

Исследование напряженно-деформированного состояния узлов несущих конструкций агрегатов стартовых комплексов при задании граничных условий в виде внутренних силовых факторов

04, апрель 2014

УДК: 629.198.22

авторы: Дружинина М. Ю., Ульяновков А. В., Бошняк В. А.

Россия, МГТУ им Баумана

margarita.druginina@gmail.com

Ded_avu@mail.ru

Vaboshrab@mail.ru

Как известно, напряженно-деформированное состояние (НДС) конструкции – это совокупность внутренних напряжений и деформаций, возникающих при действии на неё внешних нагрузок, температурных полей и других факторов. НДС определяется расчётными и экспериментальными методами в виде распределения напряжений, деформаций и перемещений в конструкции и является основанием для оценки статической прочности и ресурса конструкций на всех этапах жизненного цикла изделия.

При расчете НДС конструкции необходимо учитывать специфику изделия, связанную с областью его применения. В ракетно-космической технике можно выделить следующие основные особенности проектируемых конструкций:

1. Большие габариты агрегатов и их уникальность.
2. Агрегаты чаще всего представляют собой сварные ферменные конструкции.
3. Необходимость расчета, как на статическую, так и на динамическую нагрузку.

4. Агрегаты должны соответствовать принятым в отрасли стандартам по прочности и надежности.

Как было сказано выше, агрегаты стартовых комплексов, имеют большие габариты и сложную структуру конструкции. Эти обстоятельства создают трудности при их моделировании. А именно, затруднительно, а часто и невозможно, создать одну модель агрегата, позволяющую решить все вопросы прочности как самой конструкции в целом, так и отдельных ее узлов, и соединений с достаточной для практических целей точностью. Трудность создания такой модели состоит в ее большой размерности и, как следствие, в повышенных требованиях к вычислительным ресурсам. Поэтому представляется целесообразным проводить исследование НДС таких агрегатов в два этапа: расчет общей прочности конструкции в целом и расчет местной прочности ее отдельных узлов и соединений.

Расчет общей прочности предполагает моделирование конструкции, с использованием относительно простых конечных элементов (стержней, пластин). Таким образом, на этом этапе принимается относительно грубая конечноэлементная сетка модели, что сокращает время расчета, но при этом позволяет оценить НДС в целом, а также выявить узлы конструкции, требующие более тщательного исследования.

Для такого исследования потребуется более подробная модель, учитывающая все конструктивные особенности рассматриваемого узла. Анализ этой модели, являющейся частью модели агрегата в целом, можно проводить одним из трех способов [1]:

1. задавать в качестве граничных условий перемещения соответствующих узлов «грубой» модели;
2. задавать в качестве граничных условий внутренние силовые факторы, полученные в соответствующих узлах «грубой» модели;

3. «встраивать» подробную модель рассматриваемого узла в модель агрегата в целом.

В статье [2] рассмотрен первый указанный метод анализа местной прочности узла конструкции. В качестве примера была взята гипотетическая башня обслуживания (БО), модель которой приведенная на рис.1. БО нагружена распределенными весовыми нагрузками элементов конструкции и оборудования, размещенного на башне, а также сдвигающими силами на верхнем уровне конструкции (рис.2). В результате расчета модели БО в целом была получена картина распределения коэффициентов запаса в элементах конструкции (рис.3) и деформированное состояние (рис.4). Показана достоверность полученных результатов и необходимость конструктивного усиления рассматриваемого узла конструкции.

