

УДК 637.133.3

<https://doi.org/10.21603/-I-IC-111>

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АППАРАТА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ С ИНДУКЦИОННЫМ НАГРЕВОМ

А.Н. Порохнов, И.С. Милентьева

Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Россия

Аннотация

Настоящая работа посвящена разработке алгоритмов численного моделирования процессов термической обработки молочного сырья с помощью индукционного нагрева. Такие исследования помогут определить тепловой эффект процесса, характеристики качества и безопасности получаемого продукта на основе молочного сырья.

Ключевые слова: термическая обработка молочного сырья, индукционный нагрев, численное моделирование.

Индукционный нагрев является безопасным и чистым с точки зрения экологии и здоровьесберегающих технологий методом нагрева, поскольку он генерирует тепло внутри материала почти сразу, имеет высокую удельную мощность и регулируемую глубину проникновения. По сравнению с другими методами нагрева, он требует меньше времени для нагрева, более эффективен и точен.

Индукционный нагрев является прямым применением двух законов физики: закона Ленца и закона Джоуля. При погружении в переменное магнитное поле, создаваемое индукционной катушкой или индуктором любое вещество, проводящее электричество, несет индуцированный электрический ток, также называемый вихревым током. Согласно эффекту Джоуля, движение электронов, создающих эти токи, рассеивает тепло в веществе, в котором они были созданы.

С практической точки зрения индукционный нагрев включает в себя размещение объекта, обычно сделанного из электропроводного материала в магнитное поле, которое генерируется и поддерживается переменным полем с помощью катушки индуктивности, которая подключена к источнику питания и емкостной составляющей, а сборка образует колебательный контур на «резонансной» частоте [1].

Качество передачи энергии на нагреваемый объект зависит от способа размещения индукторов частоты и скин-эффекта, характеризующее распределение токов, индуцируемых на поверхности объекта или в сердцевине. Чем выше частота, тем больше индуцированные токи концентрируются на поверхности, что определяет глубину проникновения индукционного тока.

В пищевой промышленности индукционный нагрев применяется при термической обработке сырья для увеличения сроков хранения. Молочное сырье косвенно нагревается за счет теплопроводности через контакт с ферромагнитной поверхностью емкости пастеризатора [1, 2].

В данной работе основной целью является разработка пастеризатора нагреваемого индукционными токами и численное моделирование процесса нагрева емкости для пастеризации. На рис. 1 представлен прототип пастеризатора нагреваемого индукционными токами и смоделированный индуктор с емкостью для пастеризации.

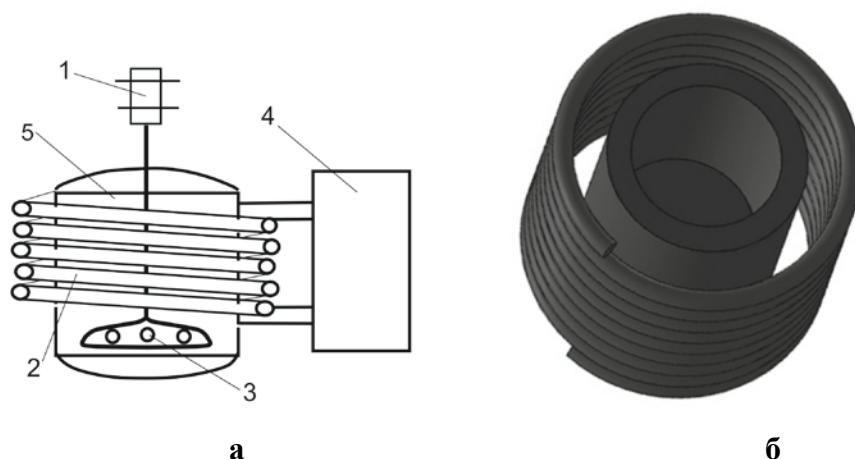


Рис. 1 а – Схема аппарата термической обработки молочного сыря с индукционным нагревом. 1- электромотор, 2- индуктор, 3 - мешалка, 4 - блок управления, 5 - емкость пастеризации, б - внешний вид индуктора и емкости пастеризации

Индукционный нагрев — это мультифизическая задача, сочетающая в себе законы электромагнетизма и процессы теплопереноса. Эти физические явления нелинейно связаны друг с другом из-за зависящих от температуры свойств материала. Математическое моделирование электромагнетизма и теплопереноса в работе проводится с помощью уравнений Максвелла и классического уравнения теплопереноса соответственно. Уравнения поля решаются методом конечных элементов в программе EMS Solidworks.

