

## **Сравнительная оценка результатов применения программных комплексов численного анализа прочности на примере расчета стартово-стыковочного блока ракеты космического назначения среднего класса**

**# 12, декабрь 2014**

**Бошняк В. А., Дружинина М. Ю.**

УДК: 629.198.22

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

[vaboshrab@mail.ru](mailto:vaboshrab@mail.ru)

Основными целями статических расчетов несущих конструкций любого агрегата являются обеспечение их прочности, жесткости и устойчивости при действии эксплуатационных нагрузок.

Прочность конструкций обеспечивается подбором характеристик их элементов, исключающим возможность появления пластических деформаций и повреждений в любых условиях работы.

Анализ прочностных характеристик конструкций может быть произведен с помощью различных вычислительных программных комплексов. В частности, для этого могут быть использованы конечноэлементные программные комплексы (ПК) «SolidWorks» [1] и «ANSYS» [2], [3].

В данной работе проводится сравнение результатов прочностных расчетов различными программными комплексами. В качестве примера объекта исследования рассматривается стартово-стыковочный блок (ССБ) для ракеты космического назначения среднего класса. ССБ входит в состав РКН (рис.1). ССБ является переходным многофункциональным элементом, который обеспечивает силовые, электрические и пневмогидравлические связи РКН с пусковой установкой (ПУ). Пример конструкции ССБ приведен на рис.2.