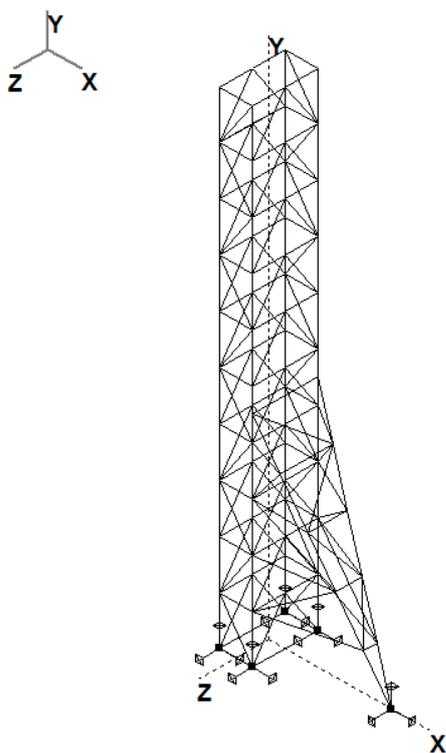


Рис.1. Расчетная модель БО

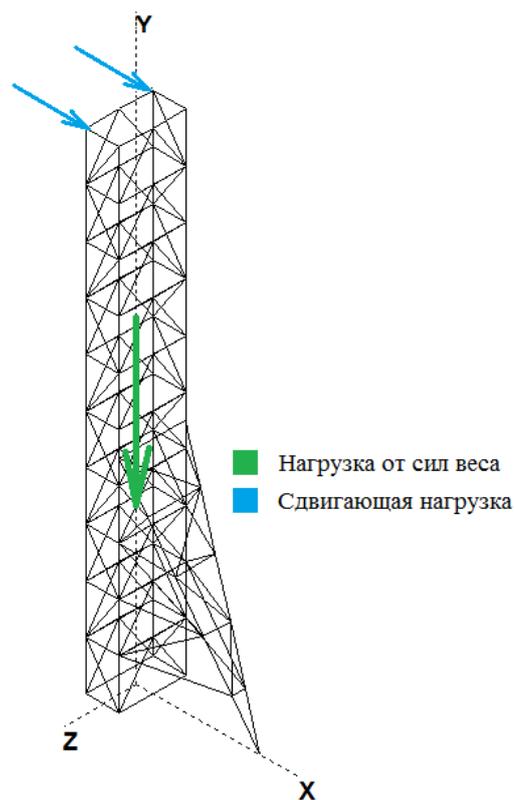


Рис.2. Схема нагружения

В представленной работе сделана попытка исследования местной прочности напряженного узла конструкции в случае задания в качестве граничных условий силовых факторов.

