

ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. В.И.ЛЕНИНА

Кафедра теоретической и прикладной
механики

Прочностной расчет узла парашютной системы



Выполнила: студентка гр. 4-33 Губина А.А.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Ноздрин М.А.

Цель работы. Актуальность

Расчет на прочность узла парашютной системы «Мега – 90».



Рис. 1. Парашютная система «Мега-90»

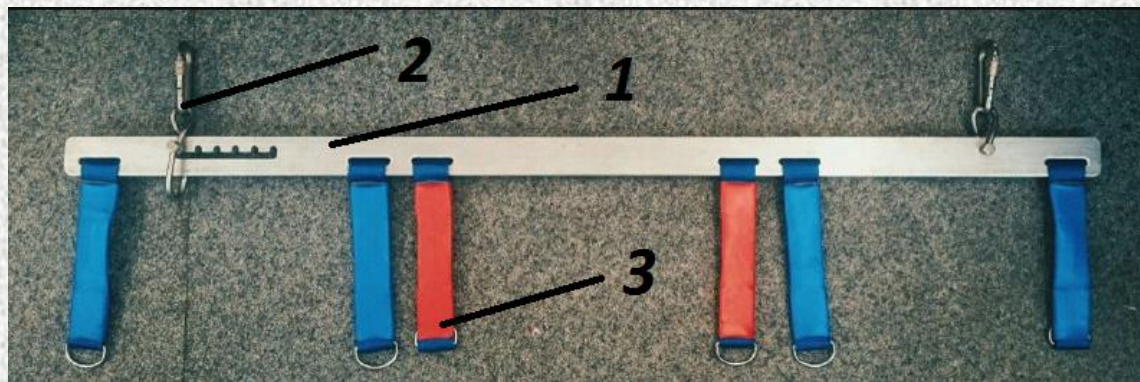


Рис. 2. Компоненты узла : 1 - трехместная траверса, 2 - карабин, 3 - ленточный узел крепления

Задачи

Узел парашютной системы должен **обеспечивать полет трех человек с общим весом 250 кг с трехкратным запасом прочности.**

Основными задачами являются:

1) расчет трехместной траверсы на прочность:

- *аналитический расчет* методами сопротивления материалов для двух расчетных схем;
- *численный расчет* с использованием программ проектирования 3D объектов и конечно-элементного анализа для двух расчетных схем;

2) контактная задача: исследование области контакта трехместной траверсы и упрощенной модели карабина для оптимальной расчетной схемы;

3) анализ напряженно-деформированного состояния конструкции, рекомендации по возможности ее упрочнения.

Постановка плоской задачи теории упругости для расчета узла парашютной системы

Исходные данные задачи:

- геометрия области (рис. 3);

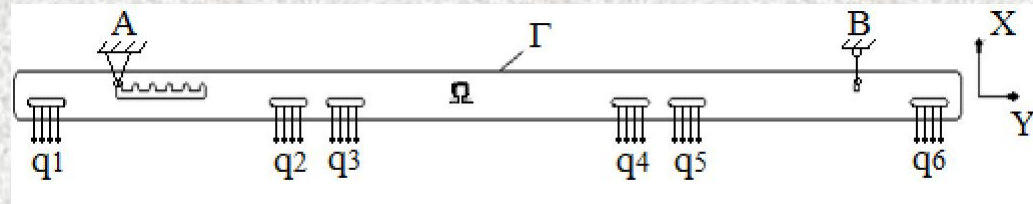


Рис. 3. Геометрия области

- толщина пластины: $h = 15.5$ мм;
- материал: алюминиевый сплав В95Т1;
- заданные силы: поверхностные – со стороны ленточных узлов на точки границы Γ ;
- кинематические граничные условия: точки отверстий под карабины (А, В) не перемещаются по оси X.

Условия шарнирного опирания:

$$w|_x = 0; \quad \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \Big|_x = 0.$$

Основные уравнения:

1) Равновесия

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \rho X = 0, \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \rho Y = 0 \end{cases}$$

2) Совместности деформаций

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = 2 \frac{\partial^2 \varepsilon_{xy}}{\partial x \partial y};$$

3) Физические уравнения

$$\begin{cases} \sigma_x = \lambda \theta + 2\mu \varepsilon_x, \\ \sigma_y = \lambda \theta + 2\mu \varepsilon_y, \\ \tau_{xy} = 2\mu \varepsilon_{xy} \end{cases}$$

Расчет трехместной траверсы на прочность в статическом состоянии

Составляются чертежи, содержащие информацию о форме, размерах и материалах конструкции (рис. 4).

