Лабораторная работа №1 «ОСНОВЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ/СЖАТИИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ UNIGRAPHICS NX 8.5»

Цель работы:

1. Ознакомиться с методикой проведения расчета на прочность и жесткость при растяжении/сжатии;

2. Произвести проектировочный расчет типовых стержневых элементов конструкций на прочность и жесткость.

Общий вид окна программы NX 8.5 представлен на рис. далее.



1 Расчет на прочность при растяжении/сжатии

Дано: стальной прямоугольный стержень заданных размеров.

Найти: коэффициент запаса прочности стержня, в случае необходимости принять мероприятия по обеспечению соответствующего коэффициента запаса прочности исходя из характера разрушения материала

Первоначально необходимо построить модель прямоугольного стержня с параметрами: толщина h = 40 мм, ширина b = 20 мм, длина l = 500 мм.

Для этого необходимо нажать кнопку «Эскиз» (см. рис. далее), выбрать плоскость **ХОУ** и нажать ОК.



Выбираем **«Отрезок»** и чертим произвольный прямоугольник, у которого соотношение сторон примерно соответствует заданному (т.е. $\frac{h}{b} \approx \frac{2}{1}$).

NX 8.5 - Моделирование - [tension.prf (Измененный Фойа Мемения Рид. Воловия: Форма Македона Станана, Ст Станана, Станана, С)]		S - 28
	🤓 Поиск команды 🦯 - 🚬 🔝 - 🕹 - 🍞 - 🚺 - 🌮		
🗋 • 💷 • 💷 🐨 📦 🐟 • 🐟 🖧 • • 🛄 💴	• 💷 🌒 🚱 • 🞯 闷 🧶 🚬 📓 🚾 Закончить эскиз 🖡	(Z) 0 7 7 □ ∻ + B · M × Y ⋈ · < ⊻	• 🛓 🖉 🌠 - 🔞 • 🐼 -
		Отрезок (L)	
Нет фильтра выбо 💌 Только внутри рабо 💌 🔊		Создает элемент построения прямая в	- (m) (800
Ф Отрезок 🗙 _{ели}			1 (-),
Режим ввода Ка		YC 240	
Выражения пользователя			
История модели			
Отверсония (1) "SKETCH			
9		× .	
		YC	
		ZC XC X	
۲	¥		
Зависимости	a —→×		
Подробная У			
		EN 🦛 🚞 🗊 💐 🏭 🔩 🖬 🎕	i 🎼 🔊 🏷 🖆 🌵 9:53
🎔 NX 8.5 - Моделирование - Itension pri (Изи 🔀 Файл Изменить Вид Вставить Фо	иененный)) рмат Инструменты <u>С</u> борки <u>И</u> нформация Ана <u>п</u> из Настройки Ок <u>н</u> о <u>С</u> пр	равка	
💆 Havano - 🗋 📁 🔛 👉 🐂 🎘 🗙 🗋 - 🛄 - 🛄 🗣 🐼 😪 - 🐟 🖧 🖓	🕫 🕞 🤫 Понск команды 👼 🔟 - 🗳 - 🕥 - 🗌 - 🜮 🖗 . 🤌 - 🏨 💷 - 🖅 🌒 🕞 - 🗇 👇 🕗 . 🎉 🍓 Закончить эскиз. Ця 🖉 🥎 (> >> > = > = = = = = = = = = = = = = =	
🔍 🔍 😪 🍪 🐥 🔗 😕 Нет фильтра выбо 💌 Только внутри рабо			
Выберите первую точку прямой		تا 🖬	1
Режим ввода Ко			
📽 🚰 Выражения пользователя			
····································			
		+ −− 1	
0			
IN IN		YC	
bx		zc xc	
B			
		XC 25 YC -35	
	Y		
Зависимости У	▲→×		
Подробная ∨ Просмотр ∨			
		97 💞 🖬 😹 🤽 🚉 🍾 🛄 🐼 🕱 🔊 🎼 19.56	

Производим образмеривание чертежа с помощью опции «Контекстный размер» и задаем необходимые размеры поперечного сечения. После образмеривания необходимо нажать «Закончить эскиз» и выйти из эскиза.



Далее с помощью операции «Вытягивание» получаем трехмерную модель стержня заданной длины.

На этом геометрическая сторона задачи заканчивается. Переходим к созданию конечно-элементной расчетной модели стержня.



Для перехода к созданию конечно-элементной модели необходимо переместиться в расчетный модуль. Для этого нажимаем **Начало** → **Расширенная симуляция.**



Далее активируем выпадающее меню «Создание КЭ сетки» и выбираем «Новая КЭ модель и симуляция».

Файл Изменить Вид Вставит	ь Формат <u>И</u> нструменты <u>С</u> борки <u>И</u> нформация Ана <u>л</u> из <u>Н</u> астройки Ок <u>н</u> о <u>С</u> правка	
🕑 Начало - 🗋 🖄 🔲 🧑 🥠	- 🐚 🏥 🗙 🕫 🧐 Поиск команды 🍜 - 😘 🏢 _ 1 🗐 - & - 🍞 - 🗍 - 10- 10- 10- 10- 20- 20- 20- 20- 20- 20- 20- 20- 20- 2	
a • • • • • • • • • • • • • • • • • • •		
Активировать создание КЭ сетки		
Актирировот силиронию		-
🚦 Новая КЭ модель и симуляция		
Новая ко модель	Создает новую КЭ модель и фаил симуляции на базе текущей детали.	
Новая КЭ сборка		
Сменить отображаемую деталь		
7		
5		
-		
3		
9		
×		
8		
<		
Pue dežes supremu		
вид фаила симуляции		
npocmorp	XC X	

В окне симуляции обычно менять ничего не нужно, однако необходимо проследить, чтобы в окне «Решатель» был выбран "NX Nastran", а во вкладке «Тип анализа» – «Структурный». После выбора всех параметров нажимаем ОК (далее этот пункт будет опускаться из описания, т.к. является очевидным).



