

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕГИСТРИРУЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ В УСЛОВИЯХ ИСПЫТАНИЙ НА РАКЕТНОМ ТРЕКЕ

С. И. Герасимов^{1,3,4}, В. И. Ерофеев², В. А. Кикеев³

¹ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 607188, г. Саров Нижегородской обл.

²Институт проблем машиностроения РАН, г. Нижний Новгород

³Нижегородский государственный технический университет
им. Р. Е. Алексеева, г. Нижний Новгород

⁴Саровский физико-технический институт – филиал НИЯУ МИФИ,
г. Саров Нижегородской обл.

Выполнен расчет аэродинамического обтекания участка блока видеорегистрации в условиях азробаллистического эксперимента. Произведена оценка прочности и собственных частот регистрирующей аппаратуры, используемой в азробаллистическом эксперименте. Сделан вывод о работоспособности аппаратуры.

Ключевые слова: азробаллистические испытания, азробаллистическая трасса, численное моделирование аэродинамических процессов, конечно-элементное моделирование, прочностной анализ, модальный анализ.

Транспортные упаковочные комплекты (ТУК), используемые для транспортировки и долговременного хранения радиоактивных материалов и отработавшего ядерного топлива, должны отвечать различным требованиям безопасности перевозки радиоактивных веществ. В частности, одним из них является обязательное проведение экспериментальной проверки головных образцов на соответствие конструкции требованиям, предъявляемым к упаковкам для воздушной перевозки РМ, указанным в п. 3.4.6.4 НП-053-04 [1] и п. 737 TS-R-1 [2].

Испытания представляют собой разгон ТУК до требуемой скорости и последующее соударение с имитатором мишени. Для этого объект испытаний монтируется на ракетную тележку, способную перемещаться вдоль рельсовых направляющих, разгон тележки осуществляется ракетными двигателями.

Для регистрации процесса разгона, полета и соударения используется как различная фотографическая аппаратура и различные методы визуализации аэродинамических процессов [3, 4], так и средства видеорегистрации. С помощью кабельных датчиков на финишном участке, а также при

помощи штатной хронографической системы измеряется скорость движения ракетной тележки с объектом испытаний. Скорость и угол подхода объекта испытаний к мишени определяются с помощью фотограмметрических измерений. Помимо датчиков на финишном участке, для регистрации процесса, на ракетной тележке расположен блок видеорегистрации.

Для получения качественных видеоданных необходимо обеспечить работоспособность видеоборудования, а также другой регистрирующей техники, монтируемой на блоке видеорегистрации.

В данном случае выполнена оценка прочности видеокамеры и светочувствительного элемента при достижении ракетной тележкой максимальной скорости в 120 м/с. Блок видеорегистрации представляет собой фундамент, на котором крепится необходимая регистрирующая аппаратура. В верхней части фундамента закреплены светочувствительный элемент и видеокамера. Вид сбоку на исследуемый участок фундамента с регистрирующей аппаратурой можно видеть на рис. 1.

Для того чтобы оценить уровень давления, воспринимаемого аппаратурой на данной скоро-

сти, был произведен расчет обтекания конструкции потоком газа.

В качестве объекта моделирования выбрана модель части блока видеонаблюдения. В качестве метода моделирования выбран метод численного решения осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса, дополненный $k-\varepsilon$ -моделью турбулентности. Этот метод реализован в современном инженерном программном пакете SolidWorks-FlowSimulation [5]. Пакет представляет собой комбинацию полной версии системы SolidWorks как графической среды, и гидрогазодинамического решателя FlowSimulation, препроцессор которого позволяет реализовывать автоматизированный или ручной метод блочного построения расчетной сетки и ее последующей адаптации в зонах больших градиентов параметров потока. Пакет FlowSimulation позволяет решать пространственные трехмерные задачи внешнего сверхзвукового обтекания твердых тел с учетом вязкости, теплопереноса, шероховатости стенки, степени турбулентности потока. В результате решения могут быть определены аэродинамические силы и моменты, действующие на обтекаемую поверхность объекта, получены все параметры обтекающего газа в расчетном объеме – поля давлений, плотностей, температур, скоростей. Полученные результаты могут выводиться в виде контурных распределений параметров течения в объеме и на поверхности тела и в виде соответствующих графиков для любого выбранного сечения.

Расчетная сетка, используемая в вычислениях в области крепления камеры и светочувствительного датчика к блоку видеорегистрации, приведена на рис. 1.

