



А.В. Шевелев¹, ✉
О.В. Михайлова¹,
М.В. Просвирякова²,
Г.В. Новикова¹,
Н.К. Кириллов³,
Г.М. Тобоев³

¹ Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, Нижний Новгород, Российская Федерация

² Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

³ Чувашский государственный аграрный университет, Чебоксары, Российская Федерация

✉ NovikovaGalinaV@yandex.ru

Поступила в редакцию:
30.07.2022

Одобрена после рецензирования:
29.09.2022

Принята к публикации:
27.10.2022



Alexander V. Shevelev¹, ✉
Olga V. Mikhailova¹,
Mariana V. Prosviryakova²,
Galina V. Novikova¹,
Nikolai K. Kirillov³,
Herald M. Toboev³

¹ Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University, Cheboksary, Russian Federation

² Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation

³ Chuvash State Agricultural University, Cheboksary, Russian Federation

✉ NovikovaGalinaV@yandex.ru

Received by the editorial office:
30.07.2022

Accepted in revised:
29.09.2022

Accepted for publication:
27.10.2022

Оптимизация конструктивно-технологических режимов работы СВЧ-воскотопки

РЕЗЮМЕ

Введение. Исследование направлено на обоснование оптимальных конструктивно-технологических параметров и режимов работы разрабатываемой СВЧ-установки, предназначенной для реализации процесса переработки воскового сырья с предварительным отделением и сохранением содержащейся в нем фракции меда.

Методика. Эффективные режимы термообработки пасечного сырья в СВЧ-воскотопке определяли через регрессионные модели, полученные при реализации матрицы трехфакторного активного планирования многофакторного эксперимента.

Результаты. Выявлены основные факторы, влияющие на процесс термообработки забруса: удельная мощность генераторов микроволновой энергии, продолжительность воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты, влажность исходного сырья. Доказана целесообразность реализации микроволновой технологии переработки воскового сырья в двухмодульной установке, содержащей полусферические резонаторы для обеспечения непрерывно-поточного режима работы с соблюдением электромагнитной безопасности, а также для контроля управления технологическими параметрами.

Ключевые слова: восковое сырье, СВЧ-воскотопка, технологический параметр, динамика нагрева

Для цитирования: Шевелев А.В., Михайлова О.В., Просвирякова М.В., Новикова Г.В., Кириллов Н.К., Тобоев Г.М. Оптимизация конструктивно-технологических режимов работы СВЧ-воскотопки. Аграрная наука. 2022; 364 (11): 88–93. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-364-11-88-93>

© Шевелев А.В., Михайлова О.В., Просвирякова М.В., Новикова Г.В., Кириллов Н.К., Тобоев Г.М.

Optimization of structural and technological modes of operation of the microwave wax melter

ABSTRACT

Introduction. The research is aimed at substantiating the optimal design and technological parameters and operating modes of the microwave installation being developed, designed to implement the process of processing wax raw materials with preliminary separation and preservation of honey fraction contained therein.

Methodology. The effective modes of heat treatment of apiairy raw materials in a microwave wax melter were determined through regression models obtained during the implementation of the matrix of three-factor active planning of a multifactorial experiment.

Results. The main factors influencing the process of heat treatment of the sail are revealed: the specific power of microwave energy generators, the duration of exposure to the electromagnetic field of super high frequency, the humidity of the feedstock. The expediency of implementing microwave technology for processing wax raw materials in a two-module installation containing hemispherical resonators to ensure continuous operation in compliance with electromagnetic safety, as well as control of technological parameters is proved.

Key words: wax raw materials, microwave wax melter, technological parameter, operating mode

For citation: Shevelev A.V., Mikhailova O.V., Prosviryakova M.V., Novikova G.V., Kirillov N.K., Toboev G.M. Optimization of structural and technological modes of operation of the microwave wax melter. Agrarian science. 2022; 364 (11): 88–93. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-364-11-88-93> (In Russian).

© Shevelev A.V., Mikhailova O.V., Prosviryakova M.V., Novikova G.V., Kirillov N.K., Toboev G.M.

