2	0	1,5	0	4	4,8	1,28	6,08
7	+	8	0	1,5	0	4	4,8	1,28	6,08
8	0	5	-	0,5	0	4	4,8	1,28	6,08
9	0	5	+	2,5	0	4	4,8	1,28	6,08
10	0	5	0	1,5	-	2	2,4	0,64	3,04
11	0	5	0	1,5	+	6	7,2	1,92	9,12

Таблица 2 – Критерии оптимизации

№	Температура, °C (T)	Производительность установки, кг/ч (Q)		Доза воздействия ЭМП СВЧ, Вт·с/г (D)	Бактериальная обсемененность, КОЕ/г·10 ³ , (ОМЧ) (исход. ОМЧ 2 млн. КОЕ/г)	Энергетические затраты, кВт·ч/кг (W)
		с одним резонатором	Y2			
1	140	2,439	14,64	1200	100	0,623
2	60	12,5	25	240	1500	0,122
3	62	9,756	19,51	300	1450	0,156
4	34	50	300	60	1950	0,00336
5	78	6,4	25,6	450	550	0,039
6	60	16	64	180	1500	0,095
7	90	4	16	720	350	0,38
8	52	20	80	150	1750	0,076
9	88	3,9	15,6	750	350	0,39
10	78	6,4	12,8	450	550	0,238
11	78	6,4	38,4	450	550	0,238

Примечание. Мощность установки без учета мощности измельчающего механизма. В уравнении регрессии все факторы в именованных единицах, продолжительность воздействия в минутах.

Таблица 3 – Уровни варьируемых факторов

Факторы	Кодовое значение	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			Основной уровень	Верхний уровень	Нижний уровень
Удельная мощность генератора, Вт/г	X ₁	3	5	8	2
Продолжительность обработки, мин	X ₂	1	1,5	2,5	0,5
Количество генераторов, шт	X ₃	2	4	6	2

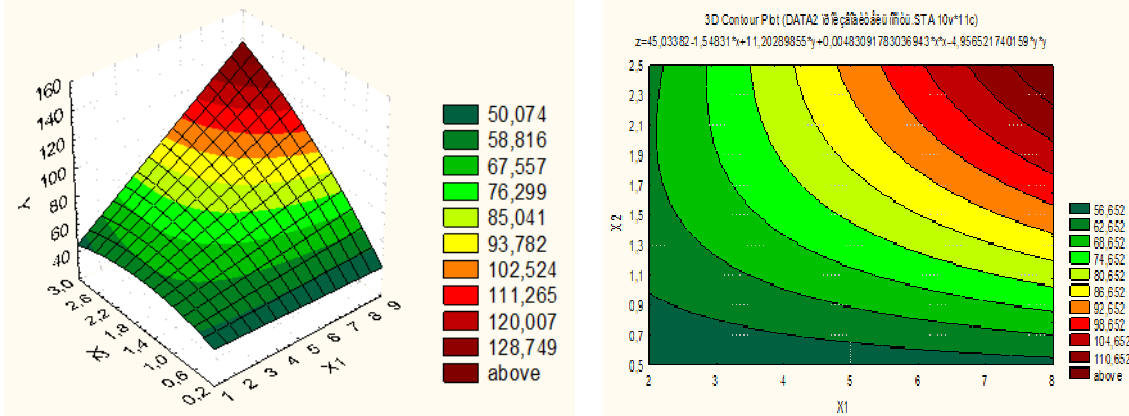


Рисунок 2 – Двумерное сечение в изолиниях и поверхность отклика трехфакторной модели температуры непищевых отходов, при количестве генераторов, равном 4 шт.

$$T = 45,034 - 1,54831 \cdot x_1 + 11,203 \cdot x_2 + 0,00483 \cdot x_1^2 - 4,957 \cdot x_2^2 + 4,333 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (1)$$

