

том, что датчики жестко закреплены, нету зависимости результатов измерения от вибрационных и ударных перегрузок.

В качестве датчиков используются: трехосевой цифровой акселерометр ADXL312 компании Analog Device и трехосевой феррозондовый магнитометр FLC3-70 компании Stefan Mayer Instruments.

### **Список информационных источников**

1. Исаченко В.Х., Инклинометрия скважин, М.: Недра, 1987, 216 с.
2. Зельцман П.А., Конструирование аппаратуры для геофизических исследований скважин, изд-во “Недра”, 1968, стр. 180.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КУБСАТА (ФОРМАТ 3U) ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НАГРУЗОК**

*Смолянский В.А.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Костюченко Т.Г., к.т.н., доцент кафедры  
точного приборостроения*

При проведении исследований по определению работоспособности спутника после воздействия нагрузок конструкция МКА (рисунок 1) была представлена без некоторых позиций (крышек и антенн). Это обусловлено тем, что бы увидеть наглядно анализ всех конструктивных элементов сборки.

При этом нет необходимости определять работоспособность всей сборки, что упрощает расчет и повышает его качество, позволяет применять классические методы расчета.

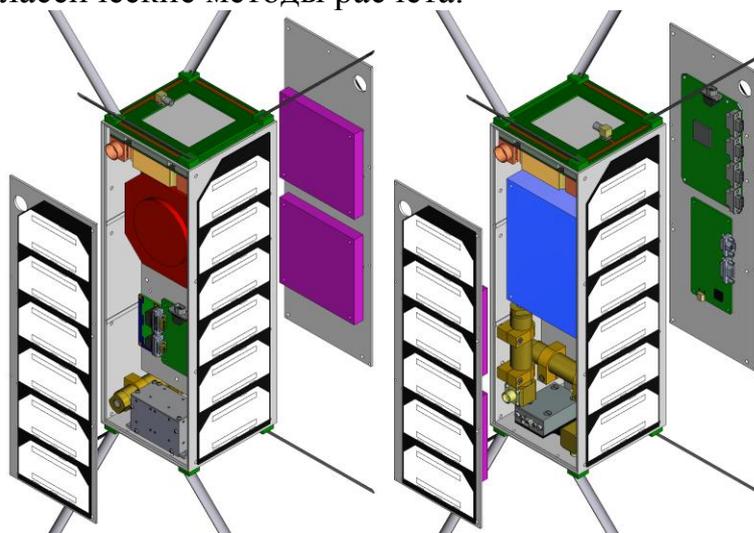


Рисунок 1 – 3D модель первой МКА

Исследования по определению работоспособности МКА при воздействии нагрузок проводилось на 3D моделях, созданных в программном комплексе T-FLEX CAD 3D. Расчеты по частотному анализу, на квазистатическую нагрузку проводились в модуле T-FLEX Анализ, использующем метод конечных элементов [1, 2].

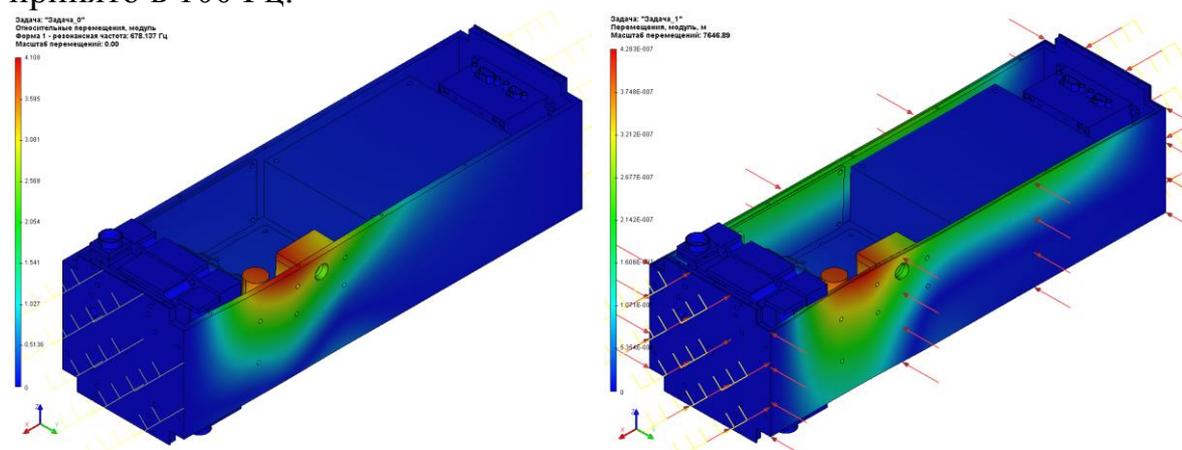
При проведении исследований по определению работоспособности спутника для элементов конструкции применялись материалы, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Материалы элементов МКА и их характеристики

