

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ**

В технике известен сложный, опасный, в большинстве случаев непрогнозируемый режим, который получил название «флаттер». При флаттере реализуется особая форма колебательной неустойчивости, источником которой может являться резонансное взаимодействие системы «газ – конструкция». Частота и форма наблюдающихся при этом волн зависят от геометрических и физико-механических характеристик конструкции и параметров нагрузки.

Резонансные режимы могут приводить к различным функциональным отказам или разрушению конструкции. Таким образом, исследование взаимодействий газодинамического потока с конструкцией является актуальной задачей.

Для поиска опасных резонансных режимов в газонаполненной конструкции необходимо провести комплексное экспериментально-теоретическое исследование параметров динамического поведения системы «газ – конструкция».

Реализовать расчетно-экспериментальный подход можно в два этапа. На первом этапе провести работы по моделированию процессов в экспериментальной установке отдельно для газа и конструкции. На втором этапе реализовать вычислительные эксперименты (ВЭ), моделирующие процессы в динамической системе «газ – конструкция» в связанной постановке.

Численное моделирование резонансного взаимодействия газа с конструкцией может быть реализовано с помощью современных программных комплексов инженерного анализа. Для моделирования течений жидкости и газа предлагается использование FlowVision или CFX, а для оценки напряженно-деформированного состояния конструкции – ABAQUS или ANSYS.

В рамках первого этапа проведен газодинамический ВЭ, моделирующий работу экспериментальной установки.

Геометрия расчетной области для данной задачи была спроектирована в инженерном пакете SolidWorks и в формате VRML импортировалась в FlowVision. Твердотельная модель проточной части камеры представляет собой три соосных цилиндра, один из которых моделирует полость камеры, а два других – штуцеры для подвода и отвода рабочего тела.

Исследование течения газа для принятой конструкции проточной части модельной камеры выполнялось с использованием следующей физической модели:

процессы рассматривались в трехмерной динамической постановке;

поток рассматривался однофазным, в качестве рабочего тела выбран воздух;

стенки модельной камеры непроницаемые, нетеплопроводные;

в начальный момент времени модельная камера заполнена воздухом, значение давления равно атмосферному, температура 293 К.

Для моделирования течения воздуха внутри камеры выбрана математическая модель «Полностью сжимаемая жидкость» FlowVision, которая включает в себя законы сохранения массы, импульса, энергии и уравнение состояния. Исходная система дифференциальных уравнений в частных производных замыкается начальными и граничными условиями. При описании границ использованы типы «Стенка», «Вход/Выход» и «Свободный выход» FlowVision.

Для решения поставленной задачи задавалась равномерная расчетная сетка $150 \times 20 \times 20$, состоящая из 60 000 расчетных ячеек. Шаг по времени задавался величиной $3 \cdot 10^{-4}$ с.

В качестве базового варианта рассмотрен процесс течения воздуха в модельной камере. Для автономной отладки газодинамической части задачи рассмотрены режимы формирования вынужденных колебаний.

Проведен анализ переходных режимов при пуске экспериментальной установки. Для исследования динамики установления процесса результаты выводятся в виде кинограмм (рис. 1).

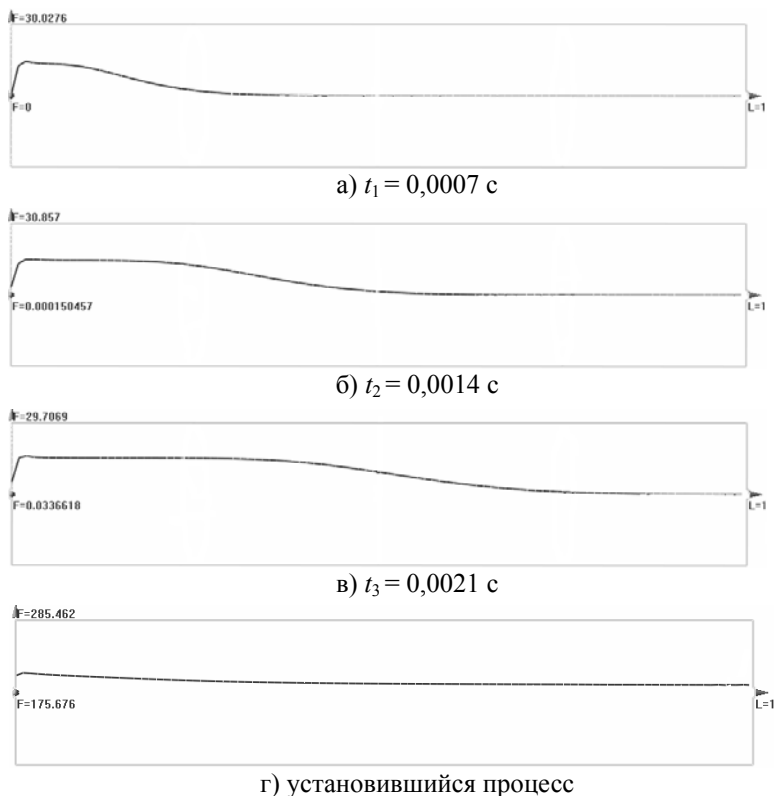


Рис. 1. Пример распределения избыточного давления вдоль оси модельной камеры, Па

Изменения давления во времени представлены на уровнях (рис. 2), которые позволяют определить уровни максимального и номинального давления в соответствующих сечениях установки, а также параметры колебаний воздуха.

