

5. Сочетание природных факторов, определяющих возможный уровень загрязнения атмосферы, характеризуется метеорологическим и климатическим потенциалом загрязнения атмосферы / Ю.П. Иванова, О.О. Иванова // Актуальные вопросы современной науки: теория, методология, логика, практика, инноватика. Сб. научных статей по материалам IV Международной научно-практической конференции. Уфа: ООО "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2020. – С. 297-300.
6. Ужов В.Н. Очистка промышленных газов электрофильтрами. – М.: Химия, 1967. – 344 с.
7. Оценка выброса автотранспортных средств как источника загрязнения атмосферы / И.З. Магомадов, М.А. Саилов, С.М. Ногамирзаев, А.Н. Тепсаев // Труды Грозненского государственного нефтяного технического университета им. академика М.Д. Миллионщикова. 2018. №16-17. – С. 168-175.

УДК 699.042

М. А. Казаков, Е. В. Киселев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В КЛАДКЕ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

Аннотация. Изучен программный комплекс Ansys. Были подобраны и проработаны способы изучения стационарной теплопроводности в программном обеспечении Ansys. Построена модель стационарной теплопроводности через многослойную плоскую стенку. Сравнили полученные результаты с математическими расчетами. Была получена схема теплопроводности цельной печи.

Ключевые слова: ansys, теплопроводность, футеровка, электрическая печь.

Abstract. The Ansys software package was studied. Methods for studying stationary thermal conductivity in the Ansys software were selected and worked out. A model of stationary heat conduction through a multilayer flat wall is constructed. The obtained results were compared with mathematical calculations. The thermal conductivity scheme of the whole furnace was obtained.

Key words: ansys, thermal conductivity, modernization, inwall, electric furnace.

Нагревательные печи имеют широкое применение во всём мире в машиностроительной, в металлообрабатывающей и других отраслях промышленности. Процессы, протекающие в нагревательных печах, весьма энергоёмки, поэтому в настоящее время актуальными вопросами являются проведение активной политики энергосбережения и повышение эффективности работы печей. Для осуществления этого необходимо использование ЭВМ и новейших способов математического моделирования, потому как именно они позволяют выполнить расчёты с высокой степенью точности и за достаточно короткое время, при этом можно учесть большое количество определяющих факторов и свести к

минимуму допущения, таким образом, необходимо использование новейших многофункциональных программно-вычислительных комплексов. Также моделирование и анализ позволяют избежать дорогостоящих и длительных циклов разработки типа «проектирование – изготовление – испытания», поэтому в последнее время CAE-системы получили огромное распространение, как в России, так и во всё мире. Самыми используемыми из них являются ANSYS, FlowVision, Phoenix, Comsol Multiphysics (FemLab) и другие.

В данной работе предпочтение отдано компании ANSYS.Inc с её программным продуктом ANSYS в связи с большой функциональностью, наличием отдельных компонентов, возможностью широкой интеграции с CAD-системами (англ. Computer-Aided Design) и широкому распространению.

Представленный материал является продолжением работы по исследованию и модернизации конструкции нагревательной электрической печи, основанного на математических расчетах [1]. В данном случае дальнейшая модернизация будет подтверждаться результатами моделирования процессов, протекающих в тепловом агрегате.

Для наиболее лучшего представления тепловой работы проведено моделирование распределения температурных полей в кладке камерной электрической печи. В начале работы был произведен подбор необходимого под данную задачу компонента программного обеспечения Ansys. Выбор был сделан на Steady-State Thermal (модуль для моделирования процесса стационарной теплопроводности) [2]. Благодаря данной аналитической системе возможно просчитывать статическую теплопроводность в твердых телах.

С помощью программного пакета КОМПАС-3D построена модель многослойной плоской стенки на основе новых материалов, подобранных в дипломной работе, а именно изолмакс толщиной 150 миллиметров и базальтовый иглопробивной мат толщиной 75 миллиметров. Характеристики представлены на рисунке 1 и 2.

