

С использованием COSMOSWorks можно производить прочностные расчеты сборочной единицы. Детали сборки могут быть выполнены из разных материалов. Для каждой части сборки конечно-элементная сетка генерируется изолированно, а соединения моделируются контактными элементами, учитывающими зазор между деталями.

При этом производится: автоматическая генерация сетки с объединением различных компонентов в одну модель, анализ сборок с учетом разъединения и трения, анализ сборок с учетом больших нелинейных деформаций при контакте поверхностей и трении, анализ интерференции компонентов.

Нагрузки и граничные условия могут быть приложены в глобальной или локальной системе координат. COSMOSWorks поддерживает ортогональную, цилиндрическую и сферическую системы координат. Под нагрузками и граничными условиями понимается: принудительные перемещения узлов, постоянные и переменные силы и моменты, постоянное и переменное давление, подшипниковые нагрузки, удаленные нагрузки и закрепления, абсолютно жесткое соединение компонентов в сборке, ускорения и гравитация, тепловые нагрузки (температура, тепловые потоки, конвекция, радиация, источники тепла, в т.ч. и объемные граничные условия в местах контакта).

2.3. Исходные параметры для моделирования контактного взаимодействия деталей стойки на ЭВМ

Для создания модели твердого тела в среде SolidWorks были использованы конструктивные параметры и данные о материалах деталей стойки. При этом модель соответствовала схеме стойки, представленной на рис.1.1,а.

Основные конструктивные параметры, включенные в модель (рис.2.1): наружный ($D_{\text{н}}$) и внутренний ($d_{\text{н}}$) диаметр цилиндра, диаметр

поршня (d_p), диаметр штока ($d_{шт}$), наружный ($D_{гр}$) и внутренний ($d_{гр}$) диаметр грунDbуксы, длина цилиндра (l_c), длина штока ($l_{шт}$) и поршня (l_p), длина грунDbуксы ($l_{гр}$), радиусы опорных элементов (r_0), зазоры в соединениях “цилиндр-поршень” и “грунDbукса-шток” (a), осевой зазор между грунDbуксой и поршнем (h).

Физико-механические характеристики материалов элементов стойки, соответствуют перечню, представленному на рис.2.2.

Исходные данные для расчета твердотельной модели стойки: рабочее расчетное сопротивление стойки (P), эксцентриситет приложения нагрузки на опорах стойки (e_0), давление рабочей жидкости (Q), ограничения на перемещение опор (рис.2.4).

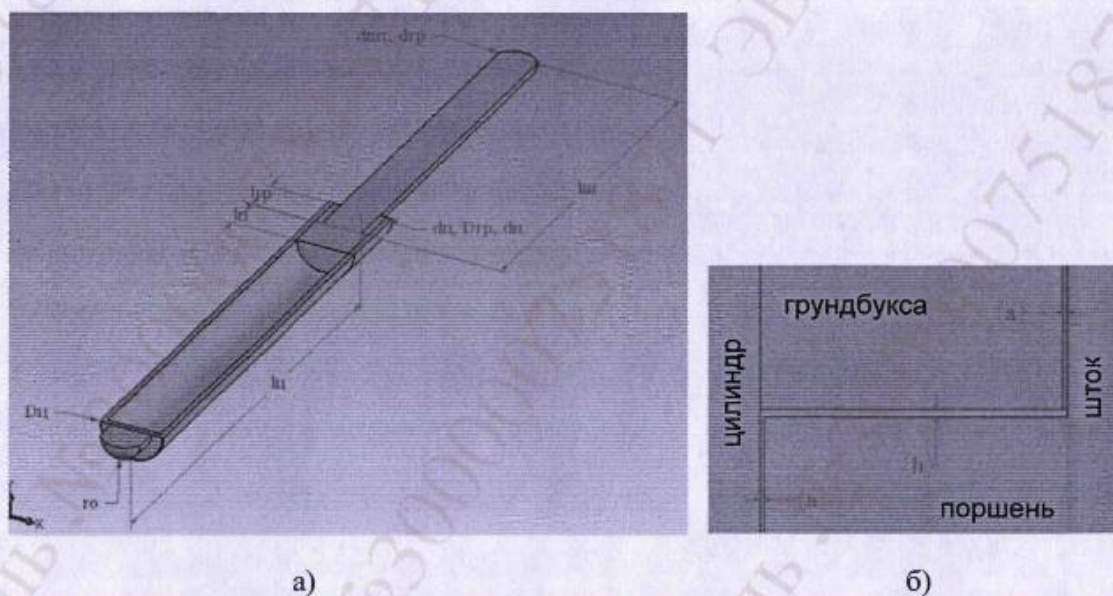


Рис. 2.1. Основные конструктивные параметры стойки:

- а – размеры составляющих элементов;
- б – зазоры в соединениях “цилиндр-поршень”, “грунDbукса-шток”.