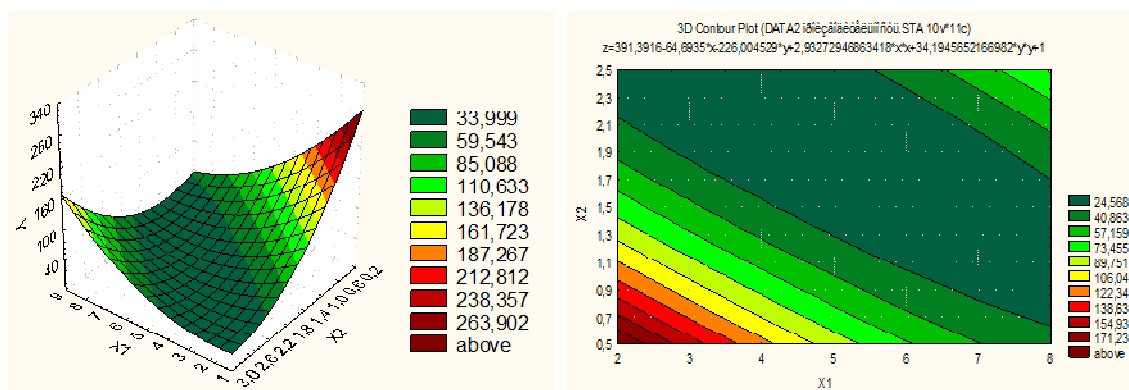


Рисунок 3 – Двумерное сечение в изолиниях и поверхность отклика трехфакторной модели производительности установки (кг/ч) непищевых отходов, при 4 генераторах

$$Q = 391,392 - 64,694 \cdot x - 226,005 \cdot y + 2,933 \cdot x_1^2 + 34,195 \cdot x_2^2 + 18,245 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (2)$$

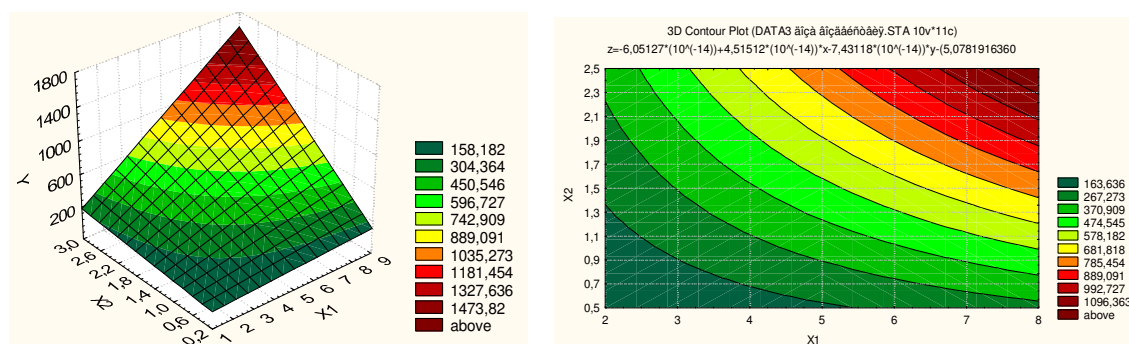


Рисунок 4 – Двумерное сечение в изолиниях и поверхность отклика трехфакторной модели дозы воздействия ЭМП СВЧ (Вт/с/г) непищевых отходов, при четырех генераторах

$$D = 6,05 \cdot 10^{-14} + 4,52 \cdot 10^{-14} \cdot x_1 - 7,43 \cdot 10^{-14} \cdot x_2 - 5,08 \cdot 10^{-15} \cdot x_1^2 + 5,25 \cdot 10^{-14} \cdot x_2^2 + 60 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (3)$$