В окне «Решение» также следим за пунктами «Решатель» – "NX Nastran", «Тип анализа» – «Структурный». Во вкладке «Тип решения» выбираем SOL 101 Linear Statics – Global Constraints. Этот тип решения хорошо подходит для решения задач в статической постановке для определения кратковременной статической прочности. В данном пункте есть еще множество дополнительных опций, но пользоваться ими имеет смысл лишь при решении узко специализированных задач (например, с учетом особого контактного взаимодействия, натяга или зазора). Кроме того, необходим высокий уровень владения программными продуктами семейства NX.



Следующий шаг – назначение материала. Для этого необходимо выбрать «Назначить материалы».



Выбираем тело, для которого будем назначать материал, нажав на него левой кнопкой мышки (ЛКМ), далее из библиотеки материалов выбираем сталь (**Steel**).



Следующий шаг – создание КЭ сетки. Генерация сетки – очень важный этап. От качества сетки будет зависеть правильность полученных результатов и производительность расчетов. Слишком грубая сетка (большие элементы) не дает достоверных результатов, однако слишком мелкая сетка (маленькие элементы) приводит к достаточно долгим вычислениям. Необходимо искать оптимум для достижения максимальной производительности вычислений при обеспечении должной достоверности расчета. Тип элементов сетки может варьироваться в зависимости от задачи. В нашем случае, выбираем **«3D тетраэдральная сетка»**.



В окне параметров сетки выбираем тело, которое будем разбивать на конечные элементы, тип сетки – "CTETRA(4)" – четырехузловые элементы; для решения данной задачи эти элементы пригодны, однако для решения больших объемных сборок лучше выбирать элементы CTETRA(10). Необходимо также указать средний размер элемента порядка 5 мм. Из опыта конечно-элементного моделирования следует, что для получения достоверных результатов количество элементов по самому малому размеру модели (в данном случае это толщина h = 20мм) должно быть не менее 5, рекомендуется не менее 10. В нашем случае это условие не выполняется. Мы специально делаем относительно грубую сетку, чтобы повысить скорость расчетов.



Результат генерации КЭ сетки представлен на рис. далее.



Следующий шаг – переход в симуляцию для создания граничных условий (приложение нагрузок и условия закрепления). Для этого выбираем пункт «Активировать симуляцию».

🖞 Файл <u>И</u> зменить <u>В</u> ид Встави [.]	ь Формат <u>И</u> нструменты <u>С</u> борки <u>И</u> нформация Ана <u>л</u> из <u>Н</u> астройки Ок <u>н</u> о <u>С</u> правка	_8
⊵ Начало 🗸 🗋 🤔 📘 🔣 📣 🕻	🔊 🧒 Поиск команды 🏠 т 🖓 🏢 🚬 🔣 т 🕼 т 🌍 т 🗌 т 🥵 🥵 🥵 т 👘 🖗 🗸 🤣 😥 т 💉 т 🖼 т	
······································	- : : · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
Актирировот сталящие КО соту		
Активировать симуляцию		
	Бключает команды симуляции по преобразованию	
	файла SIM в рабочую деталь.	
ИМЯ	тоян	
Lension sim2.sim Oto	браж	
🗄 🕑 🗑 🍘 tension_fem2.fem 🛛 Pat	рчая	
ск		
— Буппы		
🚹 🕞 Наборы DOF		
С Области		
- С Г Области		
🔄 🗌 🐺 Контейнер объе		
Контейнер нагр		
🖤 🔄 🙀 Контейнер огра		
Solution 1		
Объекты си		
Ограничения		
Bubcase - Static		
9		
6		
10		
Вид файла симуляции	× X	
Просмотр	Y .	

Для приложения нагрузки выбираем пункт меню «Тип нагрузки» — Сила.



Выбираем торец, по которому будем прикладывать силу, задаем значение силы F = 1 МН. Для правильной ориентации вектора силы в пространстве выбираем ориентацию в направлении соответствующей из глобальных осей координат (в данном случае оси Z).



Результат приложения силы представлен на рис. далее.



Для приложения нагрузки выбираем пункт меню «Тип ограничения» → Заделка.



Выбираем другой торец, по которому будем осуществлять заделку. Для вращения модели можно использовать среднюю кнопку мышки (СКМ). Результат представлен ниже.



Далее решаем задачу, выбрав пункт «Решение».



При решении специфических задач в данном можно изменить некоторые параметры решателя, однако в нашем случае оставляем все, как есть.



Переходим к анализу результатов. Для этого ПКМ на пункте «Результаты» → Открыть.



Чтобы просмотреть деформационную картину стержня, выбираем «Перемещение по узлам» $\rightarrow \mathbb{Z}$.

Задание: *сопоставить результаты* конечно-элементного моделирования деформированного состояния с аналитически полученными данными по второй формулировке закона Гука:

$$\Delta l = \frac{F \cdot l}{E \cdot A},\tag{1}$$

где Δl – абсолютное удлинение стержня; F – усилие; l – длина стержня до деформации; E – модуль упругости материала стержня; A – площадь поперечного сечения стержня.