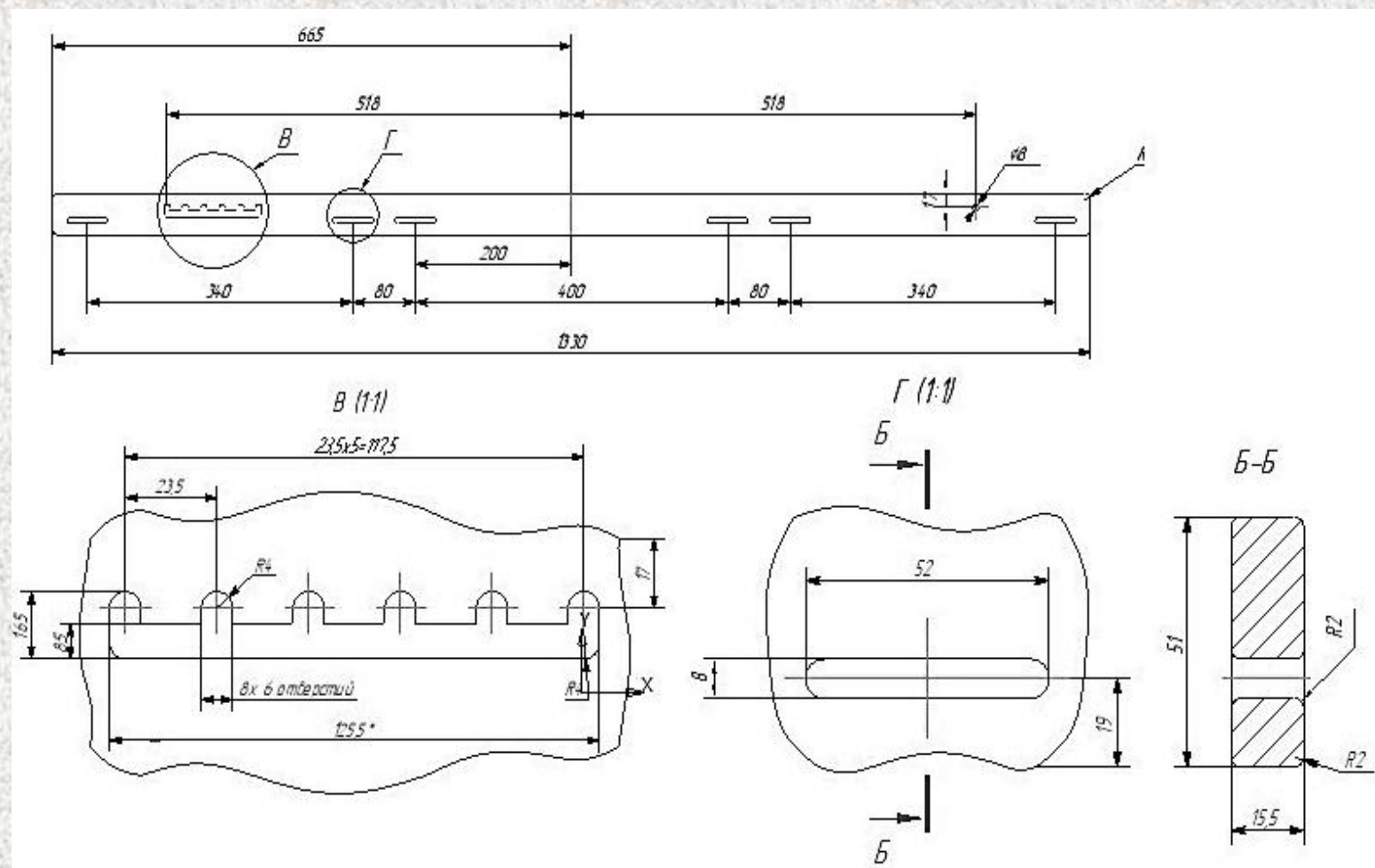
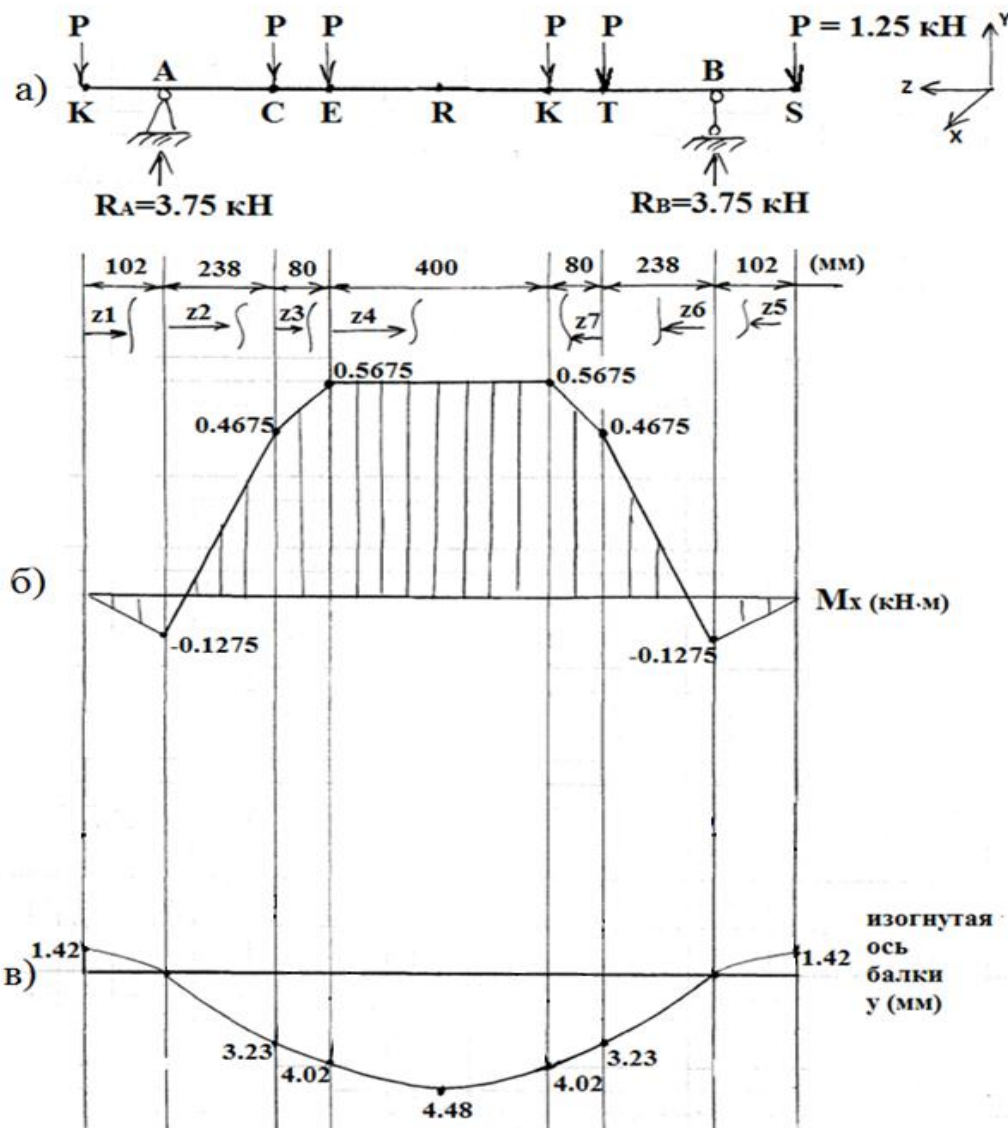


Рис. 4. Чертеж траверсы

Расчет для схемы с сосредоточенной нагрузкой



Величина нагрузок на траверсу со стороны ленточных узлов:

$250 \text{ кг} \cdot 3 = 750 \text{ (кг)}$ – нагрузка с учетом трехкратного запаса прочности.

$750 \text{ кг} \div 6 = 125 \text{ (кг)}$ – нагрузка на каждое из шести отверстий для ленточных узлов.

