

Анализ местной прочности узлов несущих конструкций агрегатов стартовых комплексов

09, сентябрь 2014

Дружинина М. Ю., Ульяненок А. В., Бошняк В. А.

УДК: 629.198.22

Россия, МГТУ им. Баумана

sm8@sm8.bmstu.ru

Как известно, агрегаты стартовых комплексов, имеют большие габариты и уникальную конструкцию. Эти обстоятельства создают трудности при анализе их напряженно-деформированного состояния (НДС). 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 (рис.1).

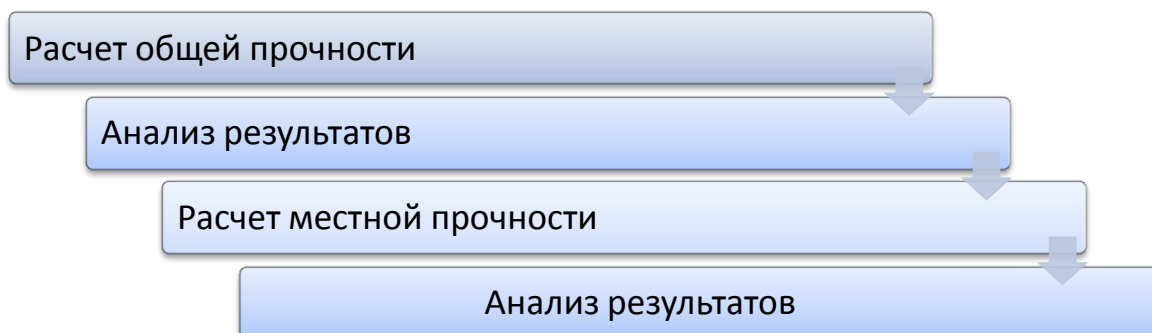


Рис.1. Этапы исследования НДС сложных конструкций

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] (рис.2):

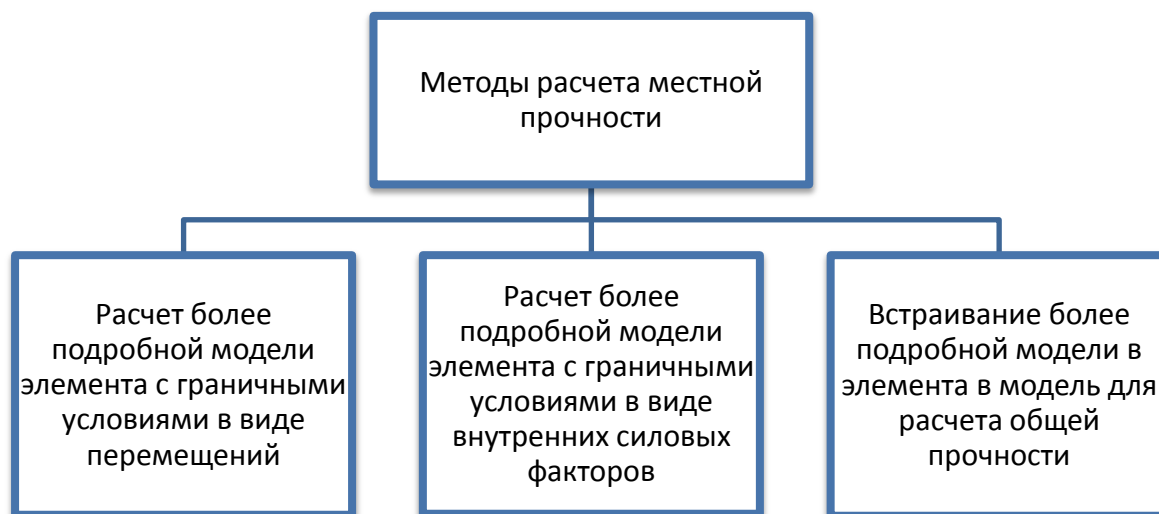


Рис.2. Методы расчета местной прочности

Каждый из указанных методов имеет свои особенности, достоинства и недостатки. В данной статье авторы ставили целью обсудить опыт их применения и высказать свои рекомендации по их использованию.

