

А. Э. Бутенко, А. Д. Бугрова, С. А. Аксенов, С. А. Бобер

## ТЕРМОУПРУГИЙ АНАЛИЗ КОМПЛЕКСА ATMOSPHERIC CHEMISTRY SUITE ОРБИТАЛЬНОГО ЗОНДА TRACE GAS ORBITER МИССИИ EХОMARS

*Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»*

*Институт космических исследований РАН*

**Аннотация.** В рамках миссии EхоMars планируется запуск орбитального зонда Trace Gas Orbiter (TGO) для исследования Марса, одним из ключевых компонентов которого является комплекс Atmospheric Chemistry Suite (ACS). Он представляет собой единую конструкцию из четырех блоков, жестко закрепленных друг относительно друга. С помощью опор комплекс ACS крепится к платформе. В результате работы оборудования будет происходить тепловое расширение и жестко закрепленные опоры начнут воздействовать на платформу, что может привести к ее разрушению, поскольку она изготавливается из менее прочного материала. В данной работе методы компьютерного моделирования применены к задаче количественной и качественной оценки нагрузок, действующих на платформу, возникающих вследствие температурного расширения компонента ACS. Моделирование, проведенное при помощи программного комплекса SolidWorks Simulation, позволило найти распределение нормальных и тангенциальных усилий в местах крепления при различных перепадах температуры. Проведена верификация полученных результатов при помощи линейно-упругого анализа. Проведено моделирование при помощи программного комплекса MSC.Patran/Nastran.

**Ключевые слова:** термоупругость, МКЭ, EхоMars, ACS, TGO.

УДК: 520.6.07

EхоMars – совместная программа Европейского Космического Агентства и Федерального космического агентства России по исследованию Марса. В рамках этой программы планируется запуск орбитального зонда к Марсу – Trace Gas Orbiter (TGO). Основной задачей TGO будет комплексное исследование атмосферы Марса, исследование вертикального распределения малых составляющих, в первую очередь метана, поиск органических молекул, других малых составляющих, поиск возможных источников и стоков, измерения изотопных отношений и их вариаций. Подобная задача может быть решена с помощью спектрометров высокого разрешения в ближнем и среднем ИК диапазоне. Комплекс ACS (Atmospheric Chemistry Suit) располагается на верхней панели космического аппарата и представляет собой единую конструкцию из четырех блоков, жестко закрепленных друг относительно друга. В состав комплекса входят три спектрометра (ближнего, среднего и теплового ИК-диапазонов) и система сбора научной информации [1]. Общая масса комплекса составляет 33.5 кг. Каждый из блоков комплекса является самостоятельной сборочной единицей. С помощью 18 опор из полимерного материала Vespel комплекс ACS крепится к платформе. В результате работы оборудования будет происходить тепловое расширение и жестко закрепленные опоры начнут

---

Поступила 10.11.2014

воздействовать на платформу, что может привести к ее разрушению. Целью работы является оценка усилий, действующих на платформу в местах крепления к ней комплекса ACS.

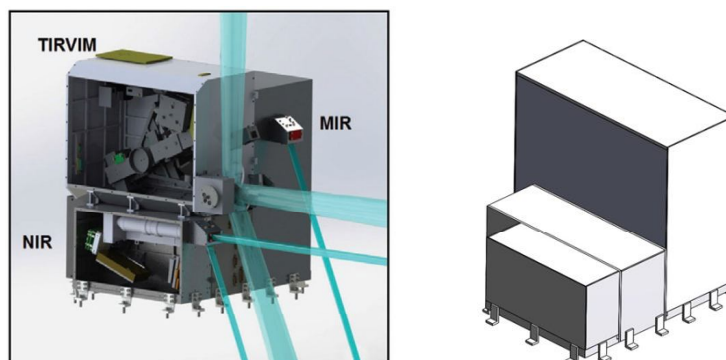


Рис. 1. Комплекс ACS (слева); упрощенная модель в SolidWorks (справа)

Постановка краевой задачи термоупругости приведена в [2]. Для решения данной задачи использовалось программное обеспечение конечно-элементного анализа SolidWorks Simulation и упрощенная модель комплекса (рис. 1). Нижние грани опор считались жестко закрепленными, и на всем комплексе задавалось равномерное изменение температуры. Расчет проводился для нескольких перепадов температуры: 10, 20 и 60 К.