Введение / Introduction

Одним из направлений интенсификации сельскохозяйственного производства является переход на более современные технологии переработки, в том числе продукции пчеловодства. Известно, что применение сверхвысокочастотного нагрева в тепловых процессах позволяет значительно (до 25–30%) сократить удельные затраты электроэнергии [1, 2]. При этом выход чистого воска по сравнению с тепловым способом увеличивается на 14–18%, а время вытопки сокращается более чем в 4 раза [3, 4]. В большинстве существующих воскотопок используют влажный способ, то есть вытопка воска происходит под действием водяного пара, получаемого от парогенератора [5, 6] либо испарителя [7]. При этом все они имеют низкую производительность (до 5–7 кг/ч) при высоких удельных энергозатратах (до 0,6 кВт·ч/кг), а отделить имеющиеся в восковом сырье остатки меда (до 7%) после откачки не представляется возможным. Поэтому создание СВЧ-воскотопки и обоснование ее конструктивно-технологических параметров является актуальным направлением научного исследования.

Задача исследования — определить наиболее эффективные технологические параметры и режимы работы СВЧ-воскотопки путем анализа регрессионных моделей, полученных методом активного планирования многофакторного эксперимента.

Цель проведения экспериментальных исследований — изучение процесса вытопки воска и отделения меда при реализации микроволновой технологии переработки воскового сырья в двухмодульной установке непрерывно-поточного действия, содержащей полусферические резонаторы.

Материал и методы исследования / Materials and method

Материалом для проведения исследования служил забрус — восковое сырье, представляющее собой двухкомпонентную смесь воска (93–95%) и меда

(5–7%), получаемое при распечатке рамок с медом. В ходе эксперимента исследовались 3 варианта забруса: 7, 8 и 9%-ной влажности. Продолжительность воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) на сырье регулировалась при помощи частотного преобразователя, регулирующего обороты мотор-редуктора GV22-200W-200A привода фторопластового нагнетательного шнека.

Замер температуры воска на выходе производили при помощи измерителя температуры Testo 925. Исследование изменения бактериальной обсемененности полученных образцов воска проводилось на базе ГБУ НО «Государственное ветеринарное управление Княгининского района» Нижегородской области согласно принятым в лаборатории методам. Обработка полученных результатов производилась в программе «Statistica 12».

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях на базе Нижегородского государственного инженерно-экономического университета, г. Княгинино.

Схематически технологический процесс переработки воскового сырья представлен на рис. 1а. Опытный образец СВЧ-воскотопки представлен на рис. 1б. Благодаря двухмодульности конструкции, количество источников микроволн, можно регулировать температуру плавления меда и воска (табл. 1). Конструкционные параметры резонаторных камер определены в результате оценки критериев СВЧ-установок по наименьшему их отклонению от оптимальных значений [14].

По функционально-технологическому принципу разрабатываемая СВЧ-воскотопка относится к технологическому оборудованию, предназначенному для проведения теплообменных процессов. В СВЧ-воскотопке объемный нагрев воскового сырья осуществля-

Рис. 1. СВЧ-воскотопка непрерывно-поточного действия с полусферическими резонаторами: а — схематическое изображение процесса вытопки; б — СВЧ-воскотопка (опытный образец); 1 — СВЧ-генераторы; 2 — резонаторные камеры с кольцевым диском внутри; 3 — приемная емкость; 4 — нагнетательный шнек в кожухе; 5 — вентилятор охлаждения магнетронов; 6 — мотор-редуктор; 7 — преобразователь частоты; 8 — шкаф управления

Fig. 1. Continuous operation microwave wax melter with semi-spherical resonators: а — schematic representation of the melting process; б — microwave wax melter (prototype); 1 — microwave generators; 2 — resonator chambers with an annular disk inside; 3 — receiving tank; 4 — injection screw in the casing; 5 — magnetron cooling fan; 6 — gear motor; 7 — frequency converter; 8 — control cabinet