Проверка на прочность:

Условие прочности: $\sigma_{\text{MAX}} = \frac{M_{\text{MAX}}}{W_X} \leq [\sigma_{\text{изг}}]$

$[\sigma_{\text{изг}}] = 200 \text{ (МПа)}$ - допускаемое напряжение при изгибе

$M_{\text{MAX}} = 0.5675 \text{ (кНм)}$ – максимальный изгибающий момент

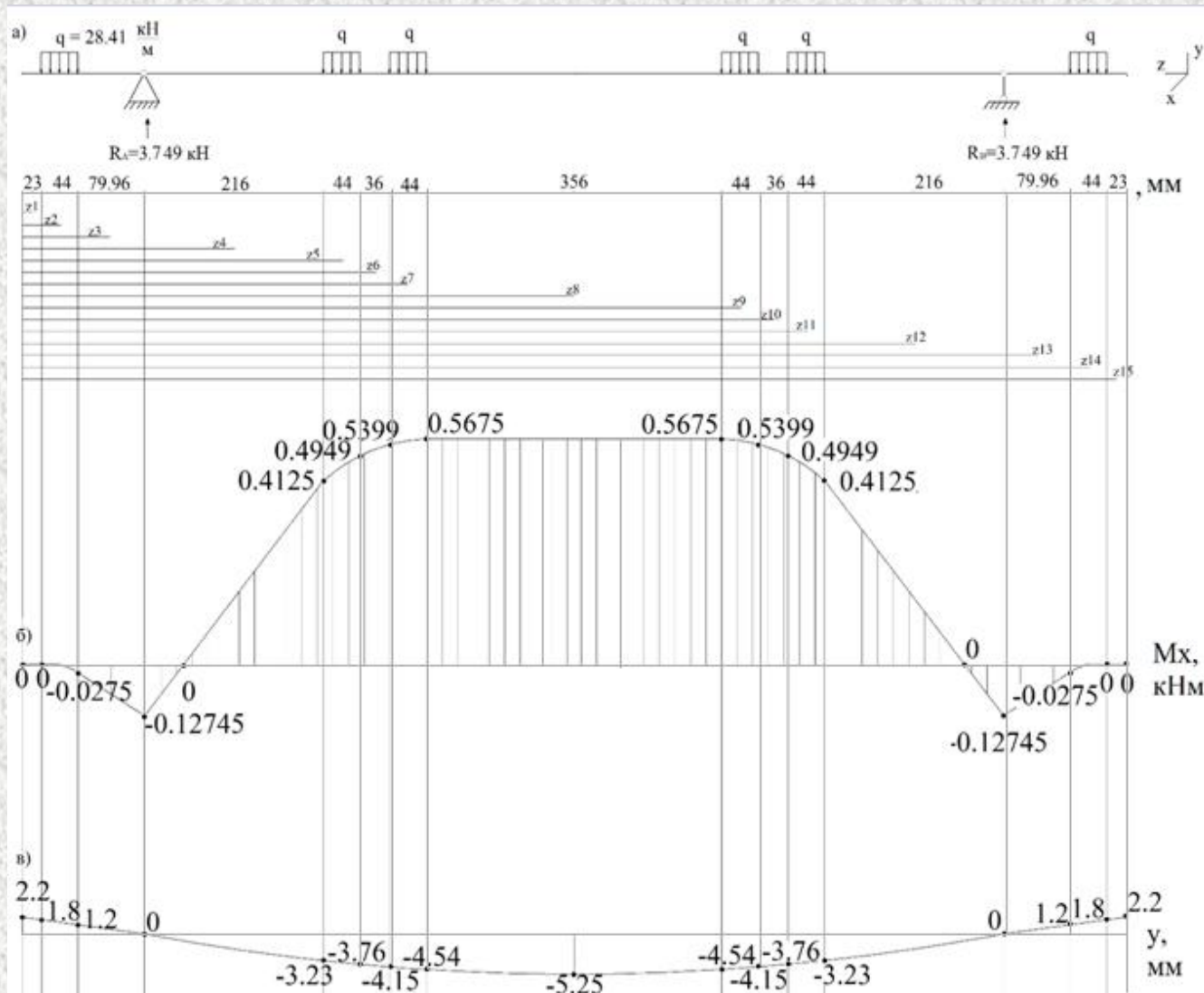
$W_X = \frac{h^2 \cdot b}{6} = \frac{5.1^2 \cdot 1.55}{6} = 6.719 \text{ (см}^3\text{)}$ – момент сопротивления

Тогда: $\sigma_{\text{MAX}} = \frac{M_{\text{MAX}}}{W_X} = \frac{0.5675 \cdot 10^3}{6.719 \cdot 10^{-6}} = 84.46 \text{ (МПа)}$

$84.46 \text{ МПа} \leq 200 \text{ МПа}$ – условие прочности выполняется

Рис. 5. а) расчетная схема с сосредоточенной нагрузкой,
б) эпюра изгибающих моментов,
в) изогнутая ось балки

Расчет для схемы с распределенной нагрузкой



Распределенная нагрузка для данной расчетной схемы вычисляется как:

$$q = \frac{P}{l} = \frac{1.25}{0.044} = 28.41 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$$

где P – равнодействующая сосредоточенная сила (кН),
 l – длина нагруженного участка (м).

Рис. 6. а) расчетная схема с распределенной нагрузкой,
 б) эпюра изгибающих моментов,
 в) изогнутая ось балки

Численный расчет для схемы с сосредоточенной нагрузкой

Создается материал – алюминиевый сплав B95T1 с характеристиками:

- плотность (Density) $\rho = 2850 \text{ кг/м}^3$;
- модуль Юнга (Young's Modulus) $E = 74000 \text{ МПа}$;
- коэффициент Пуассона $\nu = 0.33$.

Генерируется конечно-элементная сетка (рис. 7). Тип элементов – гексаэдры. Количество элементов 150245. Количество узлов 623949.