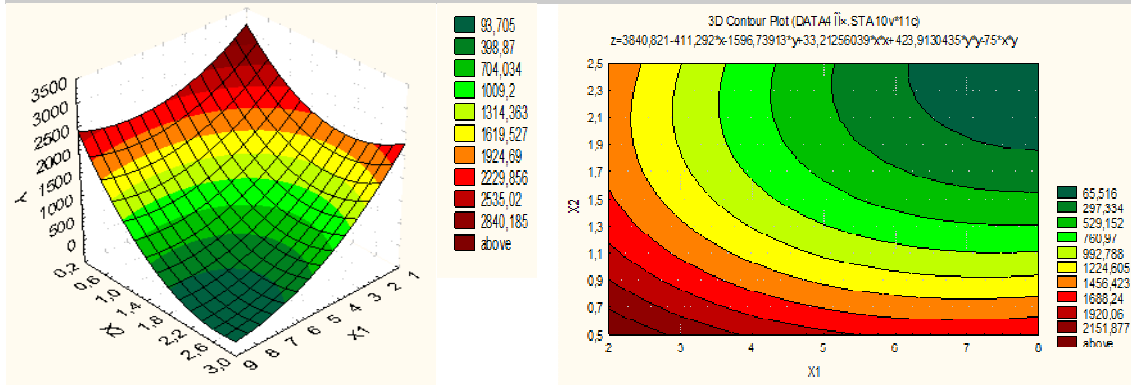


Рисунок 5 – Двумерное сечение в изолиниях и поверхность отклика трехфакторной модели изменения *бактериальной обсемененности* (КОЕ/г · 10³) непищевых отходов,

$$OMЧ=3840,821-411,292 \cdot x_1-1596,74 \cdot x_2+33,213 \cdot x_1^2+423,913 \cdot x_2^2-75 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (4)$$

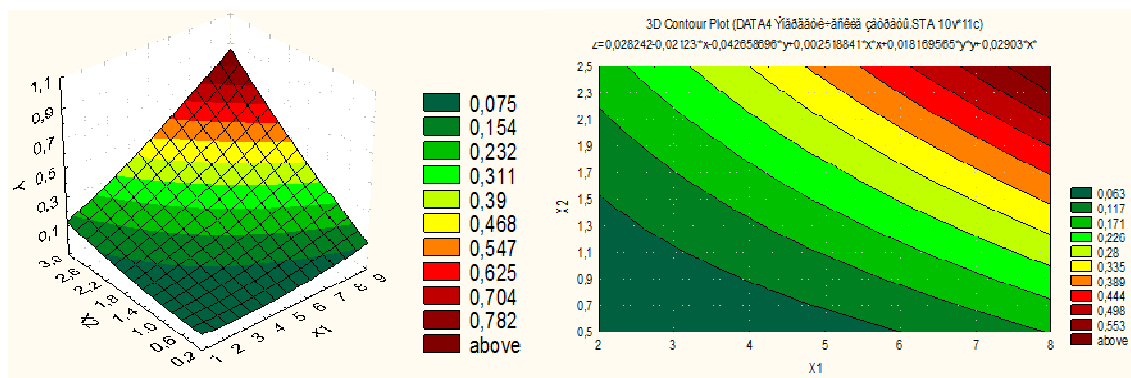


Рисунок 6 – Двумерное сечение в изолиниях и поверхность отклика трехфакторной модели *энергетических затрат* (кВт·ч/кг) непищевых отходов, при четырех генераторах

$$\mathcal{E}=0,0282-0,02123 \cdot x_1-0,0427 \cdot x_2+0,00252 \cdot x_1^2+0,0182 \cdot x_2^2+0,029 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (5)$$

го эксперимента типа 23 [9, 11, 12]. В качестве основных факторов, влияющих на процесс термообработки непищевого сырья животного происхождения, были выбраны: удельная мощность СВЧ генератора Руд, Вт/г (x1); продолжительность воздействия ЭМПСВЧ в резонаторе τ, с (x2); количество СВЧ генераторов (x3). Выбор интервалов изменения факторов обусловлен технологическими условиями и конструкционными параметрами СВЧ установки [14].

Установка разработана на базе соковыжималки «Нептун». Технические характеристики проектной многомодульной СВЧ установки: потребляемая мощность одного модуля, состоящего из мощности СВЧ генератора (1,2 кВт) и мощности электродвигателя дисковой терки (0,32 кВт) составляет 1,52 кВт.

Критериями оптимизации режимных параметров установки являются: Y1 – приращение температуры (ΔT, оС); Y2 – производительность СВЧ установки (Q, кг/ч); Y3 – доза воздействия ЭМПСВЧ (D, Вт·с/г); Y4 – энергетические затраты на технологический процесс,

(W, кВт·ч/кг); Y5 – микробиологическая

обсемененность продукта, (ОМЧ, КОЕ/г).

