

Исследование напряженно-деформированного состояния стартово-стыковочного блока для перспективной ракеты тяжелого класса

12, декабрь 2014

Ульянников А. В., Иванов М. Ф.

УДК: 629.7.085

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана
ded_avu@mail.ru

Одним из перспективных направлений ракетостроения является создание ракет космического назначения (РКН) тяжелого и сверхтяжелого класса /1/. Данные семейства ракет предназначены для доставки на орбиту грузов до ста тонн (в случае сверхтяжелой РКН).

Для обеспечения цеховых условий сборки разъемных соединений гидравлических и пневматических магистралей, автоматизации установки РКН и обеспечения штатного распределения нагрузок на пусковую установку (ПУ) зачастую применяется стартово-стыковочный блок (ССБ). ССБ – это переходный, транзитный отсек между РКН и ПУ. ССБ служит нижней силовой опорной плитой, к которой крепятся блоки первой ступени ракеты и в совокупности с силовой схемой центрального блока образуют цельную конструкцию, обеспечивающую надежную транспортировку ракеты на транспортно-установочном агрегате и установку ее в вертикальное положение на старте. ССБ выполняет также функцию защитного устройства, которое предохраняет РКН от прямого воздействия и действия возвратных потоков работающих ракетных маршевых двигателей при старте. Места крепления РКН на ССБ, а также точки опирания ССБ на ПУ приведены на рис.1.

Наличие ССБ позволяет значительно упростить конструкцию ПУ, а именно отказаться от мощной силовой рамы. В этом случае нагрузки от РКН через ССБ передаются непосредственно на силовые тумбы и стартовое сооружение. Конструкция ПУ без силовой рамы имеет ряд существенных преимуществ. А именно:

- улучшаются газодинамические свойства старта за счет уменьшения потерь тяги ДУ РКН при старте из-за улучшения подсоса воздуха в подракетное пространство, уменьшения ударноволнового и акустического воздействия газовой струи на торец РКН;

- снижается металлоёмкость конструкции пусковой установки при достаточной несущей способности, что позволяет уменьшить себестоимость изготовления конструкции, существенно снизить нагрузку на стартовое сооружение и, следовательно, уменьшить объем работ на его создание, а также облегчить процесс транспортировки элементов пусковой установки и их монтажа на космодроме.

