

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПЛАСТМАССЫ МЕТОДОМ ЛИТЬЯ*

Л.С. Зимин¹, А.Г. Сорокин²

¹ Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

² Тольяттинский филиал Самарского государственного экономического университета
445601, г. Тольятти, Центральный район, ул. Тополиная, 18

Исследованы электромагнитные и тепловые поля в индукционной системе для производства пластмассы. Приведены результаты расчета на численной модели. Математическая модель индукционного нагревателя ориентирована на решение задач проектирования индукционных систем для производства пластмассы методом литья.

Ключевые слова: полимер, теплообмен, индуктор, шнек, алгоритм, численные методы.

Высокие конкурентные требования к качеству готовой продукции делают актуальной проблему создания надежных, высокоэффективных энергосберегающих установок для производства пластмассы методом литья.

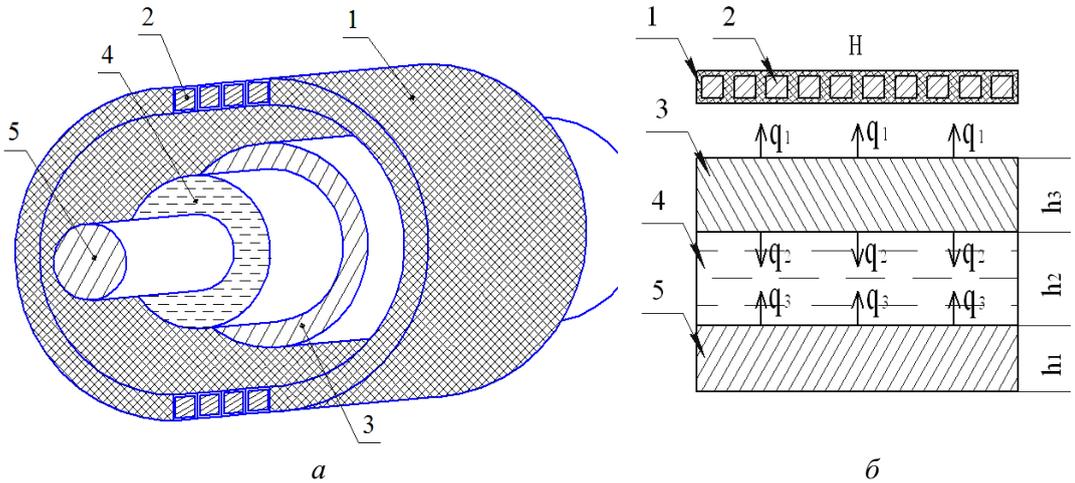


Рис. 1. Теплообменный аппарат:

а – общий вид; *б* – электротепловая модель; 1 – изоляция витков индуктора; 2 – индуктор; 3 – стенка цилиндра пластикации; 4 – слой полимерного материала; 5 – шнек

Рассматриваемый объект представляет собой теплообменный аппарат, состоящий из полого цилиндра пластикации и расположенного внутри него шнека (рис. 1, *а*). Нагрев полимерного материала происходит за счет теплообмена со стенками и шнеком теплообменного аппарата, в которых индуцируются вихревые токи

* Работа поддержана грантом РФФИ № 12-08-00071-а.

Зимин Лев Сергеевич (д.т.н., проф.), заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий».

Сорокин Алексей Григорьевич (к.т.н., доц.), доцент тольяттинского филиала.

охватывающим их индуктором. Схематичное изображение процесса для разработки электротепловой модели представлено на рис. 1, б. Здесь q_1 – тепловой поток от стенки цилиндра плакировки в окружающую среду; q_2 – тепловой поток от стенки цилиндра плакировки в полимерный материал; q_3 – тепловой поток от шнека в полимерный материал; h_1 – радиус шнека; h_2 – толщина слоя полимерного материала; h_3 – толщина стенки цилиндра плакировки.

