

Разработка установки и микроволновой технологии термообработки непищевых отходов яиц

О.И. Орлова, ст. преподаватель, М.В. Белова, д.т.н., О.В. Михайлова, д.т.н., ГБОУ ВО Нижегородский ГИЗУ; Г.В. Жданкин, соискатель, ФГБОУ ВО Нижегородская ГСХА

Известно, что отходы яиц накапливаются после инкубации, сортировки и т.д. Эмбриональная гибель в первую неделю инкубации происходит из-за неправильной транспортировки и хранения на фермах, неправильных условий инкубации и т.п. Средний процент вывода цыплят в России составляет 84–85% [1]. После овоскопирования между 6–8-дневной инкубацией появляется выше 3% отходов категории «неоплодотворённые, кровь – кольцо». В настоящее время их направляют в вакуумный котёл для выработки кормов, предназначенный для утилизации непищевых отходов животного происхождения [2]. Качество белкового продукта при такой технологии переработки сырья очень низкое. В связи с этим разработка инновационной технологии и технического средства с использованием энергии электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) для термообработки отходов яиц в непрерывном режиме для фермерских хозяйств актуальна.

Цель настоящей работы – улучшение качества белкового корма путём разработки радиогерметичной СВЧ-установки для термообработки и обеззараживания отходов яиц в непрерывном режиме.

Основные научные задачи: разработать технологию термообработки трёхкомпонентного вязкого

сырья в ЭМП СВЧ в непрерывном режиме при сниженных эксплуатационных затратах; разработать СВЧ-установку с нетрадиционным резонатором, содержащим тор с наклонным прямоугольным сечением и центральную часть в виде полусферы и тёрочного диска.

Объектом исследования являлся непрерывный технологический процесс термообработки измельчённого сырья, находящегося в турбулентном режиме в нетрадиционном тороидальном резонаторе СВЧ-установки. Предмет исследования – выявление закономерностей воздействия ЭМП СВЧ на взвеси яичной массы в процессе турбулизации и транспортирования их за счёт центробежных сил через резонатор.

Материал и методы исследования. В программе «Компас-3DV17» выполнено пространственное изображение установки и основных узлов. Оценку органолептических показателей белкового продукта проводили по ГОСТу 31720–2012 «Пищевые продукты переработки яиц сельскохозяйственной птицы. Методы отбора проб и органолептического анализа». Температуру нагрева сырья фиксировали с помощью измерителя FLUKE 62 Mini.

Результаты исследования. Для фермерских хозяйств нами предлагается установка с нетрадиционной рабочей камерой, реализующая микроволновую технологию термообработки и обеззараживания отходов яиц.

Технической задачей разработки является обеспечение высокой напряжённости электрического

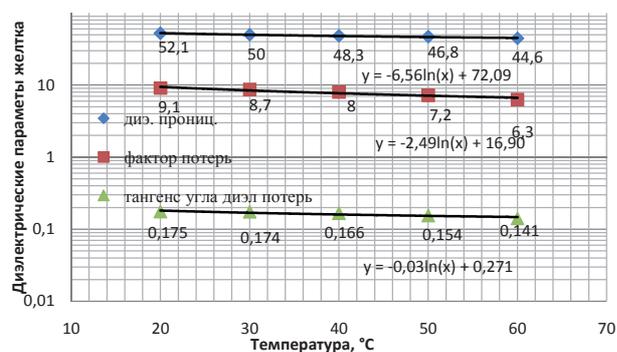
поля для термообработки и обеззараживания белкового продукта, непрерывности технологического процесса при сохранении электромагнитной безопасности и достаточно высокой собственной добротности резонатора. Для разработки научной основы процесса взаимодействия электромагнитных излучений с многокомпонентным сырьём необходимо знать зависимость диэлектрических параметров каждого компонента от температуры нагрева при сантиметровом диапазоне волн. По данным И.А. Рогова, провели анализ изменения диэлектрических параметров желтка и белка куриных яиц в процессе нагрева при частоте 2450 МГц (рис. 1). С увеличением температуры от 20 до 60°C диэлектрическая проницаемость желтка и белка падает на 14,4 и 18,4%, а фактор потерь – на 30,8 и 4,4% соответственно. Это означает, что скорость нагрева желтка в электромагнитном поле в 5–7 раз выше, чем белка. Характер изменения фактора потерь компонентов яйца в зависимости от температуры объясняется тем, что по мере её возрастания (свыше 40°C) начинается денатурация белка, сопровождающаяся выделением воды [3]. При повышении температуры выше 60°C значение фактора потерь падает ещё сильнее из-за повышения температуры воды и испарения части воды.