а)

Свойство	Описание	Значение	Единицы измерения
EX	Модуль упругости	2039432.4	kgf/cm ²
NUXY	Коэффициент Пуассона	0.28	NA
GXY	Модуль сдвига	785181.48	kgf/cm ²
DENS	Массовая плотность	0.0078	kg/cm ³
SIGXT	Предел прочности при ра	4217.6787	kgf/cm ²
SIGXC	Предел прочности при сж		kgf/cm ²
SIGYLD	Предел текучести	1757.3686	kgf/cm ²
ALPX	Коэффициент теплового р	1.1e-005	/Centigrade
KX	Теплопроводность	0.043002	Cal/(cm.s.C)
C	Удельная теплоемкость	109.94264	Cal/(kg.C)

б)

Свойство	Описание	Значение	Единицы измерения
EX	Модуль упругости	2100000	kgf/cm ²
NUXY	Коэффициент Пуассона	0.3	NA
GXY	Модуль сдвига	805575.84	kgf/cm ²
DENS	Массовая плотность	0.0078	kg/cm ³
SIGXT	Предел прочности при ра	4077.0903	kgf/cm ²
SIGXC	Предел прочности при сж		kgf/cm ²
SIGYLD	Предел текучести	2249.4328	kgf/cm ²
ALPX	Коэффициент теплового р	1.3e-005	/Centigrade
KX	Теплопроводность	0.102727	Cal/(cm.s.C)
C	Удельная теплоемкость	105.16252	Cal/(kg.C)

Рис. 2.2. Физико – механические характеристики материалов элементов стойки:

а) – материал штока и поршня;

б) - материал грунdbufксы, цилиндра, опорного элемента

Сверху на шток действует эксцентрично приложенная нагрузка (Р), равная расчетному рабочему сопротивлению стойки. Эксцентриситет приложения нагрузки возникает из-за трения в опорах, зависит от их конструкции (рис. 2.3.) и рассчитывается по формулам [11]:

а) для опоры качения на пальце (рис. 2.3,с)

$$e_0 = r_0 \left[\mu_m + \sin \left(\arctg \frac{H_{y.s.}}{P} \right) \right], \quad (2.3)$$

где r_0 - внутренний радиус проушины; $\mu_t = 0,02$ – коэффициент трения качения; P – расчетное рабочее сопротивление стойки; $H_{y.в.}$ – реакция в опоре гидроцилиндра от усилия упругого восстановителя.

б) для сферической опоры стойки (рис. 2.3,а,б,д)

$$e_0 = r_0 * \sin \left(\arctg \mu_t + \arctg \frac{H_{y.s.}}{P} \right) \frac{2 * (v_2 - v_1) + \sin 2v_2 - \sin 2v_1}{2(\sin^2 v_2 - \sin^2 v_1)}, \quad (2.4)$$

где $\mu_r = 0,2$ – коэффициент трения скольжения; v_1, v_2 – углы ограничивающие поверхность трения.

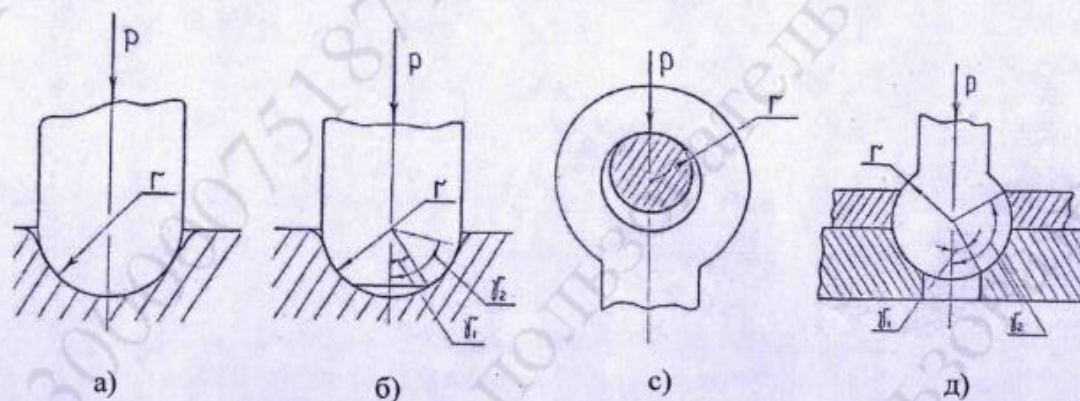


Рис. 2.3. Конструкции опор гидростоек: а, б, д – сферические опоры; с – опоры качения на пальце.

Давление рабочей жидкости действует на стенку цилиндра, торцевую плоскость поршня и дно внутри цилиндра. Ограничения на перемещения верхней опоры не накладываются, а для нижней опоры запрещены перемещения по всем осям и вращение вокруг них (рис.2.4.).