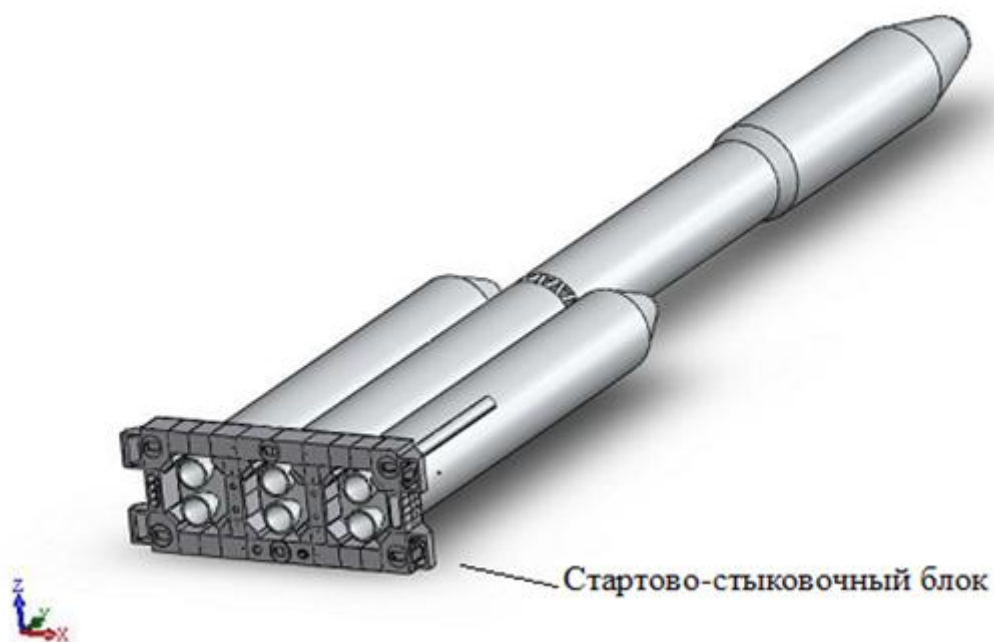
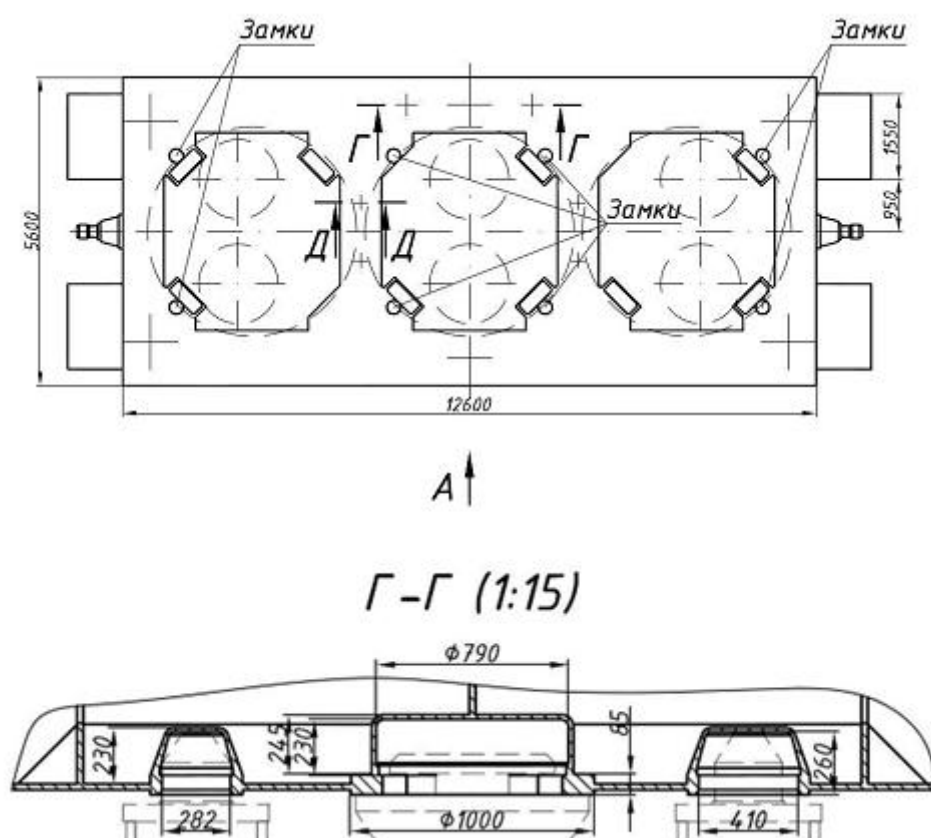
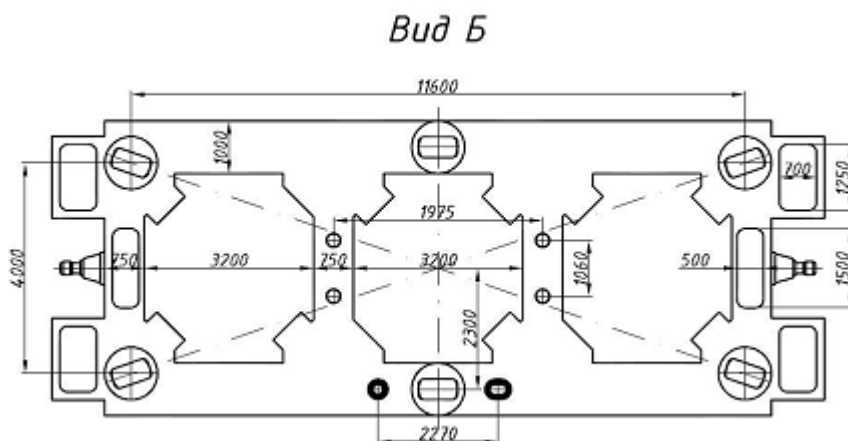


Рис.1. Стартово-стыковочный блок в составе РКН среднего класса





**Рис.2.** Конструкция ССБ

Моделирование и расчет ССБ проводился на основе метода конечных элементов при помощи различных ПК. Моделирование проводилось тремя различными способами:

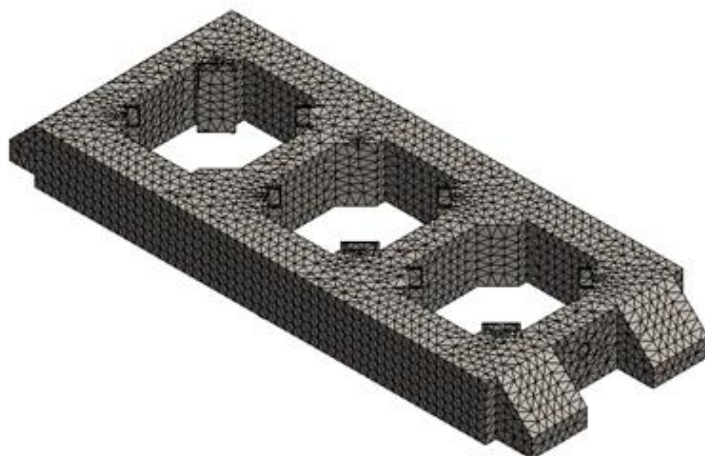
1. Модель ССБ на основе объемных конечных элементов, полученная при помощи ПК «SolidWorks 2010» (рис.3);
2. Модель ССБ на основе пластинчатых конечных элементов, полученная в ПК «SolidWorks 2010» (рис.4);
3. Модель ССБ на основе объемных конечных элементов, полученная при помощи ПК «ANSYS 2011» (рис.5).

Для всех трех моделей ССБ выбрана система связей, показанная на рис.6. В качестве нагружения модели ССБ принимается система сосредоточенных сил, эквивалентная весу заправленной РКН (рис.7).

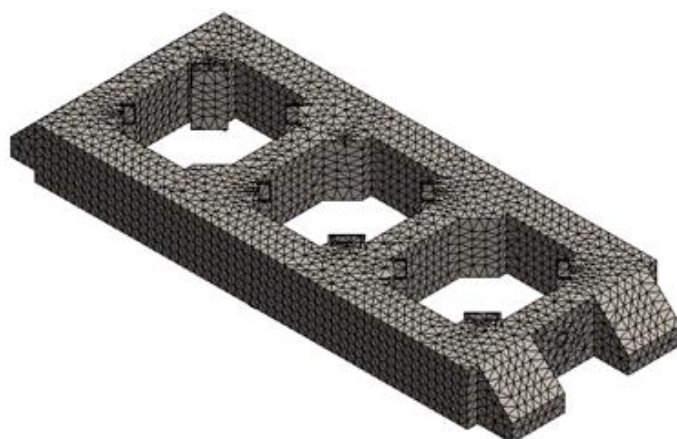
В результате расчета напряженно-деформированного состояния моделей ССБ были получены следующие данные, представленные в таблице 1 и на рис.8...10.

**Таблица 1.** Сравнение численных результатов.

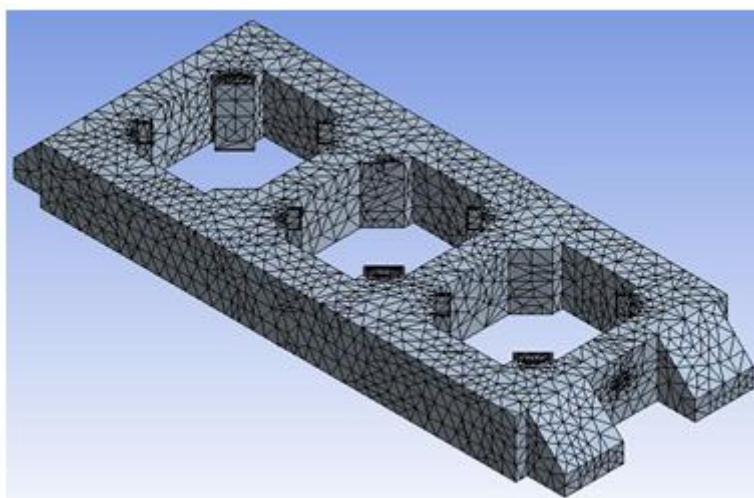
| Параметр                                         | Твердотельная модель<br><i>SolidWorks 2010</i> | Листовой металл<br><i>SolidWorks 2010</i> | Модель в ПК<br><i>ANSYS 11</i>                        |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Количество операций по созданию элементов модели | 72                                             | 236                                       | (модель взята из ПК <i>SolidWorks</i> )               |
| Конечные элементы (КЭ) для создания сетки        | Треугольные призмы                             | Пластины                                  | Автоматическая с приоритетом гексагональных элементов |
| Количество КЭ                                    | 47900                                          | 47044                                     | 59170                                                 |
| Время чистого программного расчета               | 00:01:13                                       | 00:01:03                                  | 00:02:40                                              |
| Минимальный коэффициент запаса                   | 3,49745                                        | 3,84914                                   | 4,78538                                               |
| Максимальное напряжение                          | 103789792 Н/м <sup>2</sup>                     | 94305488 Н/м <sup>2</sup>                 | 75856000 Н/м <sup>2</sup>                             |
| Максимальное перемещение                         | 0,4412 мм                                      | 0,4302 мм                                 | 0,2926 мм                                             |