Программа EMS Solidworks обеспечивает мультифизическую среду моделирования за счет возможности связи между электромагнитным и тепловым полем. После запуска магнитного моделирования переменного тока в сочетании с тепловым анализом переходных процессов электромагнитные и тепловые результаты генерируются с помощью программы EMS.

Плотность магнитного потока, напряженность поля, вихревые токи, индуцированная тепловая мощность в зависимости от частоты тока подаваемого на индукционную катушку выводятся на экран в различных трехмерных форматах (рис 2).

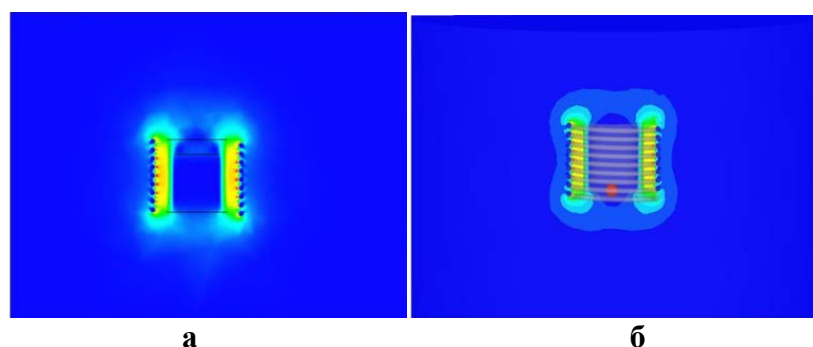


Рис. 2. Визуализация магнитного поля в зависимости от частоты тока а – 25 кГц, б – 50 кГц.

Пример смоделированного в программе EMS Solidworks напряженности магнитного поля в зависимости от частоты тока подаваемого на индукционную катушку визуально демонстрирует распределение температуры нагрева емкости.

Использование программы EMS Solidworks помогает анализировать и вычислять индуцированную электромагнитную мощность в емкости пастеризатора на разных частотах,

что позволяет лучше понять теплообмен. С помощью этого метода анализируются толщина стенок емкости и индукционная катушка, что может помочь выбрать оптимальную толщину емкости и эффективную технологию процесса термической обработки пищевого сырья.

Список литературы

1. Induction heating technology and its applications: past developments, current technology, and future challenges / O. Lucia, P. Maussion, E. Dede, J. M. Burdio // IEEE Trans Ind Electron. – 2013. – Vol. 61. – № 5. P. 2509–2520.
2. Induction cooking technology design and assessment / M. Sweeney, J. Dols, B. Fortenbery, F. Sharp // ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. – 2014. – P. 370–379.
3. Induction Heating as Cleaner Alternative Approach in Food Processing Industry / R. A. Razak, N. M. Ibrahim, A. S. F. Rahman [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – DOI: 10.1088/1742-6596/1878/1/012053.

NUMERICAL SIMULATION OF THE OPERATION OF THE APPARATUS FOR THE HEAT TREATMENT OF DAIRY RAW MATERIALS WITH INDUCTION HEATING

A.N. Porokhnov, I.S. Milentyeva
Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

Abstract

This work is devoted to the development of algorithms for numerical simulation of the processes of heat treatment of raw milk using induction heating. Such studies will help determine the thermal effect of the process, the characteristics of the quality and safety of the resulting product based on dairy raw materials.

Keywords: heat treatment of raw milk, induction heating, numerical simulation.

References

1. Induction heating technology and its applications: past developments, current technology, and future challenges / O. Lucia, P. Maussion, E. Dede, J. M. Burdio // IEEE Trans Ind Electron. – 2013. – Vol. 61. – № 5. P. 2509–2520.
2. Induction cooking technology design and assessment / M. Sweeney, J. Dols, B. Fortenbery, F. Sharp // ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. – 2014. – P. 370–379.
3. Induction Heating as Cleaner Alternative Approach in Food Processing Industry / R. A. Razak, N. M. Ibrahim, A. S. F. Rahman [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – DOI: 10.1088/1742-6596/1878/1/012053.