| Конструктивный элемент      | Материал          | Плотность, кг/мм <sup>3</sup> | Предел прочности и на разрыв, Н/мм <sup>2</sup> | Предел прочности и на сжатие, Н/мм <sup>2</sup> | Модуль упругости, Н/мм <sup>2</sup> | Коэффициент Пуассона |
|-----------------------------|-------------------|-------------------------------|---|---|-------------------------------------|----------------------|
| Корпусные детали            | Алюминиевый сплав | 2,7·10 <sup>-6</sup>          | 65,9356   | 65,9356   | 70000                               | 0,3                  |
| Платы и их комплектующие    | Пластмасса        | 1,7·10 <sup>-6</sup>          | 530   | 530   | 34                                  | 0,13                 |
| Шлейфы, переходники, кабели | Медный провод     | 8,93·10 <sup>-6</sup>         | 394,38  | 394,38  | 110000                              | 0,37                 |

Частотный анализ конструкции проведен с целью исключения возникновения в условиях эксплуатации такого механического явления, как резонанс.

Форма колебаний показывает, какие относительные деформации (перемещения) будет испытывать конструкция в случае возникновения резонанса на соответствующей собственной частоте. Минимальное значение собственной частоты для любого элемента конструкции принято в 100 Гц.



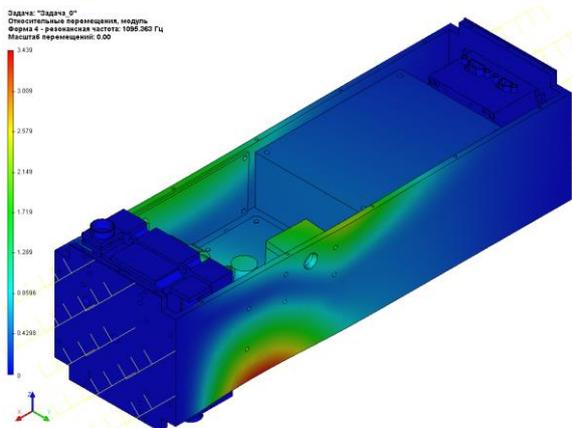
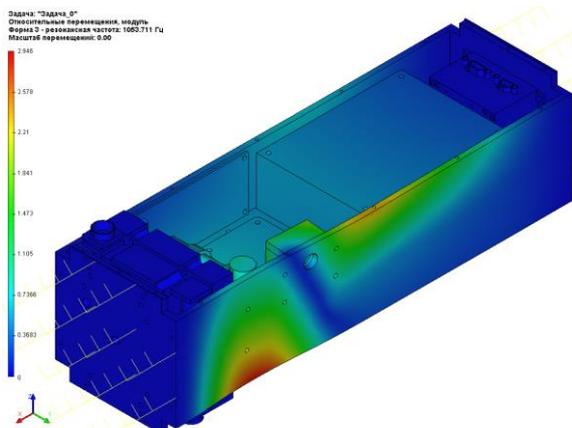
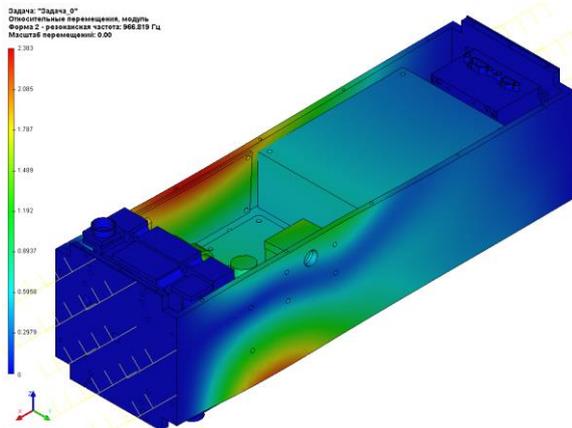


