

УДК 536.2

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПАНЕЛИ

Хомец Е.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Доброго К.В.

Имеется большое количество технологических процессов, требующих для своего проведения контролируемого нагрева. К ним относится ряд процессов полимеризация, формования термопластов, формование железобетонных конструкций и деталей, сушки, поддержания температуры технических трубопроводов и т.д. Такой нагрев может осуществляться с использованием теплоносителей (вода, пар, газы) или электрических нагревательных элементов. Постоянный поиск новых технически и экономически эффективных решений приводит к тому, что предлагаются и апробируются нагревательные панели с новыми конфигурациями, разборные и модульные конструкции нагревательных панелей, позволяющие оперативно перемещать и модернизировать производства. В русле общемировой тенденции повышения использования электрической энергии в технологических процессах развиваются и отечественные технологии. Очевидно, что данная тенденция усилится с введением в эксплуатацию новых электрогенерирующих мощностей, в частности Белорусской АЭС.

Важнейшим параметром, во многом обеспечивающим качество продукции, является температурная однородность поля нагрева или равномерность теплового потока от нагревателя. Достичь оптимального качества нагрева при малой материалоемкости, массе, конструктивной простоте и минимальной стоимости оборудования невозможно без детального моделирования системы с учетом свойств материалов и основных процессов тепло- и массообмена.

Данная работа посвящена моделированию работы модуля технологической нагревательной панели. Целью исследования является определение зависимости целевого параметра – неравномерности теплового потока по площади поверхности нагревателя от основных геометрических и конструктивных характеристик нагревательной панели. Такими параметрами являются толщина металлического листа поверхности панели, объем воздушной полости содержащей ТЭН, форм- фактор ТЭНа – длина при фиксированной мощности нагрева, толщина теплоизоляционного слоя и другие.

Проводимые исследования позволят дать рекомендации по оптимальной конструкции нагревательной панели, целенаправленно изменять параметры нагрева, оценивать изменения тепловых процессов и качества продукции при изменении внешних условий и мощности нагрева.

Физическая постановка задачи

Нами рассматривается модуль нагревательной панели, представляющий из себя металлический короб с теплоизолированным дном, с вмонтированным внутри электронагревательным элементом, рис.1.

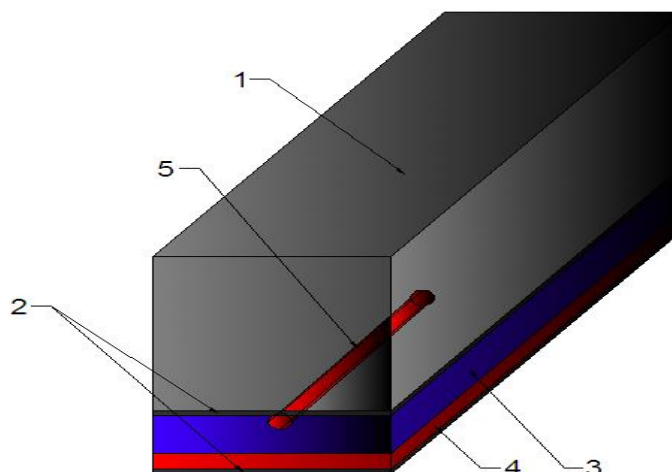


Рисунок-1- модуль нагревательной панели
1-Нагреваемый материал,2-Металлические пластины,
3-воздушная полость,4-тепловая изоляция,5-ТЭН.

Конструкция модуля выполнена таким образом, чтобы минимизировать стоимость его изготовления. Размер модуля выбирается из соображений универсальности его применения в технологическом процессе. Предполагается, что из моделей может собираться нагревательная панель любых необходимых размеров. Поэтому модуль считается симметричным элементом конструкции, что обуславливает наложение граничных условий симметрии на его боковых границах (условие отсутствия тепловых потоков). Модуль изготовлен из дешевых конструкционных сортов стали.

Теплоизоляционный слой изготовлен из листового керамоволокнистого теплоизоляционного материала (каолиновая вата, базальтоволокнистая плита, и .т.п.)

Основным требованием к работе нагревателя является равномерность поля нагрева и соответственно температурного поля в нагреваемом материале. Таким образом, основным параметром представляющим интерес для анализа является параметр неоднородности температурного поля. Таким параметром, прежде всего, является величина относительной температурной неоднородности на поверхности нагрева в характерные моменты времени или в стационарном установившемся состоянии.

$$\delta = (T_{\max} - T_{\min}) / T_{\min}, \quad (1)$$

где T_{\max} и T_{\min} - максимальная и минимальная температура поверхности нагревательной панели в заданные моменты времени.

Характерным временем контроля температурного поля является оценка времени прохождения тепловой волны через нагреваемый материал.

$$\tau_0 = l^2 / \kappa \quad (2)$$

где l – толщина слоя нагреваемого материала,

κ – коэффициент теплопроводности нагреваемого материала.