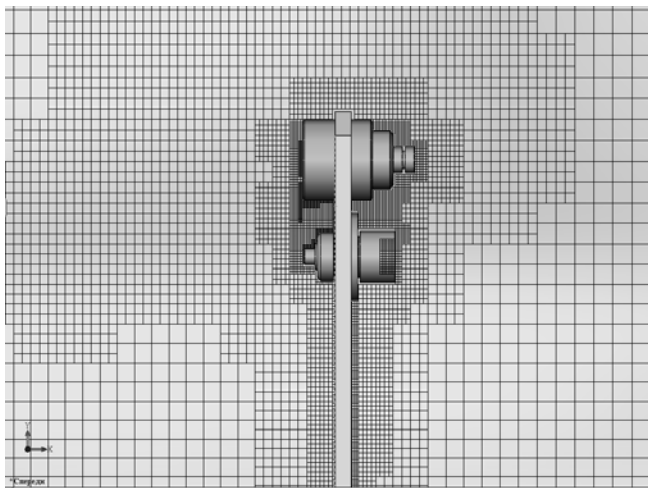


Рис. 1. Часть расчетной сетки при моделировании обтекания модели

В результате аэродинамического расчета получены значения давления, воздействующего на камеру и светочувствительный элемент. Данные значения использовались в прочностном анализе элементов конструкции. Конечно-элементная сетка модели (КЭМ) светочувствительного элемента, используемая в расчетах, показана на рис. 2. Ограничения по перемещениям прикладывались в местах крепления датчика к блоку видеорегистрации (четыре отверстия под болты). Значение давления, приложенного на фронтальные плоскости деталей взято из результатов аэродинамического анализа, проведенного ранее.

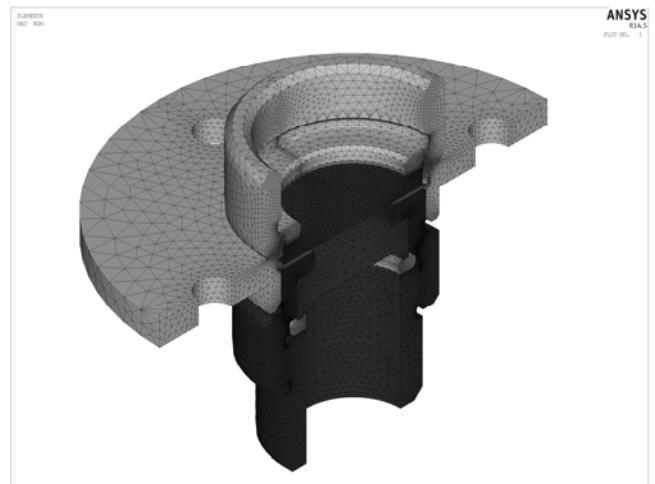


Рис. 2. Конечно-элементная сетка модели светочувствительного элемента

Контурные изображения полей напряжений и суммарного вектора перемещений показаны на рис. 3 и 4.

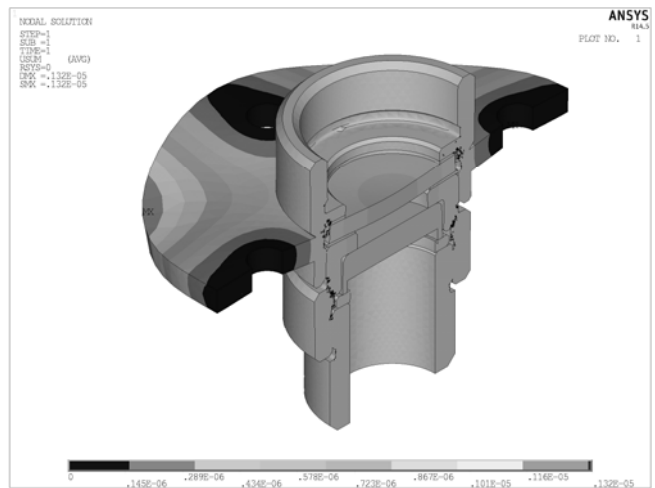


Рис. 3. Суммарный вектор перемещений модели светочувствительного элемента

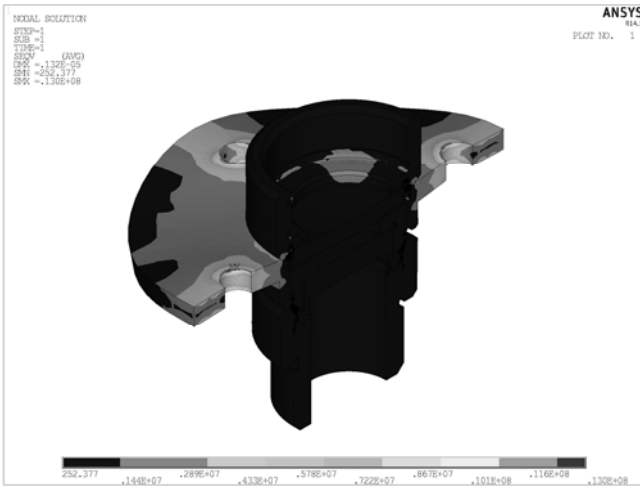


Рис. 4. Распределение эквивалентных по Мизесу напряжений в модели светочувствительного элемента