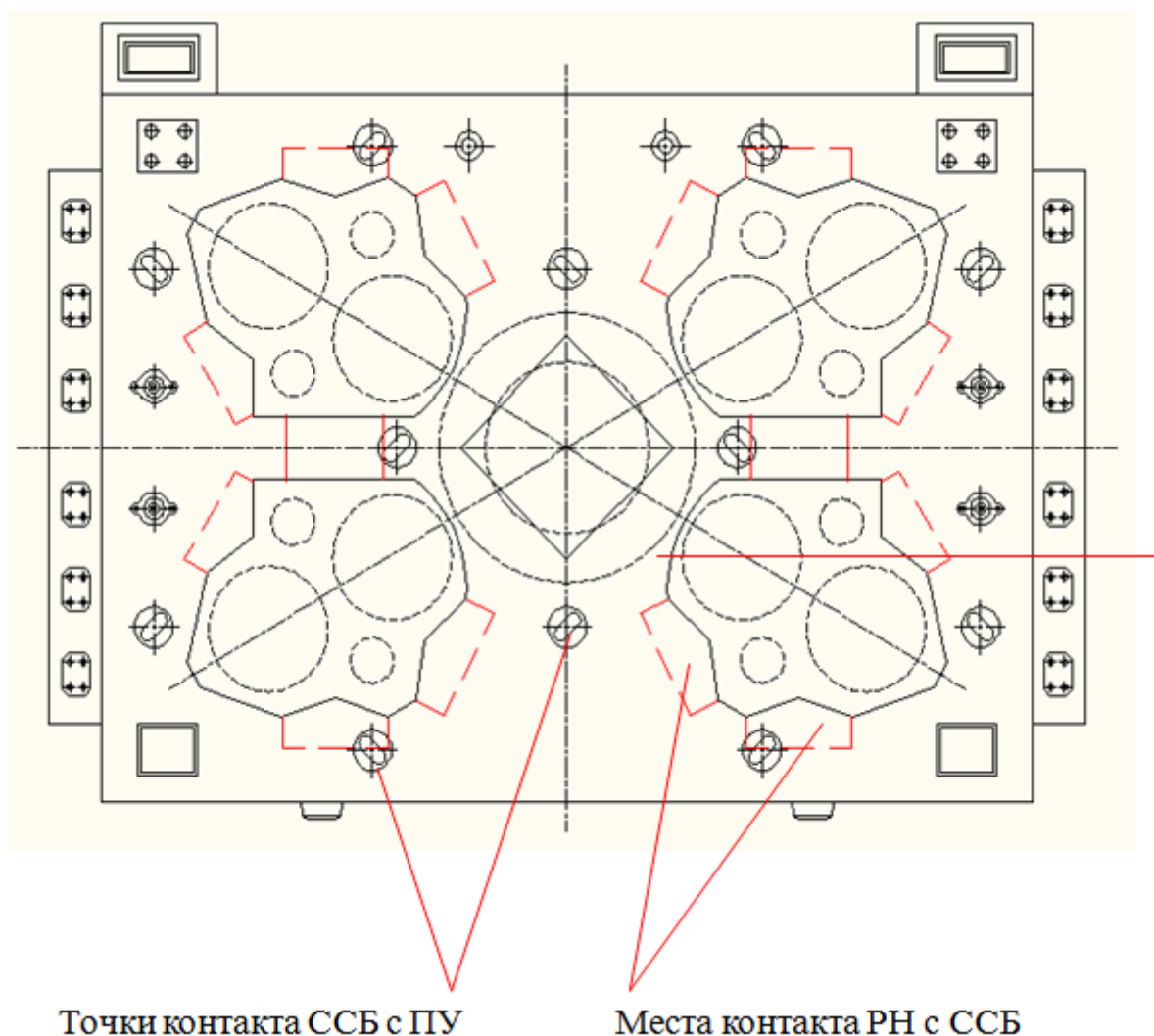


Рис.1. Схема расположения контактных мест на ССБ

Однако следует отметить, что предлагаемая схема ПУ (без силовой рамы) приводит к повышенному нагружению металлоконструкции ССБ и предъявляет к нему в связи с этим ряд серьезных требований. А именно:

- обеспечение восприятия нагрузок от хвостовых отсеков ракеты при её «точечном» опирании на силовые тумбы без потери прочности и при достаточной жесткости;
- обеспечение надежного подвода коммуникаций к ракете.

В данной работе проводится анализ параметров силового воздействия на конструкцию ССБ в различных режимах эксплуатации РКН, а также напряженно-

деформированного состояния элементов ССБ при его максимальном нагружении. Для моделирования процесса нагружения ССБ в различных режимах его эксплуатации была сформирована стержневая расчетная модель системы «РКН– ССБ–ПУ», приведенная на рис.2.

