

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ В РАБОЧЕЙ ЧАСТИ АКУСТО-КОНВЕКТИВНОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

А.С. Кравченко, А.А. Жилин, Н.Н. Федорова

*Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича
Сибирского отделения Российской академии наук,
Новосибирск, 630090, Институтская, 4/1
Сибирский государственный университет водного транспорта,
Новосибирск, 630099, Щетинкина, 33*

На сегодняшний день существует большое количество методов осушения капиллярно-пористых материалов. Одним из представляющих интерес методов является акустоконвективная сушка, имеющая ряд преимуществ над прочно вошедшим в практику термоконвективным методом. При акустоконвективной сушке процесс миграции влаги из материала происходит более интенсивно, при этом энергозатраты на единицу продукции ниже, а процесс сушки протекает при комнатной температуре. Принцип работы акустоконвективной сушильной установки (АКСУ) основан на эффекте Гартмана, где в качестве рабочей среды используется нерасчётная струя сжатого газа. Проведённые ранее эксперименты [1, 2] показали, что сушка различных материалов на АКСУ протекает в два и более раза интенсивнее, чем аналогичный процесс в термоконвективной установке.

АКСУ представляет собой систему, состоящую из двух перпендикулярных каналов (рис. 1). Первый канал состоит из цилиндрической части и дозвукового конического сопла, соосно которому на некотором расстоянии установлен цилиндрический резонатор с закрытой донной частью. Рабочий газ (воздух) с заданными параметрами поступает в канал через входное сечение, ускоряется в коническом сопле и истекает в рабочее пространство. Второй канал с квадратным сечением является единым конструктивным элементом, сквозь который проходит первый канал, условно разделяя его тракт на две части: левая часть представляет собой резонатор с закрытым торцом, а правая часть – рабочий канал с открытым дальним торцом, через который рабочий газ выходит в окружающую среду.

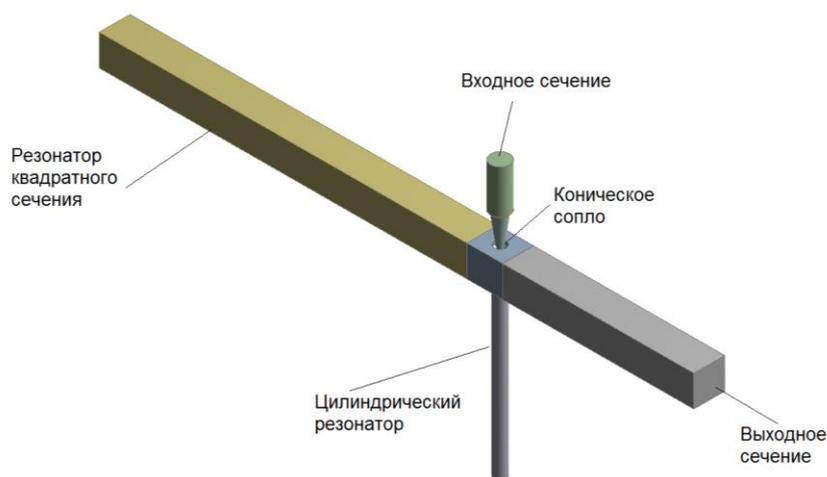


Рис. 1. Геометрия АКСУ

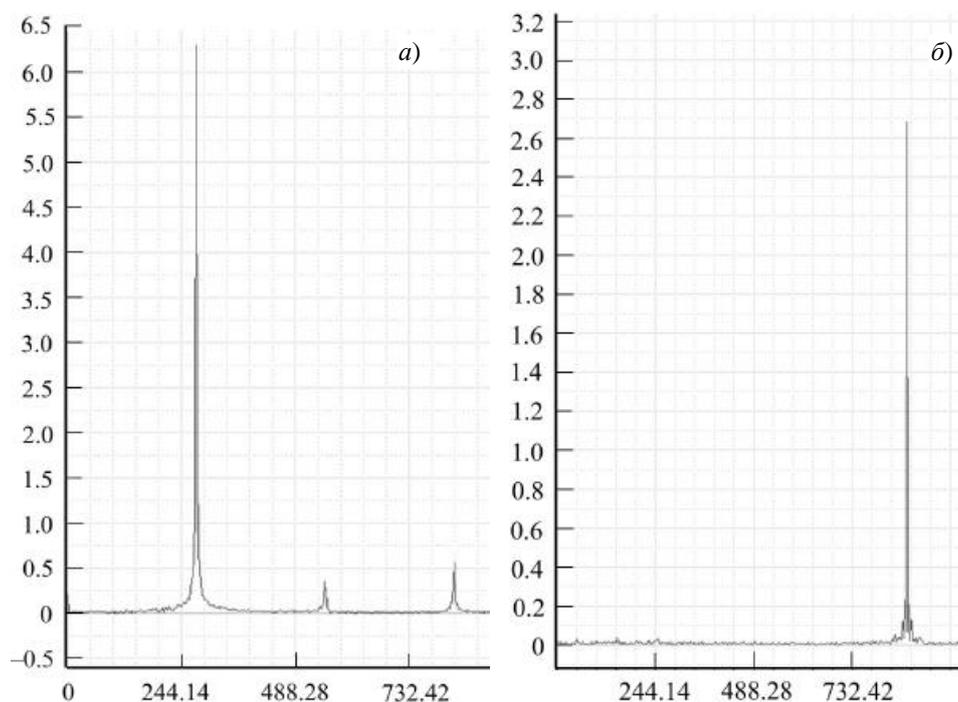


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика, реализующаяся в тракте рабочей части АКСУ при глубине резонатора: а) $l = 300$ мм; б) $l = 80$ мм.