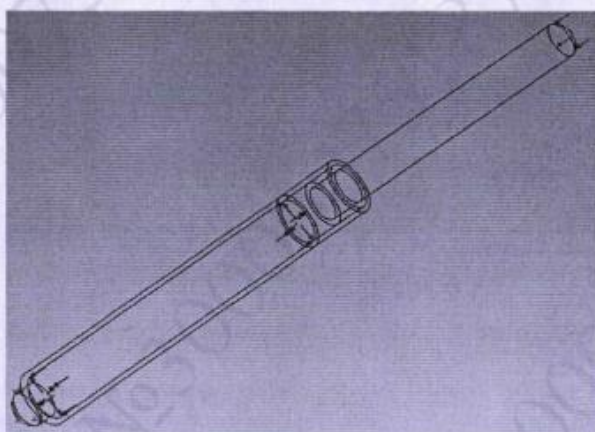


Рис. 2.4. Нагрузки и ограничения, накладываемые на твердотельную модель стойки

При осуществлении расчета, необходимо обеспечить статическое равновесие, согласно известным уравнениям теоретической механики. На

рис.2.5 показано взаимное расположение деталей стойки при статическом равновесии (а) и при его отсутствии (б).

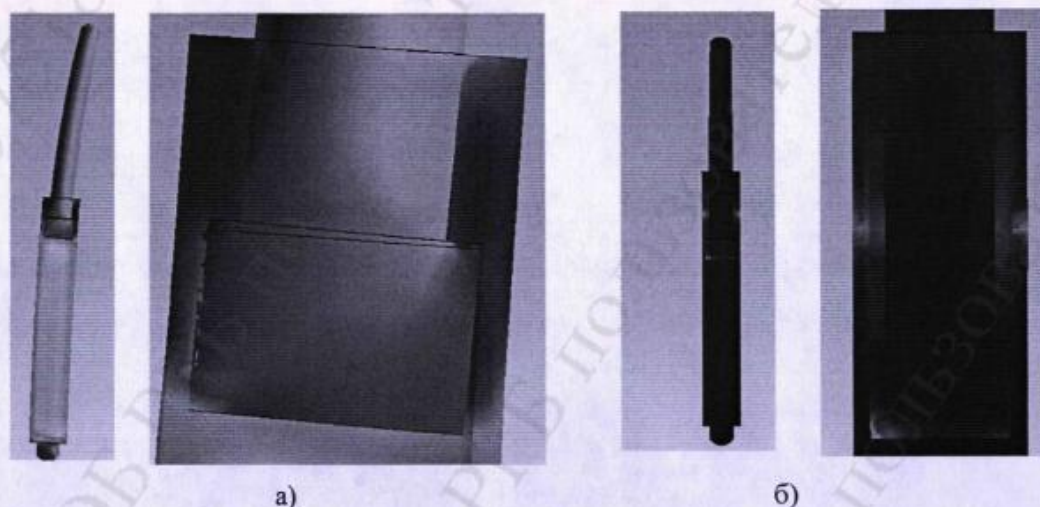


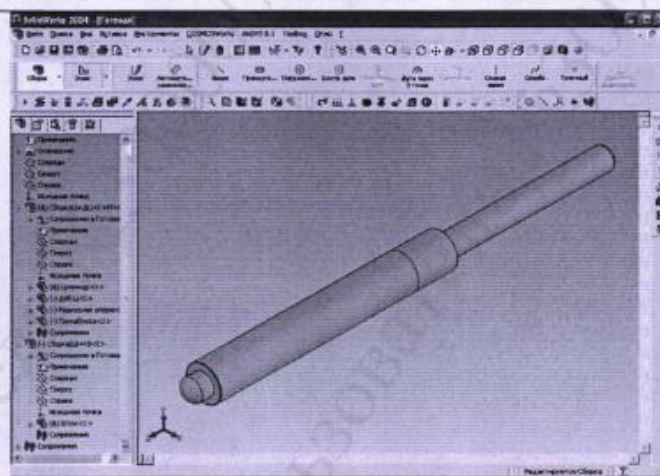
Рис. 2.5. Расположение деталей стойки в уравновешенной (а) и неуравновешенной (б) системах.