Результаты анализа диэлектрических параметров компонентов сырья показывают, что яйца следует предварительно пропустить через измельчающий механизм, после чего подвергать нагреву при высокой напряжённости электрического поля в процессе тонкого измельчения и перемешивания. Причём СВЧ-установка должна содержать высокодобротный резонатор, обеспечить непрерывный режим термообработки с сохранением электромагнитной безопасности. С учётом таких критериев проектирования и анализа существующих резонаторов [4–9] нами разработана СВЧ-установка (рис. 2) с рабочей камерой, выполненной как разновидность квазистационарного тороидального резонатора с прямоугольным сечением.

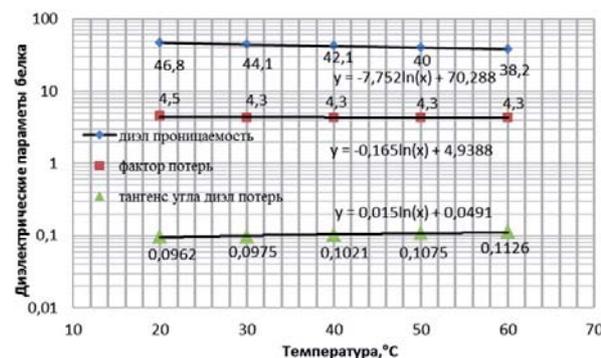
Квазистационарный тороидальный резонатор характеризуются тем, что центральный участок

(конденсаторный участок) ограничен двумя поверхностями, и в этом участке сконцентрировано почти всё электрическое поле резонатора, а в других участках электрическое поле отсутствует. Магнитным полем в конденсаторном участке можно пренебречь. Магнитное и электрическое поля квазистационарного резонатора разделены в пространстве. Наличие зауженного участка в центральной части резонатора обеспечивает высокую напряжённость электрического поля [10]. Нами вместо прямоугольного сечения тора предлагается тор с наклонным прямоугольным сечением, а центральная часть тороидального резонатора (конденсаторная часть) заменена полусферой и терочным диском, обеспечивающим перемешивание сырья в турбулентном режиме и передвижение термообработанного продукта в непрерывном режиме через резонатор. На базе теории тороидального резонатора разработана установка для термообработки и обеззараживания непищевых отходов яиц при производстве белкового корма.

СВЧ-установка с тороидальным резонатором для термообработки отходов яиц содержит монтажный каркас 14, на котором установлены электродвигатель (вал 4), основные узлы тороидального резонатора 1, приёмная 11 и накопительная 9 ёмкости. Тороидальный резонатор выполнен с наклонным прямоугольным сечением в виде двух соосно расположенных усечённых конусов с малыми основаниями вниз из неферромагнитного материала. При этом вместо малого основания внутреннего усечённого конуса установлена полусфера 5 из неферромагнитного материала, выпуклостью (вершиной) вверх, диаметром, равным кратной половине длины волны. Между двух усечённых конусов соосно установлена на вал 4 электродвигателя коническая тарелка 2 из диэлектрического материала. Внутри конической тарелки соосно основанию также на вал 4 закреплён диск 3 терочный без перфорации из неферромагнитного материала. Вал электропривода 4 проложен через основание наружного усечённого конуса. В верхней точке полусферы 5 и на дне приёмной ёмкости 11 для отходов яиц имеются отверстия для стыковки



а)



б)

Рис. 1 – Диэлектрические характеристики желтка (а) и белка (б) куриных яиц от температуры нагрева при частоте 2450 МГц

запредельного волновода 8 между ними. На за-
предельном волноводе 8 имеется шаровой кран 13.