Рис. 7. Конечно-элементная сетка

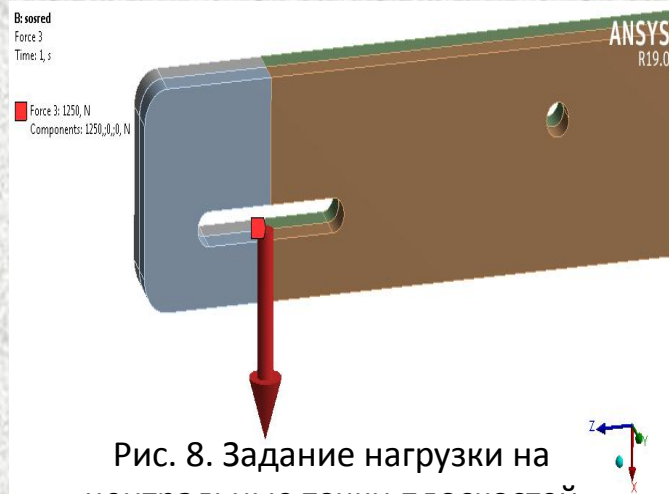
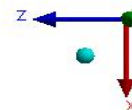


Рис. 8. Задание нагрузки на центральные точки плоскостей отверстий

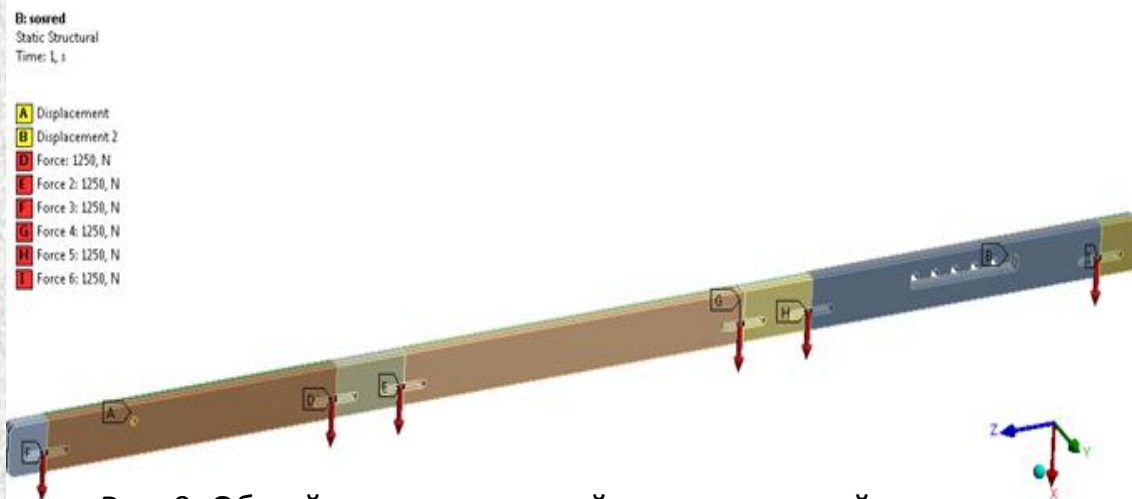
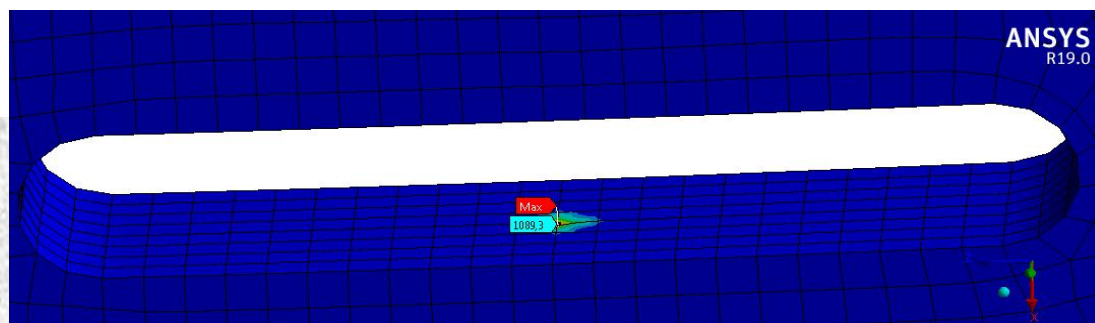
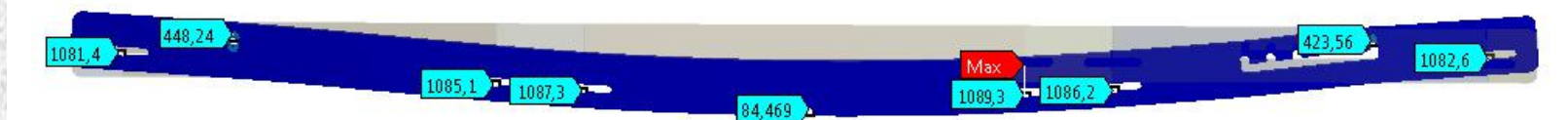
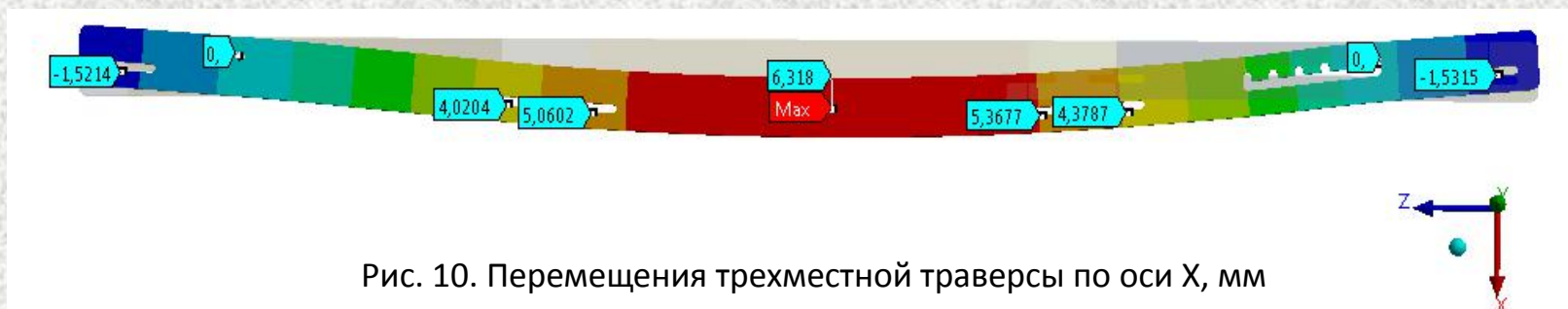


Рис. 9. Общий вид нагруженной и закрепленной траверсы

Результаты расчета:



- перемещения траверсы по оси X в опасном сечении: 6.318 мм;
- эквивалентные напряжения траверсы в опасном сечении: 84.469 МПа;
- наибольшие эквивалентные напряжения – в местах приложения сосредоточенной силы, максимальное из них равно 1089.3 МПа;
- эквивалентные напряжения в опорах: 448.24 МПа, 423.56 МПа.