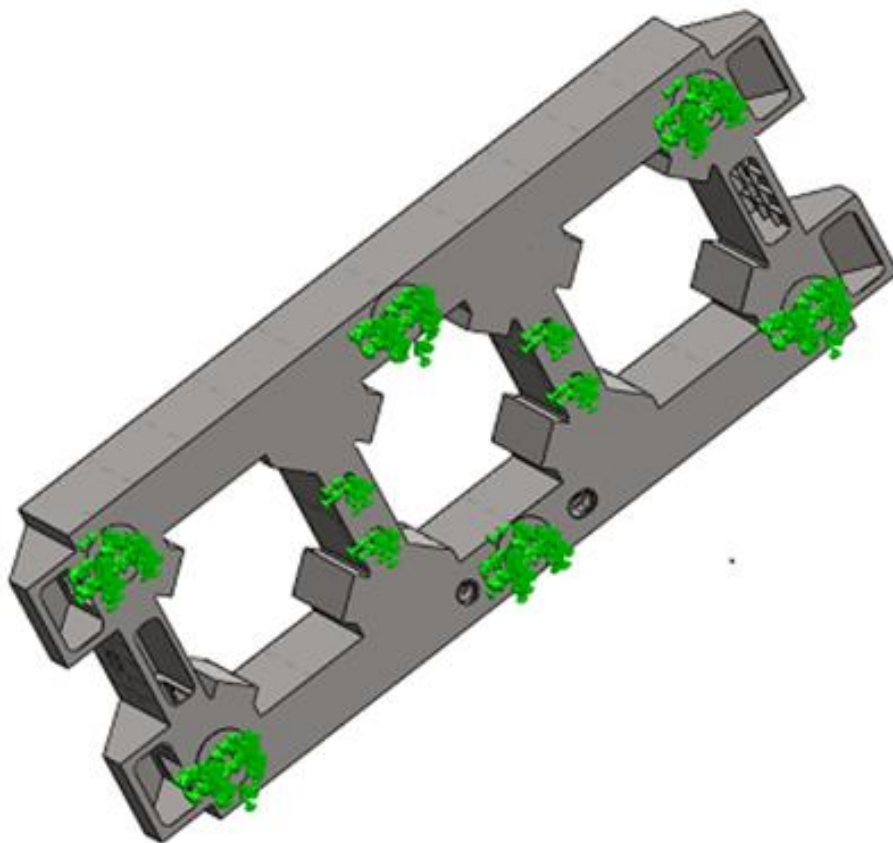
**Рис.3.** Модель ССБ на основе объемных конечных элементов, полученная при помощи ПК «SolidWorks 2010»