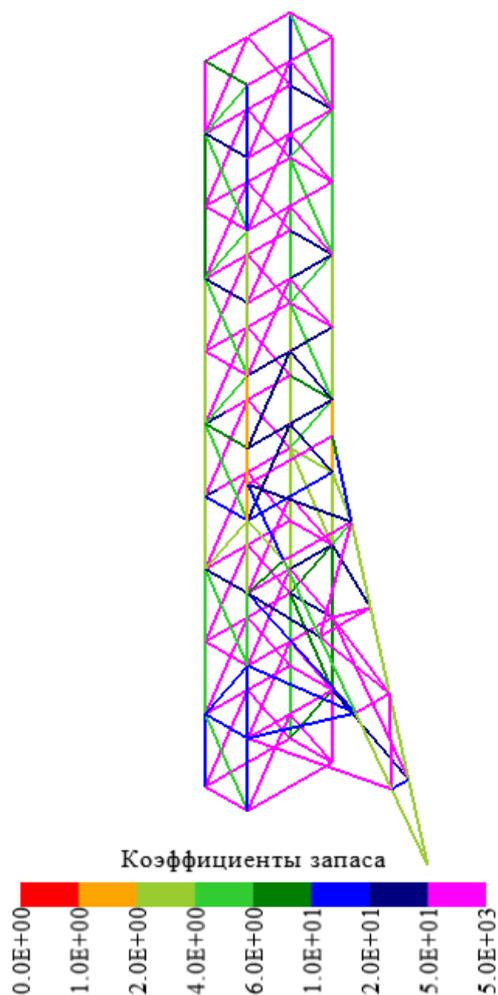


Рис.3. Кoeffициенты запаса

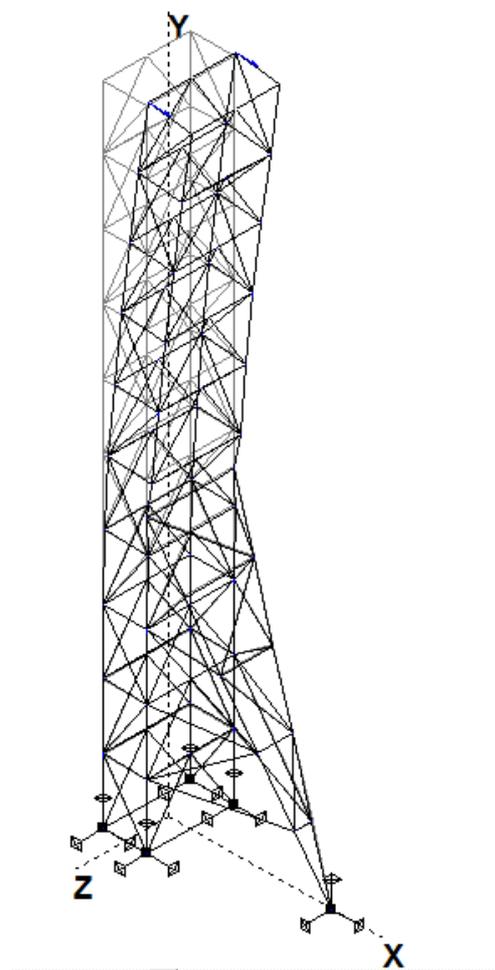


Рис.4. Деформированное состояние

На рис.5 приведена область с минимальным коэффициентом запаса по результатам расчета общей прочности БО. Для исследования местной прочности этой области конструкции была создана трехмерная модель (см. рис. 6 и 7) с сеткой конечных элементов с приоритетом гексагональных элементов путем автоматического разбиения (см. рис.8). В качестве граничных условий были выбраны внутренние силовые факторы в соответствующих узлах, полученные в расчете общей прочности конструкции БО. Значения этих силовых факторов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Значения внутренних силовых факторов

№ стержня	N_{os} , Н	Q_y , Н	Q_z , Н	M_k , Н·м	M_{yi} , Н·м	M_{yj} , Н·м	M_{zi} , Н·м	M_{zj} , Н·м
184	-163741	1341	-24	47	-19	-17	2586	-574
186	-5700	-159	137	-21	225	-19	-687	450
199	723	-1	-1	-2	-10	9	-5	3
220	-159328	-942	15	-25	-15	37	453	-1866

