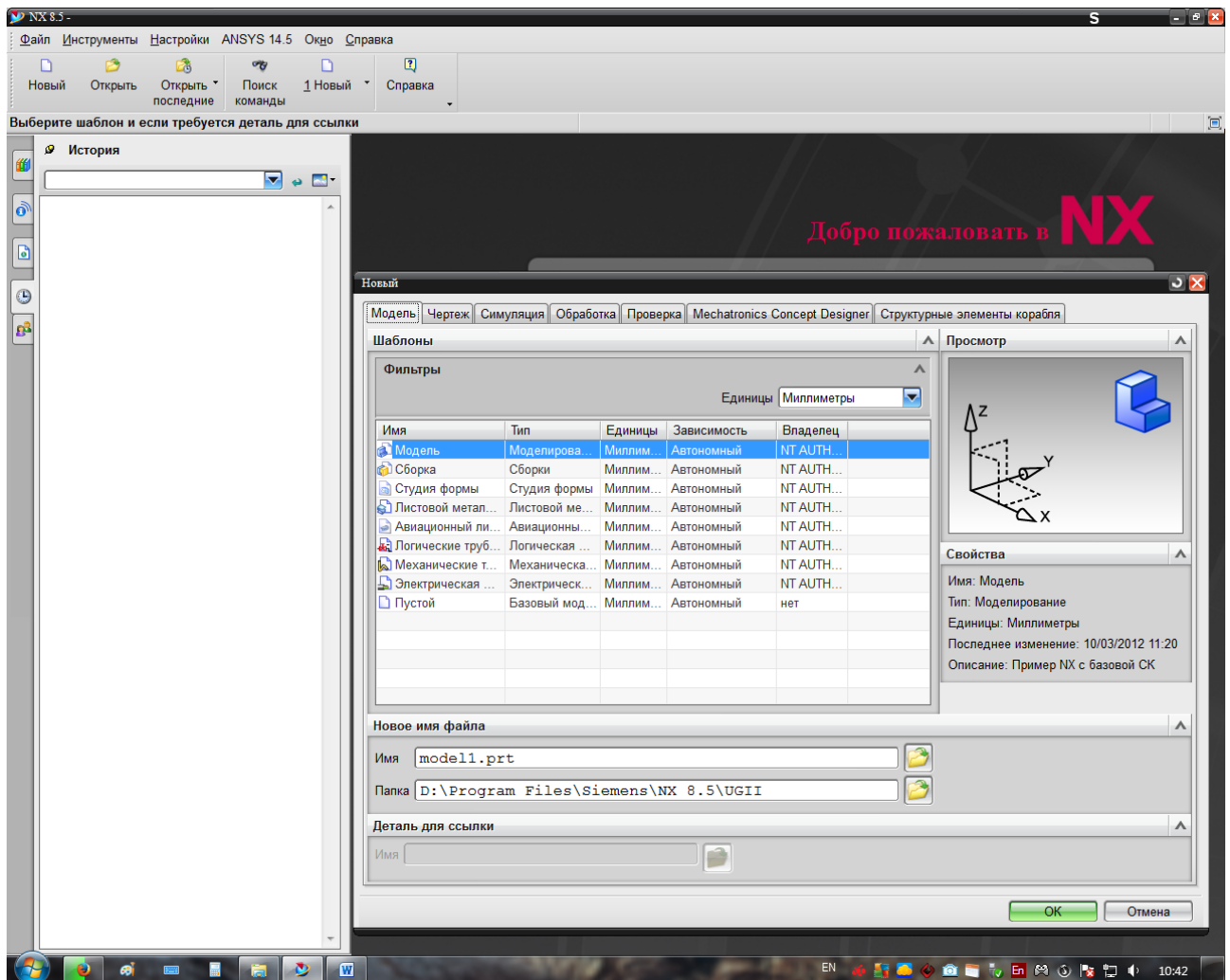


Лабораторная работа №3 РАСЧЕТ БАЛКИ НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ ПРИ ИЗГИБЕ

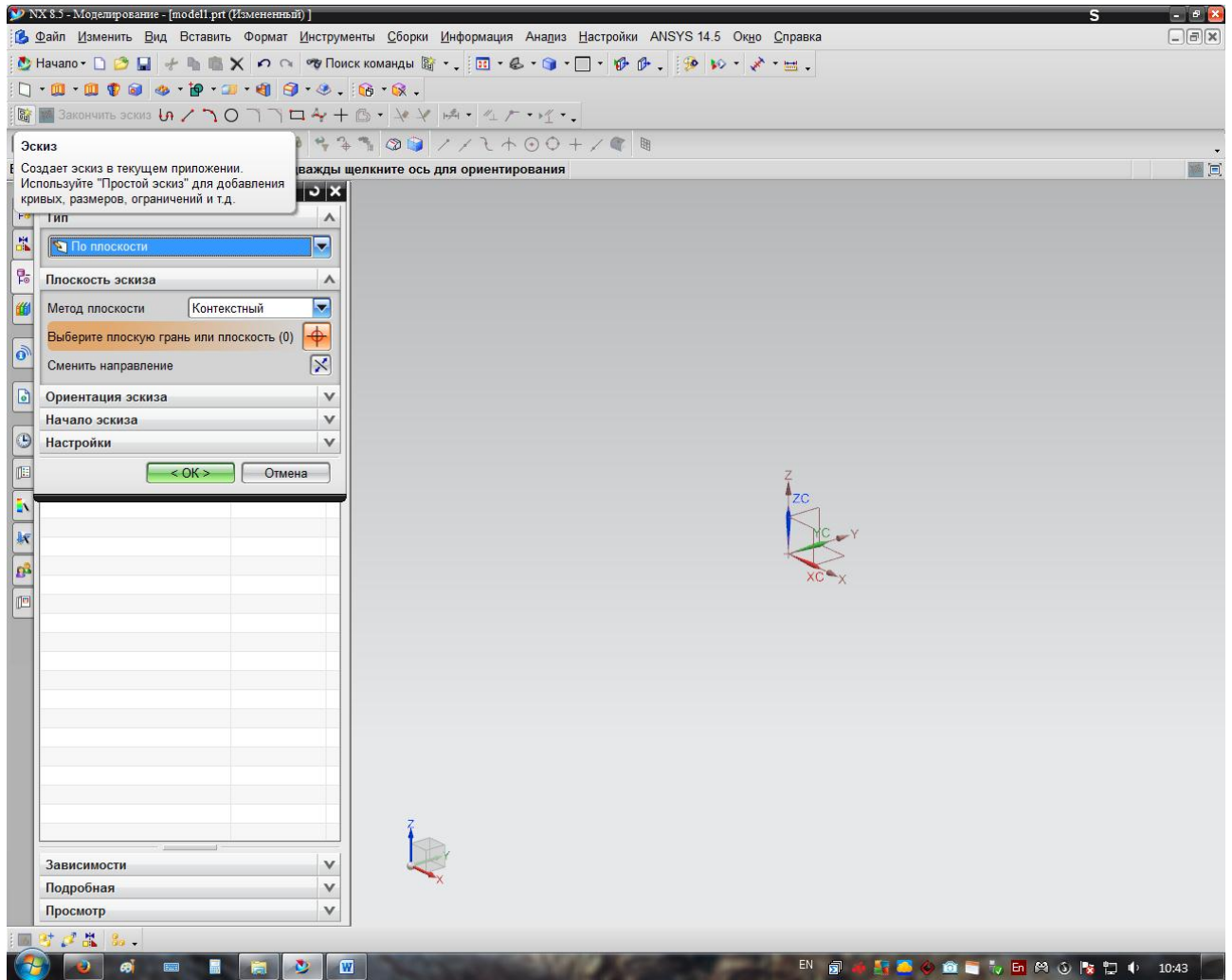
Цель работы: произвести проверочный и проектировочный расчеты прямоугольной балки на прочности и жесткость при изгибе.

Замечание: все используемые в лабораторной работе опции программного