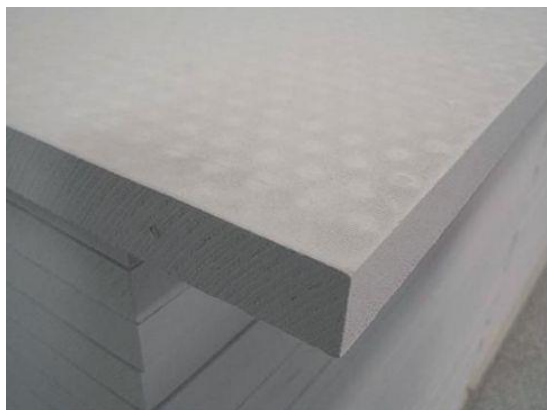


Рис. 1. Внешний вид (сверху) и основные характеристики (снизу) теплоизолирующего материала Изолмакс

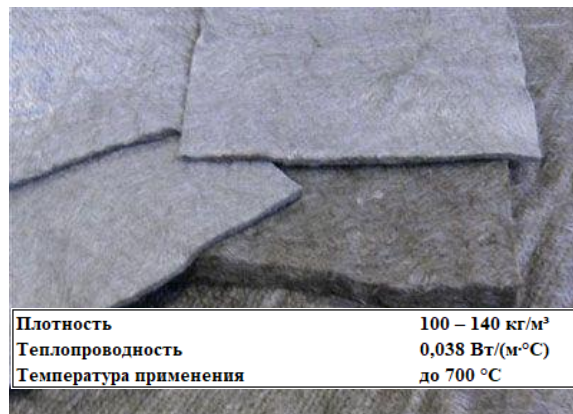


Рис. 2. Внешний вид (сверху) и основные характеристики (снизу) теплоизолирующего материала Базальтовый иглопробивной мат

Далее в аналитической системе Steady-State Thermal были заданы значения коэффициентов теплопроводности материалов стенки и начальные условия. По-

сле чего были произведены расчеты и получены результаты, представленные на рисунке 3.

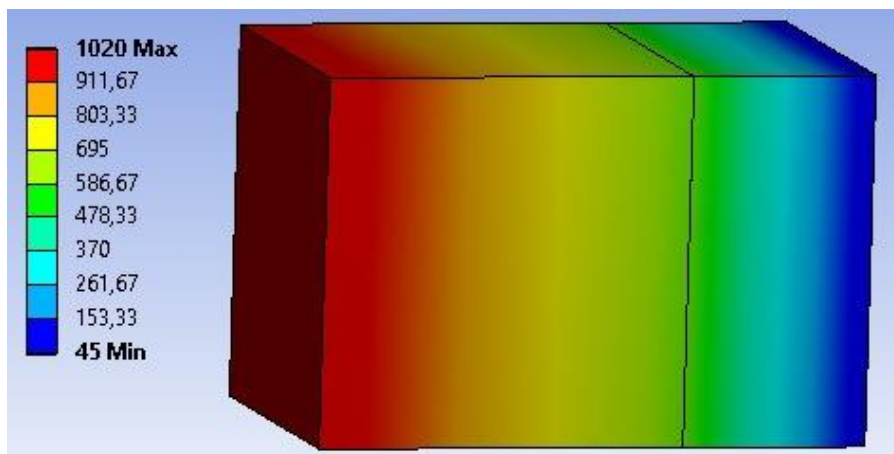


Рис. 3. Результат моделирования теплопроводности многослойной плоской стенки

При математическом расчете распределения температур по толщине элемента кладки, видно, что с внутренней стороны рабочего пространства температура составляет 1020 °С, а с внешней стороны 45 °С, на стыке слоев 600 °С. Результат, полученный моделированием процесса, и результат, полученный математическими расчетами, совпали полностью [3]. Что подтверждает правильность выбора способа моделирования.

Далее была построена упрощенная модель кладки электрической нагревательной печи в масштабе 1:1, с соблюдением всех пропорций и толщиной теплоизолирующих материалов, выбранных на стадии инженерного проектирования. Длина рабочего пространства составляет 2,65 метра, а ширина 2,556 метра. Построение было выполнено не единым целым объектом, а каждый слой футеровки был выполнен отдельным телом. Модель представлена на рисунке 4.