2.4. Технология создания твердотельной модели стойки в среде SolidWorks

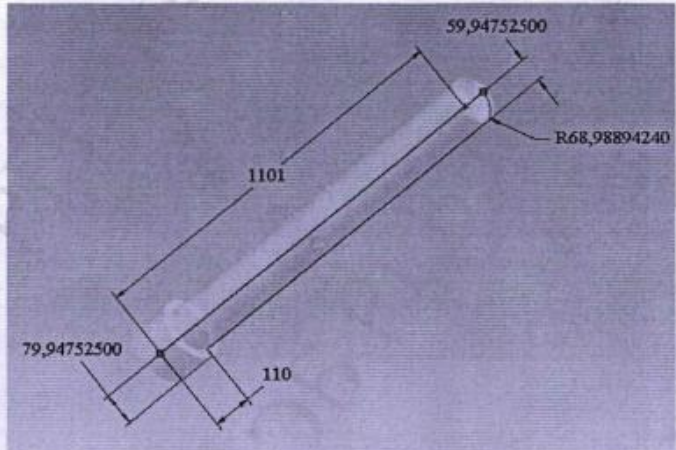
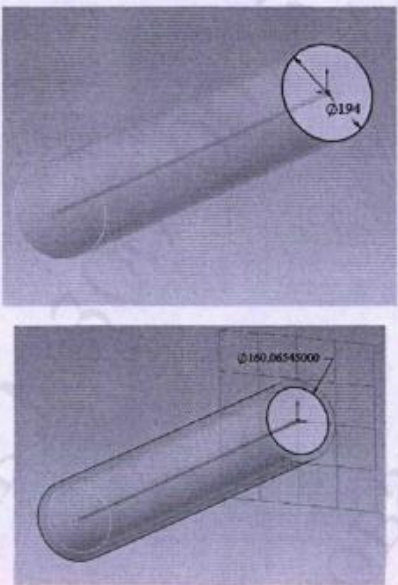
Технология создания твердотельной модели стойки в среде SolidWorks и настройки программного комплекса COSMOSWorks представлена в табл. 2.1.

Таблица 2.1

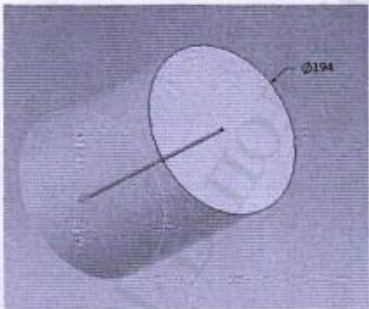
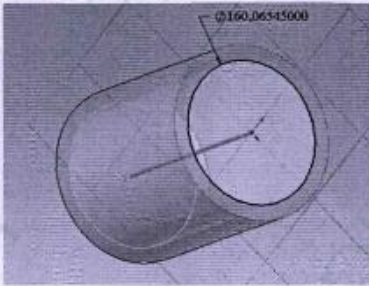
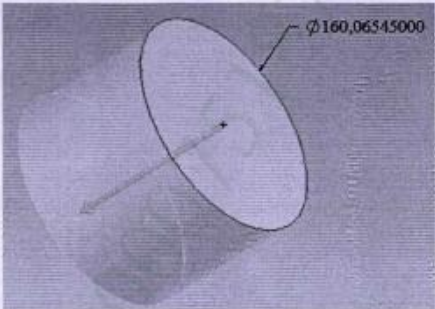
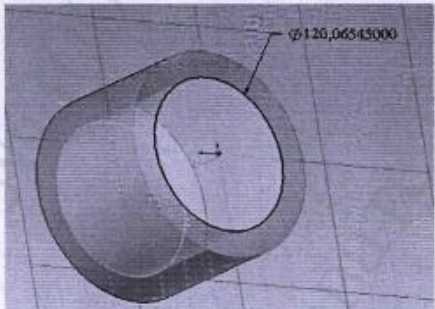
1. Твердотельная модель стойки в среде SolidWorks.



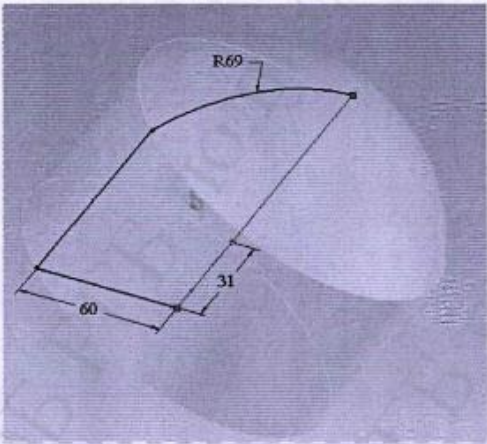
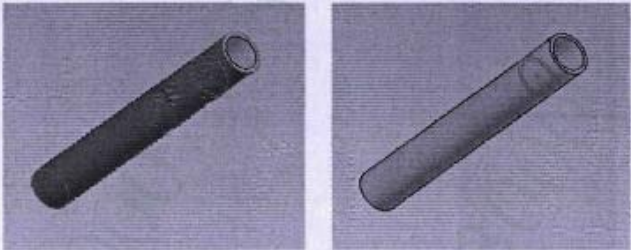
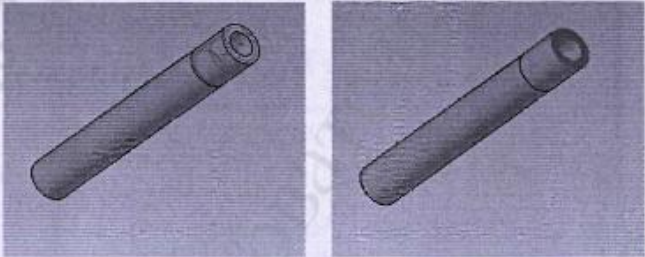
Эскизы элементов сборки выполнены согласно рис.1.1,(а).