комплекса Unigraphics NX 8.5 подробно описаны в **лабораторной работе №1**, здесь приводятся лишь основные пункты расчета с краткими пояснениями и отличия расчетов на прочность и жесткость при изгибе от аналогичных при растяжении. При любых неясностях рекомендуется обратиться к **лабораторной работе №1**.

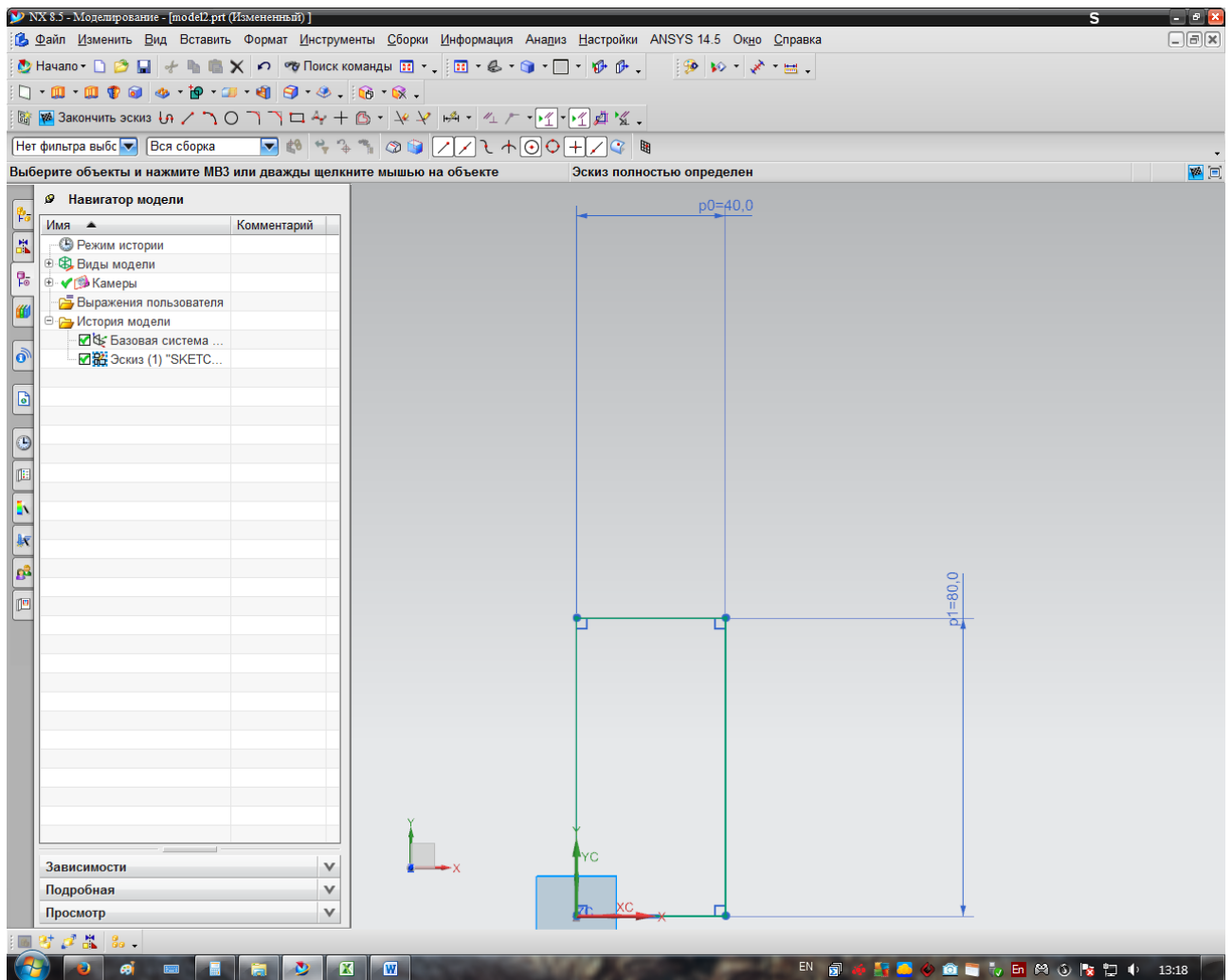
Создаем новую модель.