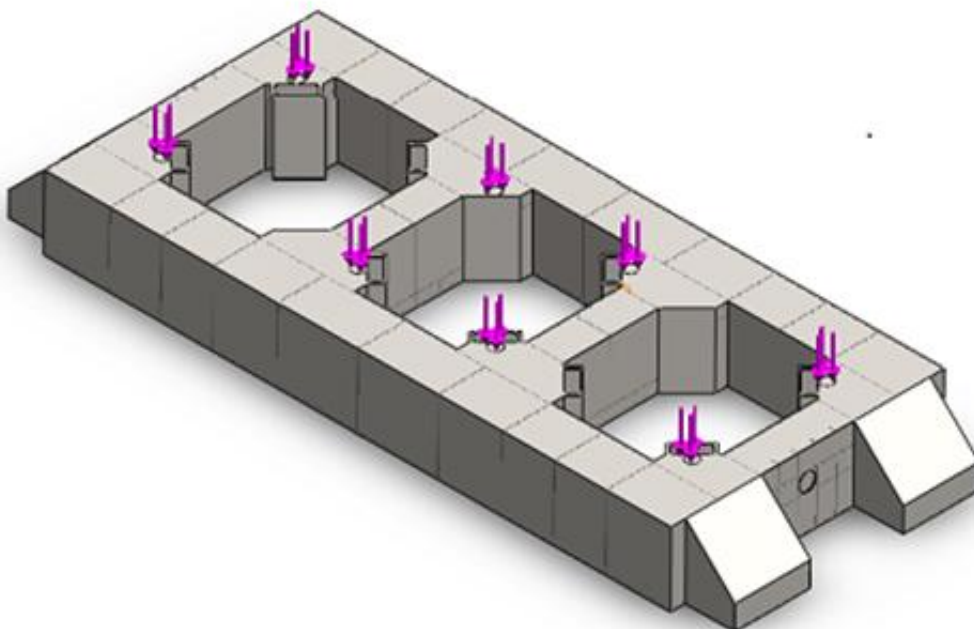
**Рис.4.** Модель ССБ на основе пластинчатых конечных элементов, полученная при помощи ПК «SolidWorks 2010»



**Рис.5.** Модель ССБ на основе объемных конечных элементов, полученная при помощи ПК «ANSYS 2011»



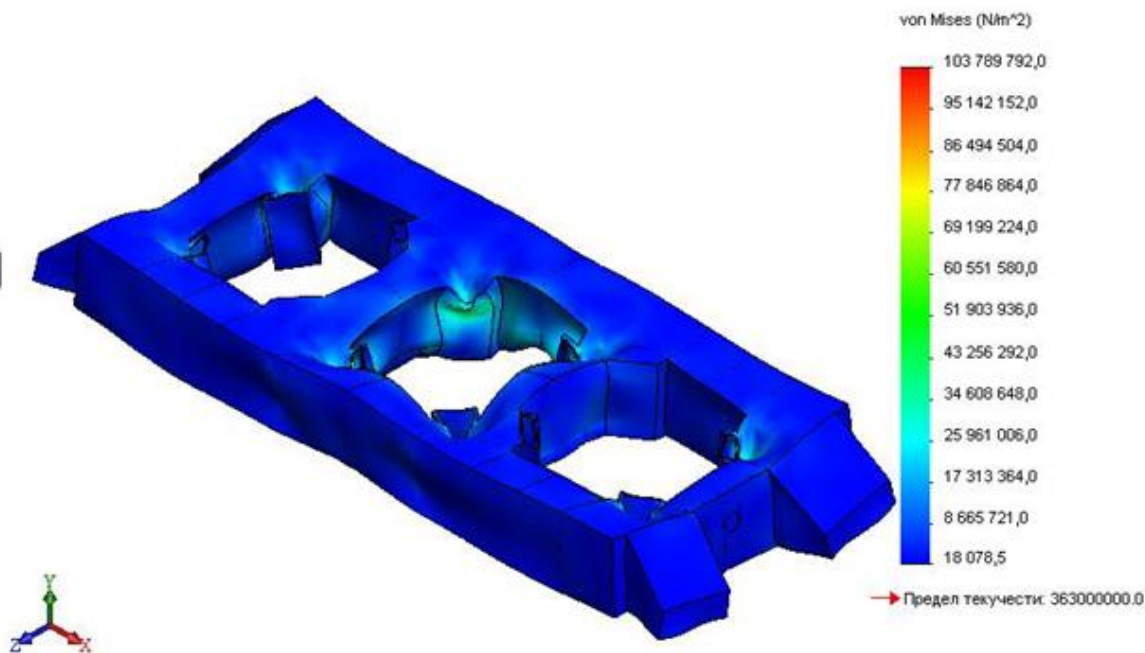
**Рис.6.** Система внешних связей модели ССБ