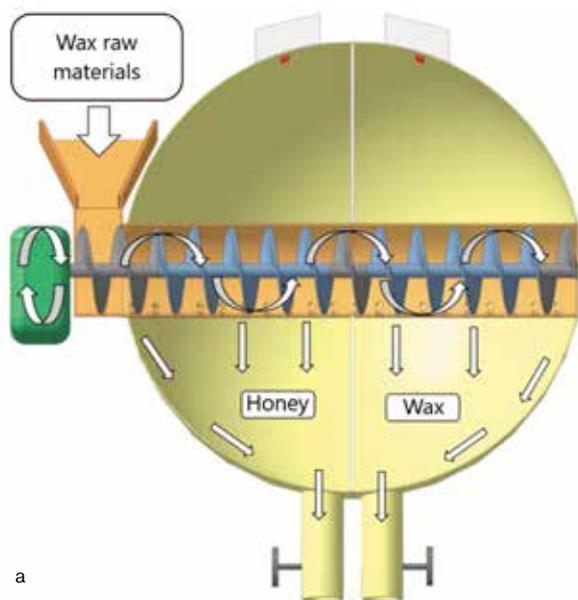


Таблица 1. Технические характеристики СВЧ-воскотопки
Table 1. Technical characteristics of the microwave wax melter

Наименование	Значение
Производительность, кг/ч	45
Мощность 5 СВЧ-генераторов, кВт	4,25
Мощность мотор-редуктора, кВт	0,20
Мощность вентилятора для охлаждения магнетронов, кВт	0,20
Потребляемая мощность СВЧ-воскотопки, кВт	4,65
Общие удельные энергетические затраты на вытопку воска и отделение меда, кВт·ч/кг	0,10

Таблица 2. Матрица планирования экспериментов по оптимизации режимов работы СВЧ-воскотопки для термообработки воскового сырья

Table 2. Matrix for planning experiments to optimize the operating modes of a microwave wax melter for heat treatment of wax raw material

Варьируемые параметры						Критерии оптимизации			
Удельная мощность микроволнового генератора		продолжительность воздействия ЭМП СВЧ		влагосодержание в восковом сырье		температура нагрева, T (°C)	производительность, Q (кг/ч)	количество микроорганизмов ($\times 10^6$ КОЕ/г)	удельные энергетические затраты (Вт·ч/кг)
x_1	$P_{уд}$ (Вт/кг)	x_2	τ (h)	x_3	φ (%)	y_1	y_2	y_3	y_4
+	1450	+	0,05	+	9	88	35,18	0,12	72,45
+	1450	-	0,033	-	7	62	53,3	0,8	47,84
-	850	+	0,05	-	7	53	60	0,9	42,5
-	850	-	0,033	+	9	50	90	0,55	28,33
0	1150	0	0,042	0	8	62	52,79	0,5	48,31
-	850	0	0,042	0	8	53	71,43	0,7	31,7
+	1450	0	0,042	0	8	76	45	0,36	56,66
0	1150	-	0,033	0	8	56	67,18	0,58	37,96
0	1150	+	0,05	0	8	70	44,34	0,39	57,51
0	1150	0	0,042	-	7	58	52,79	0,42	48,31
0	1150	0	0,042	+	9	64	52,79	0,35	48,31

ется за счет проникновения в него электромагнитного поля сверхвысокой частоты на определенную глубину (4–5 см), а энергия, затрачиваемая на поляризацию диэлектрика, генерируется в нем в виде теплоты [8, 9]. При этом используется очень ценное свойство энергии СВЧ — способность концентрироваться в малом объеме сырья, масса которого нагревается интенсивно и равномерно, если размеры частиц соизмеримы с глубиной проникновения волны [10–12]. Под воздействием микроволн восковое сырье начинает подвергаться глубоким изменениям, одним из которых является изменение диэлектрических свойств его компонентов, что влияет на технологический процесс разделения фракций воска и меда. Также известно положительное влияние воздействия микроволновой энергии на снижение бактериальной обсемененности обрабатываемого продукта [13].