Рисунок 2 – Результаты расчета собственных частот

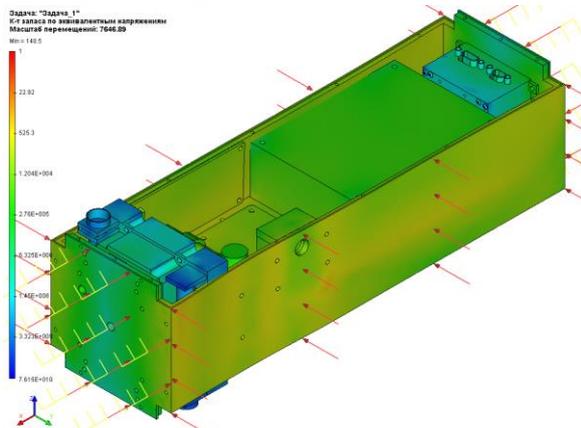
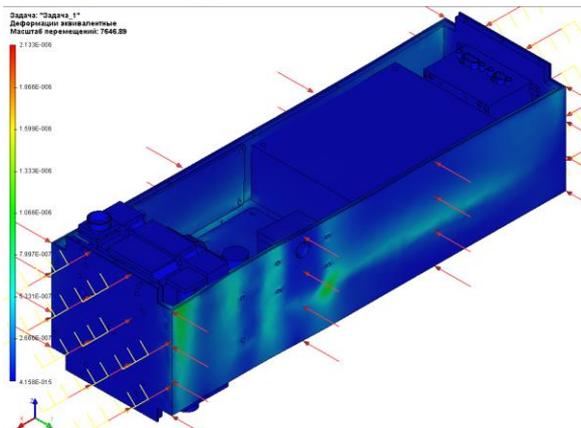
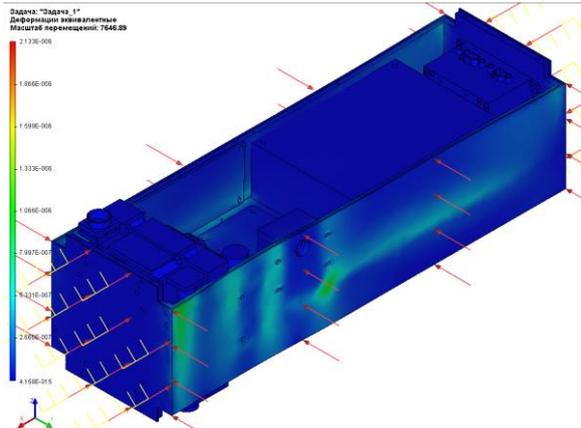


Рисунок 3 – Результаты расчета при квазистатических нагрузках

В таблице 2 приведены результаты частотного анализа после некоторой корректировки конструкторских размеров силовых элементов сборки.