1. Создание элементов сборки	
1.1 Создание модели штока с поршнем	
<p>Использована функция «повернуть». Тип поворота – в одном направлении.</p> <p>Угол поворота – 360°.</p>	
<p>Цилиндр разбит на две части с целью определения границы давления рабочей жидкости на внутреннюю стенку цилиндра. В дальнейшем считаем, что первая часть подверженная давлению является цилиндром, а вторая, где располагается грундбукса – добавочным цилиндром.</p>	
1.2. Создание модели цилиндра	
<p>Использована функция – «вытянуть на заданное расстояние». Глубина вытягивания = 1109,5 мм.</p> <p>На торце по центру создан эскиз.</p> <p>Использована функция «вырез на заданное расстояние». Глубина выреза = 1092,5 мм.</p>	

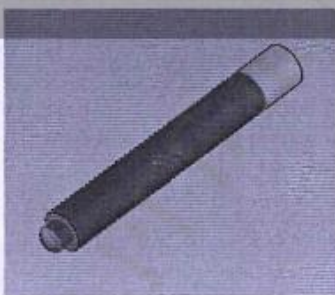
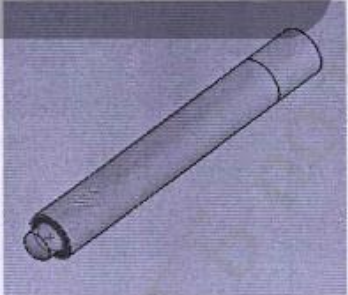
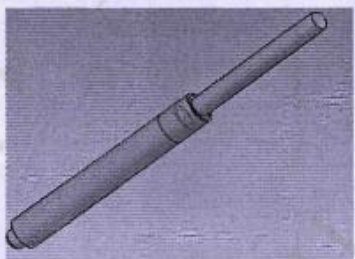
Продолжение табл. 2.1

1.3.Создание модели добавочного цилиндра	
<p>Использована функция «вытянуть на заданное расстояние». Глубина вытягивания = 220,5 мм.</p> <p>На торце по центру создан эскиз.</p> <p>Использована функция «вырез через все».</p>	 
1.4.Создание модели грундбуксы	
<p>Использована функция «вытянуть на заданное расстояние». Глубина вытягивания = 110 мм.</p> <p>На торце по центру создан эскиз.</p> <p>Использована функция «вырез через все».</p>	 

Продолжение табл. 2.1

1.5.Создание модели опорного элемента	
<p>Использована функция «повернуть». Тип поворота – в одном направлении. Угол поворота – 360°.</p>	
2. Создание сборки	
Создание сборки - установление взаимосвязей между составляющими элементами.	
2.1.Сопряжение цилиндра и добавочного цилиндра.	
<p>Обеспечена концентричность наружных граней и совпадение торцов.</p>	
2.2.Сопряжение добавочного цилиндра и грундбуксы	
<p>Обеспечена концентричность наружной грани грундбуксы, внутренней грани добавочного цилиндра и совпадение торцов.</p>	

Продолжение табл. 2.1

2.3.Сопряжение цилиндра и опорного элемента	
Нажмите кнопку Esc, чтобы выйти из полноэкранного режима.	
Обеспечена концентричность граней и совпадение торцов	 
2.4.Сопряжение грундбуксы и штока	
Обеспечена концентричность наружной грани штока и внутренней грани грундбуксы. Осевое расстояние между торцами грундбуксы и поршня 0,5мм.	 
3. Настройка конечно – элементного комплекса COSMOSWorks для расчета напряженного состояния гидростойки.	
3.1. Упражнение.	
Тип анализа – статический.	
Тип сетки – сетка на твердом теле.	
3.2. Материал твердотельной модели.	
Источник – SolidWorks.	
Тип – линейный, упругий, изотропный.	
3.3. Нагрузки и ограничения	

3.3.1. Дистанционная нагрузка	
<p>Точка приложения силы: «удаленное место» вдоль оси X на величину эксцентриситета (11,91мм.) Сила $F = 82000\text{кг}$ направлена по оси Z.</p>	
3.3.2. Ограничения на перемещения нижней опоры стойки	
<p>Тип опоры – «на сферической грани». Перемещения вдоль трех осей и вращения вокруг их запрещены (раны нулю).</p>	
3.3.3. Давление рабочей жидкости	
<p>давление – равномерно- распределенная нагрузка. Действует перпендикулярно на дно, стенки цилиндра и торец поршня. Значение давления – $408,37\text{ кг/см}^2$.</p>	

3.4. Контактирующие поверхности	
Тип контактирующих граней – «поверхности». Контакт поршня с цилиндром и штока с фундуксой.	
3.5. Дискретизация	
Параметры элемента: глобальный размер – 24мм; допуск- 1,2мм. Качество сетки – высокое; Тип сетки – стандартный; Якобиева проверка – 4точки; Управление сеткой – сглаживание поверхности.	