!Подсказка! Модуль упругости для выбранного материала посмотреть в библиотеке материалов.

Вычислить относительную погрешность по формуле:

$$\delta = \frac{\left|\Delta l_{\text{reop}} - \Delta l_{\text{KS}}\right|}{\Delta l_{\text{reop}}} \cdot 100\% , \qquad (2)$$

где Δl_{reop} и Δl_{reop} – соответственно абсолютные удлинения, полученные аналитическим и конечно-элементным способом. Максимально допустимая погрешность инженерных расчетов $[\delta] \leq 5\%$.



Для анимации деформаций стержня можно воспользоваться пунктом «Воспроизвести».

<u>⊉</u> айл <u>И</u> зменить <u>В</u> ид Вставить Фор	рмат <u>И</u> нструменты <u>С</u> борки <u>И</u> нформация Ана <u>п</u> из <u>Н</u> астройки Ок <u>н</u> о <u>(</u>	Справка	_8
Начало 🗸 🗋 🤔 🔛 🖍 🕫	🕫 Поиск команды 🔳 🔹 🐑 👔 🗸 🔝 т 👶 т 💋 т 💭 т 🎲 🗇 🗸	🥺 🕪 - 🖈 - 😑 .	
• 🚯 • 🐚 • . 🕼 • 🕋 🎕 🐠	12 · 12 · 12 · 13 · 13 · 1 · 10 · 2 · 10 · 2 · 10 · 2 · 10 · 10		
		Воспроизвести	
	i and a second se	Воспроизводит анимацию в выбранных видах	
Навигатор постпроцессора	tension_sim2 : Solution 1 Результат	постпроцессора.	
Имя 0	Subcase - Static Loads 1, Статический шаг 1		
tension_sim1	Перемещение - По узлам, Z		
- O 📲 Solution 1 NC	Мин. : 0.000, Макс. : 3.014, Единицы = мм		
ig tension_sim2	Деформация : Перемещение - По узлам Величина		
😑 😪 🍓 Solution 1 💦 💦			
😑 🏪 Перемещение - По узл			
X	3.014		
<u>Y</u>			
2	2.763		
- Величина	2.705		
Вращение - По узлам			
В напряжение - по эле	2.512		
77	- 2.260		
	2.000		
-7X	2.009		
Идентификация			
- Средний	1.758		
— Макс. сдвиг			
— Мин. главный момент	1.507		
— Средний главный			
Макс. главный момент	4.050		
— Восьмигранный	1.200		
Вон-Мизес			
🕀 🍒 Напряжение - По эле	1.005		
🕀 🏪 Сила реакции - По узл			
🕀 🎰 Момент реакции - По у	0.753		
🛃 Импортированные результаты			
Области просмотра			
□- □- □- □- □- □- □- □- □- □- □- □	0.502		
🖏 Шаблоны	0.251		
•			
Просмотр	Единицы = мм		

Чтобы просмотреть напряженное состояние стержня, выбираем «Напряжения по элементам» → ZZ.



Вблизи заделки имеет место концентрация напряжений вследствие влияния граничных условий.

Задание: определить *коэффициент концентрации напряжений* в заделке по формуле:

$$k_{\sigma} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\text{сред}}}, \qquad (3)$$

где σ_{max} – максимальные напряжения в заделке; σ_{cped} – средние напряжения в стержне на некотором отдалении от заделки.

Средние напряжения в стержне вычисляются по формуле:

$$\sigma_{\rm cpeg} = \frac{F}{A},\tag{4}$$

F-усилие; *А*-площадь поперечного сечения стержня.

Задание: *сопоставить результаты* конечно-элементного моделирования напряженного состояния по средним напряжениям с аналитически полученными данными по формуле (4).

Чтобы отобразить напряжения в любом элементе, выбираем пункт «Определить значения» и нажимаем ЛКМ на интересующий нас элемент.

Вычислить относительную погрешность средних напряжений по формуле (2).



Для оценки прочности необходимо выбрать пункт «Новая симуляция долговечности».