Таблица 2 – Результаты частотного анализа

| Форма       | Шаг сетки |         |         |
|-------------|-----------|---------|---------|
|             | 0,2       | 0,1     | 0,05    |
| Частота, Гц |           |         |         |
| 1           | 678,565   | 586,616 | 521,678 |

|   |          |         |         |
|---|----------|---------|---------|
| 2 | 966,485  | 805,624 | 765,689 |
| 3 | 1050,654 | 951,518 | 832,885 |
| 4 | 1094,627 | 973,789 | 892,516 |

Квазистатическая нагрузка прикладывалась для вариантов эксплуатации в полете, поскольку величины нагрузок на земле во время транспортировки перекрываются величинами полетных нагрузок.

Нагрузка прикладывалась для четырех вариантов полета: старт; полет 1 ступени; полет 2 ступени; полет 3 ступени (таблица 3).

В расчетах коэффициент безопасности взят максимальным, предусмотренным при наземной эксплуатации прибора, значение – 2,0.

Таблица 3 – Величины полетных перегрузок

| Случай эксплуатации | Перегрузка, g  |                   |
|---------------------|----------------|-------------------|
|                     | Продольная (X) | Поперечная (Y, Z) |
| Старт               | 3,6±0,7        | ±2,5              |
| Полет 1 ступени     | 8,6±0,5        | -0,5±1,0          |
| Полет 2 ступени     | 7,8±0,5        | ±0,8              |
| Полет 3 ступени     | -0,5±3,4       | ±0,7              |

В таблице 4 приведены результаты расчета сборки при статических нагрузках (рисунок 3) для всех случаев. Данные параметры, наиболее полно отражают характер изменения конструкции при заданных квазистатических нагрузках.

Таблица 4 – Результаты квазистатического анализа

|  | Перемещения узлов сетки, модуль, м              | Деформации эквивалентные                         | Напряжения эквивалентные, Н/м <sup>2</sup> | Коэф-т запаса по эквивалентным напряжениям |
|--|---|--|--|--|
| <u>Случай эксплуатации – Старт</u>           |   |  |  |  |
| Сетка 0,2                                    | 2,423·10 <sup>-6</sup> - 2,237·10 <sup>-5</sup> | 1,588·10 <sup>-10</sup> -7,962·10 <sup>-5</sup>  | 8,978 - 3564                               | 3,734·10 <sup>6</sup> - 7782               |
| Сетка 0,1                                    | 2,823·10 <sup>-6</sup> - 2,405·10 <sup>-5</sup> | 1,631·10 <sup>-10</sup> -7,532·10 <sup>-5</sup>  | 7,975 - 4032                               | 3,865·10 <sup>6</sup> - 6565               |
| Сетка 0,05                                   | 2,976·10 <sup>-6</sup> - 2,481·10 <sup>-5</sup> | 7,187·10 <sup>-11</sup> -8,526·10 <sup>-5</sup>  | 4,953 - 4890                               | 4,185·10 <sup>6</sup> - 5562               |
| <u>Случай эксплуатации – Полет 1 ступени</u> |   |  |  |  |
| Сетка 0,2                                    | 4,258·10 <sup>-6</sup> - 3,606·10 <sup>-5</sup> | 4,020·10 <sup>-10</sup> -15,380·10 <sup>-5</sup> | 24,390 - 6016                              | 1,048·10 <sup>6</sup> - 4251               |
| Сетка 0,1                                    | 4,702·10 <sup>-6</sup> - 3,962·10 <sup>-5</sup> | 4,144·10 <sup>-10</sup> -15,650·10 <sup>-5</sup> | 25,390 - 6109                              | 1,007·10 <sup>6</sup> - 4186               |
| Сетка 0,05                                   | 4,905·10 <sup>-6</sup> - 4,124·10 <sup>-5</sup> | 3,990·10 <sup>-10</sup> -17,640·10 <sup>-5</sup> | 16,080 - 6799                              | 1,591·10 <sup>6</sup> - 3761               |
| <u>Случай эксплуатации – Полет 2 ступени</u> |   |  |  |  |
| Сетка 0,2                                    | 3,971·10 <sup>-6</sup> - 3,377·10 <sup>-5</sup> | 2,794·10 <sup>-10</sup> -13,850·10 <sup>-5</sup> | 20,57 - 5488                               | 1,133·10 <sup>6</sup> - 4660               |
| Сетка 0,1                                    | 4,377·10 <sup>-6</sup> - 3,701·10 <sup>-5</sup> | 2,763·10 <sup>-10</sup> -12,100·10 <sup>-5</sup> | 21,32 - 5573                               | 1,146·10 <sup>6</sup> - 4589               |
| Сетка 0,05                                   | 4,562·10 <sup>-6</sup> - 3,849·10 <sup>-5</sup> | 1,702·10 <sup>-10</sup> -15,91·10 <sup>-5</sup>  | 14,75 - 6201                               | 1,860·10 <sup>6</sup> - 4124               |
| <u>Случай эксплуатации – Полет 3 ступени</u> |   |  |  |  |
| Сетка 0,2                                    | 2,218·10 <sup>-6</sup> - 5,741·10 <sup>-6</sup> | 7,838·10 <sup>-11</sup> -5,491·10 <sup>-5</sup>  | 6,139 - 2247                               | 3,583·10 <sup>6</sup> - 11380              |
| Сетка 0,1                                    | 2,384·10 <sup>-6</sup> - 2,107·10 <sup>-5</sup> | 4,265·10 <sup>-11</sup> -5,587·10 <sup>-5</sup>  | 4,252 - 2280                               | 6,014·10 <sup>6</sup> - 11220              |
| Сетка 0,05                                   | 2,459·10 <sup>-6</sup> - 2,168·10 <sup>-5</sup> | 3,875·10 <sup>-11</sup> -6,347·10 <sup>-5</sup>  | 3,323 - 2633                               | 1,101·10 <sup>7</sup> - 10060              |