Внутри приёмной ёмкости 11 над указанным
отверстием расположен измельчающий механизм
12, вращающийся от электродвигателя. По пери-
метру полусферы 5 со сдвигом на 120 градусов
установлены магнетроны 6, которые охлаждаются от
одного вентилятора через вентиляционные рукава.
Излучатели направлены в конденсаторную часть
тороидального резонатора. По периметру края
конической тарелки имеется наружный выступ,
над которым на образующей наружного усечён-
ного конуса имеется выгрузное отверстие 10, под
которым установлена накопительная ёмкость для
готового белкового продукта 9.

Технологический процесс термообработки и
обеззараживания непищевых отходов яиц проис-
ходит следующим образом. Включить электропри-
вод, обеспечивающий вращение тёрочного диска
и конической диэлектрической тарелки. Залить
непищевые отходы яиц в приёмную ёмкость. Вклю-
чить электропривод измельчающего механизма,
открыть шаровой кран на запредельном волноводе.
Включить сверхвысокочастотные генераторы
(магнетроны и вентилятор для их охлаждения).
Сырьё, проходя через измельчающий механизм,
раздавливается, скорлупа крошится. Далее вязкое
сырьё подаётся через шаровой кран и запредельный
волновод в рабочую камеру (в конденсаторную
часть) тороидального резонатора. Здесь сырьё
(белок, желток, скорлупа) перемешивается в тур-
булентном режиме при вращении тёрочного диска
без перфорации, дополнительно измельчается, а
ди-электрическая тарелка выполняет функцию
центрифуги. Тёрочный диск измельчает сырьё в
кашицу. Прошедшие термообработку в электро-
магнитном поле сверхвысокой частоты частицы
яичной массы, попадая в коническую тарелку,
прижимаются к её образующей и поднимаются
вверх к выступу за счёт центробежной силы. Оттуда
термообработанный и обеззараженный белковый

продукт выгружается через окно в накопительную
ёмкость.

Скорость вращения тёрочного диска влияет
на структуру измельчённого сырья, а количество
и мощность магнетронов влияют на произво-
дительность установки. Шаровой кран позволяет
дозировать подачу сырья в конденсаторную часть
резонатора. Управляя мощностью генераторов,
можно определить эффективный режим термооб-
работки. В конденсаторной части тороидального
резонатора при работе нескольких генераторов
достаточно высокая напряжённость электрического
поля, позволяющая улучшить микробиологические
показатели продукта, вследствие чего увеличивается
срок годности продукта. В рабочей камере создаётся
движение воздуха за счёт турбулентного режима
перемешивания сырья, удаляющее неприятный
запах; происходит измельчение, термообработка,
обеззараживание продукта.

Исследована динамика нагрева перемешанного
сырья (измельчённой скорлупы, белка, желтка) в
ЭМПСВЧ в стационарном режиме (при напряжён-
ности электрического поля в резонаторе микровол-
новой печи 0,2 кВ/см) при разных удельных мощ-
ностях генератора (рис. 3). Результаты исследования
показывают, что за 90–100 сек. с яичная масса
нагревается до 70–80°C, при удельных мощностях
4–6 Вт/г. Продукт приобретает вид твёрдой варёной
массы, но для улучшения микробиологических
показателей белкового продукта следует обеспе-
чить напряжённость электрического поля выше
1,5 кВ/см [4, 5]. Поэтому нами разработан ква-
зистационарный тороидальный резонатор, где в
конденсаторной части при обеспечении ЭМПСВЧ
от трёх генераторов возбуждается поле напряжён-
ностью выше 1,5 кВ/см.