Численный расчет для схемы с распределенной нагрузкой

Нагрузка - давление P на всю поверхность отверстия (рис. 14), рассчитывается по формуле:

$P = \frac{F}{S}$, где F – нагрузка, действующая на поверхность отверстий (H); S – площадь поверхности (мм^2).

Давление на поверхности отверстий для ленточных узлов равно:

$$P = \frac{F}{S} = \frac{1250}{44 \cdot 15.5} = 1.83 \frac{H}{\text{мм}^2} \text{ (МПа)}$$

Генерируется конечно-элементная сетка (рис. 13). Тип элементов – гексаэдры. Количество элементов 141896. Количество узлов 613023.



Рис. 13. Конечно-элементная сетка

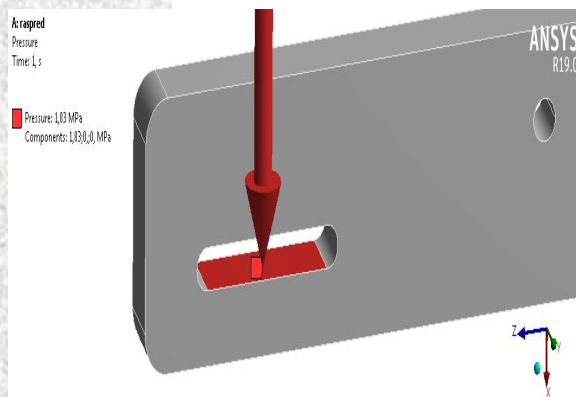


Рис. 14. Задание давления на поверхности отверстий

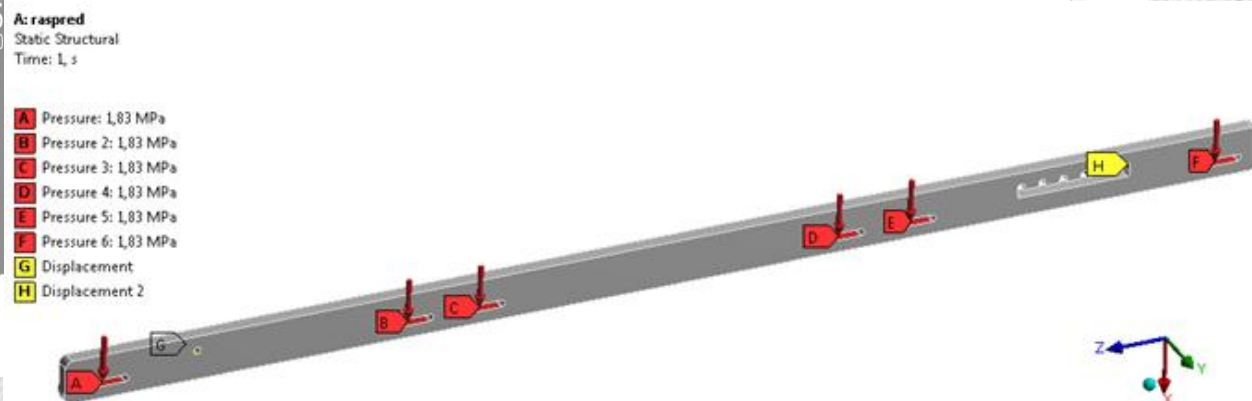


Рис. 15. Общий вид нагруженной и закрепленной траверсы

Результаты расчета:



Рис. 16. Перемещения трехмостной траверсы по оси X, мм

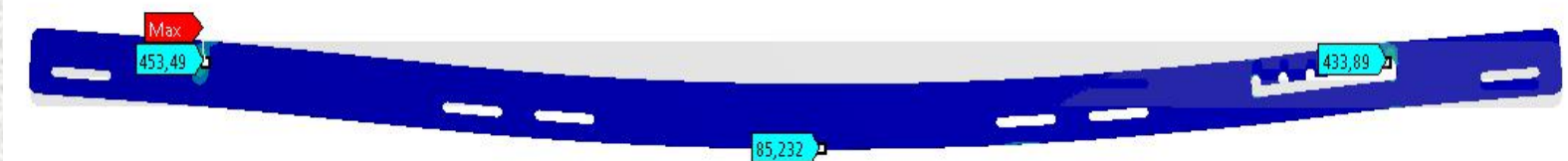


Рис. 17. Эквивалентные напряжения трехмостной траверсы, МПа

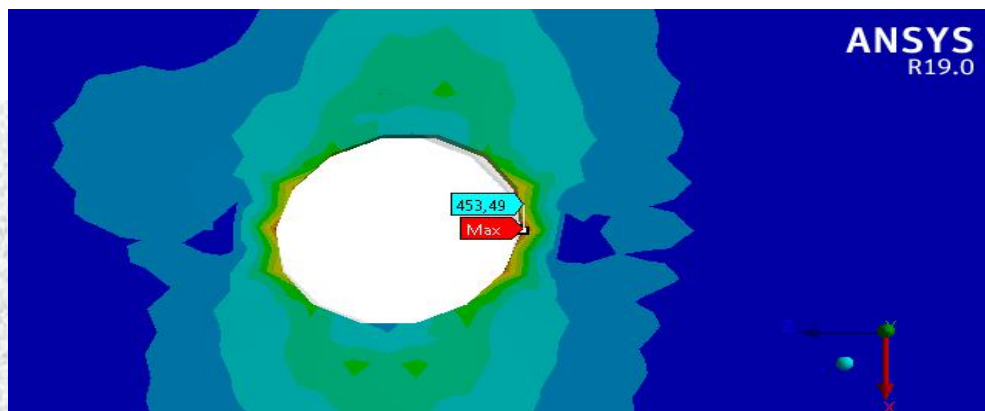


Рис. 18. Максимальные эквивалентные напряжения трехмостной траверсы, МПа

- перемещения траверсы по оси X в опасном сечении: 6.305 мм;
- эквивалентные напряжения траверсы в опасном сечении: 85.232 МПа;
- максимальные эквивалентные напряжения – в опорах: 453.49 МПа, 433.56 МПа.

