

УДК 534.414

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРУЙНЫХ ПРОЦЕССОВ В СУШИЛЬНОЙ КАМЕРЕ

© 2011 г.

И.А. Федорченко

Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, Новосибирск

irina@itam.nsc.ru

Поступила в редакцию 15.06.2011

При помощи методов численного моделирования в рамках двухмерного подхода исследуются нестационарные процессы истечения воздушной звуковой струи в затопленное пространство, взаимодействие струи со стенкой и инъекции струи в пространство, ограниченное резонатором. Резонатор моделируется полым цилиндром с закрытым концом, ось которого совпадает с осью струи. Диаметр цилиндра и расстояние до среза сопла струи варьируется, чтобы получить различные амплитуды и частоты акустических осцилляций.

Ключевые слова: акустика, численное моделирование, струи, генератор Гартмана.

Введение

Несколько десятков лет назад было обнаружено, что затраты энергии и время сушки различных типов материалов могут быть существенно уменьшены при использовании акустического воздействия на осушаемый объект. Поэтому возник интерес к выявлению преимуществ акустической сушки перед традиционным конвективным способом. В частности, в ИТПМ СО РАН был разработан и реализован новый метод акустической, акусто-конвективной сушки капиллярных материалов [1, 2]. В нем для создания акустических волн использовался струйный генератор Гартмана.

Как известно, генератор Гартмана представляет собой сопло, из которого вытекает газ в резонатор, расположенный напротив сопла. Глубина резонатора варьируется при помощи поршня и является одним из важных параметров при создании одномодовых акустических частот наряду с расстоянием между срезом сопла и кромкой резонаторной трубы.

Механизм, посредством которого акустические вибрации ускоряют процесс сушки, в настоящее время изучен не полностью. Таким образом, для лучшего понимания сути явления многообещающим выглядит численное исследование процесса акусто-конвективной сушки на различных его этапах [3]. В настоящем исследовании рассчитываются частотные характеристики течения, организуемого генератором Гартмана, в модельной сушильной камере аку-

сто-конвективной установки. Геометрические размеры камеры варьируются для сравнения расчетных частот с экспериментально полученными значениями.

Математическая модель и численный алгоритм

Для расчета ламинарных струйных течений использовался оригинальный двумерный численный алгоритм, основанный на полных уравнениях Навье – Стокса, разработанный в ИТПМ СО РАН [4]. Для аппроксимации членов переноса применялся TVD подход, основанный на методе расщепления вектора потоков ван-Лиера, и центральная конечно-разностная схема для моделирования вязких членов. Для интегрирования по времени использовалась четырехшаговая неявная схема первого порядка точности.

Истечение в затопленное пространство

На первом этапе исследований с целью верификации математической модели и численного алгоритма при решении проблем, включающих в себя течения недорасширенных струй, был проведен расчет задачи об истечении воздушной звуковой струи в затопленное пространство. Все основные структуры течения, присущие недорасширенным струям, включая бочкообразную структуру струи, были воспроизведены численным методом.

Взаимодействие звуковой струи с бесконечной преградой

Вторым этапом исследований явился расчет взаимодействия струи с твердой стенкой, также проведенный в рамках уравнений ламинарного течения. Известно, что в результате такого типа взаимодействия может возникнуть глобальная неустойчивость течения, что зависит от расстояния между срезом сопла и стенкой и нерасчетности струи. Моделирование проводилось для расстояния от сопла до стенки, равного 14 диаметрам выходного сечения сопла, при нерасчетности струи 3.47. Согласно эмпирическому соотношению, предложенному в [5], частота колебаний струи оценивается в 380 Гц. С использованием преобразования Фурье для распределения давления, полученного из настоящего расчета, была выявлена преобладающая частота процесса, превышающая оценку примерно на 20%.

Определение частотных характеристик течения в сушильной камере

Задача об истечении струи в резонатор также была исследована в двумерной постановке в рамках ламинарных уравнений Навье – Стокса. Расчеты были проведены для двух случаев геометрии установки, результаты были верифицированы на основе частотной характеристики реализующегося течения.