🎾 N)	(8.5 - Расширенная симуляция - [(Симу	пяция) tension_sim2.sim (Измененный)]		S	- 🖻 🔯
₩) ⊈	айл <u>И</u> зменить <u>В</u> ид Вставить Фор	мат <u>И</u> нструменты <u>С</u> борки <u>И</u> нформа.	ция Ана <u>л</u> из <u>Н</u> астройки Ок <u>н</u> о <u>С</u> пр	авка	_BX
1 💆 H	Іачало - 🗋 🔔 🔚 🔣 👶 🗙 🕫	🕫 Поиск команды 🚜 🔹 🐑 📘 🖕 🗌	🖬 • 🕹 • 🖉 • 🔲 • 🚯 🕪 . 🤧	• • • • • • • • • • • • • • • • • • •	
· 😰 ·	• 🚳 • 🦄 • 🖕 🔊 • 📑 🎕 🐢 •	본 • 🏣 • 💕 🚳 • 🗐 • 🗂 • . 🎣	🟒 🛍 🤋 🍕 🏷 • 🖪 🖄 🔹	• A + .	
i 📷 i 🔹	💼 • 📾 • 🎠 • 📾 • 🧤 🛒	》 L	Z A · 2 - 4 2 . P ·	略 • 物 🕤 📽 🖗 • 挫 • 撞 • 🔗 • 🖉 🥝 🦉 • 🗍 • 🛒 🗎 • .	
-	Только внутри рабо				
, t.			Новая симуляция долговечности		- (=)
			Создает симуляцию долговечности.		, <u> </u>
8		sim2 : Solution 1 Резуль	тат		
-	Имя процесса решения долговечности	- Static Loads 1, CTatur	еский шаг 1		
P	Durability 1	нис - По элементам, 2.			
	~ ~~~	13.139, Make. : 1707.00,	единицы – п/мм-2(мпа)		
	ОК Применить С	отмена	ю узлам величина		
- K -	Стальнапряжение - по эле				
-	- XX	- 1707.00			
<u>L</u>	- YY				
THE-	- ZZ	1650.86			
44	- XY	1000.00			
-	- YZ	1504.72			
	- ZX	1594.75			
0"	Средний	4500.00			
	Макс слвиг	1538.60			
	— Мин. главный момент				
	– Средний главный	— 1482.46			
9	— Макс. главный момент				
	— Восьмигранный	— 1426.33			
	Вон-Мизес				
	Hanpяжение - По эле	1370.20			
63	Ш В Сила реакции - По узл				
Ľ.	З Импортированные результаты	- 1314.06			
	Области просмотра				
	🖃 📕 Графики перехода	1257.93			
	🖶 🌚 Post View 5 👘 (M				
	🐴 Шаблоны	1201 79			
		1201110			
		1145 66			
		1145.00			
		1000 50			
		1089.55 z			
		- 1033.397		2028 B	
		~			
	Просмотр	Единицы = Н/мм^2(МПа)			
					15.52

Добавляем «Новое событие» — Статика в модуль оценки прочности.

🖗 NX 8.5 - Расширенная симуляция - [(Симуляция) tension_sim2.sim (Измененный)] S	e 🔀
🖞 Файл Изменить Вид Вставить Формат Инструменты Сборки Информация Анадиз <u>Н</u> астройки Ок <u>н</u> о <u>С</u> правка 🗔	ax
🕭 Начало - 🗋 🏂 🖳 🖧 📣 🗙 🕫 🤷 Поиск команды 💋 - 😭 🗓 - 🔯 - 🦓 - 🗋 - 😥 🚱 - 🖗 - 😥 - 🐼 - 🗮 -	
◎・63・23・110・11金金・22・22・22・42 00・11 ・11 ・12 ・20 1 20 1 20 1 20 1 20	
	•
Навигатор симуляции tension_sim2 : Solution 1 Результат	
на Cocroян Subcase - Static Loads 1, Статический шаг 1	
er in Grension_sim2.sim Oročpax Hanpswenue - По элементам, ZZ	
💏 👝 СК Деформация : Перемещение - По узлам Величина	
H C Ponna	
A Laboratory DOF	
е 1707.00	
и С Контейнер объе	
и Сильная с с с с с с с с с с с с с с с с с с с	
— Ф 2 1 2 Контейнер огра 1594.73	
С 1538.60	
🕞 🚽 🖓 Объекты си	
□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 1/122/16	
■ Fixed(1) 1402.40	
Subcase - Static Akrineho	
П 0 1426.33	
A PUMANA KATAKTI I 1370.20	
Di Di Mana anti ulta Matiepa	
П Р Переименовать /	
Ца Клонировать	
Х Удалить	
Сделать активным тереходных процесс	
Проверка настройки модели	
📝 Решить	
🐘 Отчет о результатах	
і Информация	
📄 Показать журнал решения	
Вид файла симуляции У Елиницы = Н/мм^2/МПа)	
Просмотр V сдиницо - голина с (инта)	

Необходимо проверить правильность выбора критериев прочности. Для этого выбираем Strength 1 — Изменить настройки прочности.

📡 NX 8.5 - Расширенная симуляция - [(Симуляци	и) tension_sim2.sim (Измененный)] S	2 🔯
⊌ Файл Изменить Вид Вставить Формат	<u>Инструменты О</u> борки <u>И</u> нформация Ана <u>п</u> из <u>Н</u> астройки Ок <u>н</u> о <u>С</u> правка	_ax
👲 Начало - 🗋 😂 🔚 🗟 🗶 🕫 🤫 1	Поиск команды 🙇 - 省 👔 🗸 🔟 - 🕹 - 🛷 - 🔲 - 🤣 🦻 - 🤣 - 💉 - 😹 -	
🕼 • 🍕 • 🍫 • . 🕼 • 📹 🎕 🐢 • 🛌 •	<u></u> 提・ 11 ● 1 = 1 + 1 ● + 1 ● 1 ● 1 ● 1 ● 1 ● 1 ● 1 ● 1	
📖 • 📾 • 🙀 • 😂 • 🦄 🚅 🖗 🛙		J • .
Только внутри рабо 💌	8 4 2 3 0 B	
		• (=)
• Статическое событие		
	sinz : solution 1 Pesyntrat	
Static Event 1	ние - По элементам. ZZ	
Список статических событий)33.39, Макс. : 1707.00, Единицы = Н/мм^2(МПа)	
Solution 1-SOL 101 SCS	ация : Перемещение - По узлам Величина	
	7.00	
Га Тип возбуждения Шаблон		
Поиск оси Параметры решател	ля	
Прочность Усталость		
Strength 1	173	
	3.60	
Изменить настройки прочности	2.46	
😑 🗹 본 Нагрузки	1426.33	
- Force(
Результаты Контекст	1370.20	
	1314.06	
	1257.93	
	4204 70	
	1201.79	
	1145.66	
	1145.00	
	1089.53	
	7	
	1033.39	
Вид файла симуляции 💙 Е/	диницы = Н/мм^2(МПа)	
Просмотр		
	EN 16 🐂 🖓 🔛 👘 🔍 🔜 🐘 💺 🕂	1 1) 15:54

