

УДК 629.7.01

Методика определения расположения межпанельных кронштейнов корпуса космического аппарата с использованием метода ESO-SIMP топологической оптимизации

Боровиков Александр Александрович

borovikov@bmstu.ru

SPIN-код: 7846-1949

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена задача определения количества и мест установки межпанельных кронштейнов корпуса космического аппарата для выполнения требований по фундаментальным частотам (требования динамической совместимости), предъявляемых к космическому аппарату от разработчиков ракеты-носителя. Предложено использовать метод ESO-SIMP топологической оптимизации для выявления рациональных мест установки межпанельных кронштейнов с точки зрения общего их количества и выполнения требования динамической совместимости. Сделаны выводы об эффективности представленной методики, и о возможности ее применения для проектирования космических аппаратов.

Ключевые слова: топологическая оптимизация, метод ESO, метод SIMP, космический аппарат, динамическая совместимость, проектирование конструкций

Введение. При проектировании космического аппарата (КА) одним из основных требований, влияющих на конструкцию КА со стороны разработчика ракеты-носителя (РН), являются требования к фундаментальным частотам КА. Как правило, данные требования предъявляются в следующем виде: например, фундаментальная частота в поперечном направлении КА должна быть не ниже 15 Гц [1]. Аналогичное требование предъявляется к фундаментальной частоте в продольном направлении.

Одним из факторов, существенно влияющим на значения фундаментальных собственных частот, является количество и места установки межпанельных кронштейнов корпуса КА. Целью работы является разработка методики, решающей актуальную задачу определения мест установки межпанельных кронштейнов с учетом выполнения требований динамической совместимости. Новизна работы заключается в совместном использовании метода SIMP [2] и метода ESO [3] топологической оптимизации для решения данной задачи.

Методы и материалы; результаты. Решение рассматриваемой задачи с помощью модификации метода SIMP было предложено автором в статье [4]. Основной проблемой при использовании метода SIMP является то, что распределение материала в проектной области описывается непрерывными проектными переменными (виртуальной плотностью), которые управляют плотностью и модулем упругости каждого конечного элемента из проектной области и значения которых меняются от 0 до 1, где «0» соответствует отсут-

ствию материала, а «1» — наличию материала. Однако решением задачи являются значения переменных с промежуточными значениями, что в некоторых случаях приводит к затруднению при принятии решения о том, следует ли удалить конечные элементы с промежуточным значением проектной переменной или сохранить их. Также элементы с ненулевым значением виртуальной плотности вводят добавочную жесткость в систему.

В настоящей работе предлагается раз в несколько шагов оптимизации удалять конечные элементы со значением проектной переменной ниже заранее заданного значения, как это предложено в методе ESO-SIMP [5]. Такой подход позволяет устремить значения проектных переменных к 0 или 1, т. е. получать более четкие границы решения. При этом специальная формулировка задачи позволяет избегать появления элементов «висящих» в воздухе, что предотвращает аварийное завершение работы алгоритма оптимизации, связанное с возникновением сингулярности матрицы жесткости. Предложенная методика была апробирована на тестовой задаче из работы [4]. Проведено сравнение результатов.

Заключение. Предложенная методика продемонстрировала свою работоспособность, а внедрение в ранее предложенный подход метода ESO позволило улучшить ее эффективность и получить более четкие границы мест установки межпанельных кронштейнов.

Список источников

- [1] Soyuz CSG. User's Manual. Issue 2. Revision 1, 2018, 248 p.
- [2] Bendse M.P. Optimal shape design as a material distribution problem. *Structural Optimization*, 1989, no 1, pp. 193–202. <https://doi.org/10.1007/BF01650949>
- [3] Xie Y.M., Steven G.P. *Evolutionary structural optimization*. Springer, London, 1997, 188 p.
- [4] Боровиков А.А., Тушев О.Н. Методика определения расположения межпанельных кронштейнов корпуса космического аппарата с использованием модифицированного метода SIMP топологической оптимизации. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2024, № 1, с. 1–12. <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2024-1-2331>
- [5] Jiao H., Zhou Q., Fan S., Li Y. A new hybrid topology optimization method coupling ESO and SIMP method. *Lecture Notes in Electrical Engineering Proceedings of China. Modern Logistics Engineering*, 2014, pp. 373–384. https://doi.org/10.1007/978-3-662-44674-4_35