Ставится задача исследования параметра неоднородности δ как функции ряда конструкционных и технических параметров нагревателя: толщина лицевого листа металла панели, промежутка воздушного зазора короба, форм- фактора нагревательного элемента, толщины теплоизоляционного слоя, пространственной ориентации панели и других

Математическая постановка задачи

В основу математической задачи положены уравнения теплопроводности в твердых однородных веществах (закон Фурье).

$$Q = -\lambda \cdot F \cdot \partial t / \partial n \quad (3)$$

Конвекция в полости нагревателя рассчитывается по уравнениям Навье-Стокса для несжимаемого неизотермического газа в приближении Буссинеску.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} &= - \frac{1}{\rho_0} \nabla p + \nu \nabla^2 \vec{v} - \beta T \vec{g} \\ \frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla T &= \chi \Delta T \\ \operatorname{div} \vec{v} &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

В качестве граничных условий, задаемся температурой ТЭНа (800К).

Для моделирования могут быть использованы стандартные пакеты программ такие как: Abinit ; ANSYS ; CRYSTAL ; OpenFOAM .

Нами используется COMSOL Multiphysics потому, что он позволяет моделировать практически все физические процессы, которые описываются частными дифференциальными уравнениями. Программа содержит различные решатели, которые помогут быстро справиться даже с самыми сложными задачами, а простая структура приложения обеспечивает простоту и гибкость использования. Решение любой задачи базируется на численном решении уравнений в частных производных методом конечных элементов. Спектр задач, которые поддаются моделированию в программе, чрезвычайно широк. Набор специальных модулей в программе охватывает практически все сферы приложений уравнений в частных производных.

Результаты моделирования

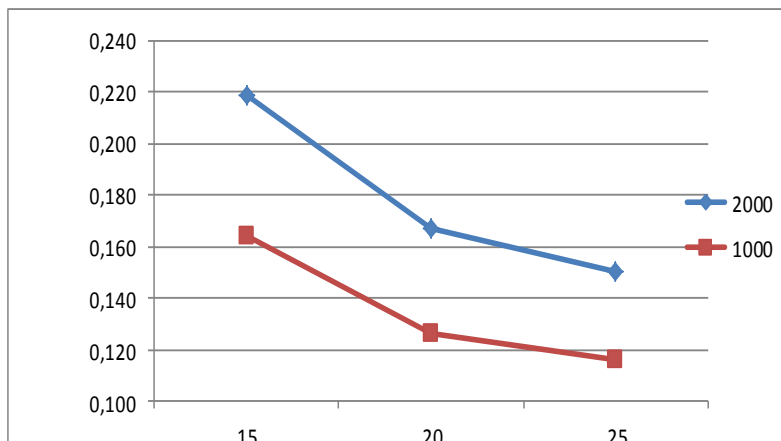


Рисунок 2 График зависимости температурной неоднородности от толщины воздушной прослойки

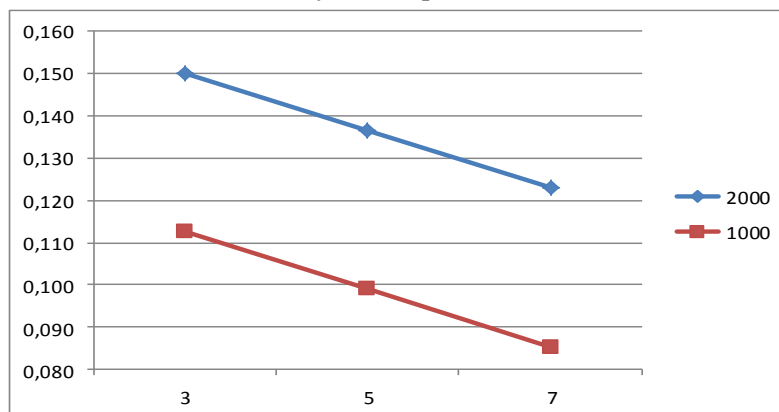


Рисунок 3 График зависимости температурной неоднородности от толщины металлических пластин

В ходе моделирования получили следующие зависимости, характеризующие зависимость распределения температуры от различных физических и геометрических параметров