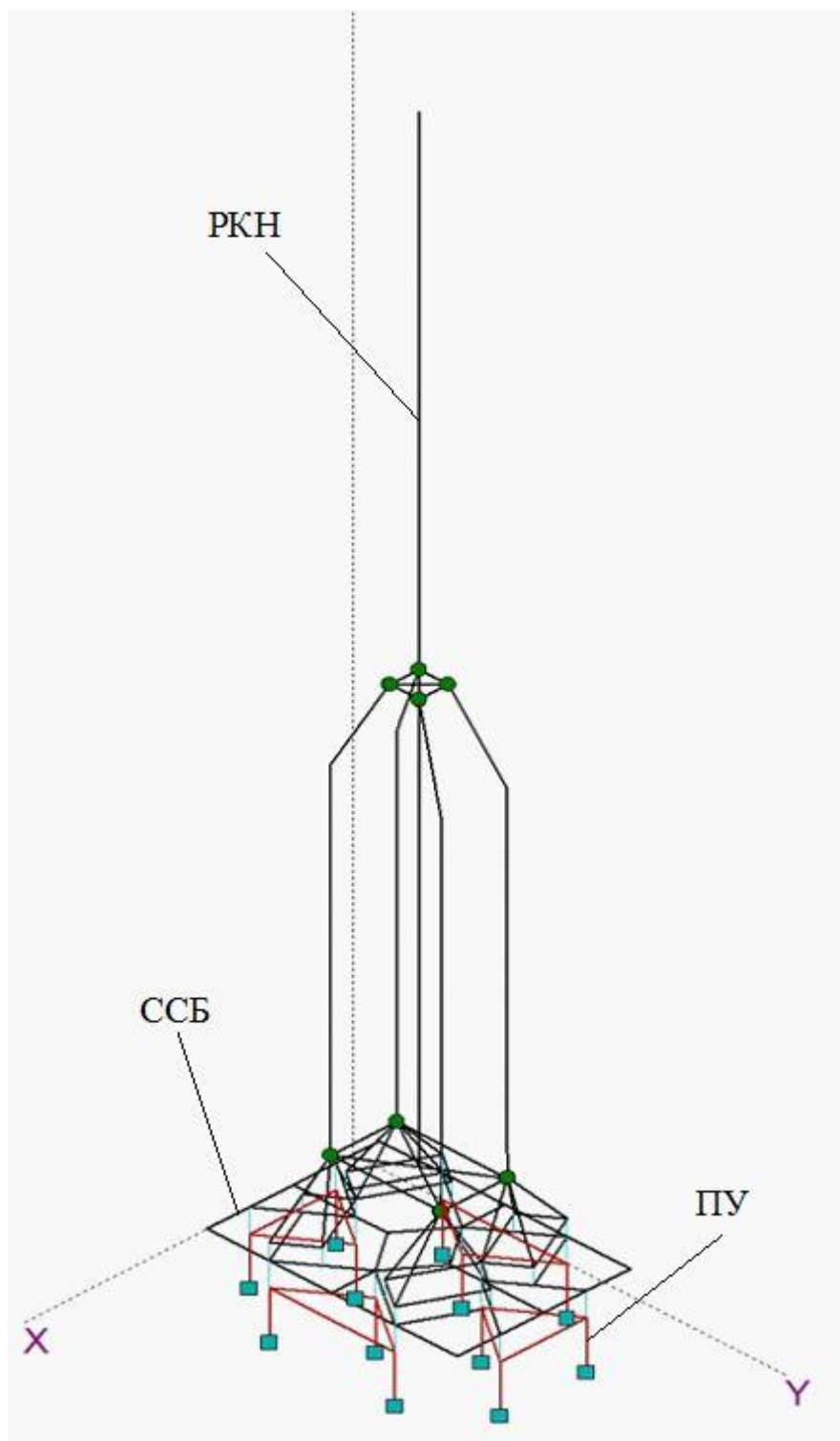


Рис.2. Конечноэлементная модель системы «РКН – ССБ - ПУ»

Эта модель создана с использованием метода конечных элементов и суперэлементов /2, 3/ при помощи разработанного на кафедре «Стартовые ракетные комплексы» МГТУ им. Н.Э. Баумана программном комплексе «SADAS». В качестве конечных элементов в моделях использованы призматические стержни. В качестве суперэлементов выступают модели ПУ, ССБ и РКН.

В результате расчетного анализа нагружения ССБ при различных этапах эксплуатации РКН было выявлено максимальное его нагружение, которое соответствует режиму аварийного выключения двигателей (АВД) РКН при старте. Расчетная схема рассматриваемой динамической системы «РКН–ССБ–ПУ» для моделирования процесса АВД при неблагоприятном ветровом воздействии со средней скоростью ветра 15 м/с представлена на рис.3. Как можно видеть, на указанном рисунке отмечены дополнительные массы в узлах модели РКН, которые представляют инерционные свойства заправленной ракеты. Кроме этого, на рисунке синими стрелками представлены узловые нагрузки от расчетного ветрового воздействия, а красными стрелками показаны усилия от тяги двигательной установки боковых блоков РКН, изменяющиеся по времени в соответствии с циклограммой набора и сброса тяги при АВД на старте. В результате динамического расчета данной системы были получены нагрузки на опоры РКН на ССБ, которые будут являться расчетными для анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкции ССБ.

Для проведения расчета НДС ССБ при помощи программного комплекса «SolidWorks» была создана его подробная твердотельная модель (рис.4), на основе которой получена пластинчатая конечноэлементная модель (рис.5). В качестве конечных элементов используются треугольные пластины, испытывающие сложное напряженно-деформированное состояние. Схема нагружения и опирания модели ССБ приведена на рис.6.

В результате проведенного расчета НДС модели ССБ от определенных в рамках динамического расчета нагрузок были получены цветовые карты деформаций (рис.7) и распределения коэффициентов запаса по прочности модели ССБ (рис.8). Согласно полученных результатов максимальный прогиб модели ССБ составляет величину 0.6 мм, а минимальный коэффициент запаса по прочности относительно предела текучести материала, составляет величину 4.6. Таким образом, можно сделать вывод о том, что конструкция ССБ удовлетворяет условиям прочности и жесткости в случае его опирания непосредственно на несущие тумбы ПУ и введения силовой рамы при этом не требуется.