**Рис.7.** Схема нагружения модели ССБ

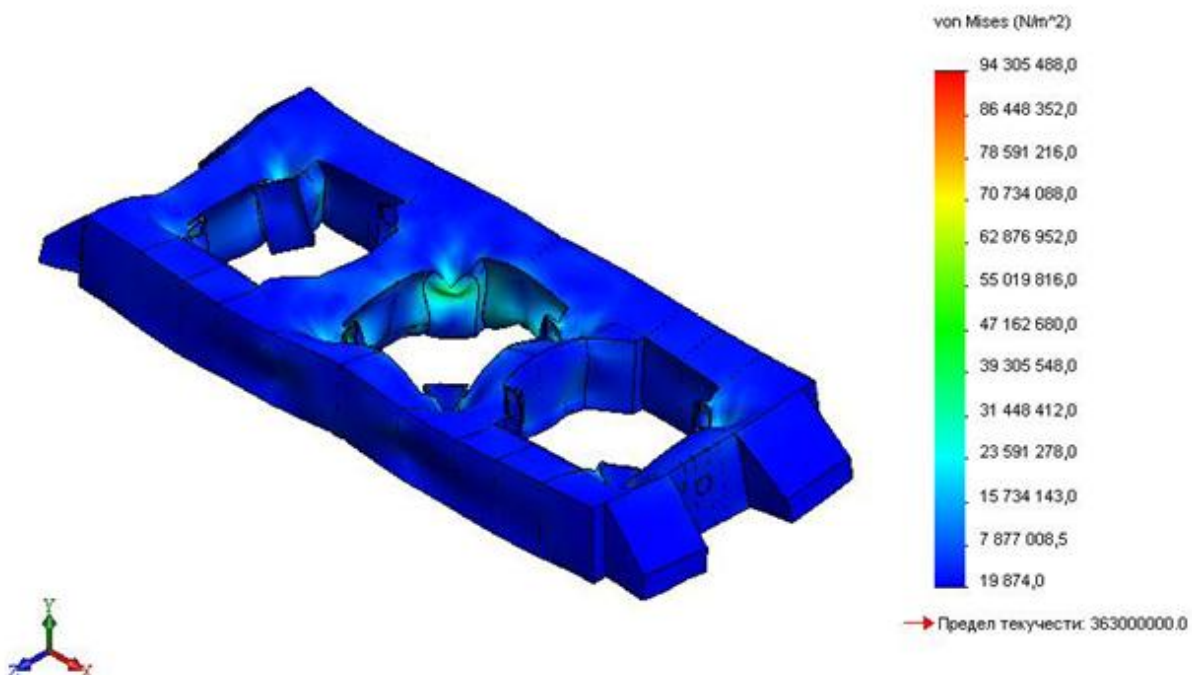


Имя модели: Твёрдотельная модель  
 Имя исследования: SimulationXpress Study  
 Тип эпоры: Статический узловое напряжение Stress  
 Шкала деформации: 3315,05