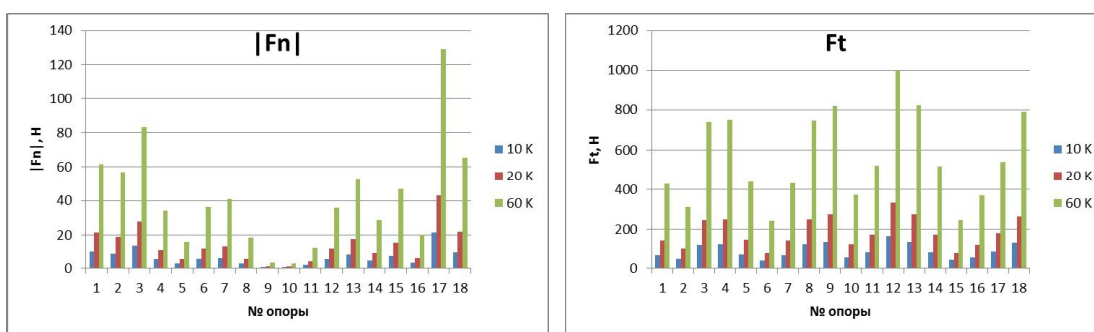


Рис. 2. Нормальная и тангенциальная компонента силы реакции

Было выявлено, что для всех перепадов температуры максимальная нормальная составляющая силы реакции приходится на одну и ту же опору. Для максимальной тангенциальной составляющей получен аналогичный результат. Выявлено, что значения тангенциальных сил на порядок превышают значения нормальных (рис. 3).

С целью проверки полученных результатов был проведен линейно-упругий анализ модели. Поскольку изменение температуры является равномерным по всему комплексу, задача может быть сведена к линейно-упругой. Интересующим нас нижним граням опор были заданы перемещения по формулам

$$dx = 0; \quad dy = -yk\Delta T; \quad dz = -zk\Delta T,$$

где  $k$  – коэффициент линейного расширения материала корпуса ACS,  $\Delta T$  – изменение температуры,  $(x, y, z)$  – координата центра нижней грани опоры, а ось  $x$  направлена перпендикулярно ее плоскости. При этом тепловое расширение самих опор не учитывалось. В расчетах, представленных ниже,  $\Delta T = 10\text{K}$  (рис. 4). Максимальное отклонение в получен-

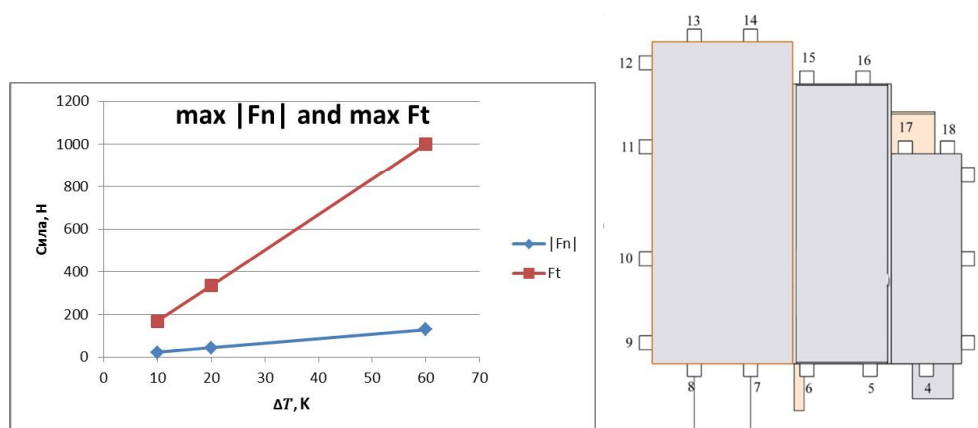


Рис. 3. Максимальная нормальная и тангенциальная компонента силы реакции (слева); нумерация опор (справа)

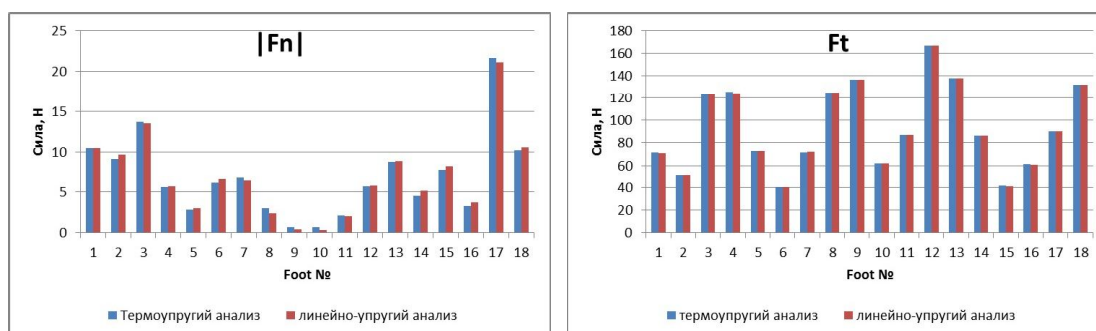


Рис. 4. Термоупругий и линейно-упругий анализ: нормальная и тангенциальная компонента силы реакции

ных значениях  $|F_n|$  составило  $\Delta_{max,n}^{\%} = 3\%$  от максимального значения, а среднее отклонение –  $\Delta_{avg,n}^{\%} = 1.5\%$  от максимального значения. Для тангенциальных составляющих  $F_t$ :  $\Delta_{max,t}^{\%} = 0.6\%$  и  $\Delta_{avg,t}^{\%} = 0.2\%$ .