Для оценки прочности пластичных материалов в качестве предельного напряжения рекомендуется пользоваться **пределом текучести**. В соответствии с IV-й теорией прочности, дающей хорошие результаты для пластичных материалов, эквивалентные напряжения **по Мизесу** определяются по формуле:

$$\sigma_{_{3KB}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_{1} - \sigma_{2})^{2} + (\sigma_{2} - \sigma_{3})^{2} + (\sigma_{3} - \sigma_{1})^{2}}$$
(5)

ИЛИ

$$\sigma_{_{3KB}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\left(\sigma_{_{x}} - \sigma_{_{y}}\right)^{2} + \left(\sigma_{_{y}} - \sigma_{_{z}}\right)^{2} + \left(\sigma_{_{z}} - \sigma_{_{x}}\right)^{2} + 6 \cdot \left(\tau_{_{xy}}^{2} + \tau_{_{yz}}^{2} + \tau_{_{zx}}^{2}\right)},$$
(6)

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные напряжения; $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ – соответственно нормальные и касательные напряжения в произвольной системе координат.

Выбираем галочкой также пункт «Коэффициент запаса прочности».



Добавляем характер действующей нагрузки: **Static Event** → **Новое возбуждение**.

🎔 NX 8.5 - Расширенная симуляция - [(Сим	муляция) tension_sim2.sim (Измененный)]	S - 🖻 🗵
🛃 Файл <u>И</u> зменить <u>В</u> ид Вставить Фо	ормат <u>И</u> нструменты <u>С</u> борки <u>И</u> нформация Ана <u>п</u> из <u>Н</u> астройки Ок <u>н</u> о <u>С</u> правка	_ #×
💆 Начало - 🗋 🤌 🔚 🔣 📣 🗙 🕫) 🧒 Поиск команды 🚜 - 😭 👔 , 🔢 - 🧶 - 🚚 - 🗌 - 🎲 - 🖗 , 🤣 - 💉 - 🔤 ,	
i 🔊 • 🚳 • 🐄 • _ i 🔊 • 🚳 🕸 🚛	• 12 • 15 • 17 16 • 16 • 18 • 18 • 18 • 18 • 18 • 18 •	
	※ ● 承 ■ ■ № ・ 元 № 1 / / / / / / / / / / / / / / / / / /	• 🗐 • 🚾 🔂 •
Пет фильтра выос 💟 Вся соорка		-
В Навигатор симуляции	tension_sim2 : Solution 1 Результат	
н Имя Состоян	Subcase - Static Loads 1, Статический шаг 1	
🚱 🚱 tension_sim2.sim Отображ	Напряжение - По элементам, ZZ	
🛨 🐨 🗹 🐡 tension_fem2.fem	Мин. : 1033.39, Макс. : 1707.00, Единицы = Н/мм^2(МПа)	
😤 СК	Деформация : Перемещение - По узлам Величина	
🙀 🕞 Группы		
😬 🔁 Наборы DOF		
🕞 🗁 Области	1707.00	
Гарана Стана Ст		
нд- 🛛 📣 Контейнер объе	1650.86	
🖂 🖻 🗹 🏞 Контейнер нагр		
₩ • Force(1) Активно	4504.72	
🖃 🗹 🔁 Контейнер огра	1994.73	
Solution 1 Активно	1538.60	
Объекты си		
— — M 🔁 Ограничения	482 46	
Fixed(1)		
E-P Subcase - Static Активно		
□ □ ■ Нагрузки	1426.33	
► Porce(
Pesylibration Kohrekchi	1370.20	
ARINBHO		
Измен	нить	
🔲 🛃 Переи	именовать	
🚡 Клонир	ировать	
🗙 Удалит	ms and a second s	
Новое	е возбуждение	
🔒 Сдела	ать неактивным	
🛃 Решить	rb	
Истори		
же .		
۰ <u>۱۱</u> ۲	1033.397	
Вид файла симуляции 🔍	Единицы = Н/мм^2(МПа)	
Просмотр V		
		D= () = () 15.55

Выставляем следующие параметры: Тип шаблона – Цикл половины единицы; Масштаб = 1; Смещение = 0.