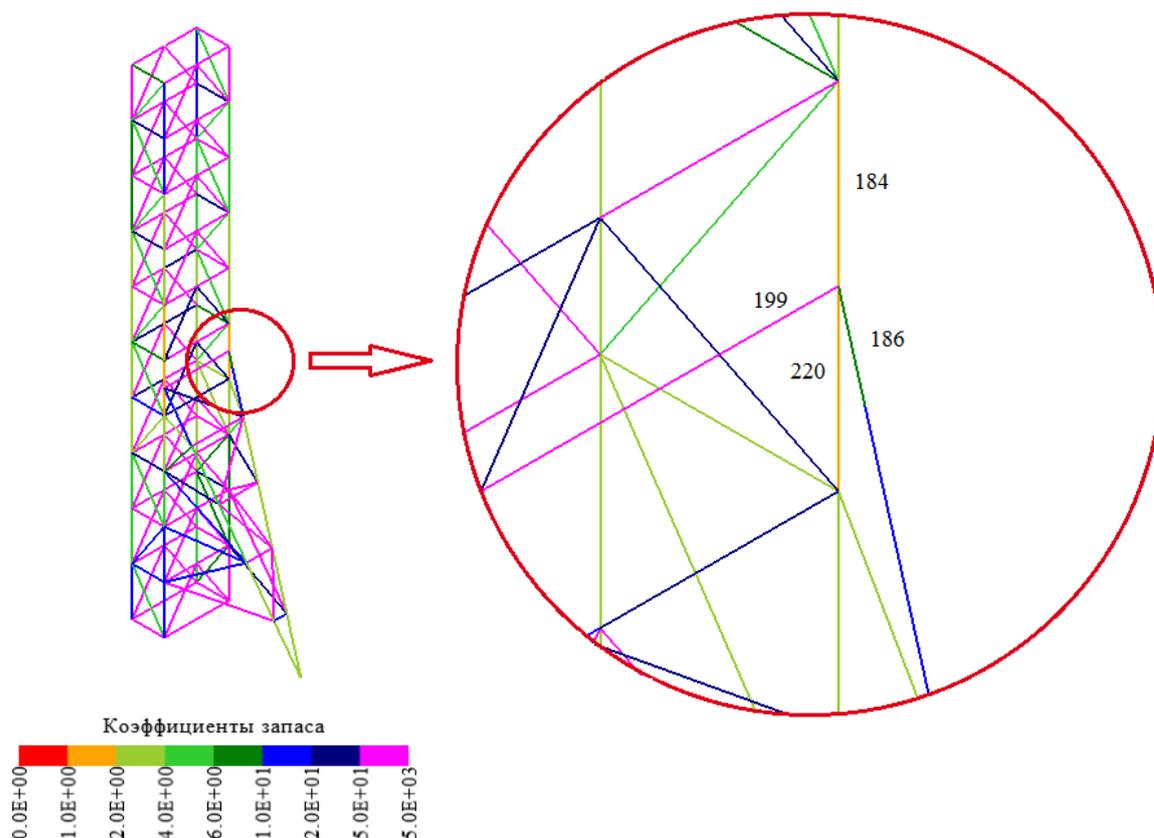


Рис.5. Область с минимальным коэффициентом запаса

Данные значения представлены для локальных систем координат конечных элементов. Для правильного задания их в качестве граничных условий необходимо учитывать особенности расположения локальных систем координат относительно глобальной системы и самого конечного элемента, принятых в применяемом ПК. В нашем случае, для выбранного узла конструкции, содержащего четыре стержневых КЭ, локальные системы координат в сечениях, по которым он сопрягается с конструкцией, будут

расположены, как показано на рис. 10. Таким образом, граничные условия для расчета местной прочности рассматриваемого узла, будут иметь вид, приведенный на рис. 11.