Разработаны математические модели электромагнитных и тепловых процессов в сопряженных физически неоднородных средах, что позволяет обеспечить качественное описание функционирования всего технологического процесса.

В общем случае процесс индукционного нагрева описывается нелинейными уравнениями Максвелла для электромагнитного поля с соответствующими краевыми условиями [1, 2].

Для решения задачи тепломассопереноса в указанной постановке разработаны вычислительный алгоритм и программа, которая содержит два расчетных блока – электромагнитный и тепловой (рис. 2).

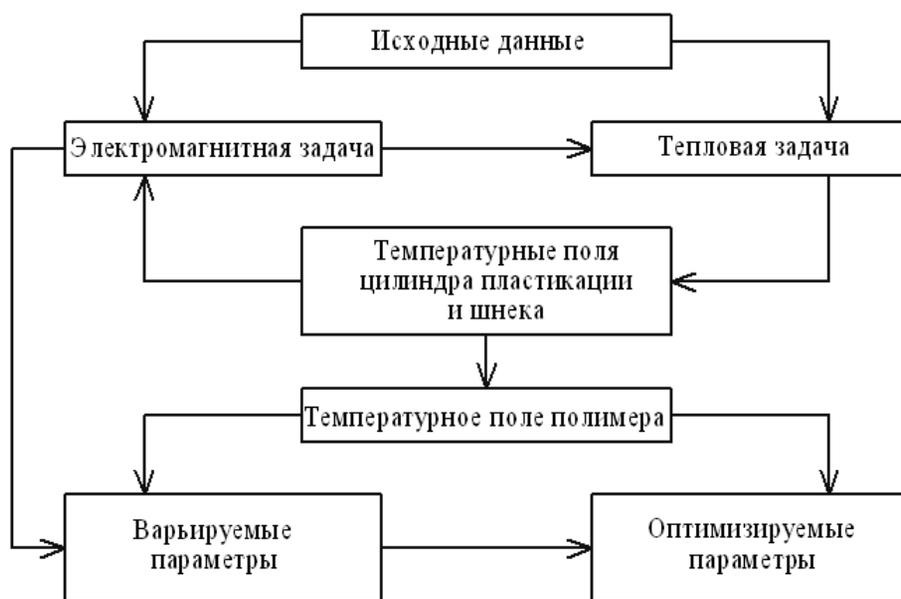


Рис. 2. Алгоритм расчета электротеплового поля

Исходными данными для расчета являются:

- конструктивные параметры нагревателя – длина нагревателя, геометрические размеры цилиндра и шнека, материал цилиндра, электро- и теплофизические характеристики цилиндра, толщина тепловой изоляции;

- параметры нагреваемого полимерного материала – теплофизические характеристики, зависимость коэффициента теплопроводности, теплоемкости, вязкости от температуры;

- энергетические параметры – напряжение питания, частота тока.

В результате расчета электромагнитной задачи определяются токи, напряженность и магнитная индукция магнитного поля. Далее рассчитываются функции распределения источников тепла. В тепловом блоке определяются температуры стенок цилиндра и шнека, распределение температуры по сечению и по длине потока. По результатам тепловых расчетов уточняются теплофизические параметры. Вновь производится электрический, а затем тепловой расчет. Итерационный цикл про-

дится до тех пор, пока не достигается заданная точность расчета. Алгоритм решения комплексной задачи, включающей расчет электромагнитных источников тепла и температурных полей с учетом всех нелинейных зависимостей, приведен на рис. 2. Предлагаемый совместный алгоритм решения электромагнитной и тепловой задачи используется для решения задач оптимизации конструкции и режимов работ индукционных нагревателей.

Расчет электротепловой модели (рис. 3) осуществляется методом конечных элементов, который реализован с помощью пакета ELCUT и FEMLAB, учитывающего специфику поставленной задачи, и предварительно группирует в области отдельные сегменты, форма которых глобально отображает конфигурацию исследуемой системы.