№ NX 8.5 - Расширенная симуляция - ((Симуляция) tension_sim2.sim (Измененный))	S	- 8 🔯
и <u>Файл Изменить Вид</u> Вставить Формат <u>И</u> нструменты <u>С</u> борки <u>И</u> нформация Ана <u>л</u> из <u>Н</u> астройки Ок	<u>но С</u> правка	[=][¥]
🔮 Начало • 🗋 🙋 🖬 🚉 🕹 🗙 🖍 🤫 Поиск команды 🙇 • 🧌 👔 🗸 🖾 • 🖉 • 🚺 •	* · 😥 🕪 · 🖉 · 🖂 ·	
	A • • 4 • .	
■ * ■ * ● * 陰 * ● * 沙 ● 沙 ● 登 ● ■ 泡 * 酒 ⊆ № * 孟 陽 * 孟 隆 * 希 隆 *	🖗 + 🍪 + 😓 🗂 🎕 🖗 + 🖄 + 🏭 + 🖉 + 🖉 🤌 🥥 + 🗊 + 颾 🔂 +	
🔽 🔽 Только внутри рабо 💌 🕸 🦂 😘 🕲 🎯		•
• Загрузить шаблон • х sim2 : Solution 1 Результат		
Р Имя шаблона - Static Loads 1, Статический шаг 1		
Load Pattern 1 ние - По элементам, ZZ		
Subcase - Static Loads 1 // 133.39, Макс. : 1707.00, Единицы = Н/мм^2(МПа	()	
ация : перемещение - по узлам Величина		
Тип шаблона 7.00		
Масштаб 1.0000 296		
Смещение 0.0000		
1.73		
Отмена		
.00		
· Варограничения 1482.46		
1426.33		
1370.20		
1314.06		
1257.93		
1201.79		
4445.00		
1143.80		
1089.53		
7		
1033.39/		
Вид файла симуляции 💟 Единицы = Н/мм^2(МПа)		
Просмотр	~	
	EN 🚜 🚞 🗃 🐷 🚑 🔍 📅 🗽 🔛 💺 🖳 👘	15:56

Производим оценку прочности: **Durability** → **Решить**.

🞾 NX 8.5 - Расширенная симуляция - [(Симу	уляция) tension_sim2.sim (Измененный)]	S - 2 🛛
🛃 Файл Изменить Вид Вставить Фо	рмат <u>И</u> нструменты <u>С</u> борки <u>И</u> нформация Ана <u>л</u> из <u>Н</u> астройки Ок <u>н</u> о <u>С</u> правка	_ a ×
💆 Начало - 🗋 😂 🔚 🔣 👶 🗙 🕫	🕫 Поиск команды 🙇 - 😘 👔 , 📅 - 🕹 - 🕢 - 🦳 - 🎲 - 🖗 , 🤣 - 💉 - 🗃 ,	
D	▶• = = = = = = = = = = = = = = = = = = =	
		a) - a · a · a · a · a · a · a · a · a · a
Нет фильтра высо 💌 Вся соорка		
Навигатор симуляции	tension_sim2 : Solution 1 Результат	
FII Имя Состояні	Subcase - Static Loads 1, Статический шаг 1	
🝖 🐠 tension_sim2.sim Отображ	Напряжение - По элементам, ZZ	
🔲 🗉 🗹 🞒 tension_fem2.fem	Мин. : 1033.39, Макс. : 1707.00, Единицы = Н/мм^2(МПа)	
👫 СК	Деформация : Перемещение - По узлам Величина	
📙 Группы		
🐴 Наборы DOF		
р_ Области	— 1707.00	
- Ты Области		
🚋 🛛 🐔 Контейнер объе	1650.86	
🗁 🗹 논 Контейнер нагр	1030.00	
🥮 🛛 🗹 🗢 Force(1) Активно		
😑 🗹 🏣 Контейнер огра	1594.73	
🕒 🖶 Solution 1 Активно	- 1538.60	
🕞 — 🗹 🐥 Объекты си		
🖳 🖯 🚮 Ограничения	1400.40	
Fixed(1)	1402.40	
🖻 🤔 Subcase - Static Активно		
😑 🗹 논 Нагрузки	1426.33	
- 🗹 🗢 Force(
Результаты Контекст	1370.20	
Durability 1		
E MAA Static B	лиощью мастера	
Load F 🛃 Переименова	ΤЬ	
Клонировать		
🗙 Удалить		
Новое событи	e 🔸	
the second		
📁 Сделать актив	вным	
🧼 Проверка наст	тройки модели	
Решить		
🖽, Отчет о резуль	STATAX	
і Информация		
📄 Показать журн	нал решения	
	1033.39/	
Вид файла симуляции		
Просмотр	сдиницы – плммп2(IVIIIa)	
	🖸 🕼 🝿 😓 🔊 🗧 👼	😂 🌉 🔍 🖬 🕼 🍡 🐎 🦣 🗂 🌒 15:57

Далее нажимаем ОК.



Переходим в результаты и оцениваем запас прочности стержня **Durability** → Коэффициент запаса прочности – по элементам.

Задание: определить коэффициент запаса прочности по средним напряжениям по формуле:

$$n = \frac{\sigma_{\rm T}}{\sigma_{\rm cpeq}},\tag{7}$$

где σ_{T} – предел текучести материала; σ_{cpeq} – средние напряжения в стержне на некотором отдалении от заделки. Рекомендованные значения коэффициента запаса прочности для пластичных материалов $[n] = 1,5 \div 2,5$.

!Подсказка! Предел текучести для выбранного материала посмотреть в библиотеке материалов.

Задание: на основе анализа коэффициента запаса прочности необходимо сделать выводы о прочности стержня и, в случае необходимости, принять мероприятия по обеспечению запаса прочности.



Чтобы изменить геометрию изделия, необходимо сделать модель отображаемой деталью.

