

УДК 004.942

АНАЛИЗ АКТУАЛЬНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНЫХ СИГНАЛОВ СРЕДСТВАМИ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

© Лёвин Ю.С.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

Научный руководитель: Болдырев А.В., д-р техн. наук, доцент
*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: lev.ura@mail.ru

Ключевые слова: компьютерная модель, авиационные приборы, приёмник воздушного давления, ANSYS Mechanical, топологическая оптимизация.

Данная работа посвящена проектированию элементов системы воздушных сигналов (СВС). Приборный комплекс СВС представляет собой многоканальную измерительную систему, включающую в себя совокупность воспринимающих устройств, измерительных преобразователей, средств передачи, обработки, отображения и сравнения информации.

Одними из самых нагруженных элементов СВС являются воспринимающие устройства, так как подвергаются воздействию внешней среды. Основными воспринимающими устройствами современной СВС являются: приёмник воздушных давлений (ПВД); датчик температуры торможения (ДТТ); датчик аэродинамических углов (ДАУ).

В проектировании современных СВС можно выделить несколько основных тенденций, это:

1. Снижение массы, энергопотребления, габаритов и номенклатуры компонентов [1];
2. Упрощения обслуживания воспринимающих устройств [1];
3. Разработка multifunctional датчиков аэродинамических параметров [1];
4. Разработка датчиков принципиально новой конструкции (например, многогранный ПВД) [1];
5. Оценка параметров полёта ЛА на основе обработки собственных навигационных измерений и данных от внешних источников информации (интеграция GPS) [2];
6. Минимизация погрешности восприятия статического давления ПВД [3];
7. Уменьшение влияния скорости потока газа на результат измерения его температуры ДТТ [4];
8. Разработка воспринимающих устройств на основе новых измерительных преобразователей (например, волоконно-оптический датчик) [5].

Стоит отметить, что тенденции под номером 1, 6 и 7 существуют на протяжении всего времени существования СВС, но не теряют свою актуальность.

Такие задачи как снижение массы и габаритов, повышение прочности и жёсткости конструкции при проектировании воспринимающих устройств СВС могут быть решены или значительно упрощены применением топологической оптимизации.

Целью топологической оптимизации является определение лучшего использования материала для исследуемого объекта или конструкции.

При подготовке расчётной модели к элементу СВС присоединяется заполнитель, моделируемый трёхмерными конечными элементами. Заполнитель состоит из теоретического материала переменной плотности. Исследуемый элемент так же может быть представлен телом переменной плотности r . Допустимое напряжение и модуль упругости материала рассчитываются по формулам 1 и 2 соответственно.

$$E = r \cdot \bar{E}, \quad (1)$$

$$\bar{s} = r \cdot \bar{s}, \quad (2)$$

где $\bar{s}$ – допускаемое напряжение; $\bar{E}$ и $\bar{s}$ – модуль упругости и допускаемое напряжение при единичной плотности – удельные характеристики материала, за проектные переменные принимается плотность материала в трёхмерных конечных элементах с фиксированными величинами модуля упругости и допускаемого напряжения при единичной плотности.

Целевой функцией является масса конструкции. А функциональное ограничение наложено на значение частоты собственных колебаний и значение статического давления на поверхности конечных элементов. Топологическая оптимизация элемента СВС описана формулой 3.

$$(TO) \begin{cases} \min_m \sum_{e=1}^{e_n} m_e \\ 0 \leq r_e \leq 1, \quad e = 1, 2, \dots, e_n \\ m_e^{min} \leq m_e \leq m_e^{max} \\ g_j(m) = f_j(m) - \bar{f}_j, \quad j = 1, 2, \dots, p_1 \\ g_j(m) = P_j(m) - \bar{P}_j, \quad j = p_1 + 1, p_1 + 2, \dots, p \end{cases} \quad (3)$$

где r_e – традиционная переменная проектирования, которая может принимать значения от 0 (пустой элемент) до 1 (элемент, заполненный материалом); m_e – массы конечных элементов, переменная проектирования, связанная линейно с r_e ; m_e^{min} и m_e^{max} – ограничения снизу и сверху для e -й переменной проектирования; g_j – функциональное ограничение; $f_j(m)$ и $\bar{f}_j$ – частота собственных колебаний узлов конечно-элементной модели и её допускаемые значения; $P_j(m)$ и $\bar{P}_j$ – статическое давление на поверхности конечных элементов.

Далее проводится топологическая оптимизация заполнителя, в результате которой получается теоретически оптимальная конструкция. проводится для тела переменной плотности, присоединённого к ПВД при воздействии, например синусоидальной вибрации

Этапы проектирования ПВД с применением топологической оптимизации:

1. Математическое моделирование воздействия синусоидальной вибрации
2. Математическое моделирование воздействия воздушного потока

3. Топологическая оптимизация заполнителя, в результате которой получается теоретически оптимальная конструкция

4. Изменение конструкции ПВД на основе теоретически оптимальной конструкции.

Библиографический список

1. Развитие отечественных систем измерения воздушных параметров полёта летательных аппаратов / М.А. Головкин, А.А. Ефремов, А.В. Вялков [и др.] // Материалы III Отраслевой конференции по измерительной технике и метрологии для исследований летательных аппаратов. – Жуковский: Изд-во Центрального аэрогидродинамического института им. профессора Н.Е. Жуковского, 2018. – С. 77–93.

2. Джанджгава, Г.И. Развитие методов и алгоритмов комплексной обработки информации бортового радиоэлектронного оборудования / Г.И. Джанджгава, Г.И. Герасимов, А.В. Бабиченко, М.И. Орехов // Авиакосмическое приборостроение. – 2015. – № 8. – С. 9–18.

3. Дорофеев, С.С. Авиационные приборы / С.С. Дорофеев. – М.: Военное издательство, 1992. – 495 с.

4. Авиационные приборы и измерительные системы: учебник для вузов гражданской авиации / В.Г. Воробьев, В.В. Глухов, А.Л. Грохольский [и др.]. – М.: Транспорт, 1981. – 391 с.

5. Мурашкина, Т.И. Волоконно-оптический датчик аэродинамических углов / Т.И. Мурашкина, Е.А. Бадеева, Д.И. Серебряков [и др.] // Авиакосмическое приборостроение. – 2015. – № 5. – С. 18–25.