Регрессионные модели технологического процесса термообработки непищевого сырья в кодированных единицах приведены ниже. Уравнения регрессии адекватно описывают процесс термообработки непищевых отходов убоя животных под влиянием исследуемых факторов. Пользуясь программой «Statistic V5.0», построены поверхности отклика и их двумерные сечения в изолиниях (рисунок 2... 6).

В качестве варьируемых факторов, влияющих на процесс термообработки и обеззараживания непищевых отходов животного происхождения, выбраны:

- удельная мощность генератора Руд, Вт/г (x1);
- продолжительность обработки непищевых отходов в ЭМПСВЧ в одном резонаторе τ, ч (x2);
- количество СВЧ генераторов n, шт. (x3).

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

(x_1) $2 \leq P_{уд} \leq 8$ Вт/г; (x_2) $30 \leq \tau \leq 180$ с; (x_3) $2 \leq n \leq 6$ шт.

Выше приведены двумерные сечения в изолиниях и поверхности откликов трехфакторных моделей температуры нагрева сырья, производительности многомодульной установки, дозы воздействия ЭМП СВЧ, изменения бактериальной обсемененности и энергетических затрат на технологический процесс с четырьмя модулями.

Вывод. Для обработки результатов реализации схем планирования использовали метод регрессионного анализа, который позволил производить количественную оценку степени влияния исследуемых факторов на технологи-

ческий процесс.

Из анализа уравнений (1...5) 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 термообработки и обеззараживания непищевых отходов животного происхождения: удельная мощность 5,0 Вт/г; количество генераторов в установке – 6 шт.; производительность 25,6 кг/ч; энергетические затраты 0,2 кВт·ч/кг.

Литература

1. Бородин И.Ф. Интенсификация электромагнитным полем технологических процессов в животноводстве / И.Ф. Бородин, Г.В. Новикова // Известия НАНИ ЧР. 1996. №4. С. 50...53.
2. Белова, М.В. Технологическое оборудование для термообработки с.-х. сырья / М.В. Белова, Г.А. Александрова, Д.В. Поручиков // Вестник ФГОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева». – Чебоксары: 2013, № 2 (78). – С. 12...16.
3. Белова, М.В. Повышение эффективности функционирования многомодульных агрегатов для агроинженерных технологий / М.В. Белова, Б.Г. Зиганшин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – Казань: 2013, № 3 (29). – С. 49...52.
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. Белова, М.В. Объемные резонаторы СВЧ генератора для термообработки сырья в поточном режиме / М.В. Белова, Б.Г. Зиганшин, А.Н. Федорова, Д.В. Поручиков // Естественные и технические науки. – Москва: «Спутник+», 2015, № 1. – С.121...123.
6. Белова, М.В. Блок-схема модернизации СВЧ установки для термообработки сырья / М.В. Белова, И.М. Селиванов, Н.И. Махоткина // Естественные и технические науки. – Москва: «Спутник+», 2015, № 2. – С. 127...128.
7. Гинзбург, А.С. Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности / А.С. Гинзбург – М.: Агропромиздат, 1985. – 336 с.
8. Девятков, Н.Д. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности / Н.Д. Девятков. – М.: Радиосвязь 1991. – 167 с.
9. Зиганшин, Б.Г. Электродинамический анализ резонаторов, используемых в сверхвысокочастотных установках / Б.Г. Зиганшин, М.В. Белова, Г.В. Новикова, А.Н. Матвеева, О.И. Петрова // Естественные и технические науки. – Москва: «Спутник+», 2015, № 6. С. 477...480.
10. Зубарев, Ю.Я. Расчет судовых автоматизированных систем методами активного эксперимента // Ю.Я. Зубарев, А.Д. Сабашников. – Ленинград, Судостроение, 1976. 96 с.
11. Кудрявцев, И.Я. Электрический нагрев и электротехнология / И.Я. Кудрявцев, В.А. Карасенко. – М.: Колос, 1975. – 368 с.
12. Новикова, Г.В. Зависимость мощности потерь СВЧ-энергии от напряженности электрического поля / Г.В. Новикова, М.В. Белова, А.Н. Пономарев // Вестник ФГОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет», – Чебоксары: 2011, № 2 (70). – С. 119...122.
13. Новикова, Г.В. Разработка радиоволновых установок для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, В.Ф. Сторчевой, Г.В. Новикова // Вестник НГИЭУ. – Н. Новгород: ГБОУ ВО НГИЭУ. 2016, № 10 (65). – С.7...15.
14. Новикова, Г.В. Разработка сверхвысокочастотной установки для термообработки непищевых отходов убой и переработки птицы / Г.В. Жданкин, В.Ф. Сторчевой // Научная жизнь. – М.: ЗАО «АЛКОР», 2016, № 11. – С. 10...14.
15. Новикова, Г.В. Разработка радиоволновых установок для переработки мясокостных отходов / И.Г. Ершова, Г.В. Новикова, Д.В. Поручиков, М.А.Ершов // Научное обозрение ЗАО «АЛКОР», 2016, № 18, – С 56...60.
16. Ивашов, В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности / В.И. Ивашов – М.: Колос, 2001. – 552 с.