Анализ результатов расчетов для постановки контактной задачи

- в аналитическом решении расчетные схемы упрощены. Поэтому результаты расчетов оказались заниженными по сравнению с численными;
- при аналитическом решении перемена характера нагрузок больше влияет на результаты перемещений: разница 17.2 %, при численном: разница 0.2 %;
- традиционные методы расчета на заводе дают существенную погрешность при учете сосредоточенной нагрузки.

Таблица 1. Результаты расчетов параметров для опасного сечения

	Аналитическое решение				Численное решение			
	Сосредоточенная нагрузка		Распределенная нагрузка		Сосредоточенная нагрузка		Распределенная нагрузка	
z, мм	Перемещение, мм	Напряжения, МПа	Перемещение, мм	Напряжения, МПа	Перемещение, мм	Напряжения, МПа	Перемещение, мм	Напряжения, МПа
665	4.48	84.46	5.25	84.46	6.318	84.469	6.305	85.232

Расчет контактной задачи для узла парашютной системы

Модель карабинов задается цилиндрами (рис. 19).

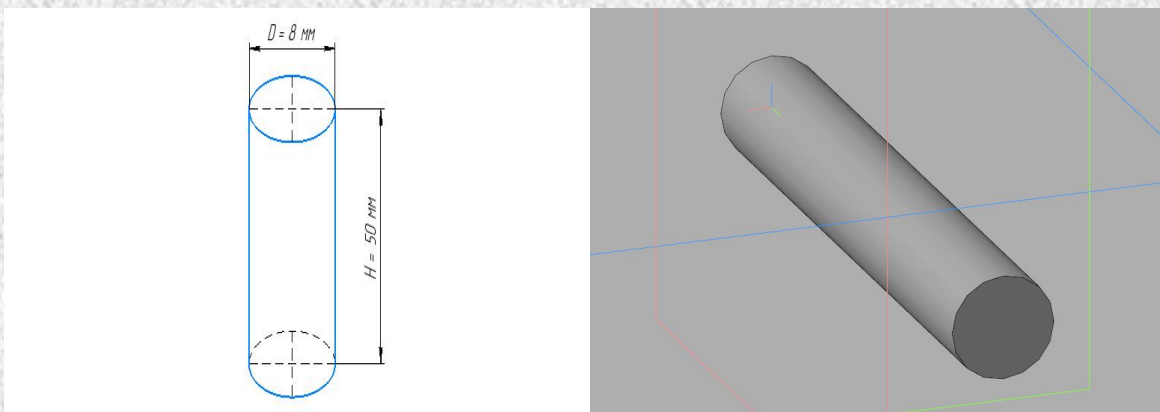


Рис. 19. Размеры цилиндра и его 3D модель

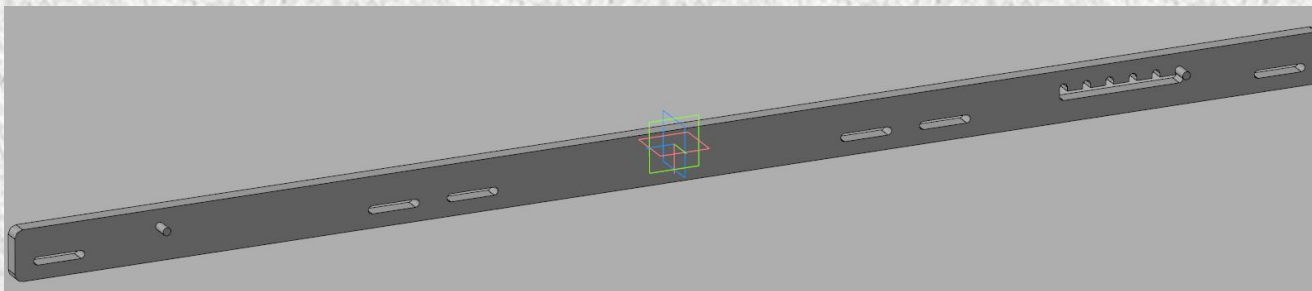


Рис. 20. Сборка в программном комплексе «Компас-3D»

Создается материал – сталь 12Х18Н10Т с характеристиками:

- плотность (Density) $\rho = 7920 \text{ кг/м}^3$;
- модуль Юнга (Young's Modulus) $E = 198000 \text{ МПа}$;
- коэффициент Пуассона $\nu = 0.33$.

Генерируется конечно-элементная сетка для сборки (рис. 21). Тип элементов – гексаэдры. Количество элементов 76125. Количество узлов 334775.

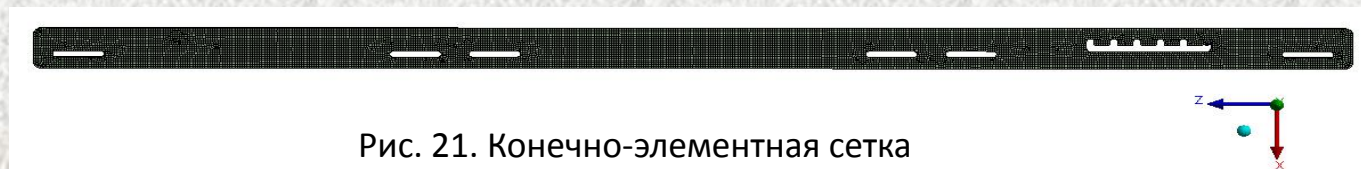


Рис. 21. Конечно-элементная сетка

Задаются:

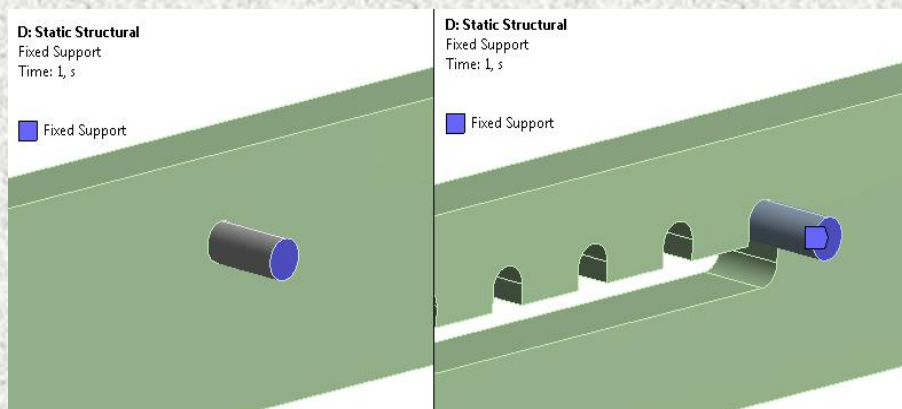


Рис. 22. Жесткие закрепления обоих цилиндров

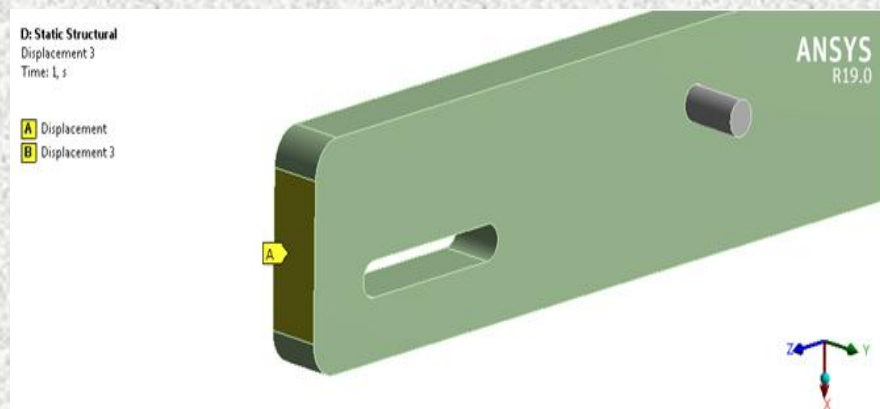


Рис. 23. Закрепления боковых поверхностей по оси Y и Z

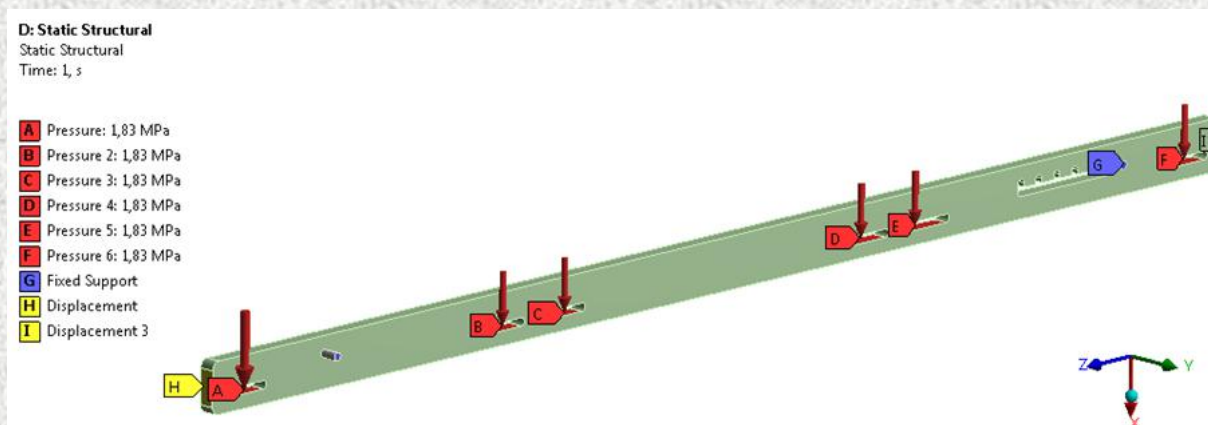


Рис. 24. Нагрузка и закрепления трехмостной траверсы в постановке контактной задачи

Устанавливаются контактные пары (рис. 25).

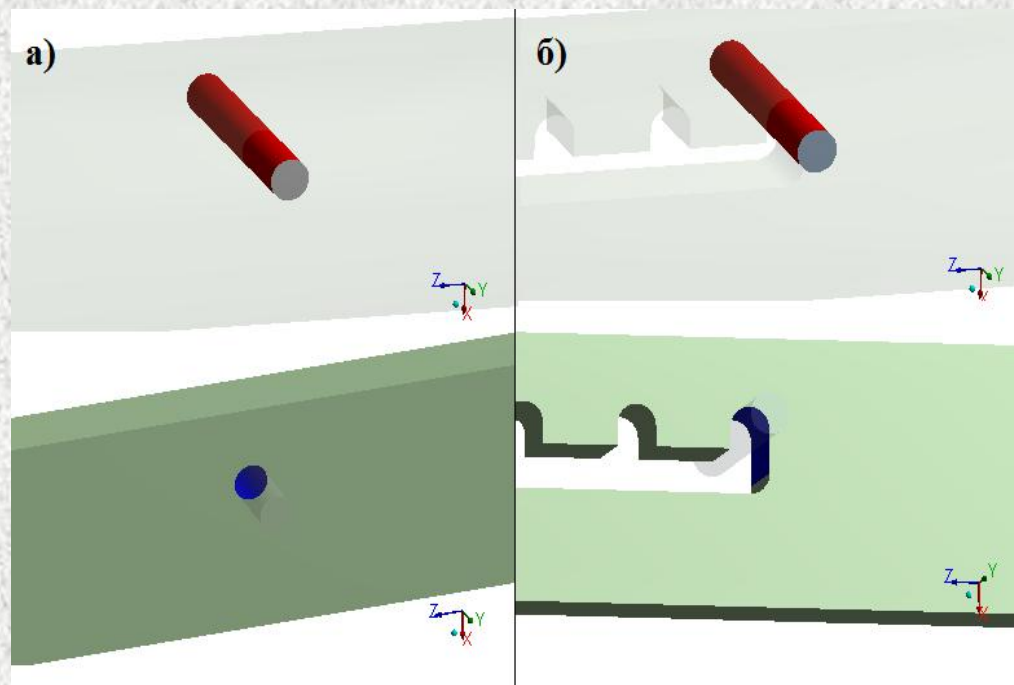


Рис. 25. Контактные пары

У каждой контактной пары задается характер контакта:

- а) контакт Frictional с заданным коэффициентом трения 0.2;
- б) контакт No Separation – у контактной пары имеется небольшое скольжение, контактирующие поверхности не смещаются относительно друг друга в нормальном направлении .