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.3. Модель БО представляет собой ферменную конструкцию, состоящую из квадратных труб по ГОСТ 8639-82 «Трубы стальные квадратные» (Рис.4). А именно, ветви БО имеют сечение 80х4 мм, а стойки и раскосы – 50х3,5 мм. Условия нагружения представлены на рис.5, где две сдвигающие равны по 17500 Н каждая и приложены к верхним узлам модели.

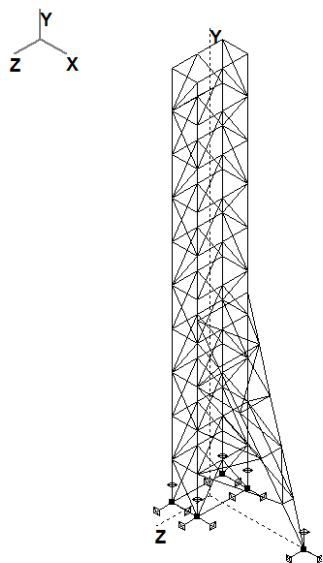


Рис.3. Модель БО

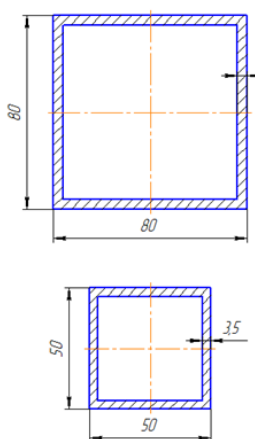


Рис.4. Сечения КЭ

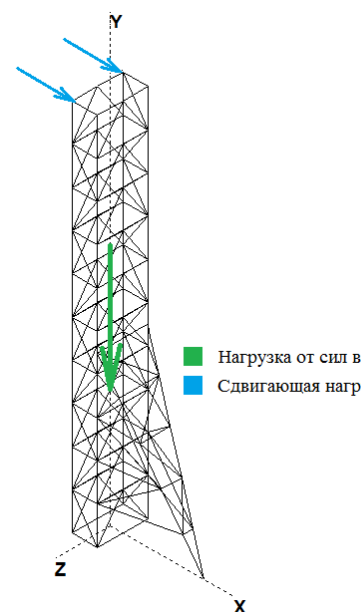


Рис.5. Условия нагружения

Расчет общей прочности был произведен в программном комплексе (ПК) SADAS. В результате расчета было получено распределение коэффициентов запаса в модели БО, где минимальное значение коэффициента запаса равно 1,202 (Рис.6), что является критическим и приводит к необходимости проверки местной прочности этого узла модели.