Сведения об авторах

Жданкин Георгий Валерьевич – кандидат экономических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Нижегородская ГСХА», г. Нижний Новгород, Россия.

Сторчевой Владимир Федорович – доктор технических наук, профессор, e-mail: info@timacad.ru
ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет», Москва, Россия.

Новикова Галина Владимировна – доктор технических наук, профессор, e-mail: NovikovaGalinaV@yandex.ru.

Волжский филиал ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», г. Чебоксары, Россия.

DEVELOPMENT AND JUSTIFICATION OF PARAMETERS OF THE CENTRIFUGAL INSTALLATION FOR THERMAL PROCESSING OF BOILER WASTES

Zhdankin G.V., Storcheva V.F., Novikova G.V.

Abstract. On the basis of the criterial equations, regression equations are obtained, that allow to evaluate the influence of technological parameters, electrophysical and physico-mechanical properties of non-food raw materials on the duration of heat treatment and disinfection of protein feed and to determine the rational operating conditions of a multimodular centrifugal microwave plant for heat treatment of non-food wastes of animal origin and separation of the liquid fraction.

Key words: the matrix of active experiment planning, criteria for microwave installations design, a multi-module centrifugal installation, optimal operating modes, microwave generators, cone-shaped cavity resonators.

References

1. Borodin I.F. Intensification by electromagnetic field of technological processes in animal husbandry. [Intensifikatsiya elektromagnitnym polem tekhnologicheskikh protsessov v zhivotnovodstve]. / I.F. Borodin, G.V. Novikova // *Izvestiya NANI ChR. - Izvestiya NANI ChR.* 1996. №4. P. 50...53.
2. Belova M.V. Technological equipment for heat treatment of agricultural raw materials. [Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya termoobrabotki s.-kh. syrya]. / M.V. Belova, G.A. Aleksandrova, D.V. Poruchikov // *Vestnik FGOU VPO "Chuvashskiy gosudarstvennyy pedagogicheskiy universitet im. I.Ya. Yakovleva"*. – *The Herald of Chuvash State Pedagogical University named after I. Ya. Yakovlev.* – Cheboksary: 2013, № 2 (78). – P. 12...16.
3. Belova M.V. Improving the efficiency of multi-module units operation for agroengineering technology. [Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya mnogomodulnykh agregatov dlya agroinzhenernykh tekhnologiy]. / M.V. Belova, B.G. Ziganshin // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* – *The Herald of Kazan State Agrarian University.* – Kazan: 2013, № 3 (29). – P. 49-52.
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. Belova M.V. Volumetric resonators of a microwave generator for heat treatment of raw materials in a flow mode. [Obemnye rezonatory SVCh generatora dlya termoobrabotki syrya v potochnom rezhime]. / M.V. Belova, B.G. Ziganshin, A.N. Fedorova, D.V. Poruchikov // *Estestvennye i tekhnicheskie nauki. - Natural and technical sciences* – Moskva: «Sputnik+», 2015, № 1. – P. 121...123.
6. Belova M.V. Flowchart for modernization of microwave equipment for heat treatment of raw materials. [Blok-skema modernizatsii SVCh ustanovki dlya termoobrabotki syrya]. / M.V. Belova, I.M. Selivanov, N.I. Makhotkina // *Estestvennye i tekhnicheskie nauki. - Natural and technical sciences.* – Moskva: "Sputnik+", 2015, № 2. – P. 127...128.