2.5. Расчетные данные для анализа напряженного состояния гидростойки

После расчета напряженного состояния пользователю доступны следующие основные расчетные данные [66]:

- перемещения: UX, UY, UZ – компоненты в направлении глобальных или локальных осей, URES – полное перемещение, RFX, RFY, RFZ – компоненты силы реакции, RFRES – полная сила реакции;
- деформации: EPSX, EPSY, EPSZ, GMXY, GMXZ, GMYZ – деформации растяжения-сжатия и сдвига относительно глобальных или локальных осей, ESTRN – эквивалентные деформации, SEDENS – деформированная плотность энергии, ENERGY – полная энергия;
- напряжения: SX, SY, SZ, TXY, TXZ, TYZ – напряжения растяжения-сжатия и сдвига относительно глобальных или локальных осей, P1,

P2, P3 – главные напряжения, VON – эквивалентные напряжения по Мозесу, INT – интенсивность напряжений ($INT = P1-P3$);

- контактная сила: UX, UY, UZ – компоненты в направлении глобальных или локальных осей, результирующая сила всех компонентов.

На основе результатов моделирования напряженного состояния стойки на ЭВМ определяются:

- вид деформированной стойки по сравнению с исходным состоянием. Помимо выявления деформированного состояния стойки в целом, система фиксирует распределение напряжений в элементах, выделяя их интенсивность соответствующей окраской (рис.2.6.). Это позволяет определить наиболее нагруженные участки стойки;

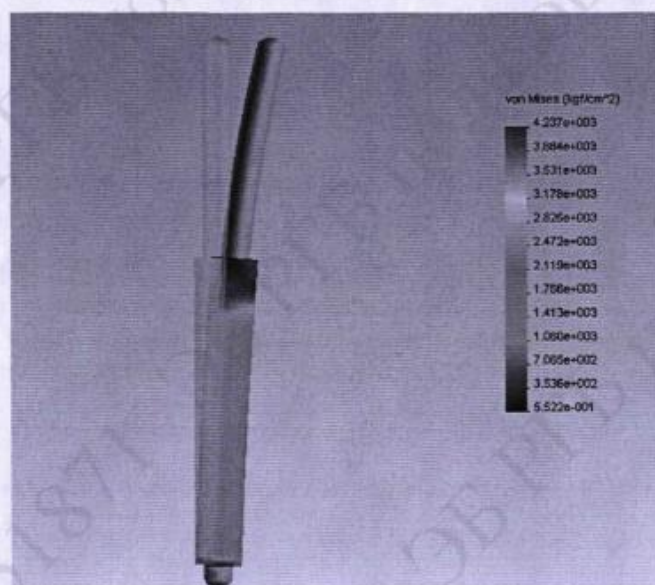


Рис. 2.6. Деформированное состояние стойки

- области контактного взаимодействия поршня с цилиндром, штока с грядбуксой (рис.2.7.) и распределение напряжений по кромкам контактирующих элементов (рис.2.8);

P2, P3 – главные напряжения, VON – эквивалентные напряжения по Мозесу, INT – интенсивность напряжений ($INT = P1-P3$);

- контактная сила: UX, UY, UZ – компоненты в направлении глобальных или локальных осей, результирующая сила всех компонентов.

На основе результатов моделирования напряженного состояния стойки на ЭВМ определяются:

- вид деформированной стойки по сравнению с исходным состоянием. Помимо выявления деформированного состояния стойки в целом, система фиксирует распределение напряжений в элементах, выделяя их интенсивность соответствующей окраской (рис.2.6.). Это позволяет определить наиболее нагруженные участки стойки;