С целью получения значений первых собственных частот конструкции производился модальный анализ КЭМ светочувствительного элемента. Закрепления в узлах модели при модальном анализе были приняты идентично прочностному анализу. В результате анализа получены и проиллюстрированы (рис. 5–7) первые три моды собственных колебаний конструкции. Первая собственная частота (10,33 кГц) соответствует продольному смещению задней части корпуса датчика, вторая частота (10,35 кГц) – поперечному. Третья собственная частота (13,52 кГц) соответствует вертикальному смещению корпуса датчика относительно заделки.

В результате произведенных расчетов можно с уверенностью заключить, что уровень эквивалентных напряжений в конструкции (максимум 13 МПа) не представляет опасности для работоспособности датчика.

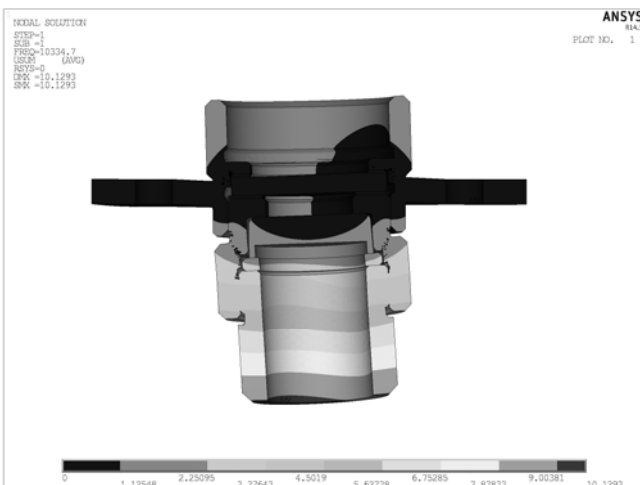


Рис. 5. Первая форма колебаний (10,34 кГц) датчика

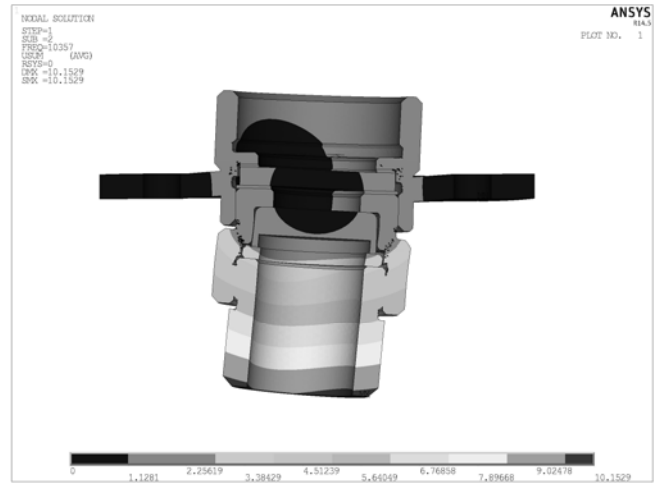


Рис. 6. Вторая форма колебаний (10,35 кГц) датчика

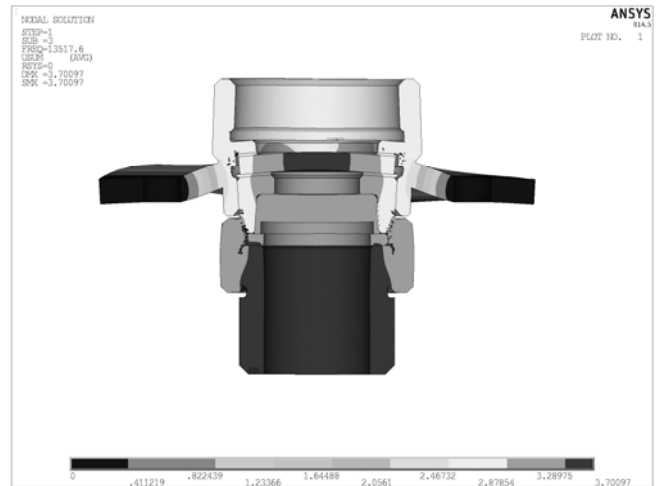


Рис. 7. Третья форма колебаний (13,52 кГц) датчика

Конечно-элементная сетка, используемая в аналогичных расчетах видеокамеры, показана на рис. 8. Ограничения по перемещению приклады-