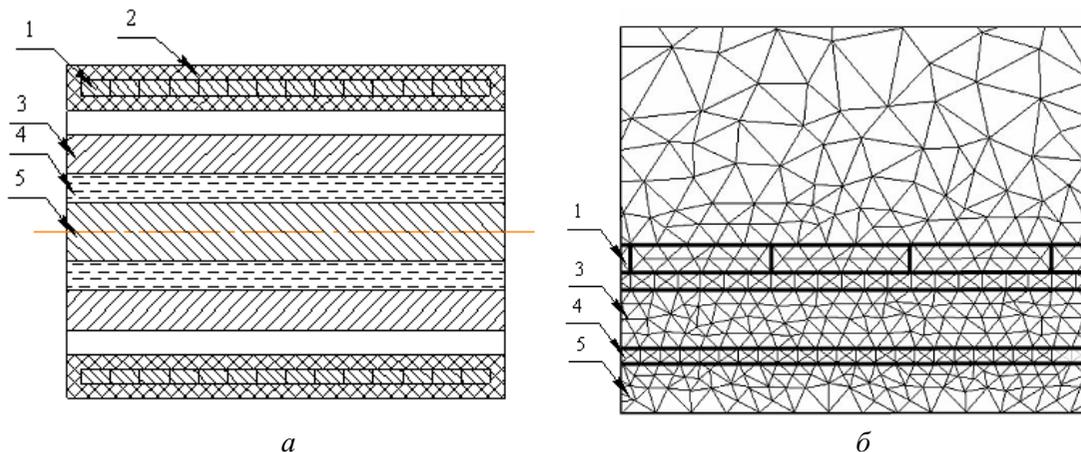


Рис. 3. Расчетная схема установки индукционного нагрева:

a – эскиз установки; *б* – сетка конечных элементов для расчета электромагнитных полей

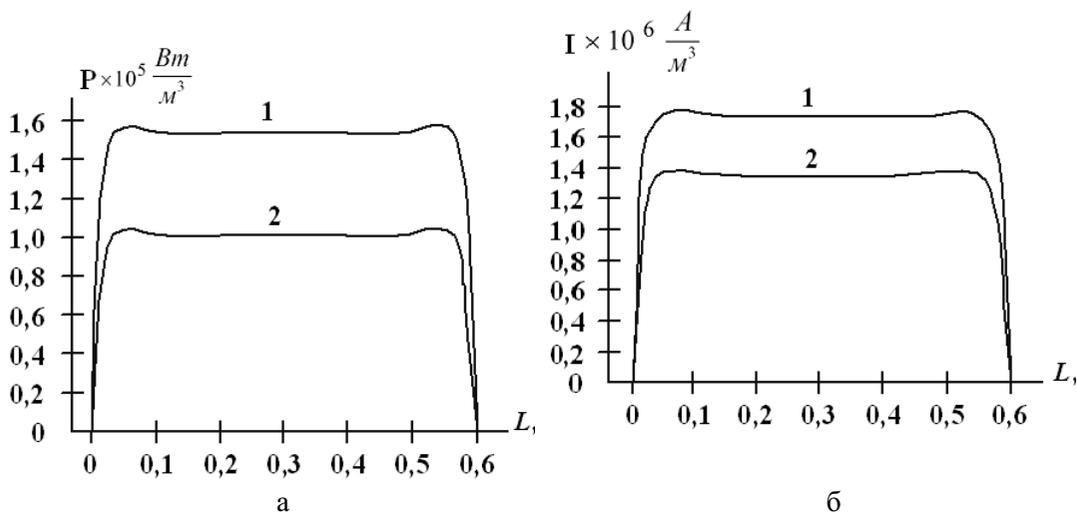


Рис. 4. Расчетные результаты:

a – удельная объемная мощность в цилиндре (кривая 1) и шнеке (кривая 2);
б – плотность тока по длине цилиндра (кривая 1) и шнека (кривая 2)

С помощью программы, построенной на основе метода конечных элементов, составляется геометрическая модель системы, содержащая все объекты, имеющие тепловой контакт. Следующим шагом является задание условий теплообмена,

величины плотности внутренних источников тепла и времени нагрева.