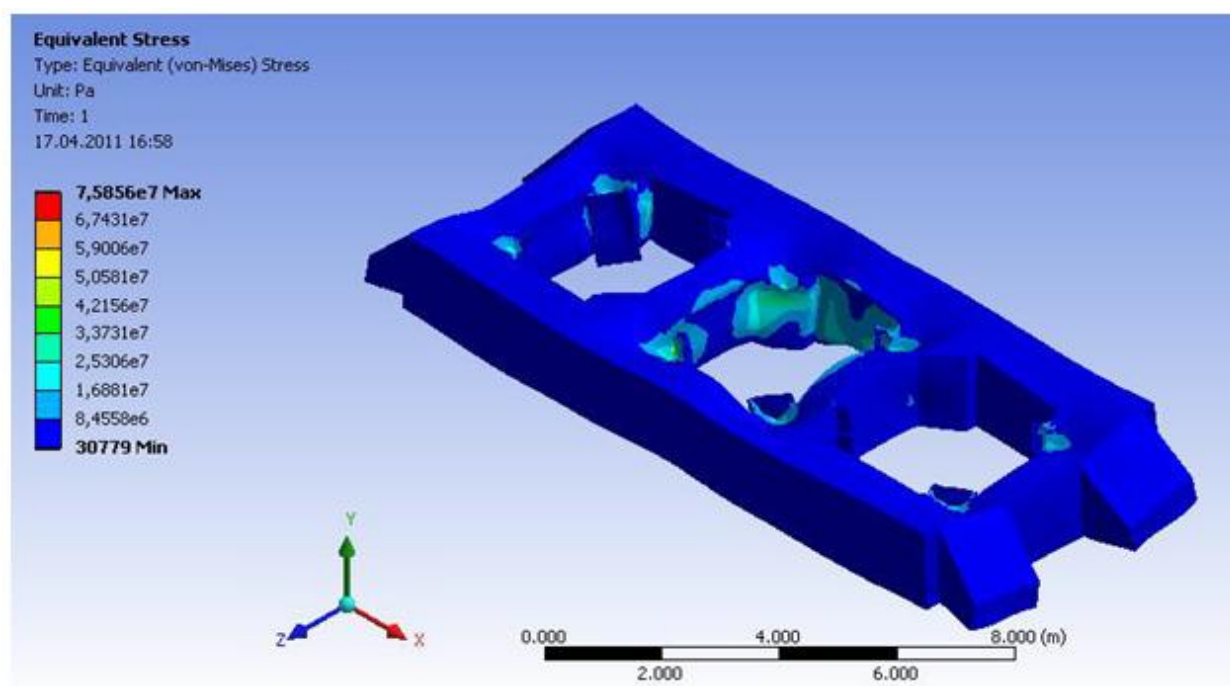


**Рис.8.** Общее распределение напряжений в модели ССБ на основе объемных конечных элементов, полученной при помощи ПК «SolidWorks 2010»

Имя модели: Листовой металл  
 Имя исследования: SimulationXpress Study  
 Тип эпоры: Статический узловое напряжение Stress  
 Шкала деформации: 3397,2



**Рис.9.** Общее распределение напряжений в модели ССБ ССБ на основе пластинчатых конечных элементов, полученной при помощи ПК «SolidWorks 2010»



**Рис.10.** Общее распределение напряжений в модели ССБ на основе объемных конечных элементов, полученной при помощи ПК «ANSYS 2011»

На основании данных, приведенных в таблице 1, можно сделать следующие выводы:

- сравнение результатов расчета модели ССБ на основе пластинчатых конечных элементов, полученной при помощи ПК «SolidWorks 2010», относительно модели на основе объемных конечных элементов, полученной при помощи ПК «SolidWorks 2010»:

- Количество операций по созданию модели: *больше на 228%* ;
- Время расчета: *меньше на 14%* ;
- Минимальный коэффициент запаса по прочности: *выше на 10%* ;
- Максимальное напряжение в модели ССБ: *меньше на 9%* ;
- Максимальное перемещение в модели ССБ: *меньше на 2,5%* .

- Сравнение результатов расчета модели ССБ на основе объемных конечных элементов, полученной при помощи ПК «SolidWorks 2010», относительно модели на основе объемных конечных элементов, полученной при помощи ПК «ANSYS 11»:

- Минимальный коэффициент запаса по прочности: *ниже на 27%*;
- Максимальное напряжение в модели ССБ: *больше на 37%*;
- Максимальное перемещение в модели ССБ: *больше на 50%* .

Сравнение результатов расчетного анализа ССБ показывает, что программный комплекс общего назначения SolidWorks дает значительную погрешность по сравнению со

специализированным программным комплексом ANSYS. Использование различных конечных элементов для моделирования ССБ в ПК SolidWorks 2010 существенно на результаты прочностного расчета не влияет.

### **Список литературы**

1. Прохоренко В.П. SolidWorks. Практическое руководство, М.: ООО "Бином Пресс", 2004 г. - 448с.
2. ANSYS для инженеров: Справочное пособие / Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 512 с.
3. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Учебное пособие / В.А. Бруйка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адвянов. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2010. – 271 с.: ил.