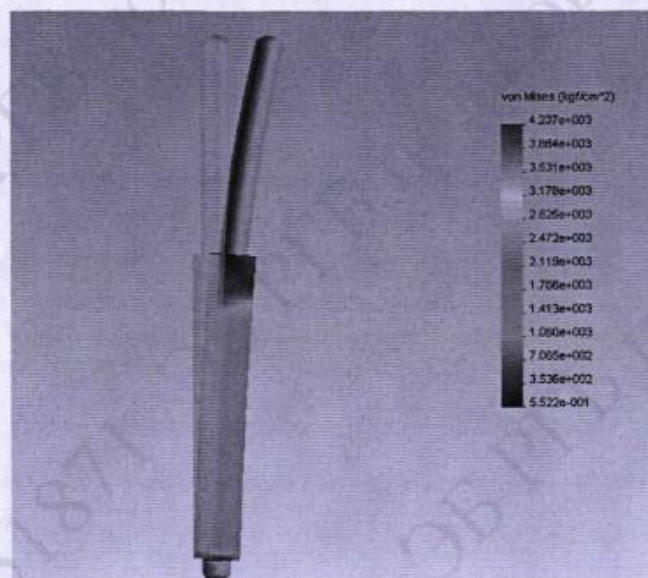


Рис. 2.6. Деформированное состояние стойки

- области контактного взаимодействия поршня с цилиндром, штока с грядбуксой (рис.2.7.) и распределение напряжений по кромкам контактирующих элементов (рис.2.8);



Рис. 2.7. Области контактного взаимодействия элементов стойки:
а – контакт грунdbufсы со штоком;
б – контакт цилиндра с поршнем.

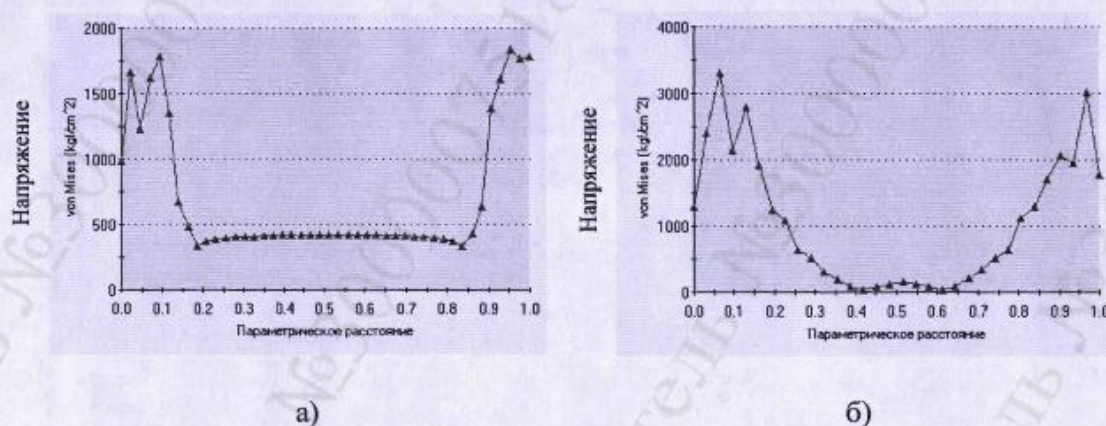
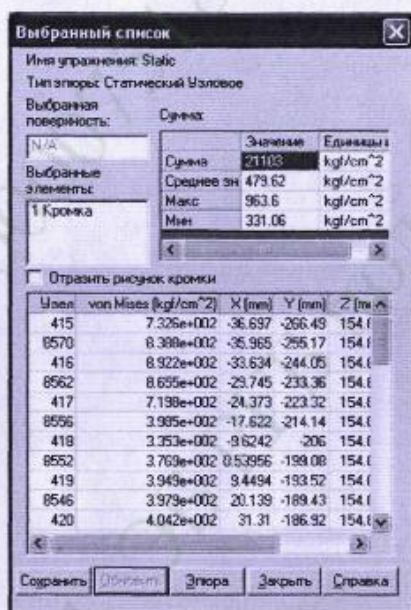


Рис. 2.8. Распределение напряжений по кромкам:
а - эпюра распределения напряжений по кромке грунdbufсы;
б – эпюра распределения напряжений по кромке поршня.

- количественные значения силовых параметров, напряжений, деформаций и перемещений, которые выдаются пользователю по запросу в виде таблицы, представленной на рис.2.9. По этой таблице можно определить средние, минимальные и максимальные значения

запрошенного расчетного параметра на интересующей пользователя поверхности. Кроме того, доступны значения требуемого параметра в любом узле стойки в соответствии с сеткой разбиения на конечные элементы.



Узел	von Mises (kgf/cm ²)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
415	7.326e+002	-36.697	-266.49	154.1
8570	8.388e+002	-36.965	-255.17	154.1
416	8.922e+002	-33.634	-244.05	154.1
8562	8.655e+002	-23.745	-233.36	154.1
417	7.198e+002	-24.373	-223.32	154.1
8556	3.905e+002	-17.622	-214.14	154.1
418	3.353e+002	-9.6242	-206	154.1
8552	3.769e+002	0.53956	-199.08	154.1
419	3.949e+002	9.4494	-193.52	154.1
8546	3.979e+002	20.139	-189.43	154.1
420	4.042e+002	31.31	-186.92	154.1

Рис. 2.9. Таблица результатов моделирования

Для оценки напряженного состояния стойки использовались компоненты: для напряжений – напряжения von Mises, для деформаций – эквивалентные деформации, для перемещений – полные перемещения.