NX 8.5 - Расширенная симуляция - [(Сим)	уляция) tension_sim2.sim] S	2
на <u>Файл Изменить</u> Вид Вставить Фо	ормат <u>И</u> нструменты <u>С</u> борки <u>И</u> нформация Ана <u>л</u> из <u>Н</u> астройки Ок <u>н</u> о <u>С</u> правка	
🙆 Начало - 🗋 🗁 🔛 🔣 👶 🗙 🇭	🧒 Поиск команды 🍏 🔹 🧐 🔳 🖕 🔢 Ү 🖑 Ү 🔱 Ү 🔛 Ү 💱 🖗 Ү 🔅 Ү 😸 ү	
i 🖉 • 🚳 • 🛛 💐 🖓 • 📑 🎕 🐢 • 🛤	\$* \$# \$^ \$\$ \$\$ * \$\$ * \$\$ * \$\$ * \$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$\$ \$	• 🖹 • 🔣 🔂 • •
📖 • 🛢 • 🐗 • 🎠 • 😂 • 🦻 🜌	》此丞马圆道·酒登咏,其宗·名言·燕翼。	
(Нет фильтра выбо 🔽 (Вся сборка		-
	Все детали успешно сохранены.	
Навигатор симуляции	tension sim2 : Durability 1, Static Event 1 Результат	
F Имя Состояні	Случай нагрузки 1, Статический шаг 1	
😰 🥵 tension_sim2.sim Отображ	Коэффициент запаса прочности - По элементам/узлам, Безкарвородска, Скаляр	
- M m tension_fem2.fem	Мин. : 0.0989, Макс. : 0.1970, Единицы = Цельный	
Fra tension tent		
🗄 🕀 Молигональ. 🔍 Сделат	гь отображаемой детально	
🔁 🕀 🗹 🏠 ЗД Коллекто	0.1970	
Г Гы Области		
HE- CK	0.1888	
🍘 🕞 Наборы DOF		
	0.1807	
о Сласти		
Контейнер объект	0.1725	
Контейнер нагр		
😑 🖶 Solution 1 Активно	0.1643	
С Сбъекты си		
⊕	0.1561	
нагрузки		
Результаты Контекст	0.1479	
🗳 🖻 🙇 Durability 1		
🗇 🕀 🕅 🦗 Static Event 1 Активно	0.1398	
	0.1216	
	0.1310	
	0 1234	
	0.1152	
	0.1071	
	Z	
	0.0089	
Вид файла симуляции 🗸 🗸	Единицы = Цельный	
Просмотр	W	
	👩 🚛 👿 😓 🔊	1 10 16:24

Далее изменяем эскиз.



При изменении эскиза необходимо сохранять заданное соотношение между толщиной и шириной стержня $\frac{h}{b} = 2$. После окончания нажимаем кнопку «Закончить эскиз».



Возвращаемся к симуляции.



Возвращаемся к КЭ модели.

🎾 NX 8.5 - Расширенная симуляция - [((Идеальный) tension_fem2_i.prt (Изменен	ный)]		S - @ 🛛
<mark>⊯ Ф</mark> айл <u>И</u> зменить <u>В</u> ид Вставить	Формат <u>И</u> нструменты <u>С</u> борки <u>И</u> нф	ормация Ана <u>л</u> из <u>Н</u> астройки Ок <u>н</u> о <u>С</u> пра	вка	_a×
👲 Начало - 🗋 😂 🔚 🔣 👶 🥐	🐚 💼 🗙 🖍 🤫 Поиск команды 🍕	- 👻 💷 - 🖬 - 🕹 - 🍞 - 🗖 - 🌮	🕩 . 🦻 🕪 - 💉 - 🔜 .	
- 🐼 • 🕲 • . 💷 • .	• 👘 • 🎨 🗞 • 🗞 • 🗞	• •		
📖 • 📾 • 🐗 • 🎠 • - 🖓 • -	🗛 - 🚅			
Нет фильтра выбо 🔜 Вся сборка				
Давигатор симуляции				
	084			
e tension_fem2_i.phOros				
rension.pit	образить КЭ модель 🔸	tension_fem2.fem		
Pa 📸 Hos	вая КЭ модель			
Hot	вая КЭ модель и симуляция			
🕞 🖉 Пер	репозиционирование мастер-модели			
	ренос			
H2-				
(11)				
•				
Ex.				
	Z		<u>x</u>	
			20	
Вид файла симуляции	V A			
Просмотр	V		XC	
🦚 📰 💽 🖬 🚳	o 🗰 🛃 🔊		EN 🚜 😁 🗐 🛛	🗴 🚝 🔩 🖬 🖄 🌬 🗞 🧞 👘 🕕 🛛 16:34

Производим повторное построение КЭ сетки.

🎾 NX 8.5 - Расширенная симуляция - ((КЭ модель) tension_fem2.fem (Измененный)]	S - 0
🔀 Файл <u>И</u> зменить <u>В</u> ид Вставить Формат <u>И</u> нструменты <u>С</u> борки <u>И</u> нформация Ана <u>л</u> из <u>Н</u> астрой	и Ок <u>н</u> о <u>С</u> правка
👲 Начало + 🗋 🤌 🔚 🔠 📣 🗙 🖍 🕫 Поиск команды 🛕 + 🗞 👔 🚛 + 🕹 + 🐗 - 🔲 -	移 fb - 、 🤧 😰 - 💉 - 🖼 -
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	1 🐜 🔆 - 🛆 - 🧔 🧏 🥥 🖓
= · • • ·	
Нет фильтра выбо 💌 Вся сборка 🔍 🛤 🔩 😘 🗞 🕥 😭	
VIMA COCTORH	
€ tension fem2 i.prt	
😤 🕀 🖌 🔁 Полигональная	
🖶 🖯 🗹 🏠 ЗД Коллекторы	
Изменить	
У Изменить отображение	
Изменить данные связанной сетки	
→ Контр.	
🕒 🧠 Свойства тела	
П Информация	
С Просмотр синтаксиса решателя	
Вид файла симуляции	
Просмотр V	
	EN 🍻 🗃 🗊 💐 👫 🐁 🖬 🖧 🍢 👘 👘 🔶

Действия с сеткой производим аналогично вышеописанным. Целесообразно является некоторое укрупнение размера элемента (10-15мм) для сохранения быстроты расчетов на высоком уровне.