Технологический процесс: восковое сырье загружается в приемную емкость 3. При включении мотор-редуктора 6, приводящего во вращение фторопластовый шнек 4, восковое сырье поступает в первый резонатор 2. В этот момент включаются СВЧ-генераторы 1, кото-

рые возбуждают электромагнитное поле сверхвысокой частоты (12,24 см, 2450 МГц). Первые и последние витки нагнетательного шнека 4 выполнены из неферромагнитного материала, что позволяет им ограничивать распространение ЭМП в окружающую среду.

Расстояние между витками в первом резонаторе согласовано с глубиной проникновения волны ($ne \geq 2$ длины), что позволяет осуществлять его равномерный нагрев за счет токов поляризации в соответствии со значениям фактора диэлектрических потерь. Частота вращения нагнетательного шнека 4 и мощности СВЧ-генераторов 1 подобраны таким образом, чтобы восковое сырье, находясь в первом резонаторе, разогревалось до 44 °C — при этом значении увеличивается текучесть фракции меда, она отделяется от воскового сырья и через перфорацию фторопластового корпуса шнека 4 утекает в нижнюю часть первой резонаторной камеры, где через запредельный волновод попадает в накопительную емкость. Оставшаяся часть воска, находясь еще в твердом состоянии, шнеком подается во второй полусферический резонатор с более высокой интенсивностью воздействия ЭМП СВЧ, достаточной, чтобы разогреть его до температуры плавления (63,5–63,7 °C). Жидкий воск также через перфорацию корпуса шнека, а затем через запредельный волновод второго резонатора, утекает в накопительную емкость [15].

Эффективные режимы термообработки пасечного сырья в СВЧ-воскотопке определяли через регрессионные модели, полученные при реализации матрицы трехфак-

торного активного планирования эксперимента типа 2³ (табл. 2).

В ходе эксперимента варьировали удельную мощность генератора (x_1), продолжительность воздействия ЭМП СВЧ (x_2) и влажность воскового сырья (x_3):