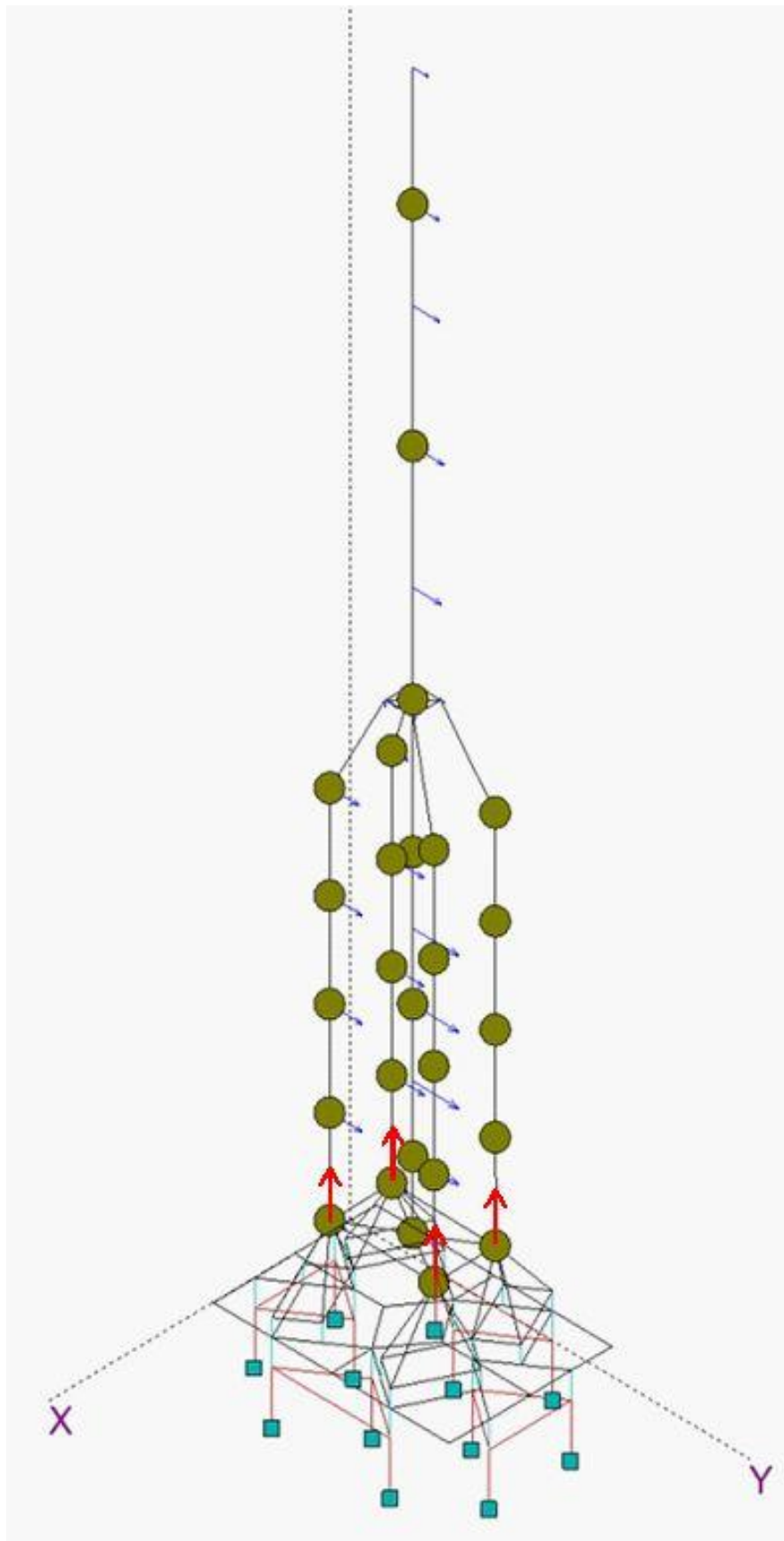
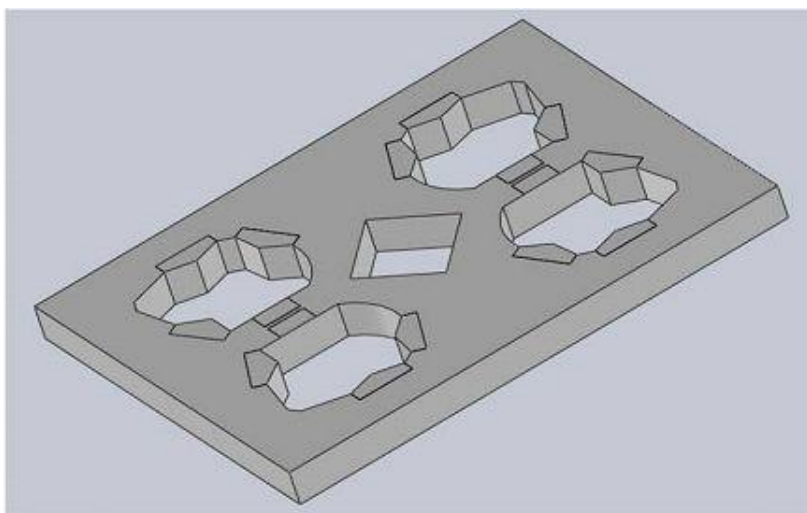
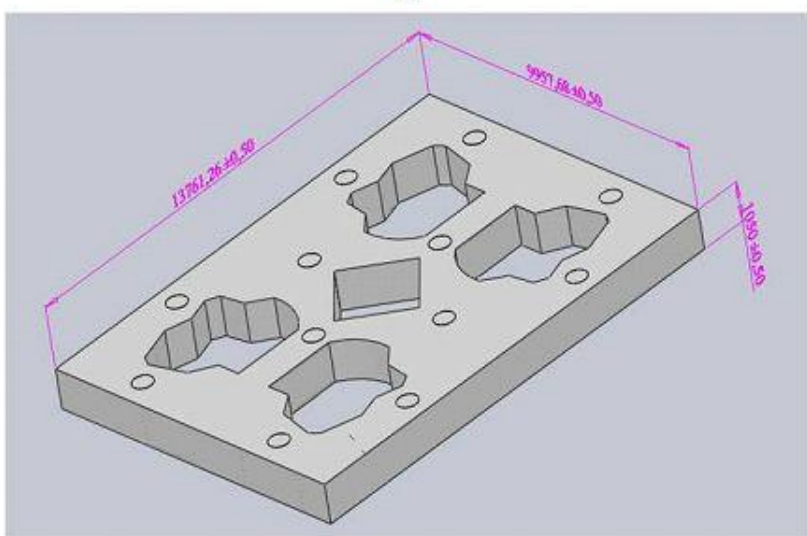