Мгновенное поле течения для случая установки меньшего размера при длине резонатора, равной 17 диаметрам сопла, и расстоянии между соплом и входом в резонатор, равном 2 диаметрам, представлено на рис. 1а. Нормальный скачок, появляющийся в результате недорасширенной природы струи, испытывает периодические перемещения вперед и назад вдоль оси струи. Волны сжатия распространяются внутри резонатора и отражаются от его закрытого конца. Часть массового расхода струи попадает в резонатор, а часть – нет, поскольку там создается высокое давление в результате многократного отражения волн сжатия от торца трубы. В итоге из-за встречного движения потоков и высокого уровня давления внутри трубы резонатора скорость течения там невелика. Некоторые вихревые структуры, возникающие внутри канала, можно увидеть на рис. 1б, где представлены линии тока на тот же момент времени, что и для рис. 1а. На расстоянии примерно $x/d_a = 5$ видна линия встречи двух потоков, дви-

жущихся в противоположных направлениях. Из расчетов было получено распределение давления и построено его преобразование Фурье. Основная частота оказалась равной 455 Гц. Экспериментальное значение в 415 Гц хорошо согласуется с предсказанным результатом.

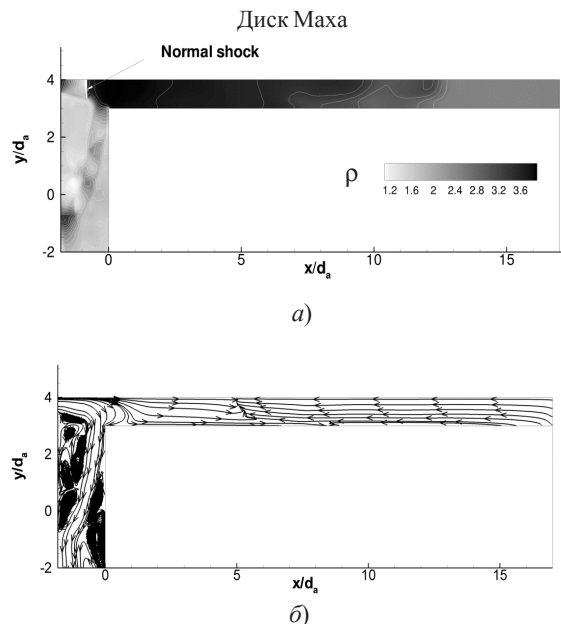


Рис. 1

Предсказанная акустическая частота процесса в случае установки большего размера составляет 84 Гц. Экспериментально полученное значение для установки, где расстояние до сопла превышает моделируемое примерно в 3 раза при той же глубине, составляет 130 Гц. Вероятно, различие в численно предсказанном и опытном значениях частоты обусловлено разницей в геометрии задачи, а также упрощениями, допущенными в расчетах относительно двухмерного течения.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 10-08-00239) и АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» Министерства образования и науки РФ, проект 2.1.1/11316.

Список литературы

1. Глазнев В.Н., Коптюг И.В., Коробейников Ю.Г. // ИФЖ. 1999. Т. 72, №3. С. 437–439.
2. Патент на изобретение № 2270966 / Коробейников Ю.Г., Федоров А.В., Фомин В.М. 2006 г.
3. Федоров А.В. и др. // ИФЖ. 2010. Т. 83, №1.
4. Борисов А.В., Федорова Н.Н. // Теплофиз. и аэромех. 1995. Т. 2, №3.
5. Семилетенко Б.Г., Собколов Б.Н., Усков В.Н. // Изв. СО АН СССР. 1975. Т. 3, №13.

**NUMERICAL MODELING OF FREQUENCY CHARACTERISTICS OF JET PROCESSES
IN A DRYING CHAMBER**

I.A. Fedorchenko

In the paper, unsteady problems including immersed air sonic jet flow, jet interaction with a wall and injection into resonator space are investigated in the frame of 2D numerical approach. The resonator is a cylinder with a closed end and its axis coincides with the jet one. The cylinder diameter and the distance to the jet nozzle are varied to obtain different amplitudes and frequencies of the acoustic oscillations. The predicted frequencies of the process are in satisfactory agreement with experimental values.

Keywords: acoustics, numerical simulation, jets, Hartmann generator.