



Ссылка на статью:

// Ученые записки УлГУ. Сер. Математика и информационные технологии. УлГУ. Электрон. журн. 2019, № 1, с. 110-114.

Поступила: 02.05.2019

Окончательный вариант: 03.06.2019

© УлГУ

УДК 534.13

Повышение характеристик авиационного датчика давления на основе расчетов его динамики и прочности

Сулейманов И. Р.^{1,*}

ilmazsuleimanov@yandex.ru

¹УлГУ, Ульяновск, Россия

Рассматриваются способы математического моделирования с целью повышения характеристик вибрационно-частотного датчика давления с минимизацией, либо с компенсацией влияния плотности измеряемой среды, и уменьшения влияния технологии электронно-лучевой сварки на прочностные характеристики и чувствительность датчика давления.

Ключевые слова: авиационные датчики давления, свободные и вынужденные колебания, Ansys Workbench.

Развитие авиационного приборостроения неразрывно связано с созданием летательных аппаратов новых типов, обладающих большой скоростью и дальностью полета и требующих все более высокого уровня автоматизации процессов управления полетом.

Источниками первичной информации, определяющими характеристики систем воздушных сигналов (СВС), являются датчики давления. Датчики давлений во многом задают метрологические и технологические характеристики СВС такие, как точность, диапазоны измерения, надежность, габаритные размеры, качество выходной информации системы и удобство обслуживания при эксплуатации. Развитие класса беспилотных летательных аппаратов приводит к ужесточению требований по габаритно-весовым характеристикам датчиков давления. Это требует больших материальных затрат, так как датчики должны обладать высокими метрологическими характеристиками.

Одними из наиболее точных и стабильных датчиков давления являются вибрационно-частотные датчики давления на основе металлического резонирующего цилиндра [1].

На рис.1 представлен поперечный разрез преобразователя давления, чувствительным элементом которого является цилиндр, изготовленный из высококачественных сталей с заглушенным с одной стороны торцом.



- 1 – постоянные магниты;
- 2 – направления постоянного намагничивания магнитов;
- 3 – основание;
- 4 – силовые линии магнитного поля;
- 5 – резонатор;
- 6 – направление сил;
- 7 – обкладки системы емкостного съема сигнала;
- 8 – условное направление тока.

Рис. 1. Преобразователь давления в разрезе

Принцип работы преобразователя основан на функциональной зависимости частоты резонансных колебаний упругого чувствительного элемента от величины измеряемого давления. Давление в полости цилиндра приводит к изменению механических напряжений в стенках цилиндра, что в свою очередь влияет на значения собственной частот колебаний чувствительного элемента датчика. Помимо зависимости от давления, собственная частота колебаний цилиндра зависит от тепловых и механических свойств материала резонатора, что обусловлено рядом факторов, таких как температурный коэффициент линейного расширения, температурный коэффициент сопротивления, вследствие чего и возникают погрешности измерений. Погрешность, вызванная изменением температуры цилиндра, по величине достигает значений 2,47% границ диапазона измерения давления.

Задачей данной работы является повышение характеристик авиационного датчика давления на основе расчетов его динамики и прочности. Результаты, полученные в ходе данной работе, позволяют улучшить метрологические характеристики систем воздушных сигналов.

Зависимость характеристик вибрационных датчиков, связанных с вибрирующим цилиндром, от плотности измеряемой среды обусловлена участием в колебаниях не только стенок резонатора, но и газообразной среды, прилегающей к стенке цилиндра. В зависимости от плотности газа в одном и том же объеме прилегающего к датчику газа находится различная присоединенная масса, влияющая на рабочую частоту датчика и изменяющая жесткость вибрирующей системы.

В результате проведения расчетов с помощью Ansys Workbench [2] было получено по три пары результатов для каждой из сред (азот и воздух). По этим результатам были построены графики и проведен анализ зависимости спектральной плотности от частоты.

Полученные результаты сравнивались с экспериментальными данными, был построен график зависимости давления от частоты (рис. 2).