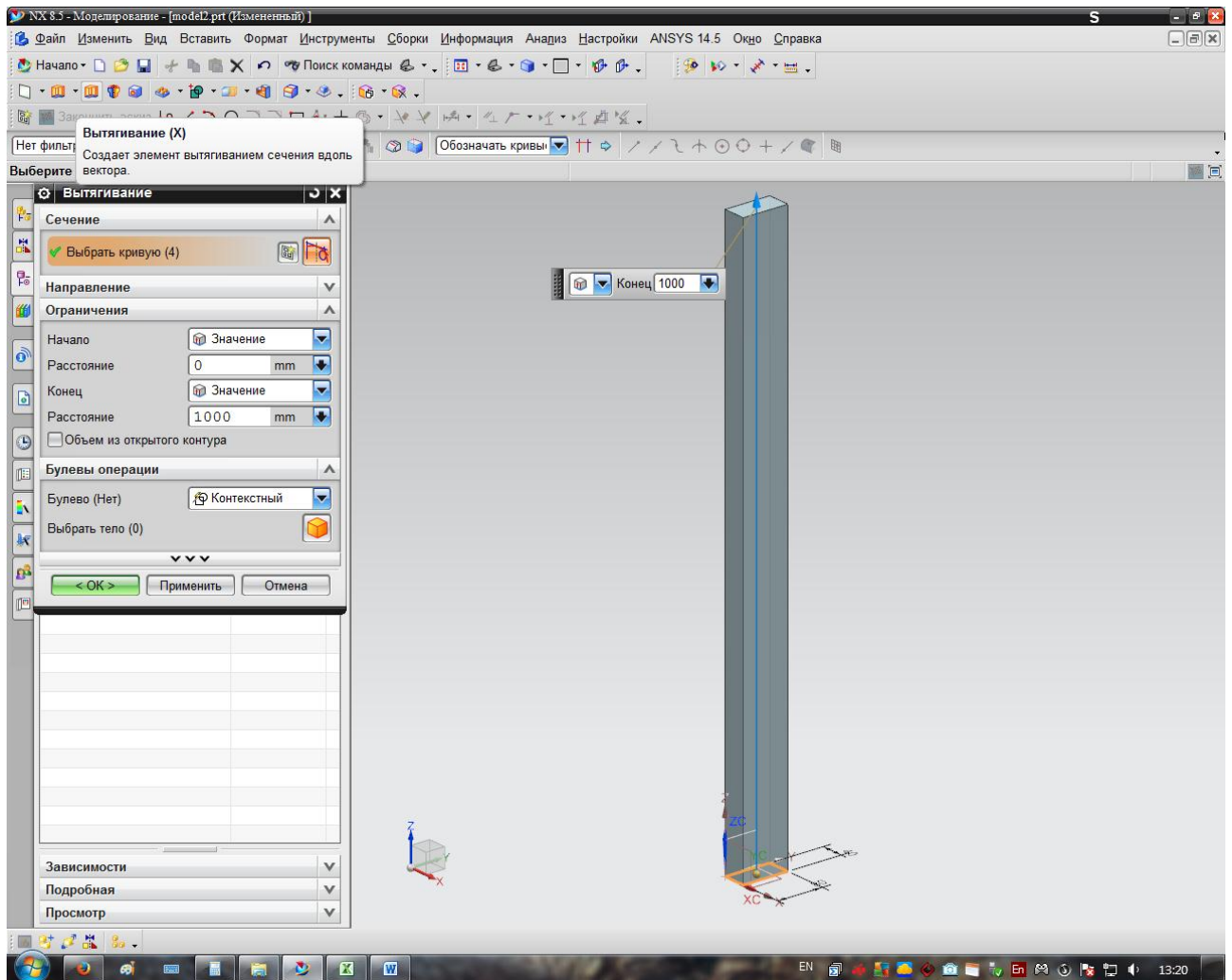
Рисуем эскиз поперечного сечения балки.



