

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОУПРУГИХ ПРОЦЕССОВ В ТОНКОСТЕННЫХ СООРУЖЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУПЕРКОМПЬЮТЕРА ПНИПУ

В.Я. Модорский, П.В. Писарев, Д.В. Зимин, А.А. Писарева, Д.Ф. Гайнудинова

Повышение качества и надежности специализированных тонкостенных сооружений требует повышения методики расчета, более комплексного учета особенностей конструкции и рабочего процесса. Для этого необходимо решение связанных задач (FSI), с использованием многопроцессорного вычислительного комплекса, так как этот класс задач требует больших вычислительных ресурсов. В представленной работе моделируется взаимодействие тонкостенной трубы всоса испытательного стенда и протекающего внутри потока газа.

Действие на динамические системы различных возмущений приводит к тому, что их выходные характеристики отклоняются от расчетных. При определенных условиях возможно возникновение колебаний с увеличивающейся во времени амплитудой, появляются неустойчивые режимы работы, что, как правило, недопустимо.

Неустойчивость существенно снижает надежность конструкции, ухудшает ее рабочие характеристики и может привести к разрушению. Поэтому, выявлению причин неустойчивости рабочих процессов, ликвидации колебаний или снижению их амплитуды до допустимого уровня уделяется большое внимание.

Различные неустойчивые рабочие процессы реализуются при наличии возмущений, образующих волны давления. Источником неустойчивости может являться резонансное взаимодействие в системе «поток газа – конструкция» [1]. Резонанс возникает, когда частота колебаний давления газа близка к частоте колебаний конструкции. Характеристики колебательного режима зависят от геометрических и физико-механических характеристик конструкции и от параметров нагрузки.

Для поиска опасных резонансных режимов в газонаполненной конструкции необходимо провести комплексное экспериментально-теоретическое исследование параметров динамического поведения системы «поток газа – конструкция». Данный подход предполагает проведение взаимодополняющих физического и вычислительного экспериментов (В.Э). Сложность физической постановки вычислительного эксперимента по исследованию процессов в динамической системе «газ-конструкция» предполагает использование высокопроизводительного вычислительного комплекса ПНИПУ, производительностью 4 ТФлопса.

Конструкция, представляет из себя стальную трубу, которая соединена с технологическим помещением перепускным каналом. В ходе В.Э. определяются нагрузки, деформации, пульсации давления жидкости, при взаимном воздействии конструкции и газодинамического потока, с целью уточнения полученных результатов расчета НДС конструкции без учета протекающего потока.

Моделирование процессов производилось в многопроцессорном инженерном пакете ANSYS 12. Для этого необходимо использование твердотельных моделей как конструкции так и газового региона. На рисунке 1 представлена твердотельная модель входной части.

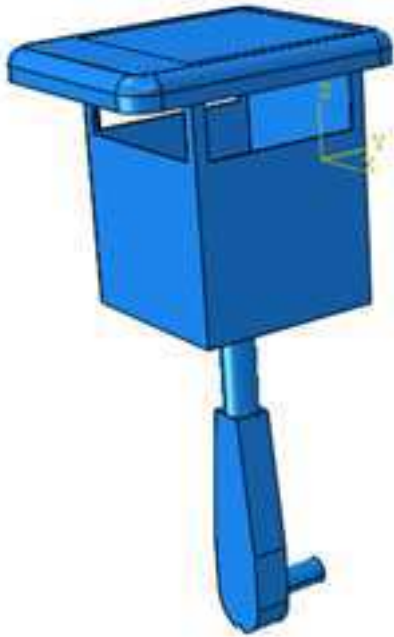


Рис. 1



Рис. 2

Отдельно была построена твердотельная модель выхлопной части, представленная на рисунке 2.

При анализе деформированного состояния учитывалось действие гравитации. Основание впускной и выхлопной шахт жестко закреплялось.

Для газодинамического анализа задавались расход и температура на входе и на выходе. Расчетная сетка представляет собой совокупность тетраэдральных расчетных элементов, адаптированных в районе взаимодействия двух сред. Количество элементов расчетной сетки равно 5 млн. элементов. Для достижения сходимости расчета, размерность расчетных элементов твердотельной расчетной области и области жидкой фазы одинаковы. В зоне контакта двух сред была проведена адаптация расчетной сетки первого уровня.