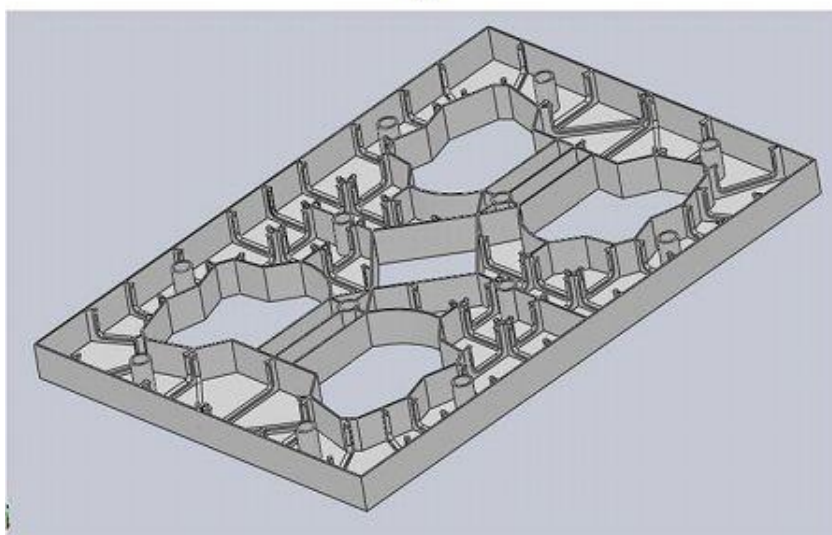
Рис.3. Конечноэлементная модель системы «РКН – ССБ - ПУ» для моделирования процесса нагружения при АВД на старте