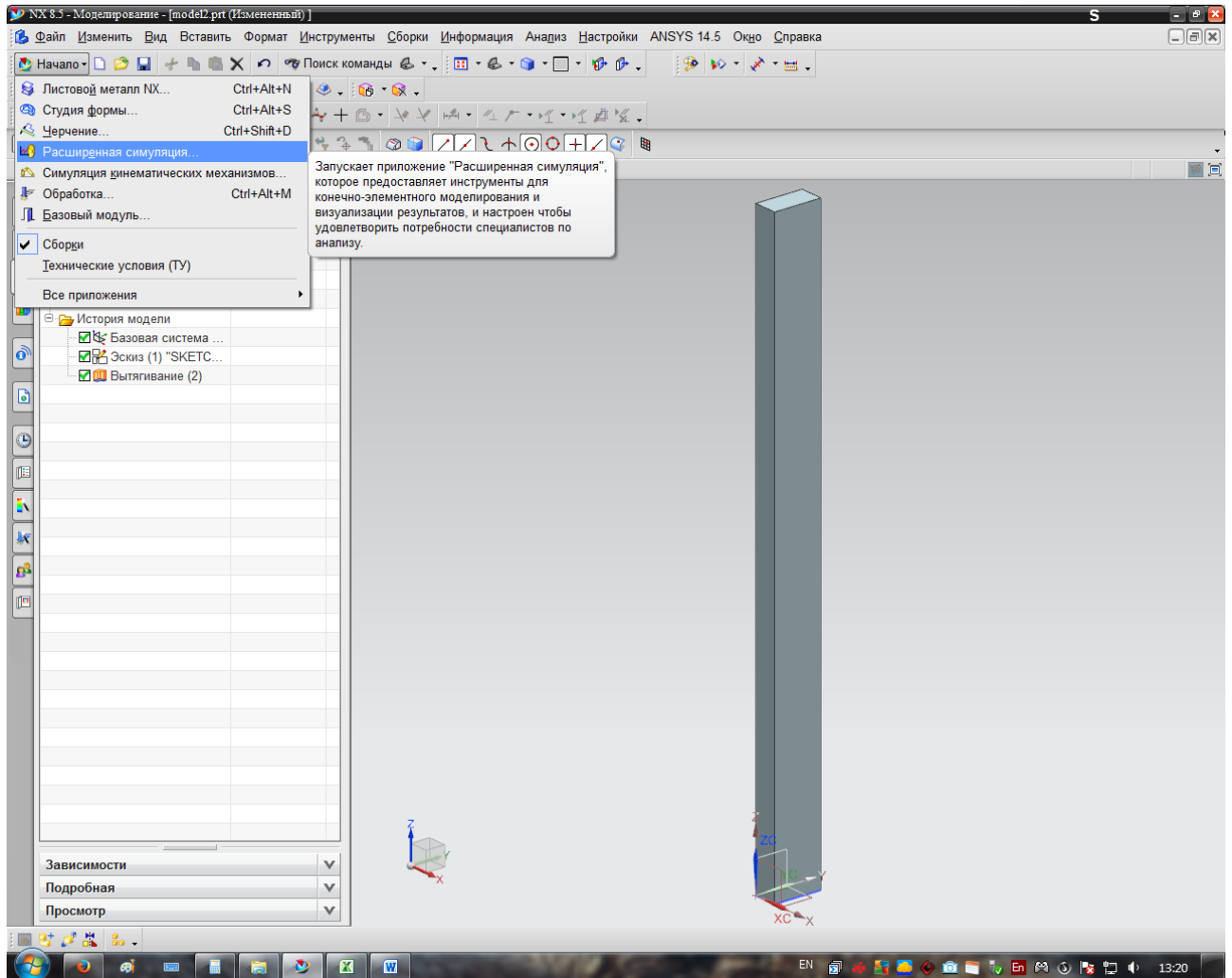
Высота балки при проверочном расчете $h = 80$ мм. Ширина балки $b = \frac{h}{2} = 40$ мм.



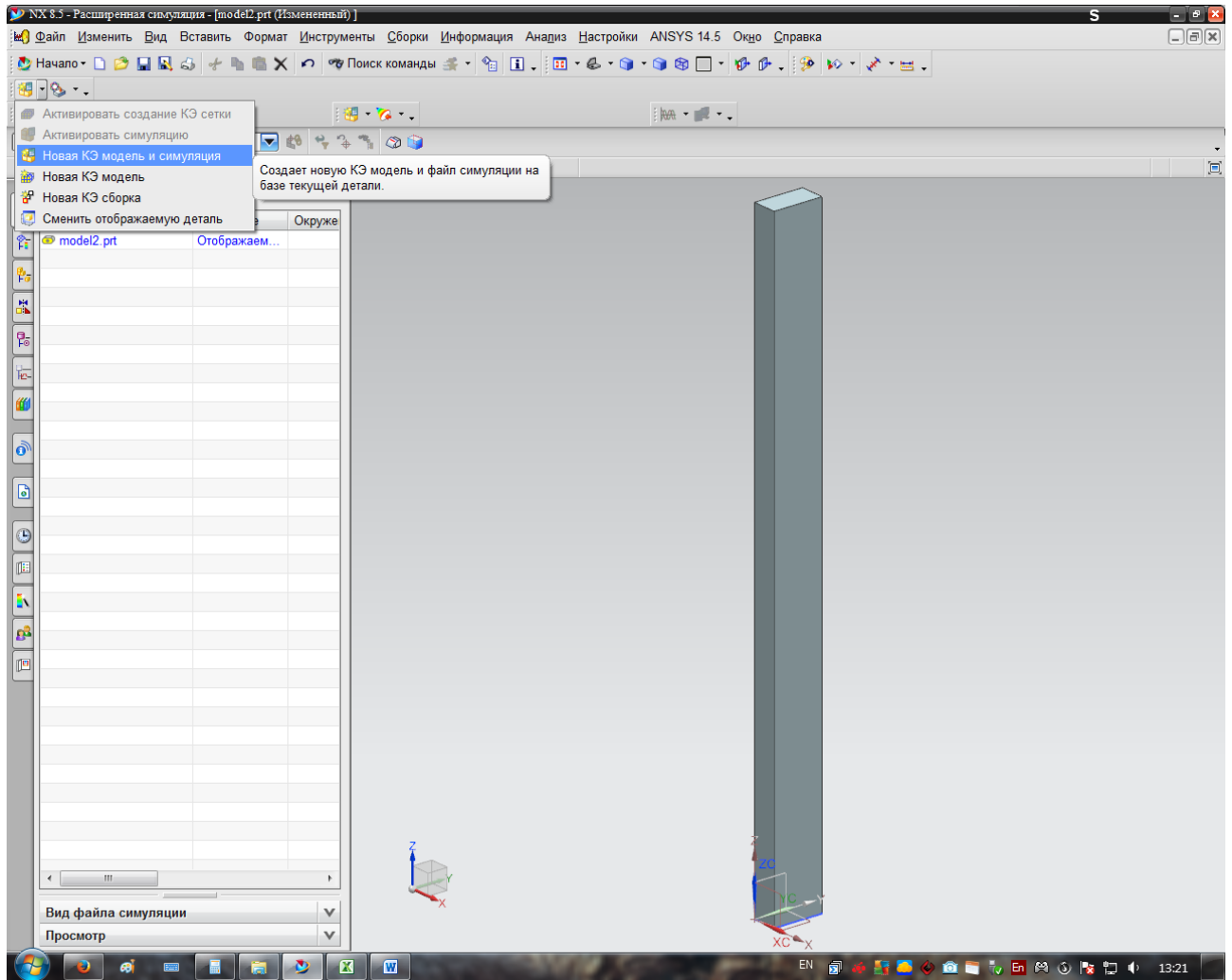