Структура яичной массы разных категорий яиц
до и после термообработки в ЭМПСВЧ приведена
на рисунке 4. Оценку органолептических показа-
телей (вкус, цвет, запах) термообработанного про-
дукта базового и проектного вариантов проводили

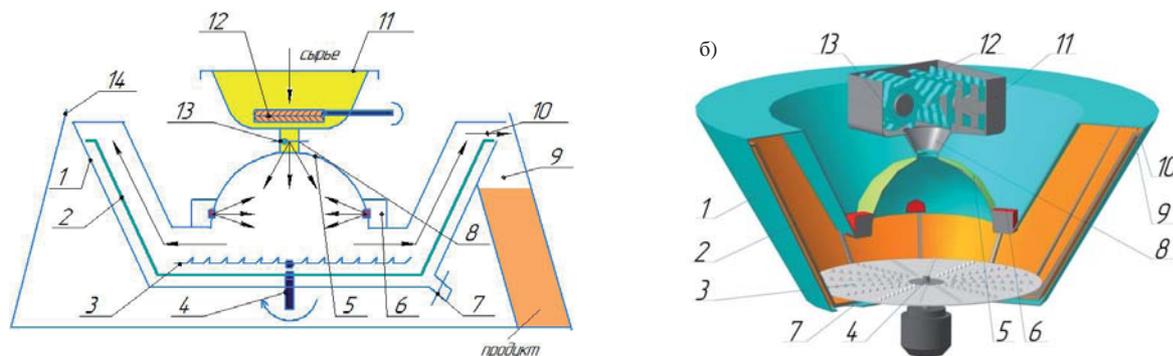


Рис. 2 – СВЧ-установка с тороидальным резонатором для термообработки отходов яиц:

а) схематическое изображение; б) пространственное изображение; 1 – тороидальный резонатор; 2 – коническая тарелка из диэлектрического материала; 3 – диск в виде тёрки из неферромагнитного материала; 4 – электропривод диска и конической тарелки; 5 – полусфера из неферромагнитного материала; 6 – магнетроны; 7 – сливной патрубок; 8 – запредельный волновод; 9 – накопительная ёмкость для сбора готового белкового продукта; 10 – выгрузное отверстие; 11 – ёмкость с крышкой для отходов яиц; 12 – измельчающий механизм (шредер); 13 – шаровой кран; 14 – монтажный каркас



Рис. 4 – Структура яичной массы со скорлупой разных категорий яиц до и после термообработки в ЭМПСВЧ

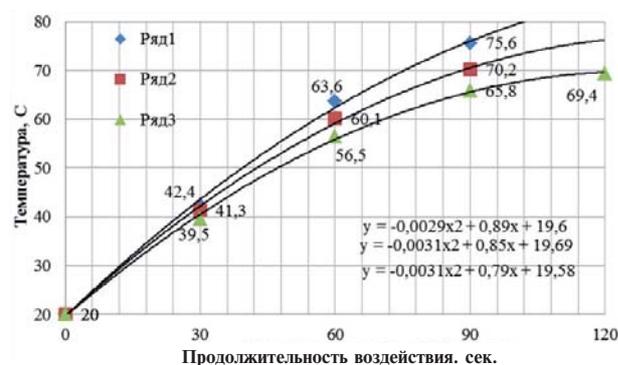


Рис. 3 – Динамика нагрева яичной массы в ЭМПСВЧ при разных удельных мощностях:
1) 5,9 Вт/г; 2) 4,75 Вт/г; 3) 4,16 Вт/г

по ГОСТу 31720-2012 «Пищевые продукты переработки яиц сельскохозяйственной птицы. Методы отбора проб и органолептического анализа».

Анализ структуры белкового продукта (рис. 5) показывает, что вкус, цвет и запах опытного образца на 5 баллов выше, чем контрольного продукта, из 15 возможных баллов.

