

Повышение эффективности технологии производства изделий из пластмассы методом литья, посредством применения индукционного нагрева, позволяет удовлетворить все более возрастающие требования к качеству готовой продукции. Изготовление продукции из пластмассы в настоящее время осуществляется в литьевой машине для многих областей промышленности. Рассматриваемый объект представляет собой теплообменный аппарат, состоящий из полого цилиндра пластфикации 3 и расположенного внутри него шнека 5 (рис. 1). Полимерный материал 4 нагревается за счет теплообмена со стенками цилиндра пластфикации и шнеком, в которых индуцируются вихревые токи охватывающим их индуктором 2. Рис. 1 - Теплообменный аппарат

Для успешного внедрения эффективных технологий, которые использует индукционный нагрев необходимо проводить предварительное исследование протекающих процессов методами физического и математического моделирования. Разработка математических моделей электромагнитных и тепловых процессов в сопряженных физически неоднородных средах, позволит обеспечить качественное функционирование всего технологического процесса. Что бы составить полную картину изменения характера распределения плотности тока и мощности в цилиндре пластфикации и шнеке в процессе нагрева и возможности аналитического описания функции распределения внутренних источников тепла требуется последовательное решение электромагнитной и тепловой задач. Разделение во времени процедур расчета электромагнитного поля и теплового поля объясняется разной инерционностью этих процессов. Поэтому электромагнитная задача может быть сформулированная как квазистационарная, а тепловая имеет в дифференциальном уравнении временную производную первого порядка. Все это позволяет создать полностью или частично независимые процедуры расчетов электромагнитных и тепловых полей. Модели, которые учитывают взаимное влияние электромагнитного и температурного полей в процессе нагрева называются электротепловыми (рис. 2). Такие модели дают исчерпывающую характеристику индукционного устройства с точки зрения потребления энергии от внешнего источника питания и выделения ее в загрузке. Здесь q_1 – тепловой поток от стенки цилиндра пластфикации в окружающую среду, q_2 – тепловой поток от стенки цилиндра пластфикации 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 пластфикации. В общем случае процесс индукционного нагрева описывается нелинейными уравнениями Максвелла для электромагнитного поля с соответствующими краевыми условиями [1, 2]. Следующим этапом исследования является разработка математической модели тепловых процессов в сложной физически неоднородной среде. Характер распределения и удельная плотность мощности внутренних источников тепла определены в результате

решения электромагнитной задачи. По причине того, что по длине индуктора не происходит значимых изменений электрических параметров системы, необходимо рассматривать задачу в двумерной постановке. Поэтому математическая формулировка задачи приводится к системе линейных дифференциальных уравнений нестационарной теплопроводности [3]. Для полной физической определенности общая система уравнений дополняется эмпирическими зависимостями удельной теплоемкости, вязкости, коэффициентов теплопроводности, теплопередачи и других величин от температуры. Расчет теплового поля системы осуществляется с помощью метода конечных элементов. Аналитическое решение можно получить, но при условии значительных упрощений и низкой точности. Поэтому при использовании метода конечных элементов можно учесть непостоянство параметров внутри элементов рассматриваемой системы. Рис. 2 - Электротепловая задача: 1 – изоляция витков индуктора, 2 – индуктор, 3 – стенка цилиндра пластикации, 4 – слой полимерного материала, 5 – шнек. Расчет электротепловой модели (рис.2) осуществляем методом конечных элементов, который реализован с помощью пакетов ELCUT и FEMLAB, которые учитывают специфику поставленной задачи. 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. 3, 4, из которых видно, что нагрев полимерного материала осуществляется от цилиндра пластикации и шнека, а удельная объемная мощность по сечению максимальна на поверхности цилиндра и шнека и уменьшается по мере проникновения вглубь. В результате расчета электротепловой модели было получено температурное распределение в полимерном материале по его сечению, при индукционном нагреве, которое представлено на рис.5 [4, 5]. Рис. 3 - Распределение удельной объемной мощности по сечению объекта нагрева. Рис. 4 - Распределение плотности тока по сечению объекта нагрева. Рис. 5 - Температурное распределение по сечению полимерного материала. Анализ результатов расчета показывает, что перепад температуры при индукционном нагреве полимерного материала от цилиндра пластикации и шнека одновременно по сечению приблизительно составляет 3°C, что является допустимым по технологии производства и существенно сокращается время нагрева, от которого зависит расход электроэнергии.