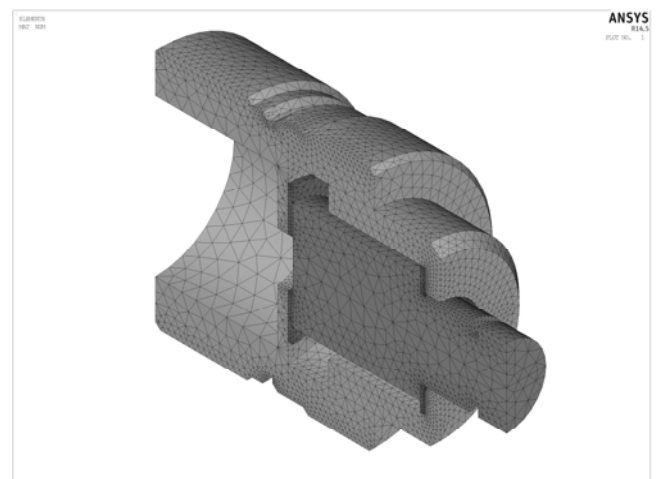


Рис. 8. Конечно-элементная сетка модели видеокамеры

вались в местах крепления камеры к фундаменту блока видеорегистрации (по контуру корпуса). Давление, приложенное на фронтальные плоскости деталей, взято из результатов аэродинамического анализа, проведенного ранее.

Контурные изображения полей напряжений и суммарного вектора перемещений показаны на рис. 9 и 10.

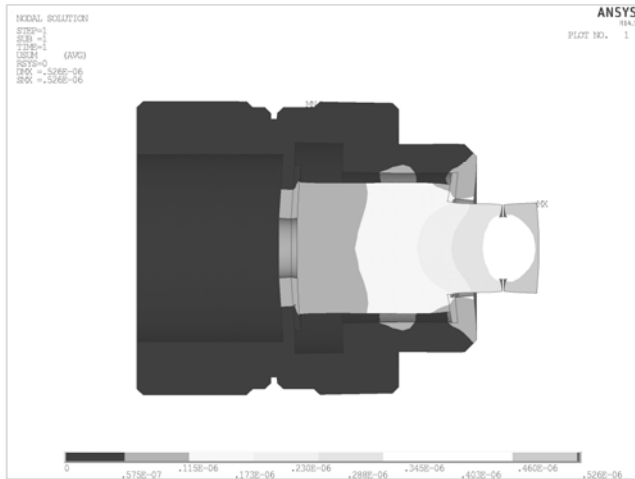


Рис. 9. Суммарный вектор перемещений модели видеокамеры

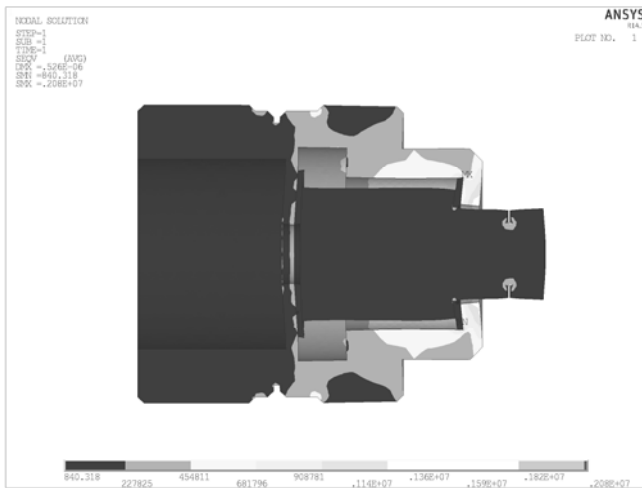


Рис. 10. Распределение эквивалентных по Мизесу напряжений в модели видеокамеры

С целью оценки значений первых собственных частот конструкции производился модальный анализ КЭМ камеры. Закрепления узлов при модальном анализе были приняты идентично прочностному анализу. В результате анализа получены и проиллюстрированы (рис. 11–13) первые моды