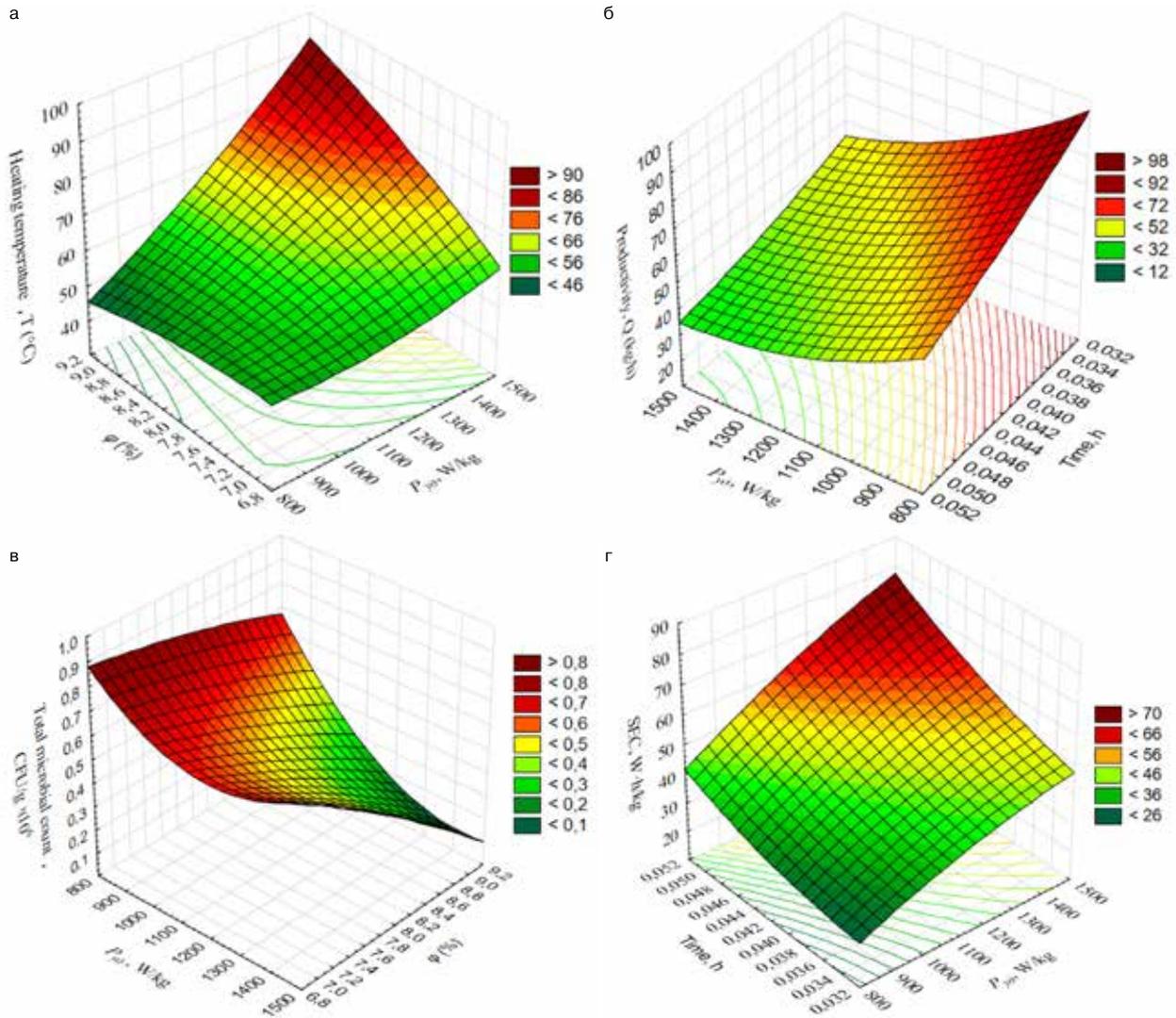
1. Удельную мощность СВЧ-генератора (x_1) варьировали изменением массы загрузки сырья и мощности генератора с 0,85 до 1,45 Вт/г.
2. Продолжительность нагрева (x_2) варьировали от 120 с до 180 с.
3. Влажность воскового сырья (x_3) варьировали от 7 до 9%.

Критериями оптимизации служили температура нагрева (y_1), производительность установки (y_2), общее микробное число (y_3), удельные энергетические затраты (y_4). С использованием программы «Statistica 12» построена поверхность отклика и ее двумерное сечение в изолиниях моделей, описывающих взаимосвязь указанных критериев с варьируемыми параметрами (рис. 2).

В ходе экспериментальных исследований получено уравнение, описывающее динамику эндогенного на-

Рис. 2. Поверхность отклика и двумерное сечение в изолиниях трехфакторных моделей изменения: а — температуры сырья; б — производительности установки; в — общего микробного числа в сырье; г — удельных энергетических затрат на вытопку воска воздействием ЭМП СВЧ

Fig. 2. Response surface and two-dimensional cross-section in the isolines of three-factor models of changes in: a — raw material temperature; б — installation productivity; в — total microbial number in raw materials; г — specific energy costs for beeswax heating with SHF-EMF



грева воскового сырья в виде зависимости приращения температуры от продолжительности воздействия ЭП разной напряженности:

$$T = 2,36 \cdot \ln(7,46 \cdot 10^{-8} \cdot E^2 \cdot \tau). \quad (1)$$

Получены эмпирические выражения, описывающие зависимости критериев оптимизации от варьируемых параметров:

$$T = 139,0541 - 0,2069 \cdot P_{уд} + 0,1996 \cdot \varphi + 2,2807E^{-5} \cdot P_{уд}^2 + 0,0242 \cdot P_{уд} \cdot \varphi - 1,4474 \cdot \varphi^2, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (2)$$

$$Q = 326,5967 - 0,2156 \cdot \tau - 4420,6172 \cdot P_{уд} + 5,1126E^{-5} \cdot \tau^2 + 1,18 \cdot \tau \cdot P_{уд} + 20147,6322 \cdot P_{уд}^2, \text{ } \text{kg} / \text{h}; \quad (3)$$