Показано, что в газодинамической полости без учета конструкции и внешнего возбуждения колебания в газе не поддерживаются.

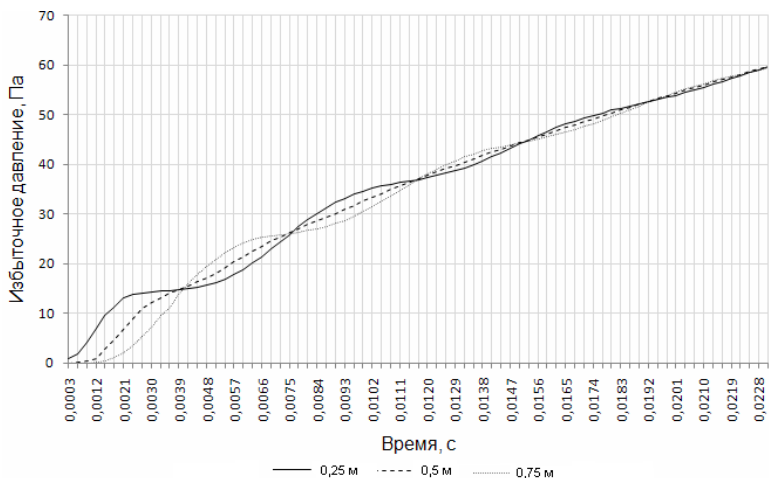


Рис. 2. Избыточное давление на различных расстояниях от места подачи воздуха

Расчет характеристик колебаний конструкции модельной камеры выполнялся в многопроцессорном пакете инженерного анализа ANSYS Workbench.

Твердотельная модель камеры экспериментальной установки была спроектирована в приложении Design Modeler. Она представляет собой два соосных полых цилиндра, один из которых моделирует корпус модельной камеры, а другой – регулировочный груз.

На твердотельной модели камеры была сгенерирована неоднородная сетка с фактором плотности 25. Сетка создавалась с помощью тетраэдрических твердотельных элементов.

К внутренней стенке торца модельной камеры прикладывалась циклическая нагрузка давления с амплитудным значением 1 МПа (10 атм.).

Для моделирования крепления модельной камеры использовалось фиксированное закрепление – Fixed Support (жесткая заделка).

По результатам расчета собственных частот и форм колебаний интересующие нас продольные колебания конструкции возникают при частоте 312 Гц, что близко к значению, полученному аналитическим методом.

При выполнении расчета вынужденных частот была построена амплитудно-частотная характеристика (рис. 3).

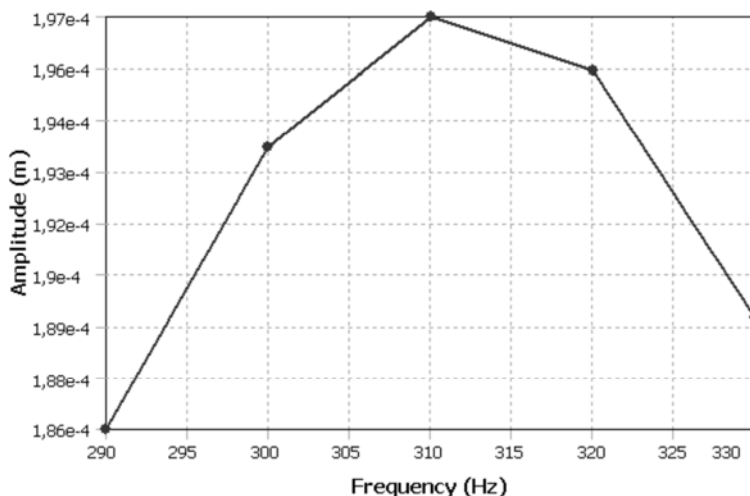


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика

На данном рисунке видно, что максимальная амплитуда перемещений наблюдается при частоте приложения нагрузки 310 Гц. Собственная частота модельной камеры 312 Гц. Возникает условие резонансного взаимодействия.

Для реализации второго этапа по моделированию процессов в динамической системе «газ – конструкция» в связанной постановке к вычислительным ресурсам предъявляются особые требования. Решение будет получено на ВВК ПГТУ с производительностью 4 ТФлокс.