В ходе моделирования получены решения электромагнитной задачи, которые представлены на рис. 4, 5 и в таблице. На рис. 5 видно, что нагрев полимерного материала осуществляется от цилиндра пластикации и шнека. Как следует из представленных графиков, удельная объемная мощность по сечению максимальна на поверхности цилиндра и шнека и уменьшается по мере проникновения вглубь.

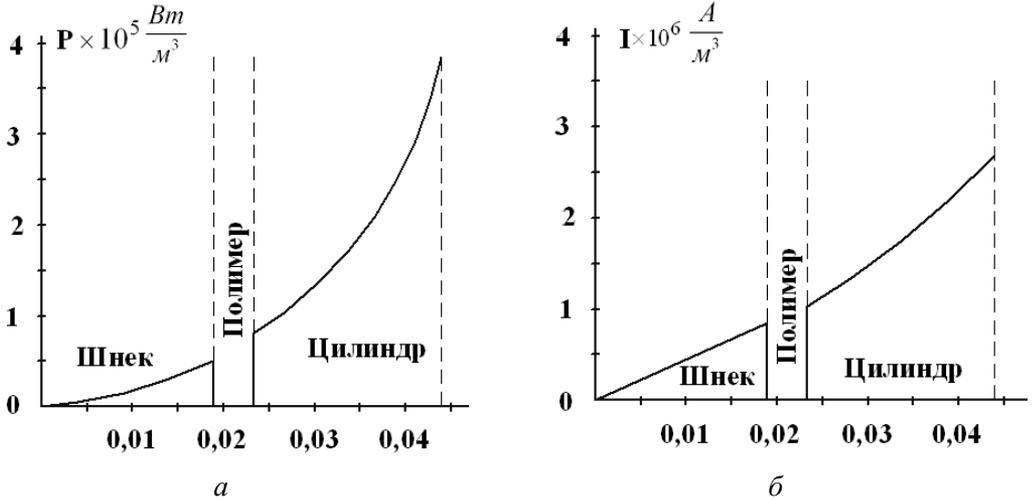


Рис. 5. Распределение мощности нагрева:
 а – распределение удельной объемной мощности по радиусу объекта нагрева;
 б – распределение плотности тока по радиусу объекта нагрева

Температурное распределение в полимерном материале

Перепад рабочей температуры по сечению объекта нагрева, °С:	Объект нагрева		
	Шнек	Полимерный материал	Цилиндр пластикации
– при разогреве системы	180 – 182	182 – 199	199 – 200
– при выходе на режим	197 – 197,5	197,5 – 199,2	199,2 – 200

В результате расчета получено температурное распределение в полимерном материале по его сечению при индукционном нагреве (см. таблицу). Анализ приведенных результатов показывает, что перепад температуры при индукционном нагреве по сечению полимерного материала составляет 3 °С, что является допустимым по технологии изготовления изделий из пластмассы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вайнберг А.М. Индукционные плавильные печи. – М.: Энергия, 1967. – 415 с.
2. Немков В.С., Демидович В.Б. Теория и расчет устройств индукционного нагрева. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 280 с.

Статья поступила в редакцию 7 сентября 2012 г.

IDENTIFICATION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE INDUCTION HEATING SYSTEM IN PLASTICS MOULDING

L.S. Zimin¹, A.G. Sorokin²

¹ Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

² Togliatti Branch of Samara State University of Economics
18, Topolinaya st., Togliatti, 445601

The paper performs the research of electromagnetic and thermal fields in the induction system for the plastics production. The paper also lists the results of calculations based on the numerical model. Mathematical model of the induction heater is developed in order to solve the problem of designing the induction systems for injection molding machine

Keywords: carbon, heat, inductor, screw, algorithm, numerical methods.