Для регистрации формирующегося в рабочем канале АКСУ амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) осушающего потока на стенке канала располагается датчик ЛХ-610, который измеряет частоту и амплитуду пульсаций давления рабочего потока.

Данные экспериментов [2], проведённых на АКСУ ИТПМ СО РАН без загрузки осушаемого материала в тракт, представлены на рис. 2. Рис. 2а показывает АЧХ колебаний, реализующихся в канале при глубине цилиндрического резонатора 300 мм, соответствующие потоку с частотой $f = 276$ Гц и интенсивностью 184.44 дБ (6.3 В). На рис. 2б показаны АЧХ колебаний, полученные при глубине резонатора 80 мм, которые принадлежат потоку интенсивностью 177.02 дБ (2.68 В) при частоте $f = 869$ Гц.

Целью данной работы является численное моделирование нестационарных процессов, протекающих внутри канала АКСУ. Ранее численное моделирование аналогичной задачи в предположении плоской и осевой симметрии проведено в работах [3, 4]. Выполнены параметрические исследования генерирующей автоколебания струи при изменении длины резонатора и коэффициента нерасчетности. Сопоставление с экспериментальными данными показало качественное совпадение результатов, однако количественного совпадения получить не удалось.

В настоящей работе задача решается численно в трёхмерной постановке с учётом всех особенностей внутреннего тракта реальной геометрии АКСУ (рис. 1). Математического моделирования процессов, протекающих в тракте АКСУ, выполнено на основе осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса, дополненных $k-\omega$ моделью турбулентности. Расчеты выполнены в пакете ANSYS Fluent 18.0 в нестационарном приближении с использованием неявной схемы второго порядка по времени.

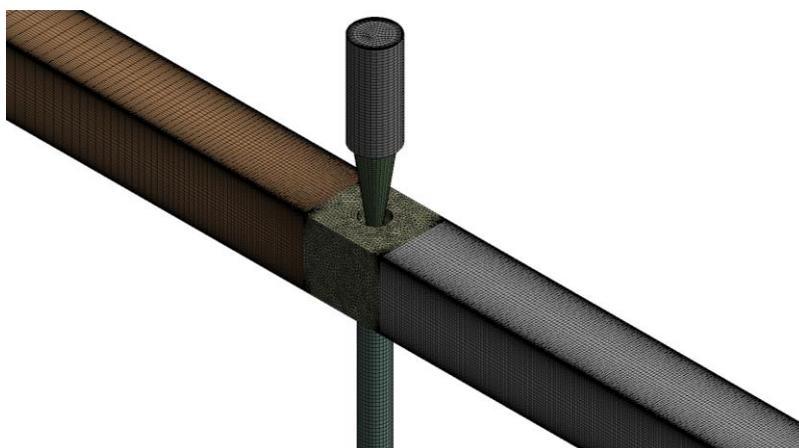


Рис. 3. Фрагмент расчетной сетки.

В основной части расчетной области (рис.1) построена многоблочная структурированная гексаэдральная расчетная сетка, сгущающаяся к стенкам модели (рис. 3). В области пересечения двух каналов сетка состоит из тетраэдров. Начальная сетка содержала около 1,2 млн. элементов. В процессе расчетов проводилась адаптация расчетной сетки для улучшения разрешения турбулентного пограничного слоя у стенок канала.

Проведенные численные эксперименты позволили получить целостную картину течения рабочего газа в тракте АКСУ с особенностями, формирующимися возле дозвукового сопла и резонатора.

Результаты численных расчетов сопоставлены с экспериментальными данными, получено удовлетворительное совпадение по АЧХ нестационарных течений. Основным геометрическим параметром, оказывающим влияние на амплитудно-частотные характеристики течения, является глубина цилиндрического резонатора. Выполнена серия расчетов с изменением входных параметров и геометрии модели.

Полученные в расчетах результаты по температурным параметрам послужат основой для последующих экспериментальных исследований.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта № 17-48-540805.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Федоров А.В., Жилин А.А., Коробейников Ю.Г.** Исследование процессов пропитки и сушки зернистого силикагеля. // Инженерно-физический журнал. 2011. Том 84, №5. С. 897 – 906.
2. **Жилин А.А., Федоров А.В.** Исследование акустоконвективной сушки мяса. // Инженерно-физический журнал. 2016. Том 89, №2. С. 316 – 325.
3. **Федоров А.В., Федорченко И.А., Ан С.Б.** и др. Физическое и математическое моделирование акустоконвективной сушки риса. // Инженерно-физический журнал. 2010. Том 83, №1. С. 64 – 73.
4. **Федорченко И.А., Федоров А.В.** Математическое моделирование акустических и газодинамических процессов в канале установки акустоконвективной сушки. // Инженерно-физический журнал. 2013. Том 86, №4. С. 685 – 688.