а



б



в

Рис.4. Твёрдотельная модель ССБ (а – верх ССБ, б - низ ССБ, в - внутренняя часть ССБ)

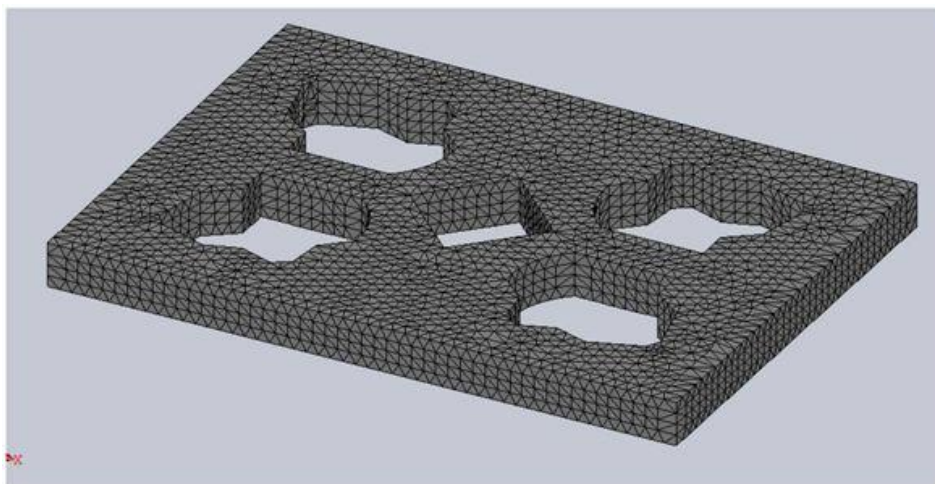
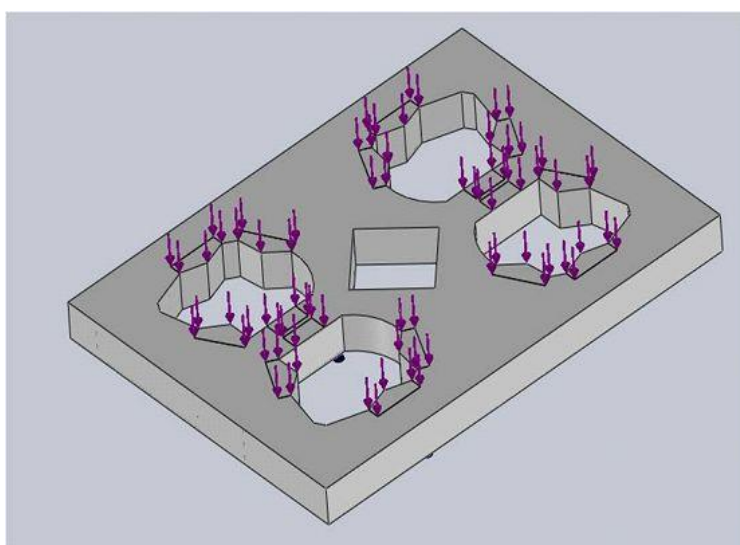
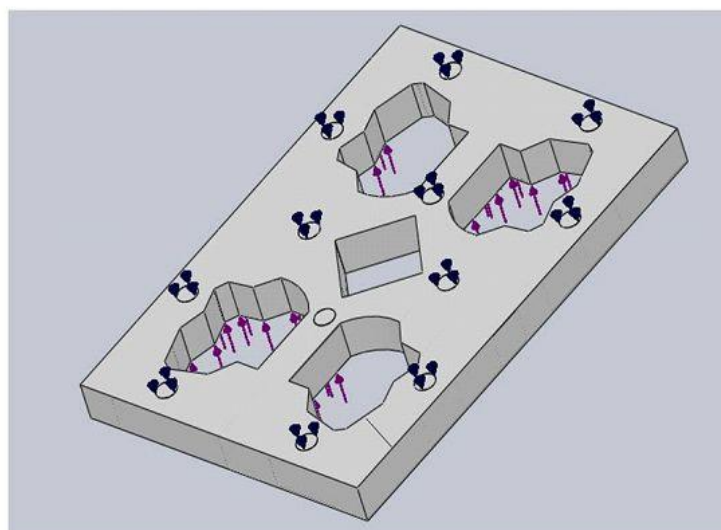


Рис. 5. Модель ССБ на основе пластинчатых конечных элементов



а



б

Рис. 6. Модель ССБ (а – схема нагружения, б – схема опирания)