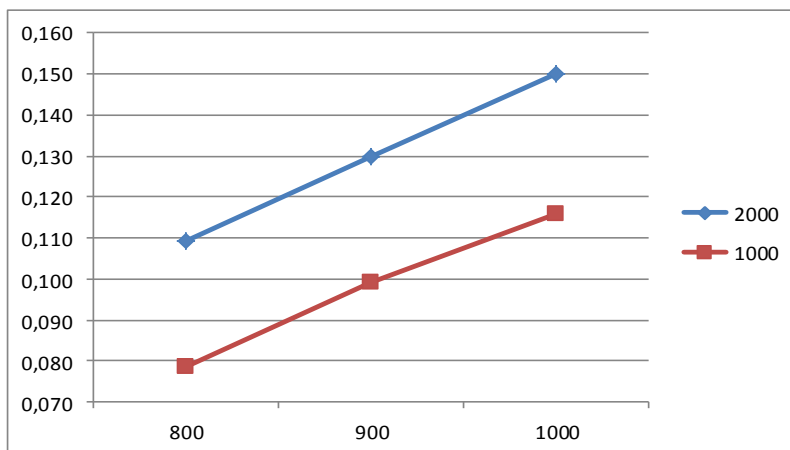


Рисунок 4 - график зависимости температурной неоднородности от температуры ТЭНа

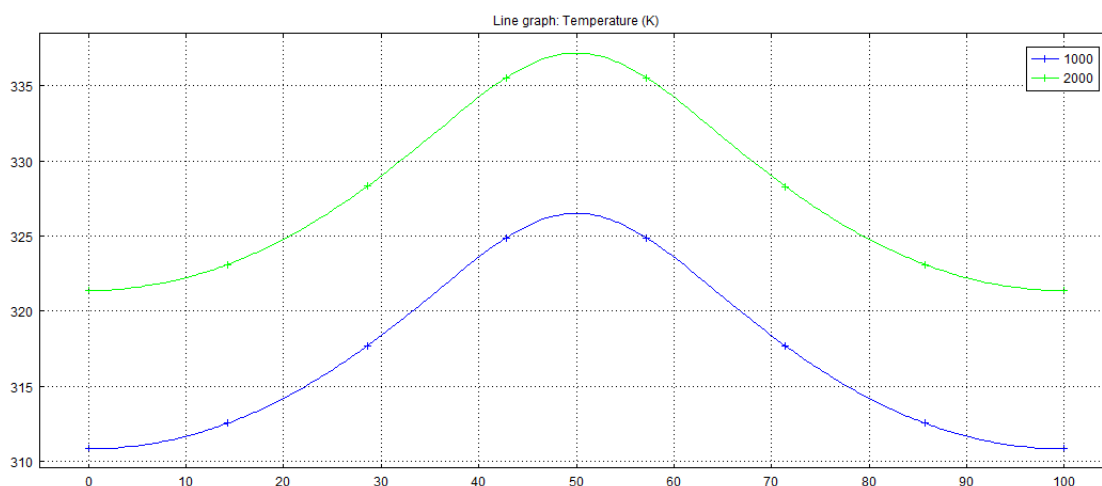


Рисунок 5 – распределение температуры при 1-м исполнении ТЭНа

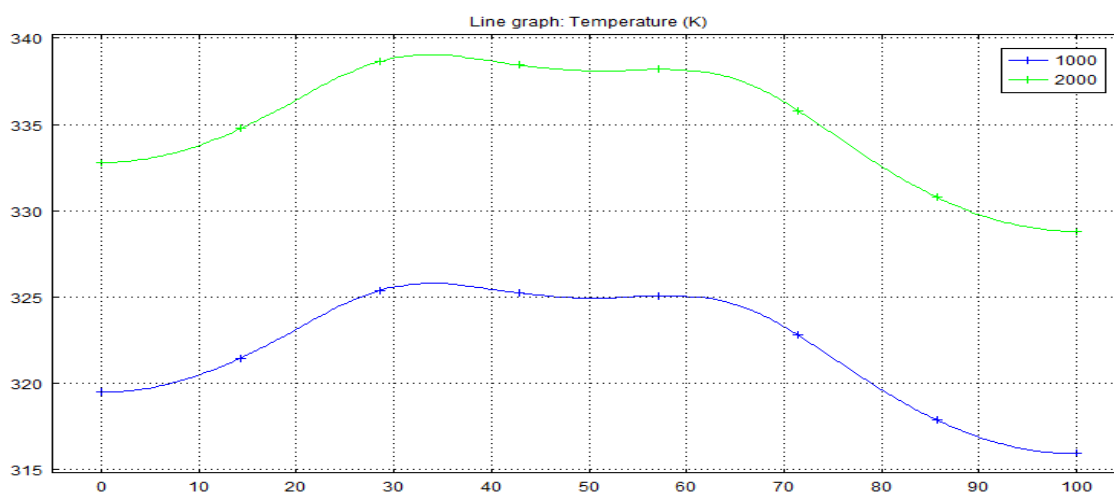


Рисунок 6 – распределение температуры при 2-м исполнении ТЭНа

Т.О. проведены исследования позволяют определить оптимальную конструкцию нагревательной панели.

Показано, что при увеличении геометрических размеров снижается температурная неоднородность. Вариации исполнения ТЭНа влияют на равномерность распределения теплового потока.

Литература

1. Навье - Стокс, Буссинеск, программы , Comsol
2. Б.Н.Юдаев Техническая термодинамика и теплопередача М. Высшая школа 1988