7. Ginzburg A.S. *Raschet i proektirovanie sushilnykh ustanovok pischevoy promyshlennosti.* [Calculation and design of drying plants for the food industry]. / A.S. Ginzburg – M.: Agropromizdat, 1985. – P. 336.
8. Devyatkov N.D. *Millimetrovye volny i ikh rol v protsessakh zhiznedeyatel'nosti.* [Millimeter waves and their role in life processes]. / N.D. Devyatkov. – M.: Radiosvyaz, 1991. – P. 167.
9. Ziganshin B.G. Electrodynamics analysis of resonators used in superhigh-frequency installations. [Elektrodinamicheskiy analiz rezonatorov, ispolzuemykh v sverkhvysokochastotnykh ustanovkakh]. / B.G. Ziganshin, M.V. Belova, G.V. Novikova, A.N. Matveeva, O.I. Petrova // *Estestvennye i tekhnicheskie nauki. - Natural and technical sciences* – Moskva: "Sputnik+", 2015, № 6. - P. 477...480.
10. Zubarev Yu.Ya. *Raschet sudovykh avtomatizirovannykh sistem metodami aktivnogo eksperimenta.* [Calculation of ship automated systems by the methods of active experiment]. // Yu.Ya. Zubarev, A.D. Sabashnikov. – Leningrad, Sudstroenie, 1976. P. 96.
11. Kudryavtsev I.Ya. *Elektricheskiy nagrev i elektrotekhnologiya.* [Electrical heating and electrotechnology]. / I.Ya. Kudryavtsev, V.A. Karasenko. – M.: Kolos, 1975. – P. 368.
12. Novikova G.V. Dependence of the power of losses of microwave energy on the electric field strength. [Zavisimost moshnosti poter SVCh-energii ot napryazhennosti elektricheskogo polya]. / G.V. Novikova, M.V. Belova, A.N. Ponomarev // *Vestnik FGOU VPO "Chuvashskiy gosudarstvennyy pedagogicheskiy universitet"*. – *The Herald of Chuvash State Pedagogical University.* - Cheboksary: 2011, № 2 (70). – P. 119...122.
13. Novikova G.V. Development of radio wave equipment for heat treatment of raw materials. [Razrabotka radiovolnovykh ustanovok dlya termoobrabotki syrya]. / A.A. Belov, G.V. Zhdankin, V.F. Storchevov, G.V. Novikova // *Vestnik NGIEU.* – *The Herald of Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics.* - N. Novgorod: GBOU VO NGIEU. 2016, № 10 (65). – P. 7...15.
14. Novikova G.V. Development of an ultrahigh-frequency plant for heat treatment of non-food waste slaughter and poultry processing. [Razrabotka sverkhvysokochastotnoy ustanovki dlya termoobrabotki nepischevykh otkhodov uboia i pererabotki ptitsy]. / G.V. Zhdankin, V.F. Storchevov // *Nauchnaya zhizn. - Scientific life.* – M.: ZAO "ALKOR", 2016, № 11. – P. 10...14.
15. Novikova G.V. Development of radio wave machines for processing meat-and-bone waste. [Razrabotka radiovolnovykh ustanovok dlya pererabotki myasokostnykh otkhodov]. / I.G. Ershova, G.V. Novikova, D.V. Poruchikov, M.A. Ershov // *Nauchnoe obozrenie. - Scientific review.* ZAO "ALKOR", 2016, № 18, – P. 56...60.
16. Ivashov V.I. *Tekhnologicheskoe oborudovanie predpriyatiy myasnoy promyshlennosti. Chast 1. Oborudovaniye dlya uboia i pervichnoy obrabotki.* [Technological equipment of enterprises of the meat industry. Part 1: Equipment for slaughtering and primary processing]. – M.: Kolos, 2001. – P. 552.

Authors:

Zhdankin Georgiy Valerevich – Ph.D. of Economic sciences, Associate Professor

Storchevov Vladimir Fedorovich - Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: info@timacad.ru.

Novikova Galina Vladimirovna - Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: NovikovaGalinaV@yandex.ru.

Volzhsy branch of Moscow State Automobile and Road Technical University (MADI); Building Cheboksary, Russia.