## Список информационных источников

1. Костюченко Т.Г. САПР в приборостроении: учебное пособие. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010.-207 с.

2. T-FLEX анализ. Пособие по работе с системой. – Москва, 2011.

### **РАЗРАБОТКА МАГНИТНОГО СИГНАЛИЗАТОРА ДЛЯ ДАТЧИКА ПРОХОЖДЕНИЯ СРЕДСТВ ОЧИСТКИ И ДИАГНОСТИКИ ПО МАГИСТРАЛЬНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ**

*Тараканец Е.А.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Лапшин Б.М., к.т.н., заведующий  
лабораторией №62*

По магистральным нефтегазопроводам пропускают различного рода технологические внутретрубные объекты (ВТО): скребки, поршни, разделители, кайманы и средства внутретрубной диагностики. Перемещение этих объектов по трубопроводам необходимо контролировать для исключения негативных последствий, которые могут возникнуть в случае потери местонахождения ВТО. С этой целью вдоль трубопровода на всём его протяжении устанавливаются датчики-сигнализаторы, которые при прохождении ВТО отправляют сигнал в систему линейной телемеханики. До недавнего времени в качестве таких датчиков в основном использовались и используются сигнализаторы двух видов: механические типа СКР, СР, СРУ и акустические типа ДПС-5В, ДПС-7В, СПРА-4. Оба вида этих сигнализаторов имеют ряд недостатков. Основным недостатком механических сигнализаторов является необходимость врезки в стенку трубы рычажной системы. Главный недостаток акустических сигнализаторов обусловлен необходимостью постоянного акустического контакта между датчиком и стенкой трубы, качество которого необходимо контролировать в процессе эксплуатации сигнализатора, поскольку нарушение контакта снижает достоверность контроля и ведет к пропуску ВТО. Указанных выше недостатков лишены магнитные сигнализаторы. Поскольку сам датчик можно устанавливать на трубопровод без врезки и нарушения целостности противокоррозионной изоляции.