$$\text{Total microbial count} = 0,7526 - 0,0016 \cdot P_{уд} + 0,4024 \cdot \varphi + 1,424E^{-6} \cdot P_{уд}^2 - 0,0003 \cdot P_{уд} \cdot \varphi - 0,0168 \cdot \varphi^2, \text{ } \text{CFU} / \text{g} \cdot 10^6; \quad (4)$$

$$\begin{aligned} SEC = & 24,9582 + 0,0481 \cdot P_{уд} - 2562,4539 \cdot \tau - \\ & - 2,1474E^{-5} \cdot P_{уд}^2 + 1,0232 \cdot P_{уд} \cdot \tau + \\ & + 30475,4329 \cdot \tau^2, \text{ } \text{kWh} / \text{kg}. \quad (5) \end{aligned}$$

Анализ регрессионных моделей показывает, что наиболее эффективный режим работы СВЧ-воскотопки достигается при следующих параметрах: удельная мощность 1,15 Вт/г; продолжительность воздействия 2,5 мин; влажность сырья 9%. При этом температура воска на выходе составит 64 °С, производительность установки — 52,79 кг/ч, бактериальная обсемененность взятого образца полученного воска составила $0,35 \cdot 10^6$ КОЕ/г, удельные энергетические затраты — 48,31 Вт·ч/кг.

Выводы / Conclusion

Нами определены рациональные режимы работы двухмодульной СВЧ-установки. Выявлены основные факторы, влияющие на процесс термообработки забруса: удельная мощность генераторов микроволновой энергии, продолжительность воздействия электромагнит-

ного поля сверхвысокой частоты, влажность исходного сырья. Доказана целесообразность реализации микроволновой технологии переработки воскового сырья в двухмодульной установке, содержащей полусферические резонаторы для обеспечения непрерывно-поточ-

ного режима работы, позволяющая повысить производительность по сравнению с паровыми воскотопками более чем в 8 раз и уменьшить затраты электроэнергии за счет снижения удельных энергетических затрат с 0,6 до 0,1 кВт·ч/кг.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Лукина Д., Белов В., Лукина О., Волков А., Майоров А. и Смирнова И. Повышение эффективности работы установок для термической обработки сырья путем воздействия электромагнитного излучения. *Ключевые инженерные материалы*. 2018; 781. 185. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.781.185>.
- Филиппов Р. Л. Интенсификация технологических процессов переработки продуктов пчеловодства электромагнитной энергией. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Харьков, 1990; 498.
- Киреев Ю. В., Киреев А. Ю., Гнатенко Г. Г. Технология переработки воска с применением энергии электромагнитного поля СВЧ-диапазона. *Исследовано в России*. 2004; 7. 1109.
- Дунаева Т. Ю., Фокин А. Н. Переработка забруса в микроволновой печи. *Пчеловодство*. 2011; 8. 54.
- Максимов Н. М., Морозов В. В. Перспективная технология переработки воскового сырья на пасеках с использованием парогенератора. *Традиции и инновации в развитии АПК*. 2019; 493.
- Морозов В. В., Максимов Н. М. Парогенератор для вытопки воска на пасеке. *Пчеловодство*. 2019; 6. 46.
- Цebro Н. А. Паровая воскотопка. *Пчеловодство*. 2017; 5. 34.
- Campañone L.A., Zaritzky N.E. Mathematical analysis of microwave heating process. *Journal of Food Engineering*. 2005; 69(3). 359. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.08.027>
- Resurreccion F.P.Jr, Luan D., Tang J., Liu F., Tang Z., Pedrow P.D., Cavalieri R. Effect of changes in microwave frequency on heating patterns of foods in a microwave assisted thermal sterilization system. *Journal of Food Engineering*. 2015; 150. 99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.10.002>
- Gunasekaran S., Yang H. Effect of experimental parameters on temperature distribution during continuous and pulsed microwave heating. *Journal of Food Engineering* 2007;78 (4). 1452. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.01.017.
- Damilos S., Radhakrishnan A.N.P., Dimitrakis G., Tang J., Gavrilidisa A. Experimental and computational investigation of heat transfer in a microwave-assisted flow system. *Chemical Engineering and Processing – Process Intensification*. 2019
- Jie Zhou, Xiaoqing Yang, Yue Chu, Xun Li, Jianping Yuan. A novel algorithm approach for rapid simulated microwave heating of food moving on a conveyor belt. *Journal of Food Engineering*. 2020; 282. 110029. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110029>
- Mirian TK Kubo, Érica S Siguemoto, Eduardo S Funcia, Pedro ED Augusto, Sébastien Curet, Lionel Boillereaux, Sudhir K Sastry and Jorge AW Gut. Non-thermal effects of microwave and ohmic processing on microbial and enzyme inactivation: a critical review. *Current Opinion in Food Science*. 2020;35. 36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.01.004>.
- Новикова Г., Михайлова О., Просвирякова М., Дулепов Д., Шевелев А., Зайцев П. Обоснование конструктивных и технологических параметров СВЧ-установок для термообработки воскового сырья. *Конференция по ВГД. Серия: Наука о Земле и окружающей среде*. 2020; 604. 012008. doi: 10.1088/1755-1315/604/1/012008.
- Шевелев А.В., Просвирякова М.В., Сторчевой В.Ф., Михайлова О.В., Новикова Г.В. Теоретическое обоснование электродинамических параметров микроволновой установки с полусферическими резонаторами для плавления воска. *Вестник НГИЭИ*. 2021; 10 (125). 46. DOI: 10.24412/2227-9407-2021-10-46-56.