Согласно критерию Мизеса (энергии формоизменения), применимому к изотропным материалам, которые имеют вязкий характер разрушения, момент исчерпания несущей способности определялся сравнением величины эквивалентного напряжения с пределом текучести материала SIGYLD. Эквивалентное напряжение $\sigma_{\text{von Mises}}$ в некоторой точке тела рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{\text{von Mises}} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (2.5)$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ — главные напряжения. При этом эквивалентное напряжение не зависит от ориентации площадки, на которой оно действует, то есть является инвариантным [66].

Таким образом, просматривая результаты расчета напряженного состояния и сравнивая их с допускаемыми значениями, можно определить условия возникновения в конструкции пластических деформаций.

Необходимо отметить, что точность результатов расчетов и продолжительность вычислений, существенным образом зависят от масштаба построения сетки (рис.2.10), на которую разбивается модель для последующего расчета. Масштаб сетки мы считали установленным и обеспечивающим требуемую точность, если при дальнейшем увеличении частоты сетки результаты расчетов практически не изменялись (рис. 2.11).

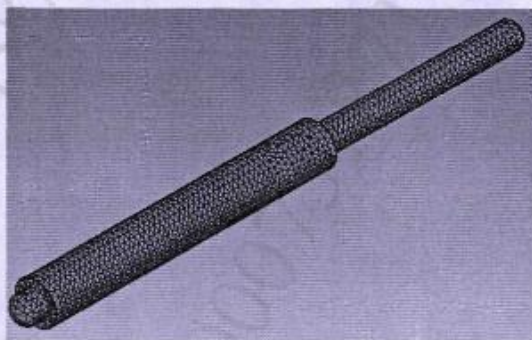


Рис. 2.10. Сетка конечных элементов

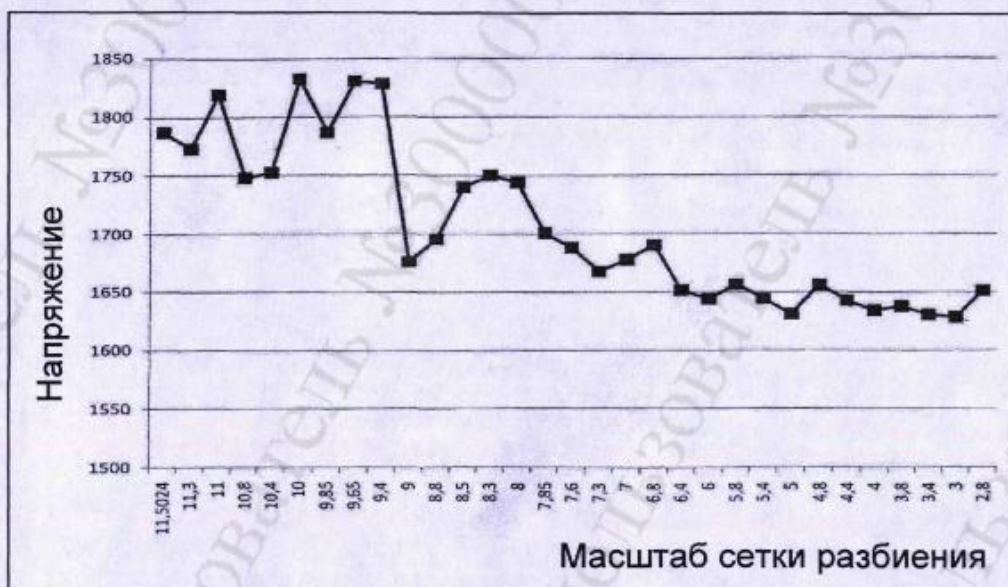


Рис. 2.11. Масштаб сетки разбиения на конечные элементы.

Создание твердотельной модели и настройка конечно-элементного комплекса позволяют моделировать напряженные состояния стойки на ЭВМ, устанавливать зависимости, сформулированные в задачах исследования и провести их количественный и качественный анализ.

Выводы

1. Наиболее эффективным и перспективным методом решения контактных задач в инженерной практике является метод конечных элементов, который необходимо использовать для анализа напряженного состояния стоек.
2. Для моделирования контактного взаимодействия элементов стойки на ЭВМ создана ее твердотельная модель. Определены , нагрузки и места их приложения, введены ограничения на перемещения элементов стойки, зафиксированы физико-механические характеристики материалов.
3. Для оценки напряженного состояния стойки с использованием конечно – элементного комплекса COSMOSWorks определен состав расчетных данных и инструментарий для их анализа.