С помощью операции «Вытягивание» строим трехмерную модель балки.
Длина балки $l = 1$ м.



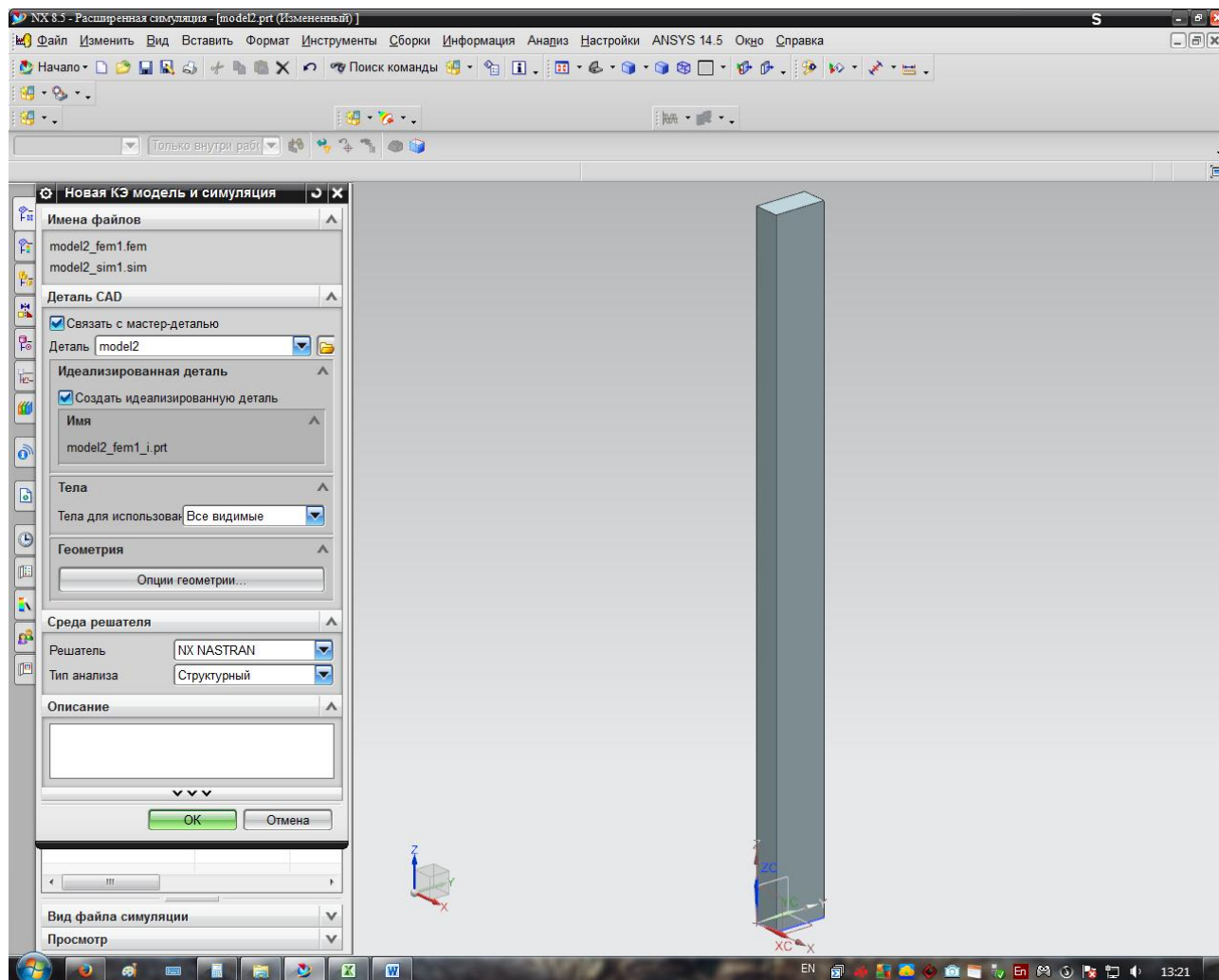
Переходим в симуляцию.



