

А.А. Завалий, канд. техн. наук (ЮФ НУБиП Украины «КАТУ», Симферополь)

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СЛОЖНОГО ТЕПЛООБМЕНА И ИСПАРЕНИЯ ВЛАГИ В УСТРОЙСТВАХ ИНФРАКРАСНОЙ СУШКИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Для анализа процессов теплопереноса и испарения влаги из продукта сушки в устройствах инфракрасной (ИК) сушки продуктов питания разработана модель лучисто-кондуктивно-конвективного теплообмена с учетом испарения влаги. Модель реализует совместное численное решение дифференциальных уравнений переноса энергии теплопроводностью, конвекцией и излучением, уравнений газовой динамики. Решение в виде полей температуры, тепловых потоков, а также распределения влажности ищется на сетке конечных элементов расчетной области, отображающей рабочий объем устройства сушки. Рабочий объем моделируемой камеры ограничен поверхностями сетчатых лотков с продуктом сушки и излучателями с профилированными зеркальными отражателями. Модель кондуктивно-конвективного теплообмена представлена несопряженной стационарной двумерной (трехмерной) задачей с неявной схемой аппроксимации, модель течения газовой среды – стандартная турбулентная k - ϵ модель с учетом массовых сил. Модель лучистого теплообмена – модель дискретных ординат серого излучения. Граничные условия - условия естественно-конвективного и лучистого теплообмена с окружающей средой. Продукт сушки представлен массивом твердотельных областей.

Исходными данными для моделирования являются распределение скорости и температуры воздушного потока на границе входа, тепловая мощность источника излучения, условия теплообмена внешней стенки отражателя. Учет теплового расширения воздуха при нагреве осуществляется с помощью приближения Буссинеска. Допущением модели являются пренебрежение наличием влаги в воздухе. Для моделирования затрат тепла на процесс испарения использована модель испарения влаги со свободной поверхности, позволяющая для каждого элемента продукта сушки на нижней поверхности расчетной области определить количество испаряемой влаги и энергии, затрачиваемой на процесс испарения. Моделирование осуществляется несколькими итерациями, согласующими величины энергии испарения, температуры поверхности продукта сушки и температуры над поверхностью сушки. В тепловой модели энергия, затрачиваемая на испарение, задается как сток тепла Q в объеме продукта сушки. Величина Q складывается из стоков тепла q областей

продукта сушки, значение которых для разных областей задается в соответствии с распределением падающего потока излучения на поверхность, рассчитанного на первой итерации без учета испарения. На каждой итерации распределение q уточняется по результатам расчета потока излучения на предыдущей итерации. Для заданного значения Q выполняется расчет тепловой модели, позволяющий определить тепловую мощность стока $q_{\text{сток}}$ как разницу между тепловыми потоками на границах расчетной области. По результатам расчета тепловой модели мощность $q_{\text{исп}}$, затрачиваемая на испарение, рассчитывается по модели испарения. Значение Q задано верно, если $q_{\text{исп}} = q_{\text{сток}}$. Если $q_{\text{исп}} < q_{\text{сток}}$, значение Q следует уменьшить, если $q_{\text{исп}} > q_{\text{сток}}$, значение Q следует увеличить.

Выполнено моделирование устройства, содержащего 10 ярусов рабочих объемов с продуктом сушки, размещенным на плоских сетчатых лотках. Учет моделью совместного воздействия на продукт сушки лучистого потока тепла и конвективной теплоотдачи позволил определить особенности распределения полей температуры и испарения влаги. Так, наличие циркуляционных зон течения воздуха приводит к увеличению конвективной теплоотдачи и, соответственно, более интенсивному нагреву воздуха на границах поверхности сушки. Дополнительно воздух на границах поверхности сушки нагревается за счет конвективного обмена с воздухом, находящимся вблизи источника излучения. В результате скорость сушки продукта на границах лотка выше, чем в его центральной части. Выровнять поле термодинамической температуры по поверхности сушки и тем самым обеспечить равномерность испарения влаги из продукта сушки позволит распределение потока излучения с увеличивающимися значениями потока от края поверхности сушки к ее середине.

При переходе от яруса к ярусу кривые температуры эквидистантно поднимаются вверх. Такое изменение для радиационной температуры вызвано ростом температуры источника излучения, связанным с ростом температуры в рабочем объеме. Скорость сушки для каждого следующего яруса выше и в пределах устройства изменяется в 1,5 раза. Несмотря на увеличение влагосодержания воздуха при движении по камере, влажность его падает из-за роста температуры над поверхностью сушки. Для устранения отличия в скорости сушки необходимо уменьшать мощность источников излучения на верхних ярусах устройства.

Таким образом, разработанная модель позволяет исследовать влияние распределения потока излучения на равномерность испарения влаги как в пределах одной поверхности сушки, так и на поверхностях, представляющих многоярусную конструкцию одного устройства.