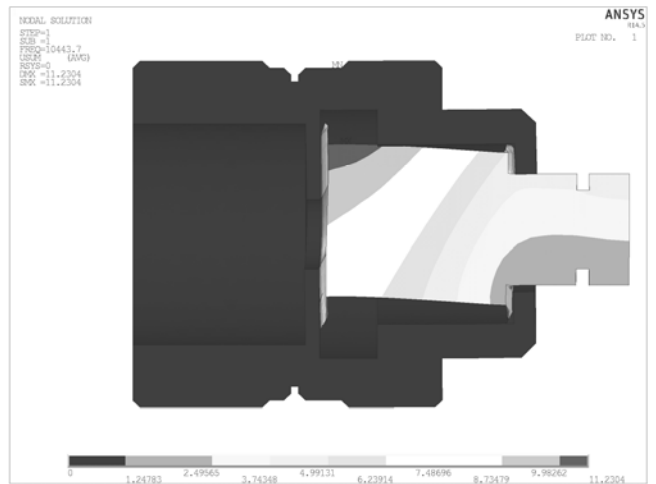


Рис. 11. Первая форма колебаний (10,44 кГц) камеры

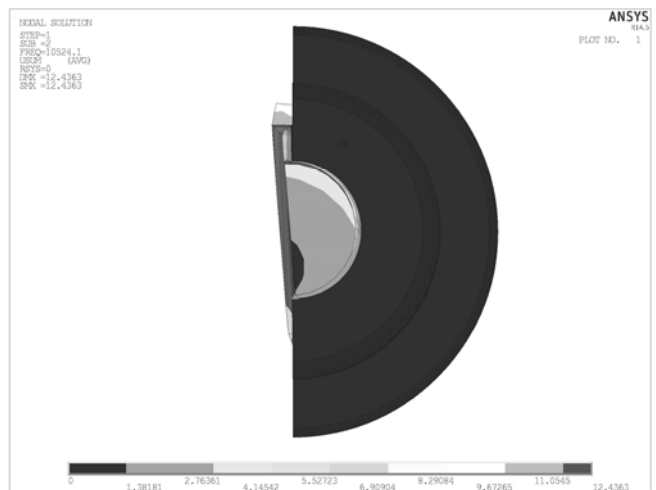


Рис. 12. Вторая форма колебаний (10,52 кГц) камеры

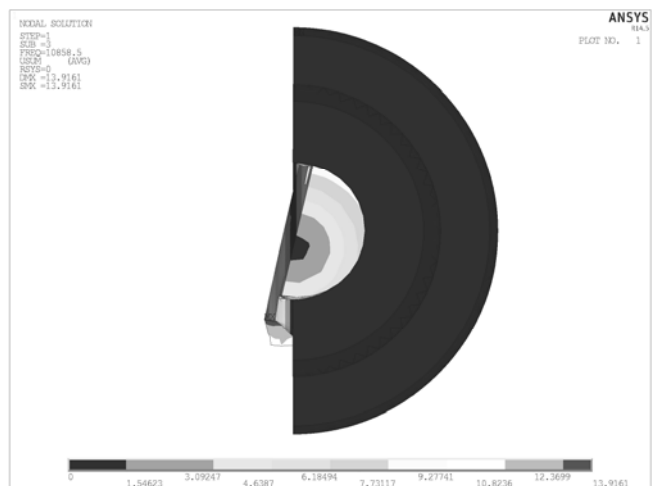


Рис. 13. Третья форма колебаний (10,86 кГц) камеры

собственных колебаний конструкции. Первая собственная частота (10,44 кГц) соответствует вертикальному перемещению задней части камеры, вторая частота (10,52 кГц) – поперечному. Третья собственная частота (10,86 кГц) соответствует повороту корпуса камеры относительно продольной оси.

В результате произведенных расчетов можно заключить, что уровень эквивалентных по Мизесу напряжений в элементах конструкции не превышает 13 МПа, что для материалов, используемых в конструкции блока видеорегистрации, является допустимым. Опыты подобного рода производились на ракетном треке, при этом исследуемое оборудование работало исправно и не было повреждено. В результате получены видеоматериалы на которых запечатлен процесс разгона и отделение объекта испытаний; камера заметных повреждений не получила.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 13-08-97103-Рповолжье-А).

Использовались лицензионные пакеты Solid Works 2006 для учебных заведений с серийным номером 9710 0044 1213 5426 и ANSYS Customer Number 602402, версия R14.5.

Список литературы

1. Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов: НП-053-04. М., 2004.
2. Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов. Требования безопасности: TS-R-1. МАГАТЭ, Вена, 2009.
3. Герасимов С. И., Файков Ю. И. Теневое фотографирование в расходящемся пучке света: Монография. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2010.
4. Герасимов С. И., Файков Ю. И., Холин С. А. Кумулятивные источники света. Монография. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2011.
5. http://www.solidworks.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=151&Itemid=66.

Статья поступила в редакцию 12.11.2013