

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КАМЕРНОЙ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ РАБОЧЕЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ

*Ишимбаев А.В., Матюхин В.И.*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.

Ельцина, Екатеринбург, Россия

[aleks.ishimbaev@yandex.ru](mailto:aleks.ishimbaev@yandex.ru), [matyhin53@mail.ru](mailto:matyhin53@mail.ru)

**Аннотация:** Актуальной задачей проектирования новых и реконструкции действующих газовых нагревательных печей является достижение высокой равномерности нагрева, которую оценивают величиной допустимого перепада температур на поверхности и в поперечном сечении нагреваемых заготовок в момент выдачи из печи. Наибольшие сложности решения данной задачи имеют место для камерных печей, сжигание топлива в которых способствует формированию неравномерного распределения температуры в газовом объеме камеры и, как следствие, к неравномерности тепловых потоков на поверхности нагреваемой заготовки.

**Ключевые слова:** камерная печь, термообработка, теплопередача, моделирование процессов, автоматизация процессов, цифровой двойник.

## SIMULATION OF A CHAMBER HEATING FURNACE WITH VARIABLE OPERATING TEMPERATURE

*Ishimbayev A.V., Matyukhin V.I.*

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

**Abstract:** The urgent task of designing new and reconstructing existing gas heating furnaces is to achieve high uniformity of heating, which is estimated by the value of the permissible temperature difference on the surface and in the cross-section of the heated blanks at the time of issuance from the furnace. The greatest difficulties in solving this problem take place for chamber furnaces, the combustion of fuel in which contributes to the formation of an uneven temperature distribution in the gas volume of the chamber and, as a result, to the unevenness of heat flows on the surface of the heated workpiece.

**Keywords:** chamber furnace, heat treatment, heat transfer, process modeling, process automation, digital twin.

Нагревательные печи – самый распространённый класс печей, поскольку они широко применяются не только в чёрной, но и в цветной металлургии, а также в машиностроении.

Для работы была выбрана камерная печь с изменяющейся температурой, т.к. факторов, влияющих на работу печи гораздо меньше, чем у других видов печей, например движение заготовок внутри рабочего пространства. В печи с выкатным подом загрузка и выгрузка изделий производятся цеховым краном на подину, выкатываемую относительно стен и свода печи.

При нагреве исходных заготовок нестандартной формы перед их последующей механической обработкой наиболее часто используют камерные печи с изменяющейся рабочей температурой. Несмотря на наличие обоснованной методики их теплового расчета, конструирование таких агрегатов связано с присутствием некоторых неопределенностей (изменяющиеся условия теплопередачи), обусловленных специфическими свойствами нагреваемых материалов (форма и размеры, теплофизические свойства, требования к нагреву). Поэтому при проектировании таких тепловых агрегатов широко используют богатый практический опыт. Однако не всегда конечные результаты совпадают с требованиями технологии, что требует обязательного этапа пусконаладочных испытаний.

Основной целью данной работы является улучшение методики расчета камерной печи с изменяющейся рабочей температурой при варьировании теплофизических свойств нагреваемых заготовок и условий теплопередачи в рабочем пространстве при заданных условиях нагрева. Для этого предлагается:

- на основании имеющейся методики теплового расчета камерной печи с изменяющейся рабочей температурой создать математический аппарат для ее реализации при различных требованиях нагрева термически массивных тел [1,2,3];
- произвести математическое моделирование процессов движения газов и изменяющихся условий теплопередачи к нагреваемым заготовкам с помощью математического пакета Ansys [4].
- выполнить оценку соответствия результатов тепловых расчетов и математического моделирования;
- создать комплексную методику расчета камерной печи с изменяющейся рабочей температурой при тепловой обработке изделий различной формы и варьировании их теплофизических свойств.

В настоящее время:

- систематизированы методики расчета камерной печи с изменяющейся рабочей температурой в Excel;

- внесены коррективы в методику расчета камерной печи с изменяющейся рабочей температурой при варьировании формы нагреваемых заготовок, их теплофизических свойств, условий теплопередачи от движущихся газов;
- построена 3D-модель камерной печи для дальнейшего исследования газодинамики рабочего пространства и теплообмена в футеровке (см. рисунок 1);