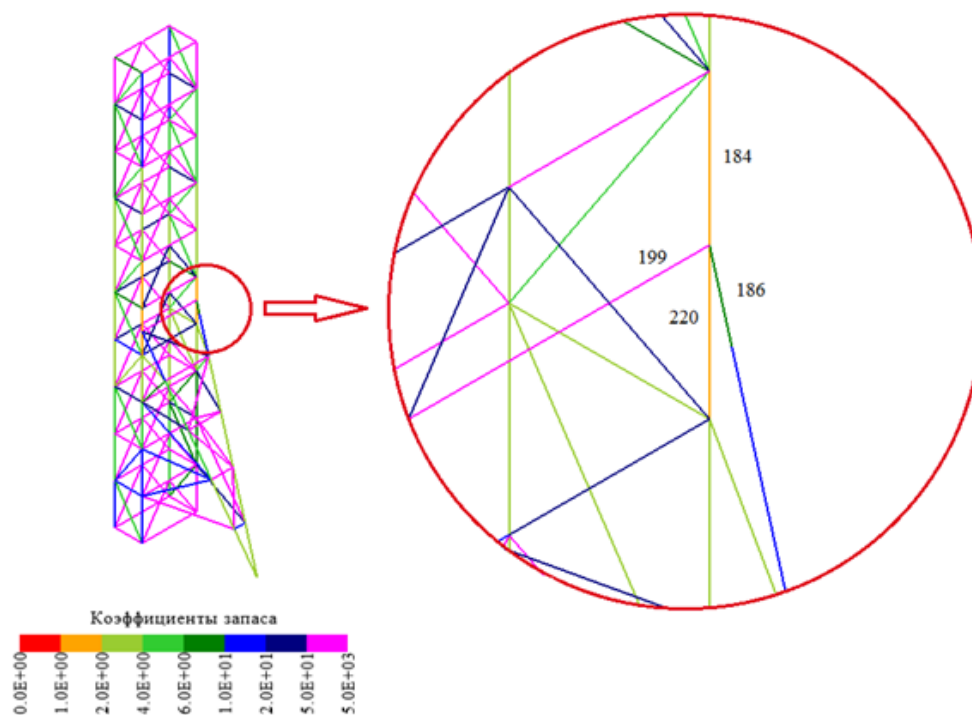


Рис.6 Распределение коэффициентов запаса и область с минимальным значением коэффициента запаса в расчете общей прочности

Далее исследовалась «подробная» модель узла (Рис.7) при задании граничных условий для нее в виде узловых перемещений (Рис.8). Значения узловых перемещений в граничных условиях «подробной» модели исследуемого узла конструкции взяты из перемещений соответствующих узлов расчетной схемы общей прочности. Получены результаты расчета в виде значений коэффициентов запаса в исследуемой области, приведенные на рис.9. Анализ полученных результатов показал, что величина минимального коэффициента запаса в модели составляет 0,52. Кроме этого, на рис.9 видно, что область модели, где коэффициент запаса ниже допустимого значения 1,2 весьма велика и, следовательно, конструкция рассматриваемого узла нуждается в усилении. Достоверность полученных результатов подтверждена совпадением перемещений характерных узлов конструкции БО.