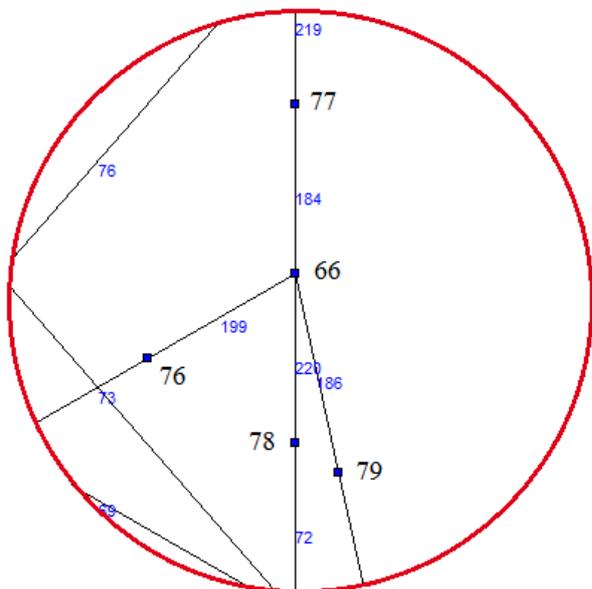


Рис.6. Область узла в модели общей прочности

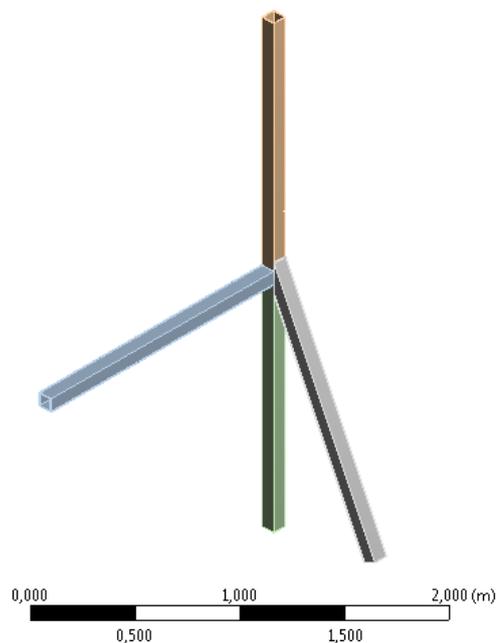


Рис.7. Модель для расчета местной прочности

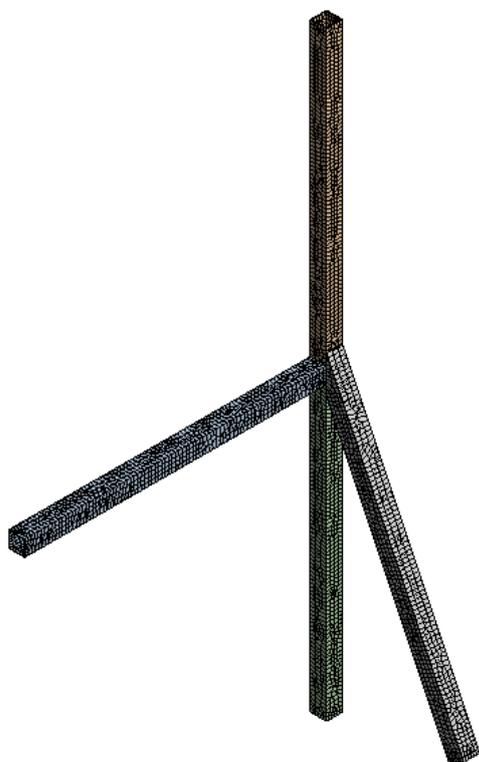


Рис.8. Конечноэлементная сетка узла

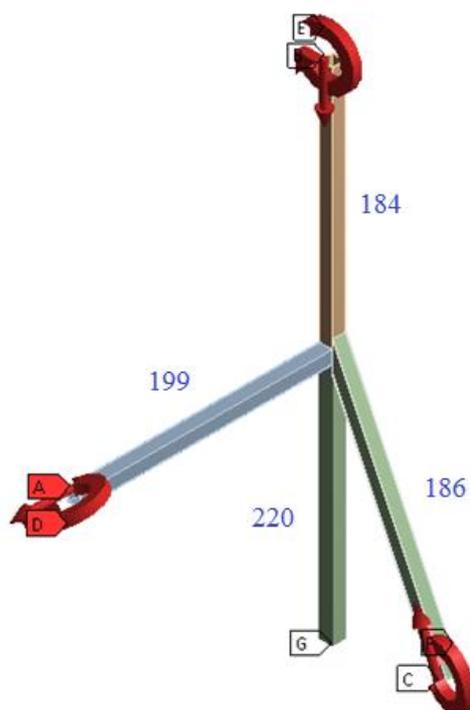


Рис.9. Граничные условия

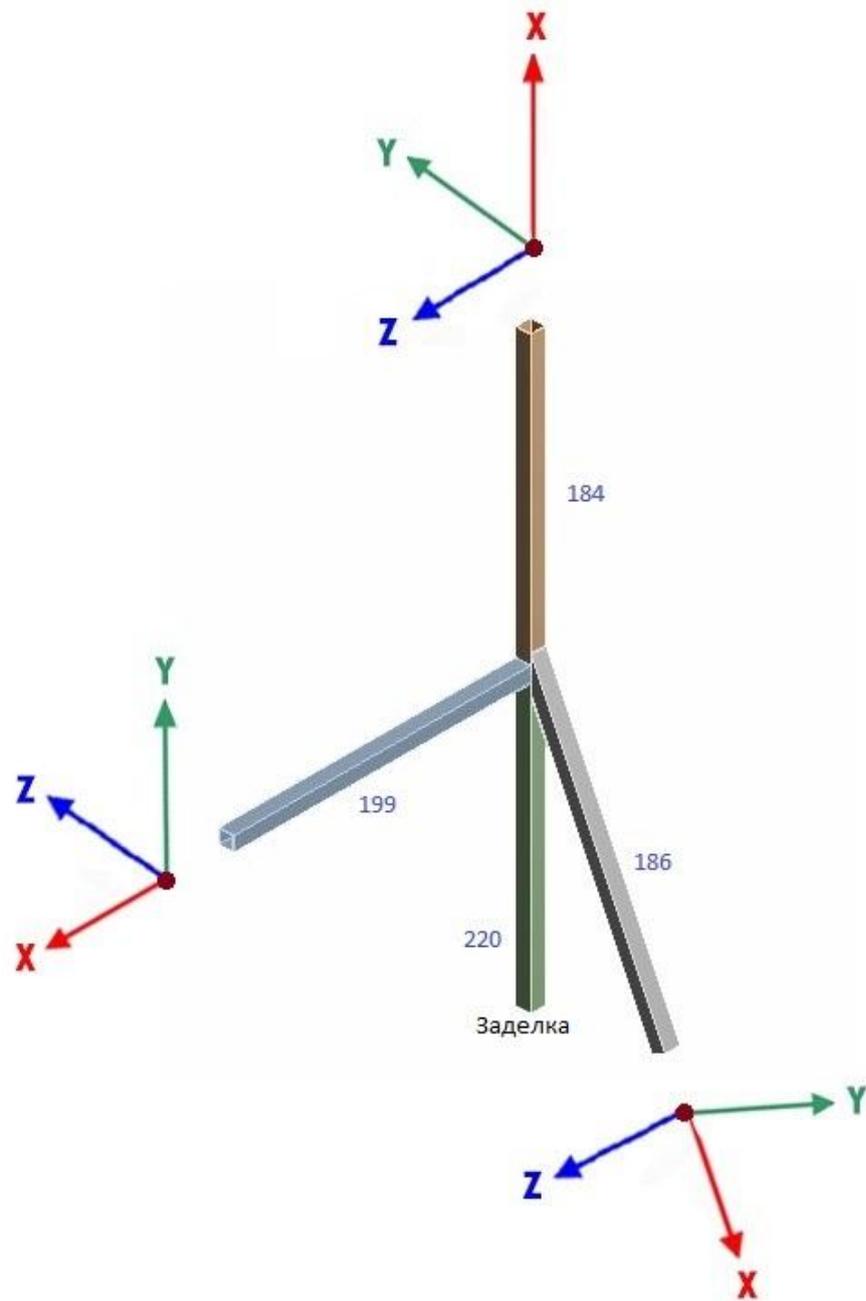


Рис. 10. Локальные СК в выбранном узле модели

