

Роль математического моделирования при проведении теплотехнических расчетов в конструировании электропечей

Создание современных эффективных и экономичных печных агрегатов невозможно без предварительных теплотехнических расчетов. Тепловую работу электропечей периодического действия отличает сложный характер распределения температур и тепловых потоков во времени и пространстве печи. В зависимости от необходимой точности, для определения теплотехнических параметров, используют различные расчетные методы.

Тепловой баланс, расчет которого традиционно ведется для всех электропечей, не позволяет получить распределение тепловых потоков по конструкции печи и садки, а дает лишь необходимое значение мощности и соотношение полезного тепла, идущего на нагрев садки и тепловых потерь печи на аккумуляцию и теплопроводностью через футеровку, причем только в стационарном режиме. Но печи периодического действия, работая в циклическом режиме, практически никогда не достигают стационарного состояния, а соотношение величин потерь и температурное поле по конструкции печи в процессе работы постоянно меняется.

Наиболее полное представление о процессах и температурном поле печи и садки можно получить с помощью математического моделирования на ЭВМ.

Первые математические модели печей были разработаны еще в середине 50-х годов прошлого века, однако уровень развития техники, в тот период, требовал существенного упрощения моделей, что не всегда возможно и целесообразно, т.к. ведет к снижению точности расчета и неучету влияния важных факторов, а время счета этих моделей было очень велико.

Благодаря значительному росту быстродействия и объема памяти вычислительной техники появилась возможность существенно развить математические модели печных агрегатов, увеличить число учитываемых и варьируемых факторов, повысить точность расчетов, избежать многих упрощений, которые приходилось принимать в прежних моделях.

Современные математические модели, разрабатываемые нашей фирмой для своих печных агрегатов, отличаются углубленной постановкой внешней и внутренней задач теплообмена, используют метод Монте-Карло для расчета угловых коэффициентов, учитывают селективность излучения, продольный перенос тепла, конвективную теплоотдачу, нелинейность коэффициентов теплопроводности материалов от температуры и др. Модель строится на основании сопряженной задачи теплообмена в системе газ-кладка-садка при условии радиационно - конвективного нагрева на внутренней поверхности кладки и садки. При создании модели вся конструкция печи разбивается на элементы с неравномерным шагом по координате, такой подход позволяет провести детальный анализ наиболее теплонапряженных участков и исключить возможность локальных перегревов по рабочему объему печи и садки.

Расчет по математической модели ведется по шагам до тех пор, пока не будут достигнуты заданные конечные параметры печи и обрабатываемых изделий. В результате теплового расчета, при заданных условиях теплообмена, определяется распределение температурного поля в печи и продолжительность термообработки, которая, в конечном счете, определяет производительность печи.

Математические модели позволяют производить многовариантные расчеты для выдачи рекомендаций по конструктивным параметрам печей, тепловым и температурным режимам печей и садок, что позволяет повысить технический уровень разрабатываемых и выпускаемых конструкций.

Разрабатывая математическую модель конкретной печи, учитываются все особенности ее конструкции и тепловых процессов, которые в ней происходят, поэтому изменение одного или нескольких параметров (например, размеров внутреннего пространства печи, массы садки, ее размещения в рабочем объеме) требует внесения изменений в модель и пересчета теплотехнических характеристик печи и садки.

Благодаря математическому моделированию стало возможным решение задачи по оптимизации конструкции печей с целью:

1. определения экономически наиболее выгодной толщины футеровки печи, обеспечивающей минимум затрат на ее изготовление и эксплуатацию;
2. нахождение и выбор оптимальной последовательности расположения огнеупорных и теплоизоляционных материалов и оптимальной толщины отдельных слоев;
3. сравнительной оценки тепловых качеств футеровки (достижение минимума потерь тепла теплопроводностью, на аккумуляцию, времени выхода печи из холодного состояния на рабочий режим и т.д.).

Особое значение для получения корректной математической модели приобретает полнота и точность вводимых в модель исходных данных, т.к. в противном случае высокая точность математических расчетов становится бессмысленной. В качестве исходных данных для расчета задаются следующие параметры:

- характеристика рабочего пространства печи (размеры и теплофизические свойства материалов конструкции печи);
- характеристика садки (размеры обрабатываемых изделий и их масса, расположение в печи, теплофизические свойства материалов);
- начальная и конечная температура поверхности, а также перепад температур по сечению обрабатываемых изделий или температурный и временной режим процессов нагрева, выдержки или охлаждения;
- ограничения, налагаемые на процесс нагрева и охлаждения (максимальные температуры внешней теплоотдающей поверхности печи, нагревательных элементов и т.п.);
- прочие данные, которые могут оказать существенное влияние на температурный режим печи.

Широкое применение математического моделирования не снимает необходимости получения практических данных о работе печных агрегатов и проведения специальных экспериментов, т. к. любая математическая модель обязательно нуждается в адаптации к реальному объекту моделирования. Анализ достоверности результатов, получаемых при использовании разработанных математических моделей теплообмена в рабочем объеме печей, проводится путем сопоставления с экспериментальными данными и результатами экспериментов, известными в литературе.

Совпадение расчета и эксперимента удовлетворительное (погрешность расчета не превышает 10-15%).