Результаты расчета:



Рис. 26. Перемещения трехместной траверсы по оси X, мм



Рис. 27. Эквивалентные напряжения трехместной траверсы, МПа

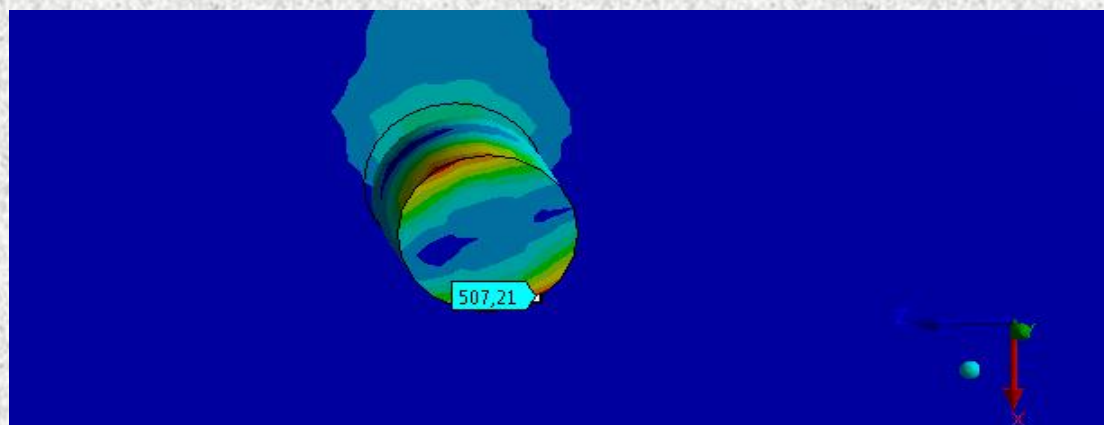


Рис. 28. Наибольшие эквивалентные напряжения в цилиндре, МПа

Напряжения, возникающие в месте контакта:

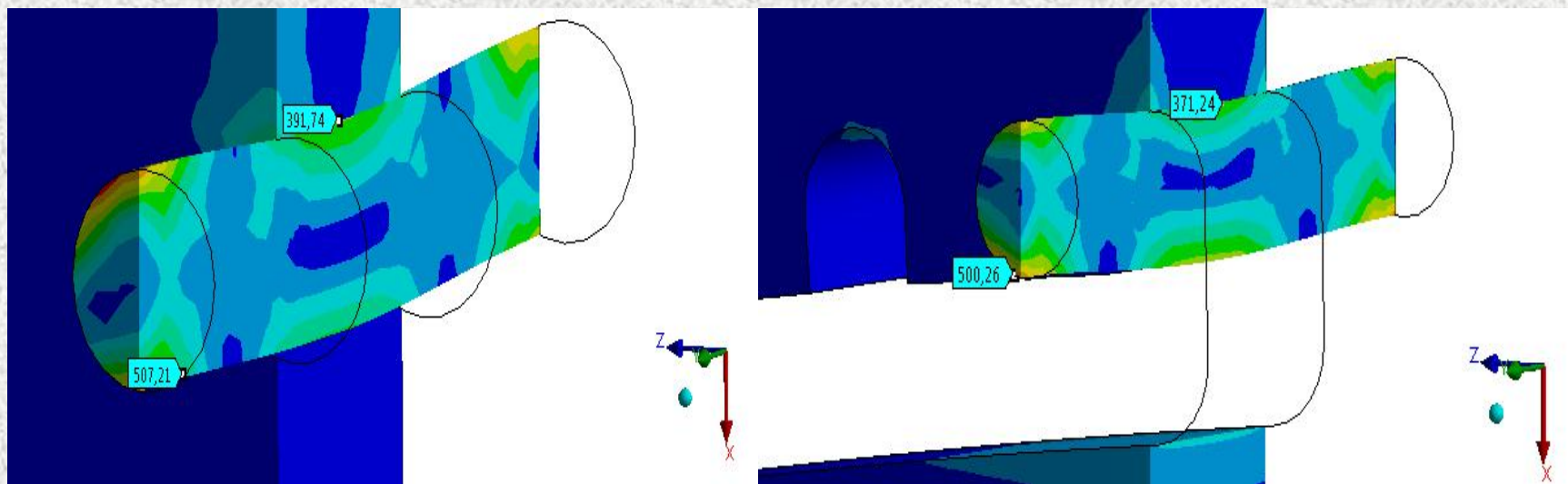


Рис. 29. Эквивалентные напряжения в разрезе цилиндров, МПа

- Перемещения сборки по оси X в опасном сечении: 6.3 мм;
- Эквивалентные напряжения траверсы в опасном сечении: 86.686 МПа;
- Максимальные эквивалентные напряжения – в цилиндрах: 507.21 МПа, 500.26 МПа;
- Наибольшие напряжения в разрезе цилиндров равны 391.74 МПа, 371.24 МПа.

Выводы

1. Выполнен прочностной расчет узла парашютной системы.

Проведены расчеты двумя методами: аналитическим и численным для двух расчетных схем. В ходе проверки на прочность выявлено, что численный метод решения наиболее точно описывает напряженно-деформированное состояние конструкции, но только при использовании расчетной схемы с распределенной нагрузкой, так как при использовании в расчете сосредоточенных сил максимальные эквивалентные напряжения концентрируются в точках их приложения и достигают больших значений, превышающих предел прочности для сплава алюминия ($1089.3 \text{ МПа} > [\sigma_{\text{в}}] = 510 \text{ МПа}$), так как площадь, на которую действует сила – бесконечно мала. Такие результаты не отражают действительность.

2. Рассчитана контактная задача. Расчет показал, что максимальные напряжения, возникают в цилиндрах, но их значения не превышают предела прочности для стали ($507.21 \text{ МПа}, 500.26 \text{ МПа} \leq [\sigma_{\text{в}}] = 510 \text{ МПа}$). Именно цилиндры (карабины) являются наиболее уязвимым местом конструкции. Таким образом, для обеспечения наилучшей прочностной способности необходимо их упрочнить, сделав диаметральный размер больше.

Поставленная задача по проверке на прочность узла выполнена. Трехместная траверса способна обеспечить полет трех человек с общим весом 250 кг с трехкратным запасом прочности и удовлетворяет требованиям надежности в реальных условиях эксплуатации.