Рис.7. Конечноэлементная сетка узла

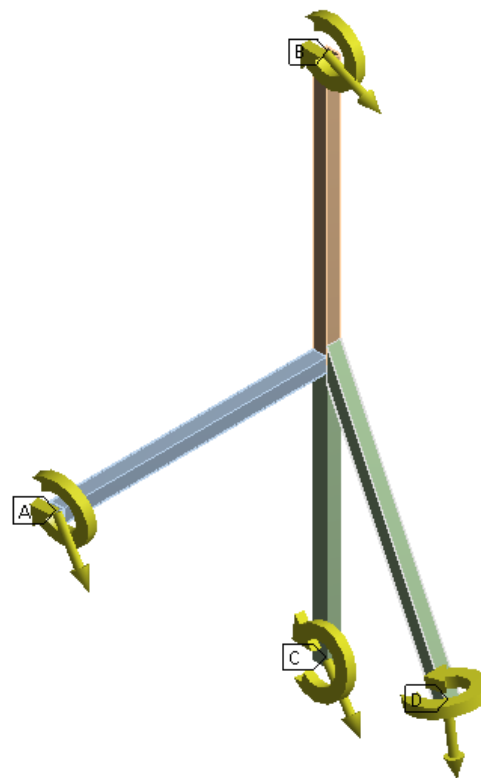


Рис.8 Граничные условия

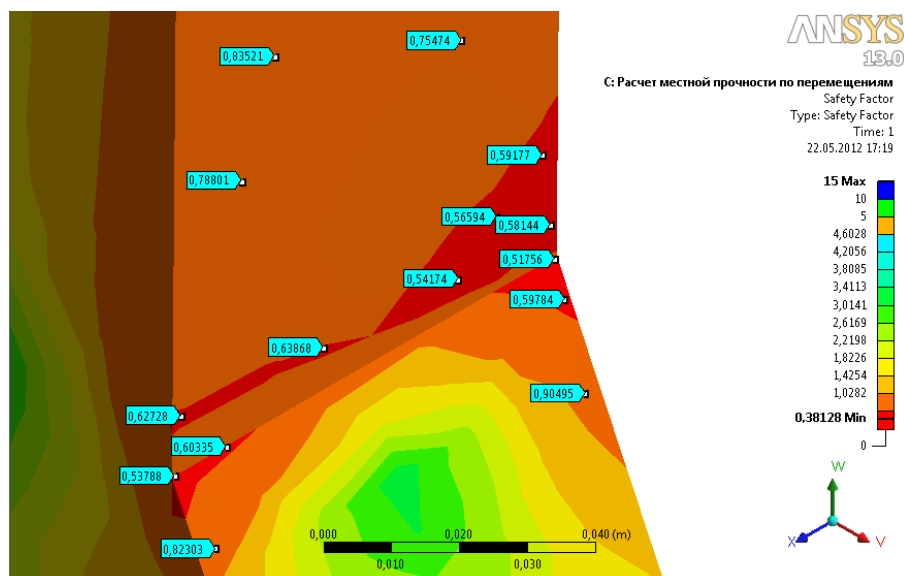


Рис.9 Распределение коэффициентов запаса в зоне опасного участка исследуемого узла, найденное при задании граничных условий в виде узловых перемещений

Использование второго метода исследования местной прочности напряженного узла агрегата подразумевает задание в качестве граничных условий внутренних силовых факторов (ВСФ), полученных в результате расчета агрегата на первом этапе. Пример применения второго метода подробно рассмотрен в статье [3]. При расчете путем задания граничных условий в виде ВСФ наибольшая сложность заключается в необходимости учета

несовпадения осей координат в глобальной системе координат (СК) модели местной прочности и локальных СК стержней модели общей прочности, а также необходимость ввода заделки в случае модели местной прочности (Рис.13,14). В результате этого расчета также были получены поля коэффициентов запаса в рассматриваемой области (Рис.15). Минимальный коэффициент запаса составил 0,54, что согласуется с результатами, полученными первым методом.