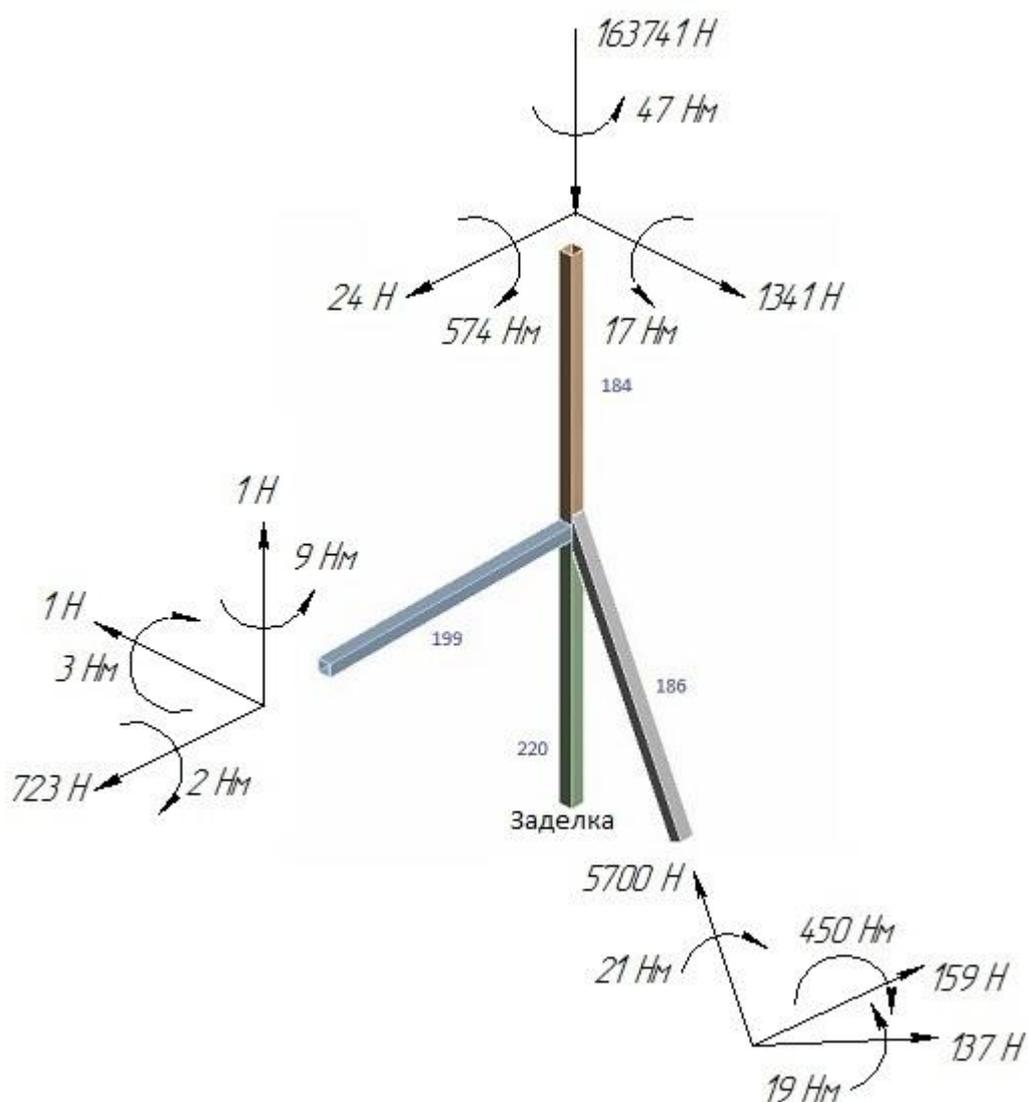


Рис. 11. Граничные условия для расчета местной прочности

В результате статического расчета модели были получены цветовая карта коэффициентов запаса в области исследуемого узла конструкции, приведенная на рис. 12. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод об их идентичности с результатами, представленными в статье [2], где в качестве граничных условий использовались узловые перемещения. О достоверности результатов можно судить и по хорошему совпадению результатов расчета основных внутренних силовых факторов (ВСФ) в заделке модели местной прочности и в соответствующем узле модели общей прочности (см. табл. 2).

Таблица 2. Сравнение результатов расчета ВСФ в узлах моделей общей и местной прочности

Составляющая	Модель общей прочности	Модель местной прочности
N_{os}	-159314	-158500
Q_y	-943	-949
M_z	-2321	-2146