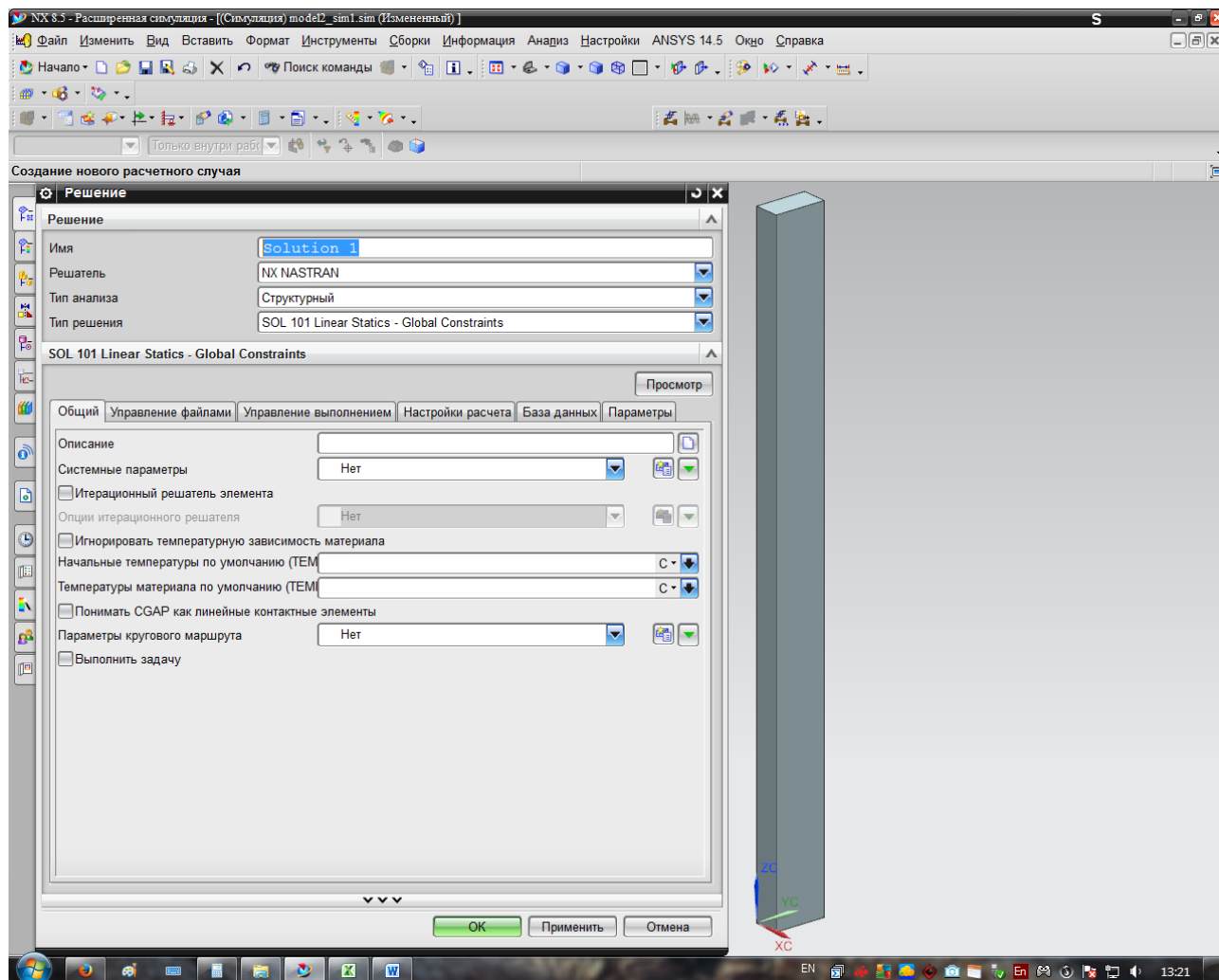
Создаем новую конечно-элементную модель и симуляцию.



