

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ И ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ

Н.С. Буйнов, Д.О. Ивановский, В.Н. Щепетков

Моделирование тепловых и воздушных потоков рассматривается на примере расчета рабочего режима обогревателя-дестратификатора в помещении большого объема. Процесс моделирования и получения заданной конфигурации потока сложного агрегата делится на следующие этапы:

- Определение макроскопических параметров потока. Определяются нужная форма потока, площадь обогрева, тепловая мощность, которая требуется от прибора, так же определяются основные параметры конструкции, геометрии прибора, влияющие на заданные макроскопические параметры потока (производится подбор конфигурации диффузора, начальной скорости потока, допуски избыточной температуры потока, уровень допустимого шума).
- Определение внутренней конфигурации прибора, геометрии проточных узлов, производительности вентилятора, конструкции нагревательных регистров для достижения параметров прибора, заданных на предыдущем этапе.
- Сопоставление полученных результатов с экспериментальными данными готового агрегата.

Существует два основных метода, позволяющих построить модель воздушного потока: метод суммирования элементарных струй и метод конечно-элементного анализа. Метод суммирования элементарных струй используется для грубой и приблизительной оценки предварительных макроскопических параметров рассчитываемого прибора. После грубой оценки возможно уже последующее, более точное конечно-элементное моделирование и исследование требуемого параметра, а так же в необходимых случаях проводится численный эксперимент.

Метод суммирования элементарных струй заключается в том, что расчете мы не учитываем вихревые и турбулентные характеристики потока, а учитываем только характер развития движения, т.е. геометрию распространения потока. Поток разбивается на отдельные области, область струйного и область конвективного движения. Далее строятся модели отдельных областей, а решения состыковываются на границах с учетом равенства скоростей, температур и давлений.

На основании этого метода, мы можем оценить дальность агрегата, исходя из следующей формулы:

$$(Z_b)_{\max} = \frac{2}{3} H \sin^{3/2} \beta, \quad (1)$$

где:

$$H = \sqrt{\frac{m^2 T_x u_0^2 \sqrt{F_0}}{n g \mathcal{G}_0}}, \quad (2)$$

u_0 - начальная скорость исходящего воздушного потока, T_0 - начальная температура исходящего воздушного потока, $\sin \beta$ - угол падения потока относительно горизонта, T_x - температура окружающей среды, F_0 - начальная площадь истекающего потока. Также можно оценить температуру и скорость в различных точках помещения. Распределение скорости в зоне турбулентного перемешивания струи подчиняется нормальному закону распределения, который можно выразить как

$$U = U_z e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{r}{cz} \right)^2}, \quad (3)$$

где U – скорость в данной точке потока; U_z - скорость на оси потока; r - радиус-вектор точки потока в плоскости, перпендикулярной направлению распространения; r - направление распространения потока, c - константа. Распределение температур также подчиняется нормальному закону распределения

$$\theta = \theta_z e^{-\frac{\sigma (r)}{2cz}}, \quad (4)$$

где θ - избыточная температура (разность между температурой истекающего потока и температурой окружающей среды) в данной точке потока; θ_z - температура на оси потока; σ - константа.

После вышеизложенной предварительной оценки конфигурации обогревателя, влияющей на макроскопические параметры прибора, производится компьютерное моделирование методом конечных элементов, позволяющее с высокой точностью определить влияние данной конфигурации прибора на характеристики потока и в случае необходимости скорректировать их. И только после этой процедуры мы можем приступить к расчету и оптимизации внутренней проточной части обогревателя.

Расчет и оптимизация внутренней проточной части агрегата производится так же при помощи компьютерного моделирования, методом конечных элементов путем численного эксперимента в несколько итераций до момента достижения приемлемых результатов. Предварительно выбирается производительность вентилятора, конфигурация и тип нагревательных регистров, с характеристиками, требуемыми для достижения уже рассчитанной на предыдущем этапе дальности, избыточной температуры потока и площади обогрева. Затем строится модель внутренней проточной части агрегата и производится расчет.

Для исследования и расчета методом конечных элементов в этой работе используется программный комплекс ANSYS. Первым этапом является построение геометрии расчетной области объекта. При построении модели опускаются мелкие и не значительные детали, которые не вносят значительного вклада в общую картину потока, а так же те, которые абсолютно не участвуют в процессе тока и не влияют на ход решения задачи. Так же, если задача симметричная, то можно уменьшить размерность задачи, путем удаления симметричной части объекта. При выборе расчетной области необходимо учитывать, что близко расположенные к исследуемой области граничные условия могут вносить искажение в решение. Расчет течений производится на неравномерной тетраэдрической сетке, адаптируемой под особенности геометрии, путем изменения шага разбиения. Использование такой сетки позволяет описать как общую структуру течения в помещении, так и существенные детали. В среднем, пространственная сетка расчетной области данной задачи имеет порядка 280 тыс. узлов и состоит из 1.5 млн. объемных элементов (тетраэдров).

Используемая в программном комплексе для решения данной задачи математическая модель включает в себя законы сохранения массы, энергии, импульса (уравнения Навье-Стокса), уравнение состояния сжимаемого газа при 25С и модель турбулентности. Для моделирования течения в помещении используется модель турбулентности k-ε. При моделировании обтекания плоскообтекаемого тела с нефиксированной точкой отрыва (течение газа в нагревательных регистрах, моделирование течения на пластинах диффузора) используется SST модель турбулентности. Задачи решались в 3-х мерной стационарной постановке на модели сжимаемого газа.

В ходе расчетов получаем данные о трехмерной гидродинамической структуре потока, распределении скоростей в потоке, температурных полях, распределении плотности, распределении теплового потока по поверхности нагревательных регистров. После анализа этих данных в случае не удовлетворения требуемым параметрам, производится дальнейшее изменение геометрии либо граничных условий задачи и снова проводится численный эксперимент.

СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КРИСТАЛЛЫ С ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ПЕРИОДИЧЕСКИМ ИЗМЕНЕНИЕМ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСИ

И.Ф. Кашевич

Сегнетоэлектрические кристаллы играют важную роль в развитии научно-технического прогресса. Они используются для создания элементной базы систем обработки и хранения информации, средств автоматики, радиоэлектроники, лазерной техники, оптоэлектроники. Расширение области их применения, а также повышение эффективности использования в уже известных научно-технических направлениях, связано с разработкой методов управления свойствами этих кристаллов.

Физической основой для решения этих задач является проверенный практикой путь оптимизации характеристик за счет введения тех или иных дефектов в структуру кристаллов, поскольку свойства сегнетоэлектриков являются структурно-чувствительными. Важную роль в общей группе создаваемых дефектов играют примесные атомы, так как вызывают существенные изменения диэлектрических, пьезоэлектрических, тепловых, переполаризационных характеристик и т.д. Свойства известных сегнетоэлектрических кристаллов широко исследуются в зависимости от типа