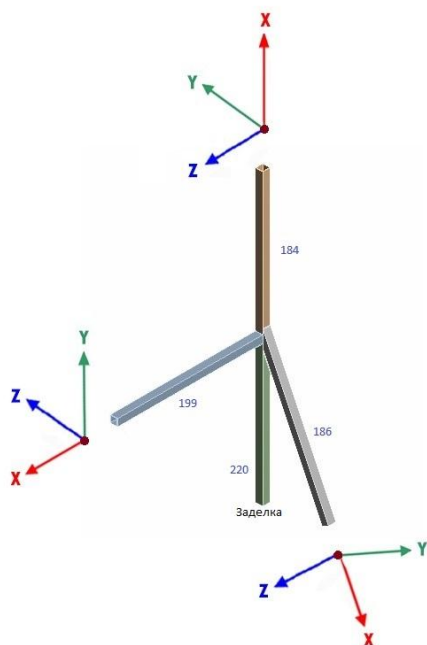


Рис.13. Локальные СК модели местной прочности

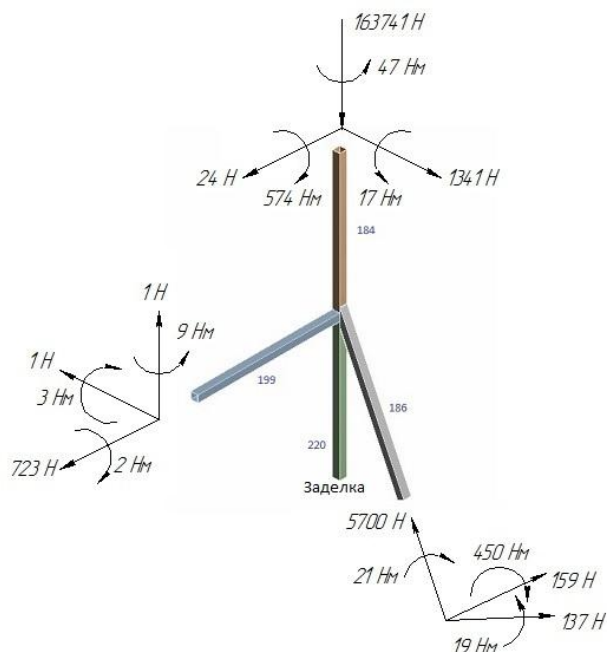


Рис.14. Задание граничных условий в виде ВСФ

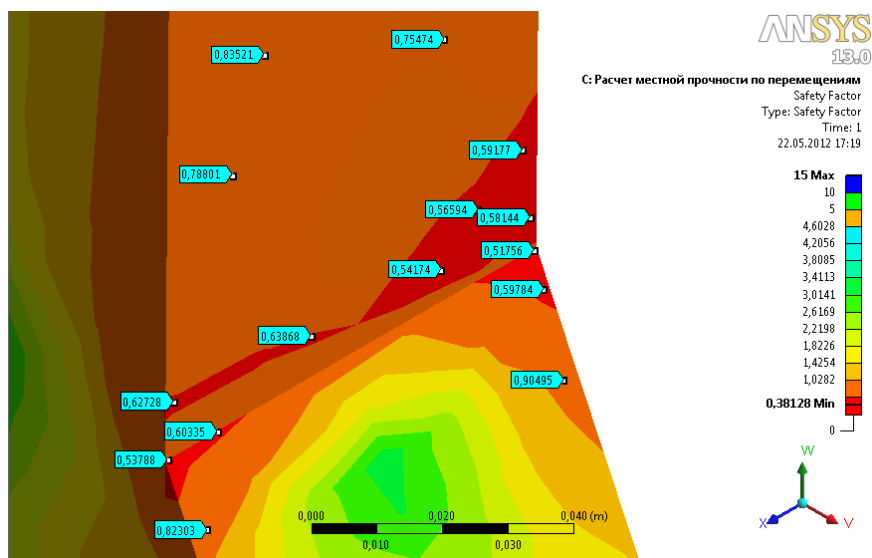


Рис.15. Распределение коэффициентов запаса в зоне опасного участка исследуемого узла, найденное при расчете методом ВСФ

Достоверность результатов, полученных вторым методом подтверждается совпадением значений внутренних силовых факторов в заделке и соответствующем узле модели общей прочности БО.

Первые два метода исследования местной прочности напряженных узлов конструкции предполагают рассмотрение нагружения его «подробной» модели путем задания соответствующих граничных условий, что создает известные трудности. Третий метод лишен этого недостатка, т.к. модель этого узла «встраивается» непосредственно в модель всего агрегата в целом. Однако следует отметить, что метод встраивания модели узла с мелкой пластинчатой конечноэлементной сеткой в модель со стержневой сеткой требует точности перехода при стыковки узлов «простой» и «подробной» моделей. Способы решения этой проблемы и все другие нюансы использования этого метода подробно описаны в статье [4]. На рис.16, показана расчетная схема рассматриваемой БО с встроенной «подробной» моделью напряженного узла. В качестве конечных элементов в «подробной» модели узла (рис.17) использовались треугольные пластины. В результате расчета такой полной модели БО были получены значения коэффициентов запаса в исследуемой области конструкции (рис.18). Минимальный коэффициент запаса в модели составляет величину 0,89, что так же, как в первых двух случаях, подтверждает вывод о необходимости конструктивной доработке исследуемого узла агрегата.