Возвращаемся в симуляцию.

🎔 NX 8.5 - Расширенная симуляция - ((КЭ модель) tension_fem:2fem (Измененный)]	S - 🛚 🗵
🛃 Файл Изменить Вид Вставить Формат Инструменты Сборки Информация Анадиз Настройки Ок <u>н</u> о Справка	_ P×
💆 Начало - 🗅 📁 🖳 🔬 💦 🖍 🕫 Понск команды 🎯 - 😭 🗓 - 🔯 🕄 - 😨 - 💭 - 🦃 🖗 - 🧐 - 💭 - 🦃 🚱 - 🔅	
[⑦・�・ ★・ Δ・ ダ・ಀ・. [⑦・ ≌ ´] . [⑦・ ಙ・ • . [⑦・ ≌ • �・ • • □ · ´] № 米・Δ • ダ・₽ ≷. = ಀ・.	
Нет фильтра выбо 💌 [Вся сборка 🕞 🕼 🦘 🐐 🕸 📦	-
Э Навигатор симуляции	
Га Инг Состоян	
R Classion_fem2_OGHOBUTS	
ра 🖯 Селамона 🖕 Заморозить обновление модели	
🙀 🖻 🗹 🛕 3D K 💶 💱 Oročpasini cinajnajuno 🔸 tension_sim2 sim	
СК У Изменить отображение модели	
📴 Срупны 🔗 Новая сетка	
и Сты Област Ж Новое соединение	
Новая симуляция	
🔊 😛 Восстановить ID узлов и элементов	
заменить идеал/мастер-деталь	
И Связанные злемента	
Ца Стиет о модели	
IN THE OWNER OF THE OWNER OWNER OF THE OWNER	
Просмотр V	
	16-25

Производим повторное решение задачи.

🎔 NX 8.5 - Расширенная симуляция - [(Симуляция) te	nsion_sim2.sim (Измененный)]	S - 🕫 🗵
<mark>⊯:)</mark> Файл <u>И</u> зменить <u>В</u> ид Вставить Формат <u>И</u> н	струменты <u>С</u> борки <u>И</u> нформация Ана <u>л</u> из <u>Н</u> астройки Ок <u>н</u> о <u>С</u> правка	_ax
👲 Начало - 🗋 😂 🔚 🔣 📣 🗙 🕫 🤫 Пои	жкоманды 💩 т 🧐 🚹 🗸 🖽 т 🚳 т 🗊 т 💭 т 💔 🖗 🗸 🤣 🕪 т 💉 т 🖼 🗸	
i 📾 • 🍕 • 🥸 • 🛛 i 💷 • 📆 🎕 🐢 본 • 🏣	· 🔗 🚳 • 🗊 • 📑 • . 1 🝕 • 🌾 • . 1 📾 • 🍕 • 🏷 🗂 🎕 Ք • 🏝 • 🗗 • 🖉 • 🖉 🧏 🥥 • 🗂 • 1	🍕 🛅 🔹
📖 • 📾 • 🚳 • 🔯 • 🐸 • 🔭 🚅 🐄 🏗 🕅	· • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	
Нет фильтра выбо 🔻 Вся сборка 🔍 📢	* * * *	
Навигатор симуляции	. +. <u>.</u> + + <u> </u>	
Ра Имя Состояни		
🐅 🛃 tension_sim2.sim Отображ		
🕒 🐨 🐼 tension_fem2.fem		
Ра СК		
⊕ Сруппы		
Г Г Области		
尘 🛶 Контейнер объект		
🕂 🕀 - 🛃 🔁 Контейнер нагр		
💷 🕀 🕞 📜 Konseŭvep orpa		
Solution 1 20 Изменить		
🕛 🕂 Ограни 🖉 Изменить параметры р	ешателя	
🕞 😑 🤔 Subcase 🔊 Изменить расширенные	апараметры решателя	
🕒 💮 🛃 🔁 Наг 🐚 Клонировать		
🕞 🧏 Результат 🛃 Переименовать		
🖳 🗁 🚜 Durability 1 🗙 Удалить		
Ше Мика Static в Повый подкласс Питаріїну Новый подкласс		
Спепать неактивным		
Р Проверка настройки мо	дели	
🔲 🧳 Отрисовка контуров гран	ичных условий	
🕒 Отнот монолим солой на	1001	
😥 Решить		
😂 Обзор		
📑 Настроить отчет		
🎭 Адаптация объекта КF		
	7	
Вид файла симуляции 🗸 🗸		
Просмотр V	XCheckartinakara	
	EN 🚜 🐂 🗃 🖉 🚑 🔍	En 🌆 🎠 🔊 🧞 🔭 🕕 16:37

Проводим повторную оценку прочности.



Оцениваем коэффициенты запаса прочности и делаем вывод о прочности стержня. Задание: провести мероприятия по обеспечению запаса прочности стержня в диапазоне $[n] = 1, 5 \div 2, 5$.