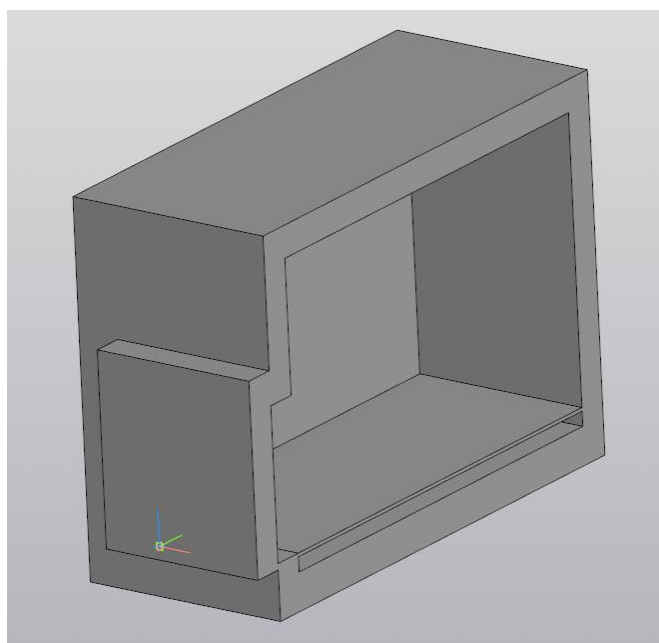


Рис. 4. Модель электрической нагревательной печи

После построения модели в программном комплексе Ansys были заданы начальные, граничные условия, теплопроводность футеровки, а также произведена настройка модели решателя. После чего были получены результаты, представленные на рисунке 5.

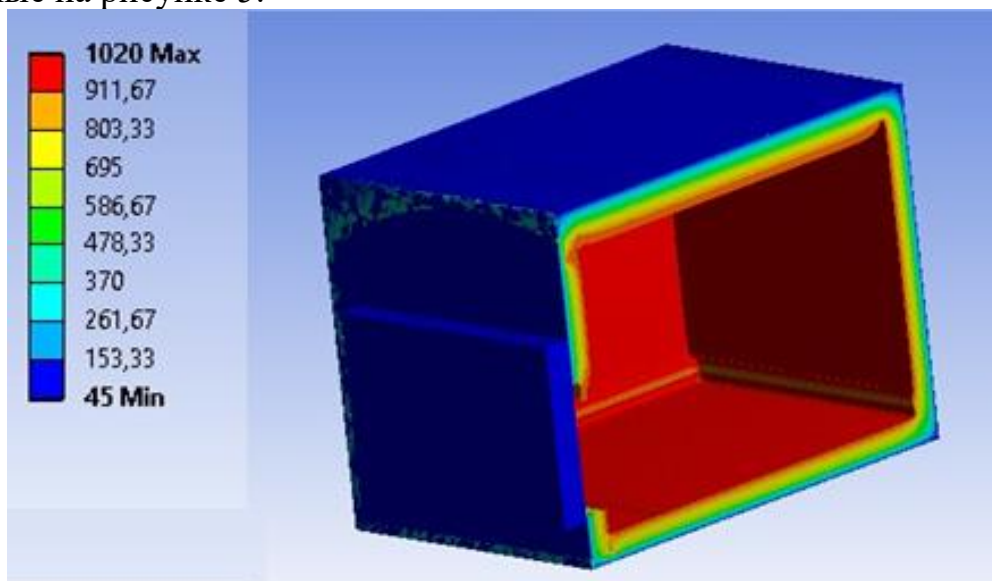


Рис. 5. Результат моделирования теплопроводности футеровки электрической нагревательной печи

В данной работе получилось отработать принцип моделирования теплопроводности в многослойной кладке печи. Благодаря полученным результатам получилось увидеть распределение температур в кладке печи, подтвердить адекватность полученного принципа моделирования стационарной теплопроводности и позволяет перейти к дальнейшему, более детальному моделированию процесса тепловой работы камерной электрической печи.

Полученные результаты-методику можно применять в печах различного принципа работы, размеров и форм.

Список использованных источников

1. Свенчанский А.Д. Электрические промышленные печи: учебник для вузов / 2-е изд., перераб. М.: Энергия, 1975. – 384 с.
2. Mechanicalland [Электронный ресурс] // Mechanicalland: интернет-журнал: [web-сайт]. – Режим доступа: <https://mechanicalland.com/steady-state-thermal-analysis-in-ansys-mechanical/> (дата обращения 13.04.2022).
3. Основы теплопередачи. Теплопередача через слой вещества: учебное пособие/ А.Ю. Крайнов. Томск: STT, 2016. – С. 15-22.