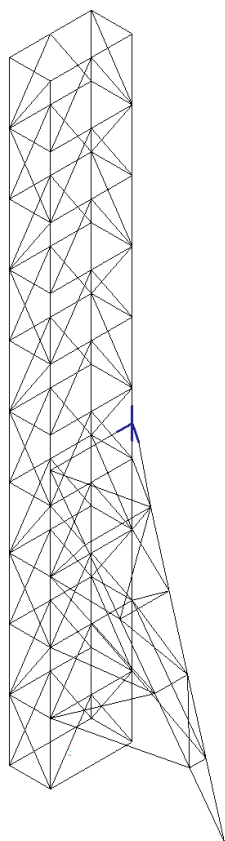


Рис.16. Расчетная схема БО со встроенной моделью узла

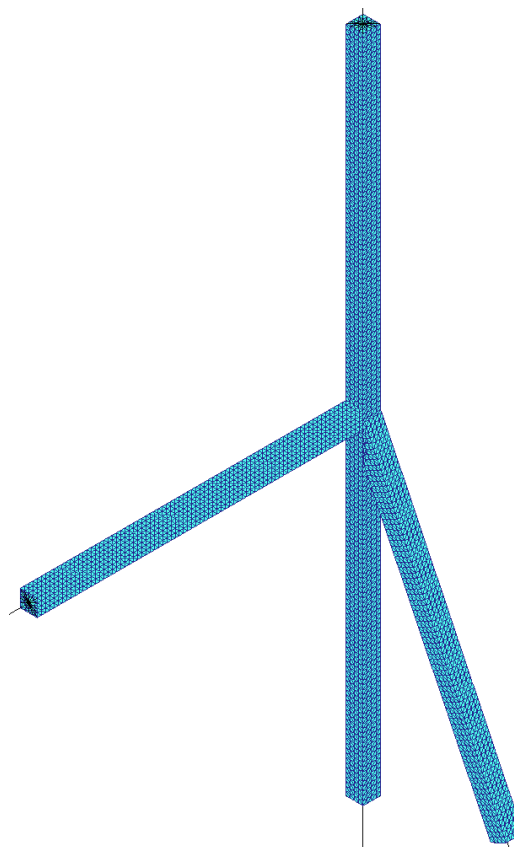


Рис.17. Модель узла

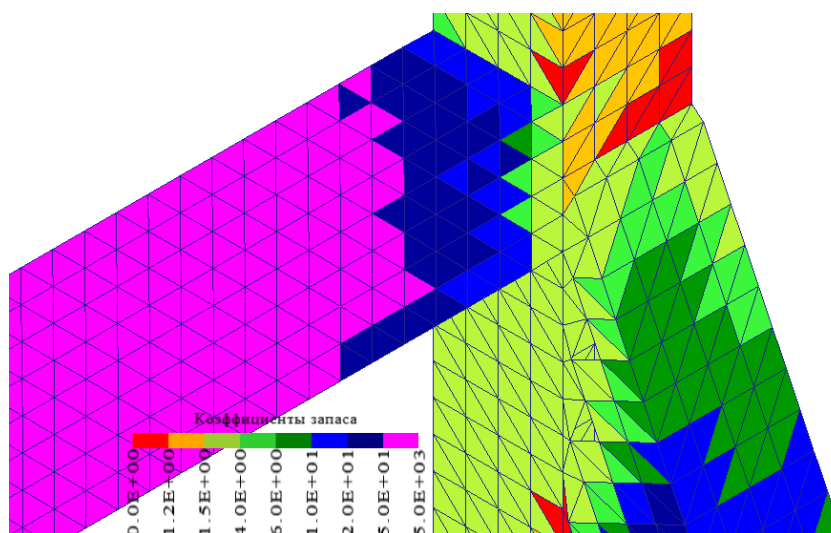


Рис.18. Распределение коэффициентов запаса в зоне опасного участка исследуемого узла, найденное при расчете методом встраивания

Сравнение результатов, полученных указанными выше тремя методами исследования местной прочности напряженного узла конструкции БО, позволяет сделать вывод, что все они дают возможность правильно оценить напряженное состояние интересующего узла. Некоторое различие в результатах, по-видимому, можно объяснить различием в используемых конечноэлементных моделях узла. А именно, в первых двух случаях использовались твердотельные конечные элементы, а в третьем – пластинчатые. С точки зрения удобства применения, по мнению авторов статьи, третий метод более предпочтителен.

На практике данная методика была использована при статическом анализе конструкции трансбордера для космодрома «Восточный». Последовательный расчет общей и местной прочности позволил упростить как процесс проверки соответствия конструкции требованиям, заявленным в техническом задании, так и дальнейший анализ с учетом предложенных изменений.

Список литературы

1. Дружинина М. Ю. Моделирование местной прочности ответственных узлов несущих конструкций агрегатов стартовых комплексов // Молодежный научно-технический вестник. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. №09.
2. Дружинина М. Ю., Ульяненок А. В. Исследование напряженно-деформированного состояния узлов несущих конструкций агрегатов стартовых комплексов при задании граничных условий в виде перемещений // Инженерный вестник. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. №02.
3. Дружинина М. Ю., Ульяненок А. В., Бошняк В. А. Исследование напряженно-деформированного состояния узлов несущих конструкций агрегатов стартовых комплексов при задании граничных условий в виде внутренних силовых факторов // Инженерный вестник. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. №04.

4. Дружинина М. Ю., Ульяников А. В., Бошняк В. А. Исследование напряженно-деформированного состояния узлов несущих конструкций агрегатов стартовых комплексов путем встраивания подробной модели в модель, созданную для расчета общей прочности // Инженерный вестник. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. №09.