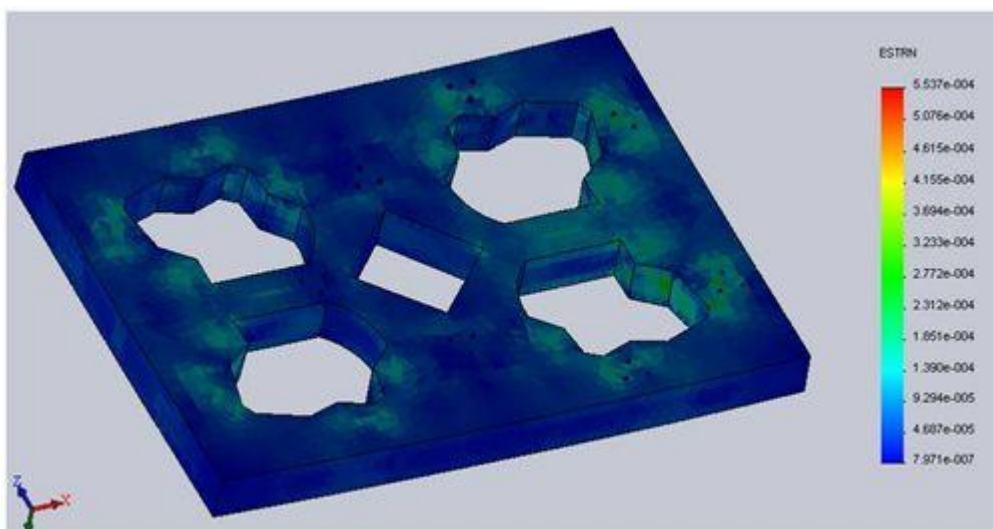


Рис. 7. Цветная карта распределения деформаций модели ССБ

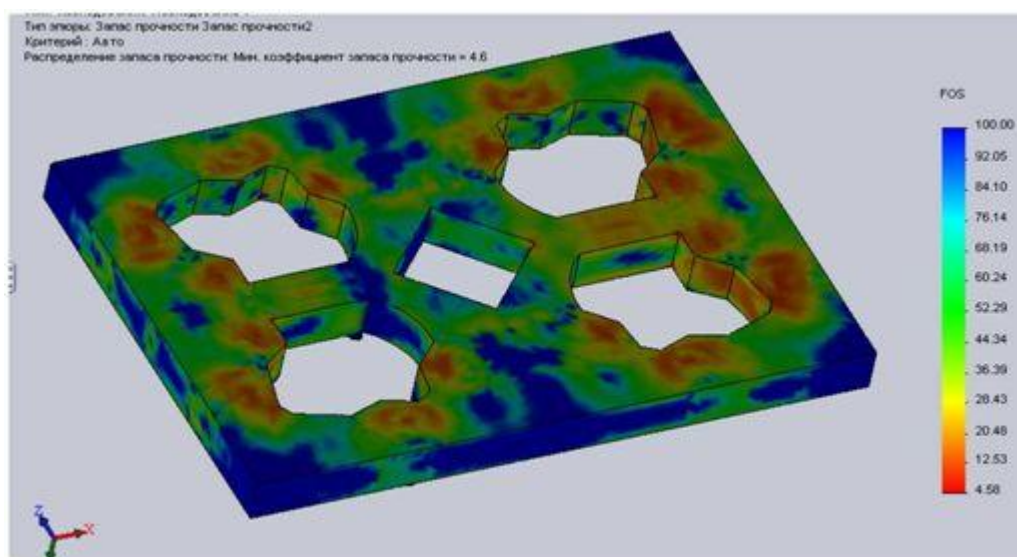


Рис. 8. Цветная карта распределения коэффициентов запаса по прочности модели ССБ

Список литературы

1. И. Афанасьев / "Союзы" новые и старые. Интервью с Д.А. Барановым, "Новости космонавтики", 2013г., №10, с. 54.
2. Батэ К., Вилсон Е., Численные методы анализа и метод конечных элементов. –М.: Изд-во «Озон», 2012. – 445 с.
3. В.А. Баженов, А.В. Перельмутер, О.В. Шишов, Строительная механика. Компьютерные технологии и моделирование. – М.: Изд-во СКАД СОФТ, Изд. Дом АСВ, 2014. - 911 с., илл.