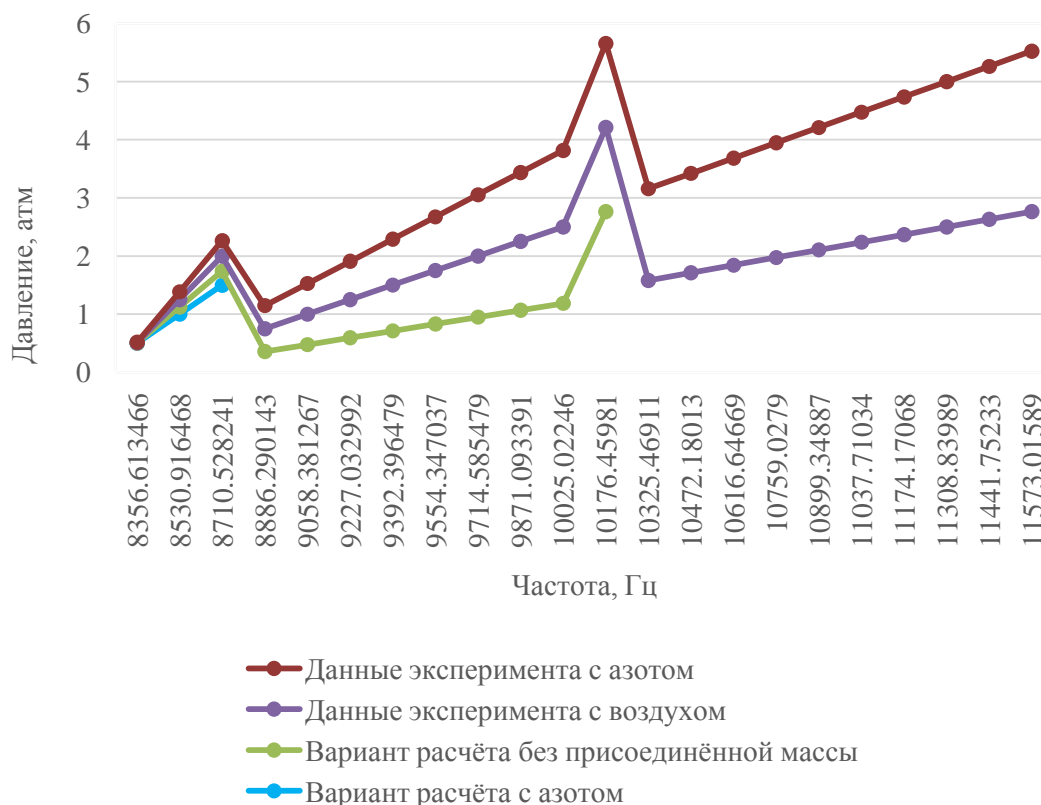


Рис. 2. Зависимость измеряемого давления от частоты

Расчеты показали корректность построенной и исследованной модели [3]. Из графиков на рис.2 видно, что зависимости, полученные по результатам моделирования и в результате эксперимента, близки. Значения рассчитанных частот имеют некоторый системно-аддитивный сдвиг, что связано с особенностями конкретного датчика, использованного в эксперименте, и, возможно, с укрупненными настройками расчета системы, но при этом они пропорциональны экспериментальным данным [4], на основании чего результаты моделирования можно считать адекватными.

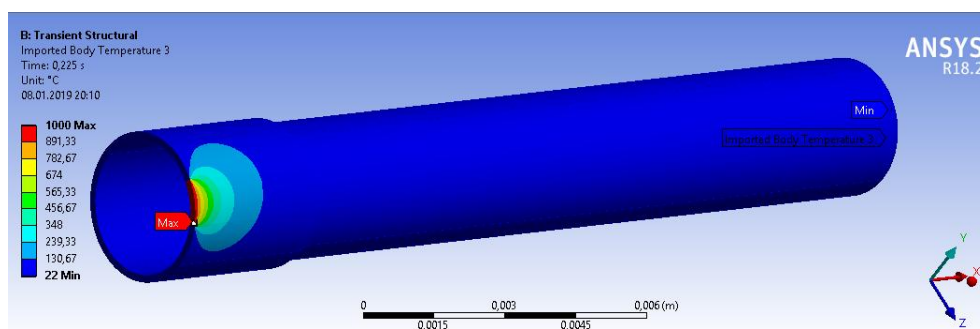


Рис. 3. Максимальная температура цилиндра при применении технологии сваривания с временем воздействия 0,75 с