Принималась следующая методика проведения расчетов:

- 1) построение твердотельных моделей конструкции;
- 2) построение газовых регионов;
- 3) задание граничных условий в газовом регионе;
- 4) задание граничных условий на конструкции;
- 5) проведение FSI анализа на ВВК.

На рисунке 3 представлен алгоритм решения FSI задач на кластере ПНИПУ. Для численного моделирования аэроупругих процессов использовалось два двухпроцессорных вычислительных узла на базе четырех ядерных процессоров «Барселона-3» и 64Гб оперативной памяти.



Рис. 3

В ходе проведения вычислительного эксперимента были получены результаты, не противоречащие физике процессов. Полученные результаты по расчету НДС, в связанной постановке (FSI) сравнивались с результатами расчетов НДС в программном комплексе ABAQUS.

На рисунке 4(а) показаны распределения линий тока по внутреннему объему расчетной области, максимальная скорость движения газа в канале соответствует экспериментальным данным.

На рисунке 4 (б) приводится распределение перемещений на входном воздуховоде. Как видно, максимальные перемещения равны 107 мм и располагаются на кромке козырька. При этом во входном коробе средние перемещения приблизительно равны 60 мм. Максимальные действующие напряжения приблизительно равны 15 МПа и по своему значению близки к напряжениям, возникающим при проведении прочностного анализа в ABAQUS, а максимальные перемещения в FSI-расчете в 2,5 раза больше, чем в классической постановке.

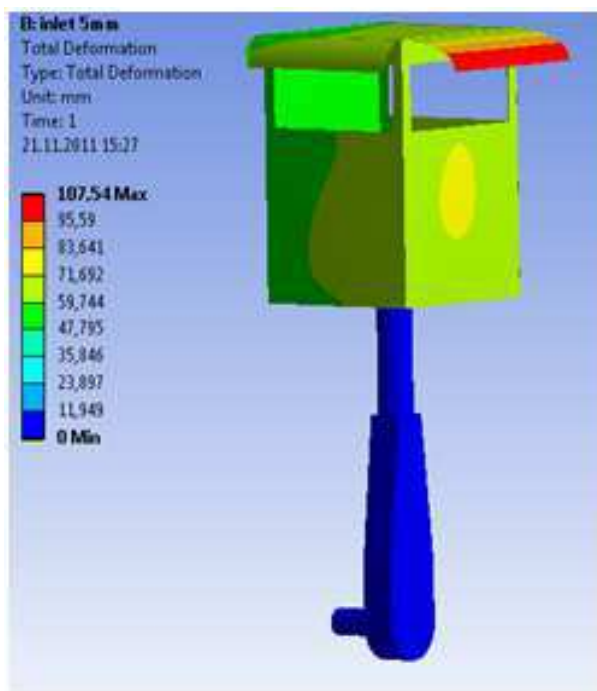


Рис. 4 (а)

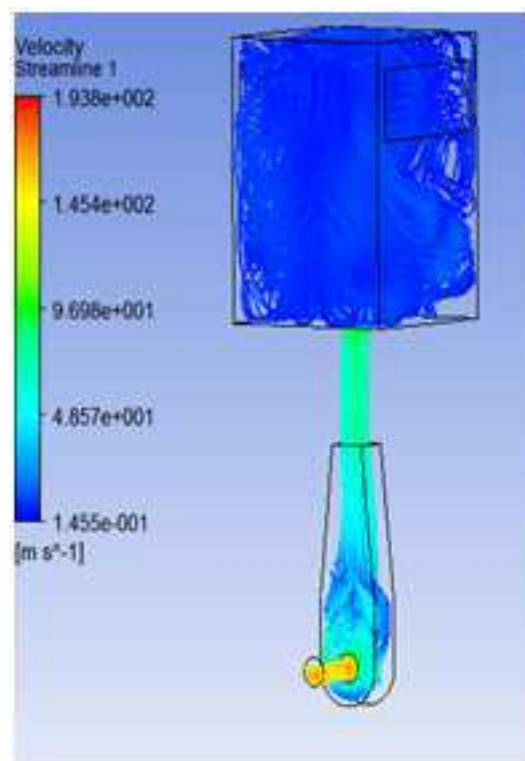


Рис. 4 (б)

Таким образом, уточнение конструктивной схемы входного воздуховода позволило снизить перемещения на козырьке. Применение FSI позволило уточнить перемещения на переходнике выхлопной трубы – наблюдается увеличение в 2,5 раза.