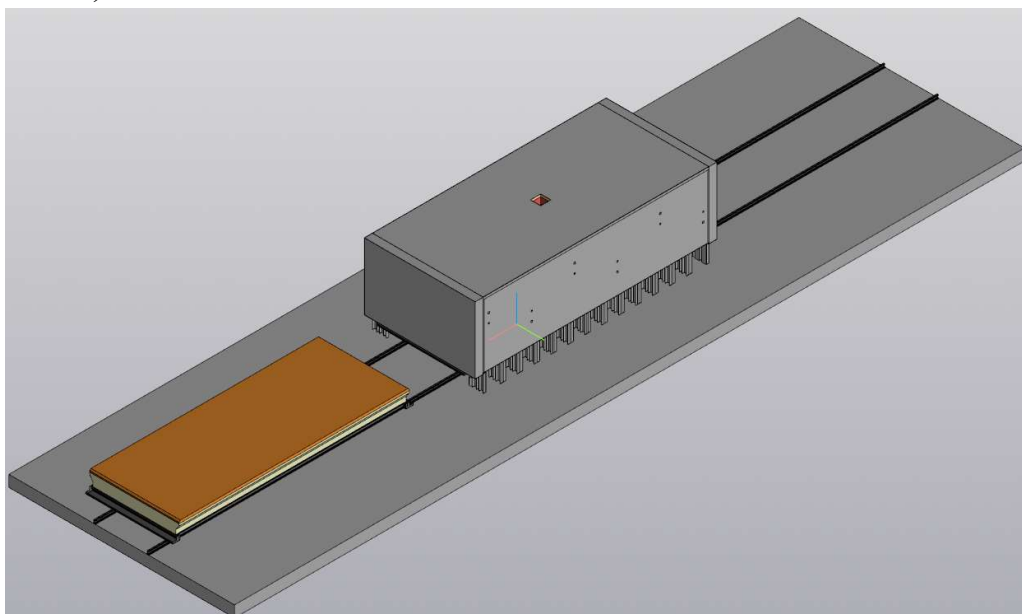


Рисунок 1 - 3D модель камерной печи

- созданы основы для математического моделирования процесса нагрева движущимися газами в изменяющихся внешних условиях (уровень максимальных температур, скоростной режим их движения). Исследования газодинамики рабочего пространства и теплообмена в футеровке показаны на рис. 2, 3 и 4.