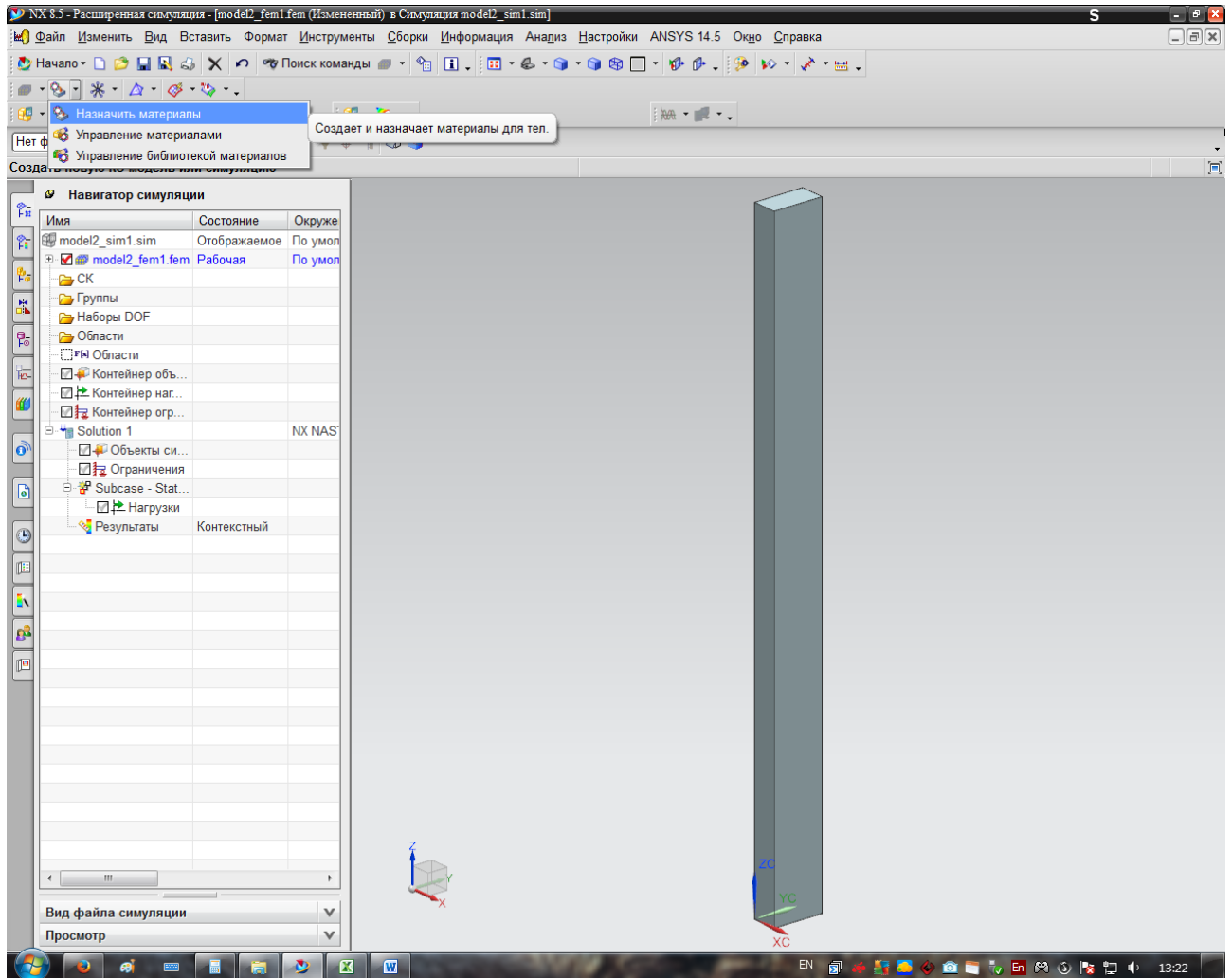
Задаем: решатель – NASTRAN, тип анализа – структурный.



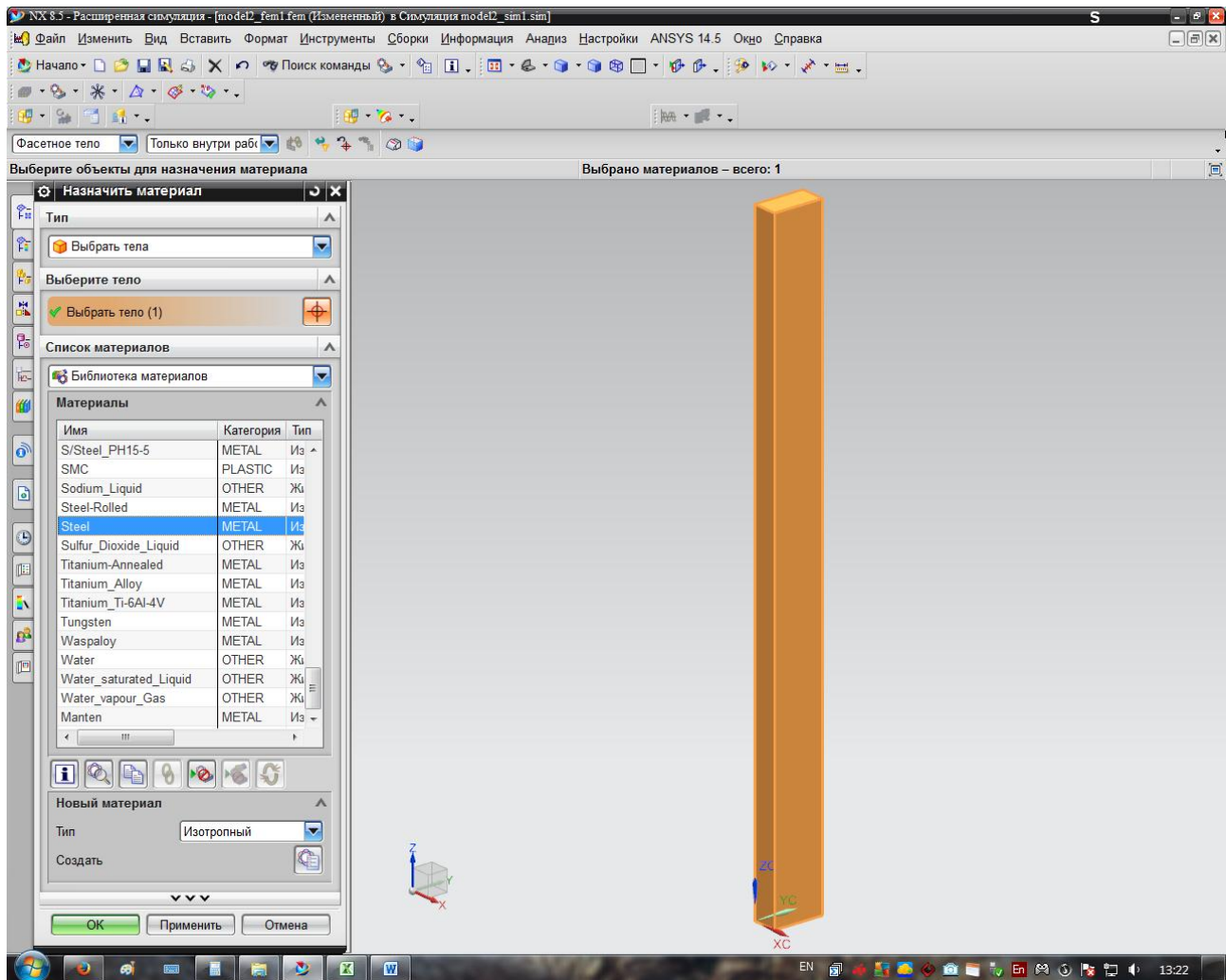
Здесь без изменений.