Для данного класса задач проводилось исследование масштабируемости. Сравнивались результаты газодинамических расчетов и расчетов FSI.

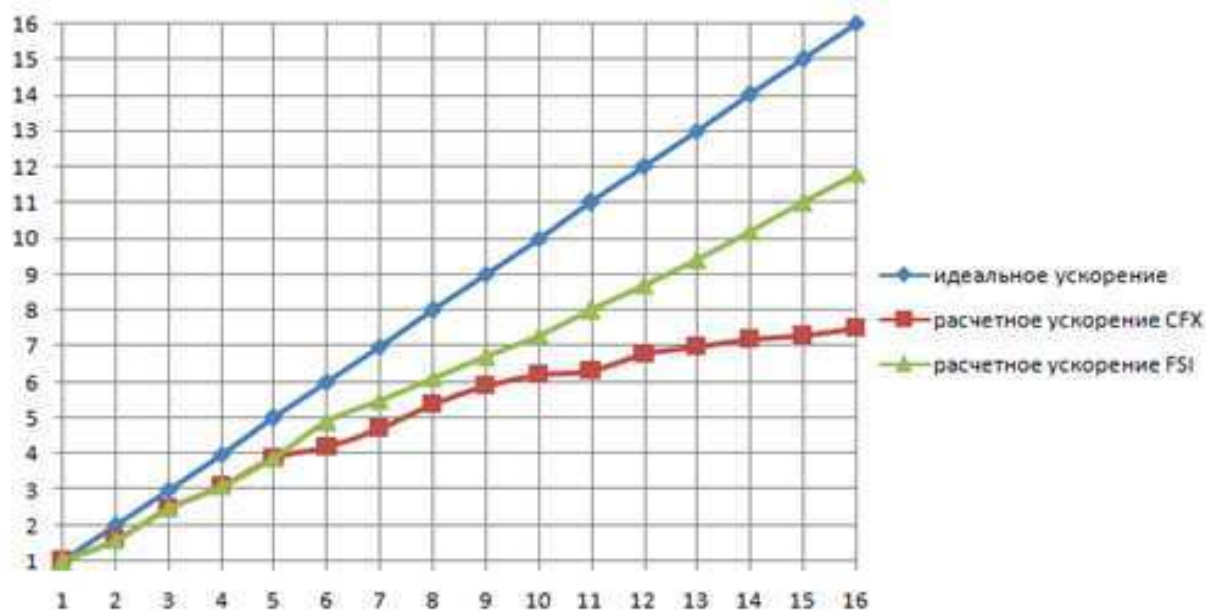


Рис. 5

Из графика, представленного на рис.5 видно, что эффективное ускорение при решении связанных (FSI) задач, для данного количества расчетных узлов и с учетом лицензионных ограничений на используемое ПО наблюдается в диапазоне от 2 до 8 ядер. При последующем увеличении количества ядер до 16 ускорение резко снижается. При расчете газодинамического потока наблюдается более эффективная масштабируемость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Модорский В.Я. Нелинейное деформирование стержневой конструкции при наддуве. – Авиационная техника, 2003, №3, с.63 – 64.
2. Методическое руководство по ANSYS CFX 12.
3. Модорский В.Я., Соколкин Ю.В. Газоупругие процессы в энергетических установках//Под. ред. Соколкина Ю.В. М.: Наука. Физматлит, 2007.-176 с.
4. Численное исследование актуальных проблем машиностроения и механики сплошных и сыпучих сред методом крупных частиц: монография / Ю.М. Давыдов [и др.]. – М.: Национальная академия прикладных наук, Международная ассоциация разработчиков и пользователей метода крупных частиц, 1995. – 1595с.