

УДК 534.134

## ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ ВИБРАЦИОННОЙ И УДАРНОЙ ПРОЧНОСТИ МНОГОЭЛЕМЕНТНОЙ КОНСТРУКЦИИ КОСМИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Асфандияров Ш.А.<sup>1</sup>, Томилина Т.М.<sup>1</sup>, Литвак М.Л.<sup>2,1</sup>

<sup>1</sup>Институт машиноведения им. А.А. Благонравова, г. Москва, Россия, asfandiyarov@imash.ac.ru

<sup>2</sup>Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия

*Ключевые слова: вибрации, удар, виброустойчивость, метод конечных элементов, численное моделирование, космические конструкции.*

Расчет вибрационной и ударной прочности является важным этапом разработки конструкций космического применения, подвергающихся высоким эксплуатационным механическим нагрузкам на этапе выведения космического аппарата на заданную траекторию. Предварительный расчет прочности позволяет выявить заведомо слабые места конструкции без разрушений, которые могут иметь место в натурных испытаниях конструкции. Расчет многоэлементной конструкции можно провести аналитически путем разбиения конструкции на отдельные элементы простейшей геометрии (стержни, балки, пластины и т.д.) и проведения независимых расчетов для каждого элемента. Однако такой подход не позволяет рассчитывать элементы, имеющие сложную форму, а также не учитывает взаимодействие элементов (пр. связанные колебания).

Метод конечных элементов (МКЭ) позволяет проводить расчет многоэлементной конструкции, как единого целого, но при подробном учете всех деталей конструкции (мелкие детали, болтовые и шарнирные соединения и т.д.) требует больших вычислительных мощностей. В докладе представлен компромиссный подход для расчета методом МКЭ поведения многоэлементной конструкции в условиях динамических и статических нагрузок, возникающих на активном участке космического полета. Этот подход, который по степени детализации лежит между аналитическим расчетом и расчетом МКЭ промышленного масштаба, позволяет построить численную модель многоэлементной конструкции, как единого целого, не применяя значительные вычислительные ресурсы.

Расчет вибрационной и ударной прочности проводился для конструкции глубинного грунтозаборного устройства (ГЗУ), разработанного для перспективной автоматической лунной станции. На рис. 1а представлен общий вид 3Dмодели ГЗУ, использованной для расчета МКЭ. Габаритные размеры ГЗУ составляют 0.26x1.73x0.4 м. Сетка конечных элементов представлена на рис. 1 (б). В качестве входных данных по прикладываемым нагрузкам использовался спектр вибраций в полосе частот от 20 до 2000 Гц с максимальным значением спектральной плотности мощности ускорения  $0.05 \text{ g}^2/\text{Гц}$ . Ударное воздействие моделировалось с помощью импульса в виде половины периода синуса длительностью 3 мс с амплитудой 100g.

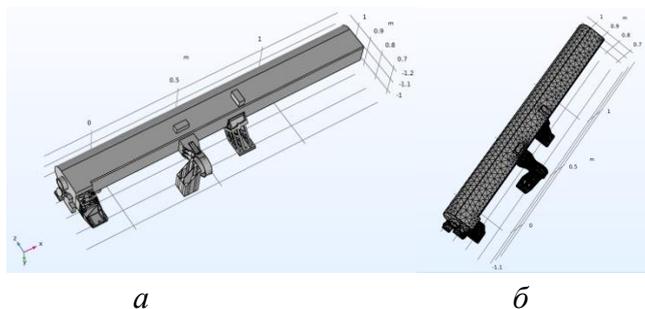


Рис. 1. 3D модель грунтозаборного устройства:  
а – общий вид 3D модели грунтозаборного устройства; б – сетка конечных элементов

В результате проведенных расчетов были определены собственные формы колебаний конструкции ГЗУ, коэффициенты запаса отдельных частей конструкции, а также наиболее уязвимые места. Собственная форма колебаний ГЗУ с самой низкой частотой 46 Гц представлена на рис. 2.

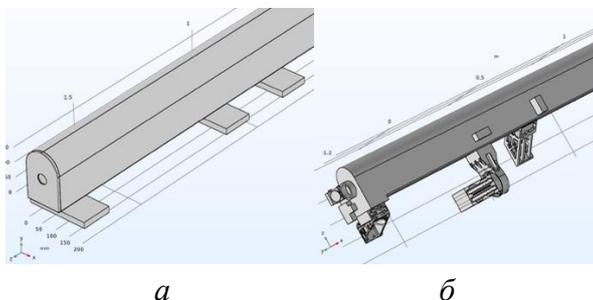


Рис. 2. Общий вид креплений ГЗУ:  
а – упрощенная конфигурация; б – детальная конфигурация

Помимо этого, в докладе рассмотрены варианты схемы разбиения конструкции на элементы. На рис. 2 представлены две конфигурации креплений ГЗУ: упрощенная (а) и детальная (б). Представлены результаты расчетов в зависимости от выбранной схемы разбиения, обсуждаются критерии ее оптимизации. Показано, что предложенный метод численного моделирования позволяет выявить слабые места в конструкции, определить коэффициенты запаса различных узлов и выработать предложения по их доработке в случае необходимости с учетом внешних ограничений и условий применения.

### Список литературы

1. Никольский, В.В. Декомпозиционный подход к задачам электродинамики / В.В. Никольский, Т.И. Никольская. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 304 с.

#### Сведения об авторах

Асфандияров Шамиль Альбертович, младший научный сотрудник. Область научных интересов: виброакустика.

Томилина Татьяна Михайловна, к.т.н., руководитель лаборатории. Область научных интересов: виброакустика.

Литвак Максим Леонидович, д.ф.-м.н., профессор, заведующий лабораторией ИКИ РАН. Область научных интересов: разработка физических приборов.

**NUMERICAL CALCULATION OF VIBRATION AND IMPACT STRENGTH  
OF A MULTI-ELEMENT STRUCTURE OF SPACE APPLICATION  
BY THE FINITE ELEMENT METHOD**

Asfandiyarov S.A.<sup>1</sup>, Tomilina T.M.<sup>1</sup>, Litvak M.L.<sup>2,1</sup>

<sup>1</sup>Blagonravov Institute of Mechanical Engineering, Moscow, Russia, asfandiyarov@imash.ac.ru

<sup>2</sup>Space Research Institute, Moscow, Russia

*Keywords: vibration, shock, vibration resistance, finite element method, numerical modeling, space instruments.*

The modeling the strength and vibro-mechanical properties of a deep ground-intake device design for a promising automatic lunar station using finite element analysis is presented. Variants of the scheme of splitting the device into simple elements are considered. The results of calculations depending on the chosen partitioning scheme are presented, the criteria for its optimization are discussed. It is shown that the proposed method of numerical modeling makes it possible to identify weaknesses in the design, to determine the safety factor of critical elements and to suggest effective solution according to engineering and functional requirements.