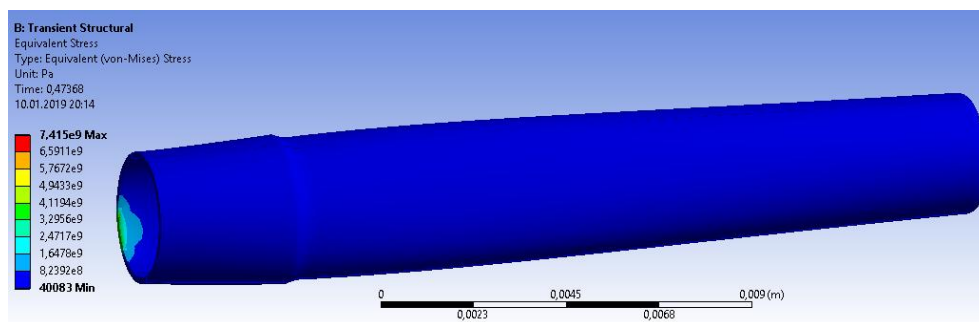


Рис. 4. Эквивалентное напряжение после применении технологии сваривания в момент времени 0,47368 с с общим временем воздействия 4 с

На следующем этапе исследования проводился математический расчет и анализ полученных результатов после применения электронно-лучевой сварки на цилиндре датчика. Расчёты проводились с использованием программного продукта Ansys Workbench. При изготовлении датчика время воздействия сварки варьируется от 0,75 до 4 секунд. На рис. 3 и 4 представлены некоторые полученные результаты.

Анализ результатов показывает, что применение технологии электронно-лучевой сварки напрямую зависит от времени сваривания резонатора, влияющего на эквивалентные напряжения, возникающие после применения сварки.

Таким образом, исходя из проведенного анализа, можно сделать выводы, что чем меньше длительность времени воздействия сварки на резонатор, тем меньше эквивалентные напряжения, возникающие после сваривания. Разница эквивалентного напряжения, возникающая при длительности сварки от 0,75 до 4 секунд, составила 1,8446 Па.

Для повышения точности и чувствительности частотного датчика давления, изготовленного из полупроводникового материала, предложено максимально уменьшить длительность времени воздействия сварки на резонатор. Также для снижения эквивалентных напряжений, возникающих в процессе сваривания, предложено предварительно нагревать резонатор путем помещения его в тепловую камеру.

Таким образом, основным результатом работы является создание научно обоснованной методики математического моделирования преобразователя давлений с выходным сигналом в виде частоты, что позволяет проектировать частотные преобразователи давления с заданными точностью и чувствительностью измерений, а также с заданным запасом механической прочности преобразователя. Повышение уровня исследований спектров колебаний датчиков может быть связано с применением интегрального преобразования [5], не уступающего по эффективности интегральным вейвлет-преобразованиям.

Список литературы

1. Горенштейн И. А. *Гидростатические частотные датчики первичной информации*. М., «Машиностроение», 1976.

2. Леонтьев Н.В. *Применение системы ANSYS к решению задач модального и гармонического анализа*. М., 2006.
3. Сорокин М. Ю. *Моделирование частотного датчика давления // Континуальные алгебраические логики, исчисления и нейроинформатика в науке, технике и экономике: труды международной конференции. Т. 3*. Ульяновск: УлГТУ, 2003. С. 139-141.
4. Фрайдеи Дж. *Современные датчики. Справочник* /перевод с англ. Ю.А. Заболотной / под ред. ЕЛ. Свинцова. М.: Техносфера. 2005.
5. Леонтьев В.Л., Риков Е.А. Интегральные преобразования, связанные с ортогональными финитными функциями, в задачах спектрального анализа сигналов // *Математическое моделирование*. 2006, т. 18, № 7, с. 93-100.