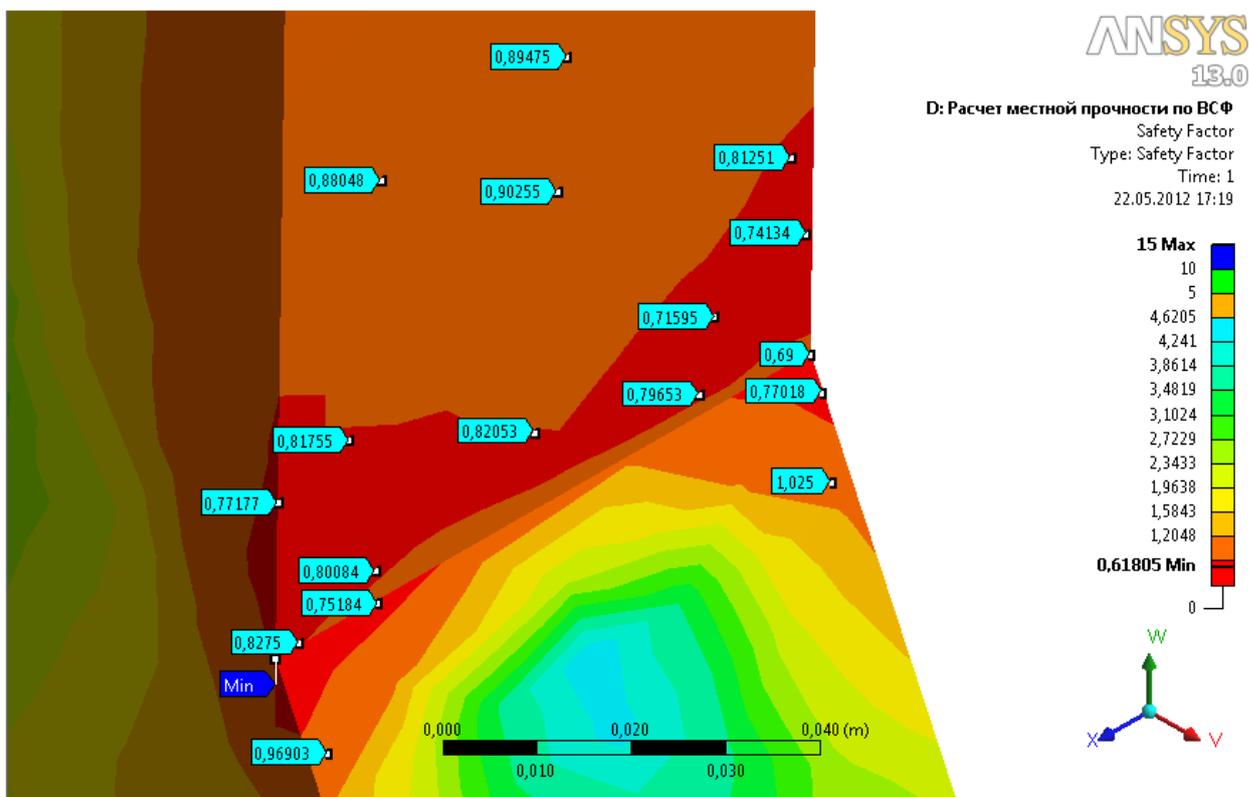


Рис.12. Коэффициенты запаса в районе опасного участка модели местной прочности

Выводы

Расчет прочности конструкции БО проводился в два этапа. На первом этапе был произведен расчет общей прочности. Для этого была создана стержневая модель в ПК "SADAS". В результате расчета был выявлен напряженный узел конструкции и был сделан вывод о необходимости проведения более детального исследования прочности этого узла.

На втором этапе был проведен расчет местной прочности указанного узла. Для этого в ПК «ANSYS 13.0» была создана трехмерная твердотельная модель. В качестве условий нагружения использовались внутренние силовые

факторы, значения которых взяты из расчета общей прочности. Расчет местной прочности показал, что в узле имеются области с коэффициентом запаса ниже допустимого значения и требуется проведение конструктивных изменений.

Достоверность полученных результатов подтверждается хорошим совпадением значений внутренних силовых факторов в заделке модели местной прочности и в соответствующем узле модели общей прочности БО. Полученные в данной работе значения коэффициентов запаса в исследуемой области конструкции хорошо согласуются с аналогичными данными, полученными в расчете с использованием в качестве граничных условий узловых перемещений.

Список литературы

1. «МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ОТВЕТСТВЕННЫХ УЗЛОВ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ АГРЕГАТОВ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ» Статья / М.Ю.Дружинина – Москва: Электронный журнал «Молодежный научно-технический вестник», 2012.
2. «ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ АГРЕГАТОВ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ЗАДАНИИ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ В ВИДЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ» Статья / М.Ю.Дружинина, А.В.Ульяненко – Москва: Электронный журнал «Инженерный вестник», 2012 г.
3. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Учебное пособие / В.А. Бруяка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адвянов. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2010. – 271 с.: ил.
4. ANSYS для инженеров: Справочное пособие / Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 512 с.