Выводы. Конденсаторная часть тороидального резонатора, выполненная комбинированием полусферы и тёрочного диска, увеличивает собственную добротность. Сечение тора, представленное в виде наклонного прямоугольника, обеспечивает при больших оборотах вращения диэлектрической тарелки транспортирование термообработанной взвеси яичной массы через резонатор. Измельчающий механизм раздавливает и частично перемешивает компоненты яиц, которые при попадании на тёрочный диск дополнительно измельчаются за счёт центробежной силы. Частицы яичной массы во взвешенном состоянии в ЭМПСВЧ подвергаются термообработке (скорость нагрева 0,8–1°C/с) и обеззараживаются до ПДУ 500 тыс. КОЕ/г.

Литература

1. Серов А. Как снизить потери при инкубации // Полезный интернет-журнал Good-tips. PRO. 2015. [Электронный ресурс]. URL: <https://good-tips.pro/index.php/farm/poultry/>

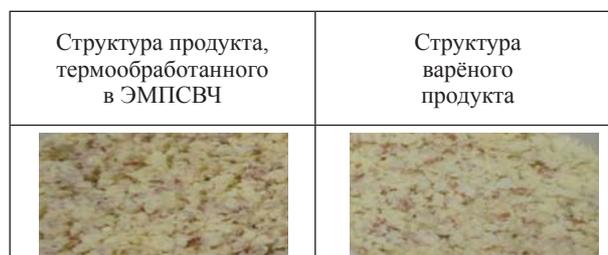


Рис. 5 – Структура белкового продукта опытного и контрольного образцов

loss-reduction-during-incubation-eggs. (Дата обращения: 13.09.2018).

2. Пат. № 2448471. Способ переработки отходов убоя птицы / А.А. Безматерных, Ю.Н. Мазеин, М.А. Трутнев, А.В. Карташев [Электронный ресурс]. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/244/2448471.html>. (Дата обращения: 13.09.2018).

3. Рогов И.А. Электрофизические, оптические и акустические характеристики пищевых продуктов. М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1981. 288 с.

4. Пат. № 2629159 РФ, МПК А 23 N17/00. Сверхвысокочастотная установка с тороидальным резонатором и с ячеистым ротором для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова; заяв. и патентообладатель НГСХА (RU). № 2016133524; заявл.15.08.2016. Бюл. № 24 от 24.08.2017. 14 с.

5. Пат. № 2667751 РФ, МПК C11B3/04. Сверхвысокочастотная установка со сферическими резонаторами для термообработки жиросодержащего сырья / Г.В. Жданкин, А.Г. Самоделкин, Г.В. Новикова, А.С. Шойкин; заяв. и патентообладатель НГСХА (RU). № 2016150317; заявл. 20.12.2016. Бюл. № 18 от 21.06.18. 15 с.

6. Новикова Г.В. Анализ разработанных сверхвысокочастотных установок для термообработки сырья / Г.В. Новикова, Г.В. Жданкин, О.В. Михайлова [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2016. № 4 (42). С. 89–93.

7. Белов А.А., Жданкин Г.В., Новикова Г.В. Совершенствование и обоснование параметров СВЧ-установки с тороидальным резонатором и с ячеистым ротором для термообработки сырья // Вестник НГИЭИ. 2017. № 3 (70). С. 57–66.

8. Жданкин Г.В., Новикова Г.В., Зиганшин Б.Г. Разработка рабочих камер сверхвысокочастотных установок для термообработки непищевых отходов мясного производства // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 1 (50). С. 61–69.

9. Жданкин Г.В., Новикова Г.В. Разработка многогенераторной сверхвысокочастотной установки для варки обезвоженных непищевых мясных отходов // Инновационные направления развития энергетики АПК. Ижевск: ФГБОУ ВО «Ижевская ГСХА», 2017. С. 89–92.

10. Дробахин О.О. Техника и полупроводниковая электроника СВЧ: учебное пособие [Электронное издание] / О.О. Дробахин, С.В. Плаксин, В.Д. Рябчий [и др.]. Севастополь: Вебер, 2013. 322 с.