REFERENCES

- Lukina D., Belov V., Lukina O., Volkov A., Mayorov A., Smirnova I. Increasing the efficiency of the operation of the facilities for the thermal processing of raw materials by exposure to electromagnetic radiation. *Key engineering materials*. 2018; 781. 185. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.781.185> (In Russian).
- Filippov R. L. Intensification of technological processes of processing bee products by electromagnetic energy. Ph. D. (Engineering) diss. Kharkiv, 1990; 498. (In Russian).
- Kireev Yu. V., Kireev A. Yu., Gnatenko G. G. Wax processing technology with the use of microwave electromagnetic field energy. *Researched in Russia*. 2004; 7. 1109.
- Dunaeva T. Yu., Fokin A. N. Processing of zabrus in a microwave oven. *Beekeeping*. 2011; 8. 54. (In Russian).
- Maksimov N. M., Morozov V. V. Promising technology of processing wax raw materials in apiaries using a steam generator. *Traditions and innovations in the development of agriculture*. 2019; 493. (In Russian).
- Morozov V. V., Maksimov N. M. Steam generator for melting wax in the apiary. *Beekeeping*. 2019; 6. 46. (In Russian).
- Cebro N. A. Steam wax furnace. *Beekeeping*. 2017; 5. 34. (In Russian).
- Campañone L.A., Zaritzky N.E. Mathematical analysis of microwave heating process. *Journal of Food Engineering*. 2005; 69(3). 359. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.08.027>
- Resurreccion F.P.Jr, Luan D., Tang J., Liu F., Tang Z., Pedrow P.D., Cavalieri R. Effect of changes in microwave frequency on heating patterns of foods in a microwave assisted thermal sterilization system. *Journal of Food Engineering*. 2015; 150. 99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.10.002>
- Gunasekaran S., Yang H. Effect of experimental parameters on temperature distribution during continuous and pulsed microwave heating. *Journal of Food Engineering* 2007;78 (4). 1452. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.01.017.
- Damilos S., Radhakrishnan A.N.P., Dimitrakis G., Tang J., Gavrilidisa A. Experimental and computational investigation of heat transfer in a microwave-assisted flow system. *Chemical Engineering and Processing – Process Intensification*. 2019; 142. 107537. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2019.107537>.
- Jie Zhou, Xiaoqing Yang, Yue Chu, Xun Li, Jianping Yuan. A novel algorithm approach for rapid simulated microwave heating of food moving on a conveyor belt. *Journal of Food Engineering*. 2020; 282. 110029. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110029>
- Mirian TK Kubo, Érica S Siguemoto, Eduardo S Funcia, Pedro ED Augusto, S bastien Curet, Lionel Boillereaux, Sudhir K Sastry and Jorge AW Gut. Non-thermal effects of microwave and ohmic processing on microbial and enzyme inactivation: a critical review. *Current Opinion in Food Science*. 2020;35. 36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.01.004>.
- Novikova G., Mikhailova O., Prosviryakova M., Dulepov D., Shevelev A., Zaitsev P. Justification of structural and technological parameters of microwave installations for heat treatment of wax raw materials. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 604. 012008. doi: 10.1088/1755-1315/604/1/012008] (In Russian).
- Shevelev A.V., Prosviryakova M.V., Storchevov V.F., Mikhailova O.V., Novikova G.V. Theoretical substantiation of the electrodynamic parameters of a microwave installation with hemispherical resonators for melting wax. *Bulletin NGIEI*. 2021; 10 (125). 46 DOI: 10.24412/2227-9407-2021-10-46-56 (In Russian).