Также было проведено моделирование в системе MSC.Patran/Nastran. Сравнение показало, что максимальное отклонение в значениях, полученных в результате расчетов в SolidWorks Simulation и MSC.Patran/Nastran, для всех рассмотренных перепадов температуры составило 6.7% и 4.7% для нормальных и тангенциальных компонент соответственно.

**Выводы.** Проведенное моделирование позволило качественно и количественно оценить распределение нагрузок в местах крепления комплекса к платформе при различных температурных воздействиях. Получено, что значения тангенциальных сил на порядок превышают значения нормальных. Максимальная нормальная составляющая силы реакции приходится на одну и ту же опору при всех вариантах изменения температуры. Аналогичный результат получен для максимальных тангенциальных составляющих силы реакции. Проверка достоверности полученных результатов была осуществлена с помощью линейно-упругого расчета, а также моделирования в системе MSC.Patran/Nastran. Выявлено, что расчеты, выполненные различными способами, отличаются незначительно.

**ЛИТЕРАТУРА**

[1] *Alexander Trokhimovsky et al.* Atmospheric chemistry suite (ACS): a set of infrared spectrometers for atmospheric measurements on board ExoMars trace gas orbiter. International workshop on Mars atmosphere modelling and observations. Fifth edition : Oxford, 2014.

[2] *Логашина, И. В.* Моделирование термонагруженного состояния корпуса лазерного гироскопа для дальней космической связи / И. В. Логашина, Е. Н. Чумаченко, С. А. Бобер, С. А. Аксенов // Вестник машиностроения, 2009. – № 8. – С. 3–8.

Бутенко Антон Эдуардович,

аспирант, Институт космических исследований РАН, г. Москва

e-mail: ostelite@gmail.com

Бугрова Анна Дмитриевна,

аспирант, Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Москва

e-mail: ad-888@yandex.ru

Аксенов Сергей Алексеевич,

кандидат технических наук, доцент кафедры механики и математического моделирования, Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Москва

e-mail: aksenov.s.a@gmail.com

Бобер Станислав Алексеевич,

ассистент кафедры механики и математического моделирования, Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Москва, г. Москва

e-mail: stas.bober@gmail.com

*A. E. Butenko, A. D. Bugrova, S. A. Aksenov, S. A. Bober*

**THERMOELASTIC ANALYSIS OF ATMOSPHERIC CHEMISTRY SUITE ON BOARD EXOMARS TRACE GAS ORBITER**

*Moscow State Institute of Electronics and Mathematics of National Research University Higher School of Economics*

*Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences*

**Abstract.** According to ESA-Roscosmos cooperation ExoMars, it is planned to launch Trace Gas orbiter (TGO) in order to explore Mars. One of its most important parts is Atmospheric Chemistry Suite (ACS). It is the unified construction of four parts rigidly mounted relative to each other. ACS is fixed to the platform by the feet. Thermal expansion that arise as a result of an operation of the equipment leads to the fact that feet influence the platform and may cause its destruction. In this paper computer simulation was applied to a problem of qualitative and quantitative estimation of loads at attachment points caused by the thermal expansion. Thermoelastic analysis of ACS's 3D-model was performed with Finite element method in systems SolidWorks and MSC.Patran/Nastran. This simulation it allowed determining the distribution of normal and tangential loads under different temperature's gradients. Verification of the obtained results was performed.

**Keywords:** thermoelasticity, FEM, ExoMars, ACS, TGO.

**REFERENCES**

[1] *Alexander Trokhimovsky et al.* Atmospheric chemistry suite (ACS): a set of infrared spectrometers for atmospheric measurements on board ExoMars trace gas orbiter. International workshop on Mars atmosphere modelling and observations. Fifth edition : Oxford, 2014.

[2] *Logashina, I. V.* Thermal stress state of a laser-gyroscope housing for use in space / I. V. Logashina, Y. N. Chumachenko, S. A. Bober, S. A. Aksenov // *Vestnik Mashinostroeniya*, 2009. – No 8. – P. 3–8.

*Butenko, Anton Eduardovich*

*Postgraduate student, Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

*Bugrova, Anna Dmitrievna*

*Postgraduate student, Moscow State Institute of Electronics and Mathematics of National Research University Higher School of Economics, Moscow*

*Aksenov, Sergey Alekseevich*

*Candidate of technical sciences, Associate Professor, Department of Mechanics and mathematical modeling, Moscow State Institute of Electronics and Mathematics of National Research University Higher School of Economics, Moscow*

*Bober, Stanislav Alekseevich*

*Assistant, Department of Mechanics and mathematical modeling, Moscow State Institute of Electronics and Mathematics of National Research University Higher School of Economics, Moscow*