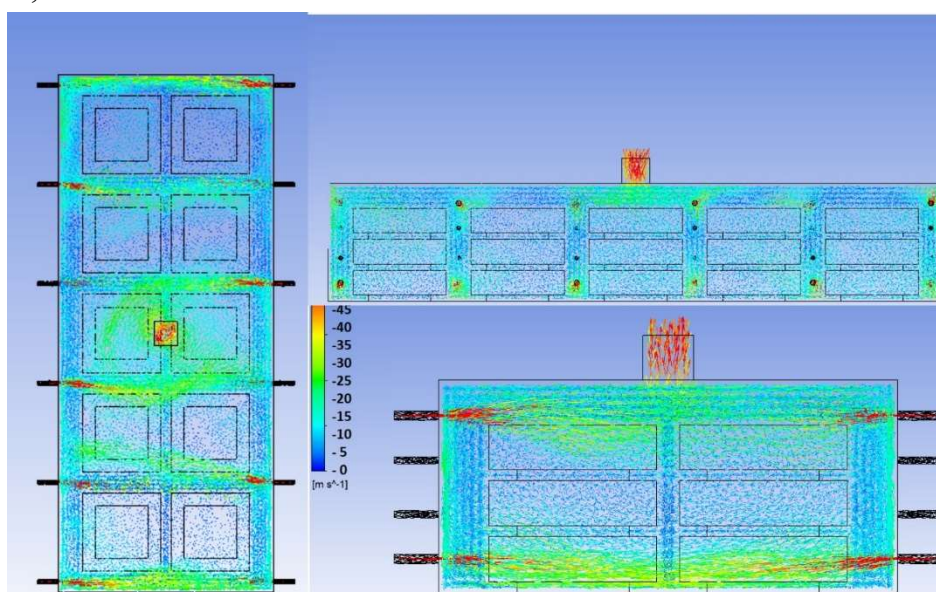


Рисунок 2 – Моделирование газодинамики в рабочем пространстве первая версия

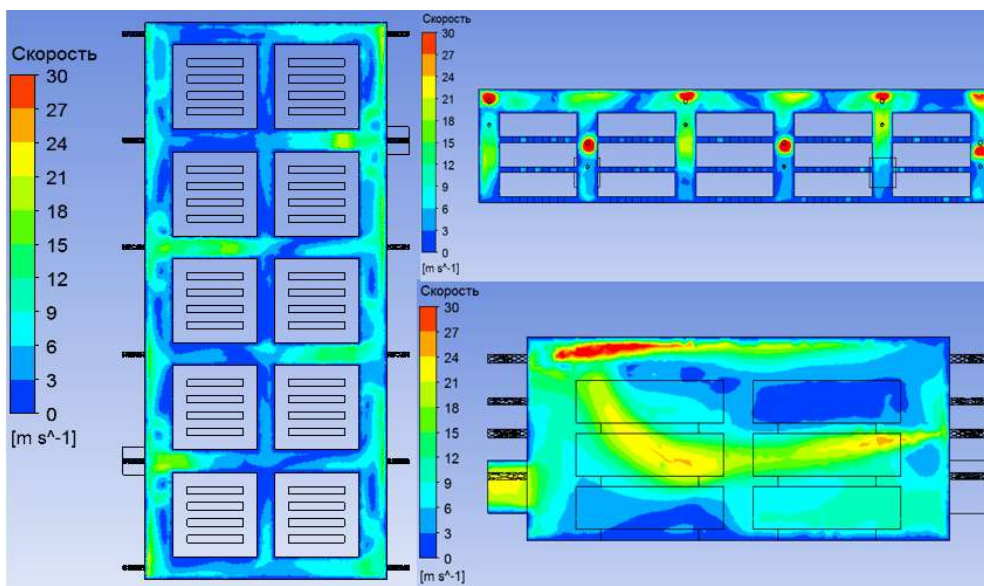


Рисунок 3 – Моделирование газодинамики в рабочем пространстве финальная версия

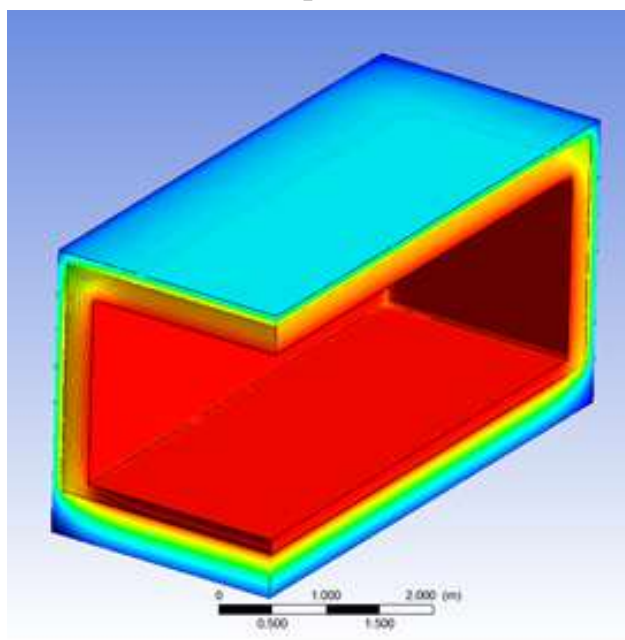


Рисунок 4 – Моделирование теплообмена футеровки

В результате расчёта газовых потоков в программном продукте ANSYS были наглядно рассмотрены потоки газов в рабочем пространстве без проведения масштабных опытов с реальной печью. Полученные данные помогли проанализировать недостатки исходной модели и на их анализе построить новую модель камерной печи. Сравнив обе компоновочные модели был сделан вывод:

- перенос дымохода со свода печи на боковые стены позволило получить более равномерное распределение газовых потоков;
- перемещение горелок в верхнюю часть рабочего пространства позволило равномернее распределить температуру по рабочему пространству;

- изменение сплошной подставки на несколько узких позволяет газовым потокам не “обходить”, а проходить насквозь.

Данная методика подбора компоновки позволяет экономить ресурсы на этапе проектирования агрегата. Моделирование исходной компоновки печи дает возможность увидеть преимущества и недостатки выбранной конструкции агрегата до проведения пуско-наладочных работ.

Данная работа служит основой для создания цифрового двойника, который может являться как учебным материалом с виртуальной работой агрегата, так и сопроводительным помощником от проектирования до внедрения на производство.

Результаты работы обсуждены на нескольких научно-практических конференциях и представлены в открытой печати [5].

### **Библиографический список**

1. Теплотехнические расчеты металлургических печей. Китаев Б. И., Зобнин Б. Ф., Ратников В.Ф., Телегин А. С., Лисиенко В.Г., Братчиков С.Г., Казяев М.Д., Маркин В.П., Суханов Е.Л., Сучков В.Д. Учебное пособие для студентов вузов. Изд. 1-е. М., "Металлургия", 1970. - 528 с.
2. Расчет нагревательных и термических печей. Справ. изд. Под ред. Тымчака В.М. и Гусовского В.Л. М.: Metallurgiya, 1983. 480с.
3. Советкин, В.Л. Теплофизические свойства веществ: Учебное пособие / В.Л. Советкин, Л.А. Федяева. – Свердловск : УПИ, 1990. – 104 с.
4. Математическое моделирование теплофизических процессов. ANSYS и CAE-проектирование : учебное пособие / М. А. Денисов. Екатеринбург : УрФУ, 2011. 149 с.
5. Ишимбаев А. В. Совершенствование конструкции камерной нагревательной печи с изменяющейся рабочей температурой / А. В. Ишимбаев, В. И. Матюхин //Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве : сборник докладов IX Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (ТИМ'2021) с международным участием (Екатеринбург, 13–14 мая 2021 г.). — Екатеринбург: УрФУ, 2021. — С. 62–64.