ОБ АВТОРАХ:

Александр Владимирович Шевелев, соискатель ученой степени, Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, 22 а., ул. Октябрьская, г. Княгинино, Нижегородская область, 606340, Российская Федерация
E-mail: shevelev522@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6536-1419>

Ольга Валентиновна Михайлова, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры к «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, 22 а., ул. Октябрьская, г. Княгинино, Нижегородская область, 606340, Российская Федерация
E-mail: ds17823@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1045-2003>

Марьяна Валентиновна Просвирякова, доктор технических наук, доцент, Российский государственный аграрный университет - Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, д. 49, ул. Тимирязевская, г. Москва, 127550, Российская Федерация
E-mail: prosviryakova.maryana@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3258-260X>

Галина Владимировна Новикова, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, 22 а., ул. Октябрьская, г. Княгинино, Нижегородская область, 606340, Российская Федерация
E-mail: novikovagalina@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9222-6450>

Николай Кириллович Кириллов, доктор ветеринарных наук, профессор, член диссертационного совета, Чувашский государственный аграрный университет, 29, ул. К. Маркса, Чебоксары, 428003, Российская Федерация
E-mail: main@academy21.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4847-9762>

Геральд Маркович Тобоев, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Чувашский государственный аграрный университет, 29, ул. К. Маркса, Чебоксары, 428003, Российская Федерация
E-mail: ochz318@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3184-0710>

ABOUT THE AUTHORS:

Alexander Vladimirovich Shevelev, applicant for an academic degree, Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University, 22 a., st. Oktyabrskaya, Knyaginino, Nizhny Novgorod Region, 606340, Russian Federation
E-mail: shevelev522@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6536-1419>

Olga Valentinovna Mikhailova, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Department of "Infocommunication Technologies and Communication Systems", Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University, 22 a., st. Oktyabrskaya, Knyaginino, Nizhny Novgorod Region, 606340, Russian Federation
E-mail: ds17823@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1045-2003>

Mariana Valentinovna Prosviryakova, Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49, Timiryazev street, Moscow, 127550, Russian Federation
E-mail: prosviryakova.maryana@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3258-260X>

Galina Vladimirovna Novikova, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Chief Scientific Associate, Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University, 22 a., st. Oktyabrskaya, Knyaginino, Nizhny Novgorod Region, 606340, Russian Federation
E-mail: novikovagalina@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9222-6450>

Nikolay Kirillovich Kirillov, Dr. Sci. (Medicine), Professor, member of the Dissertation Council, Chuvash State Agricultural University, 29, K. Marx Street, Cheboksary, 428003, Russian Federation
E-mail: main@academy21.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4847-9762>

Gerald Markovich Toboev, Ph. D. (Agriculture), Associate Professor, Chuvash State Agricultural University, 29, K. Marx Street, Cheboksary, 428003, Russian Federation
E-mail: ochz318@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3184-0710>