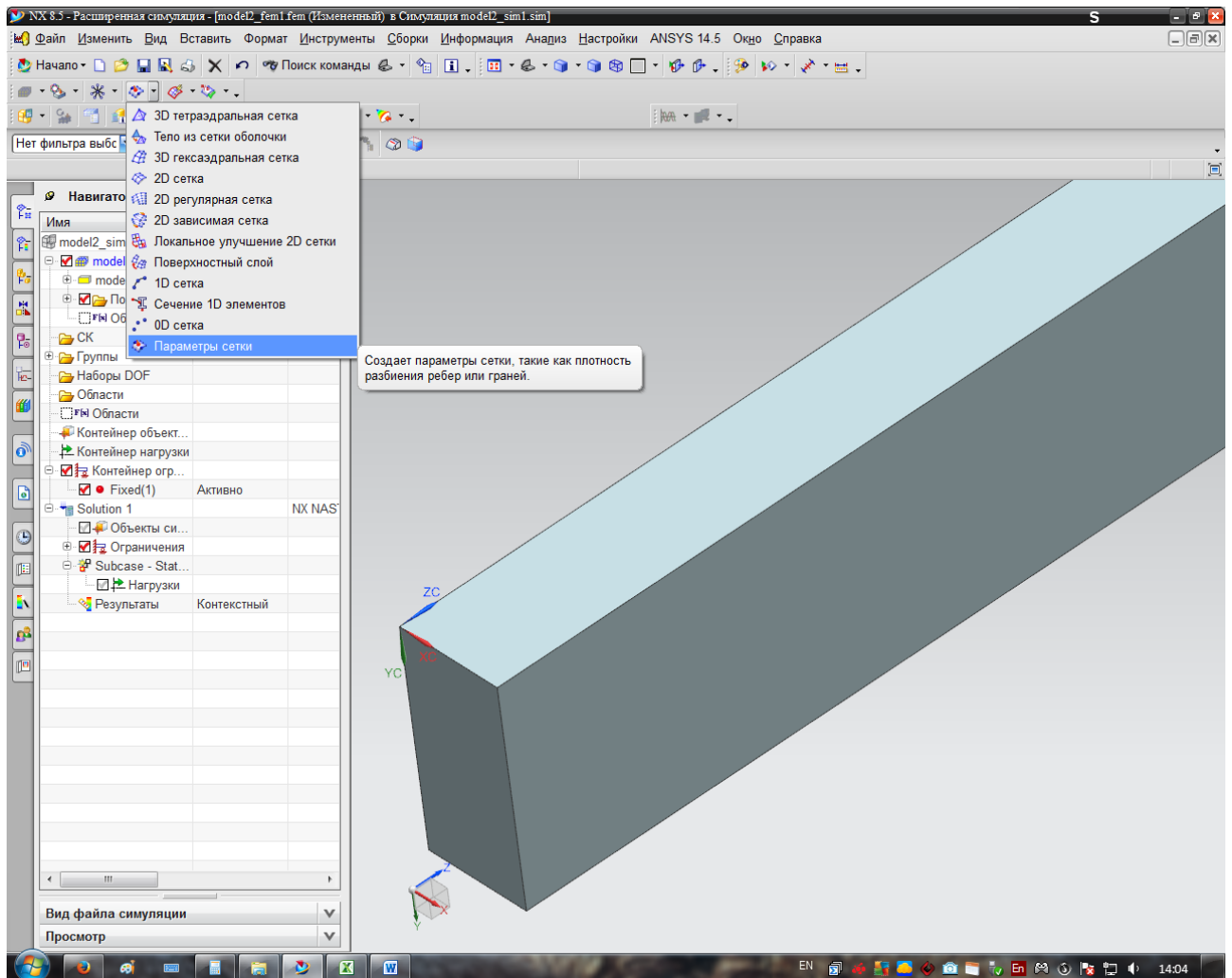
Назначаем материал балки.



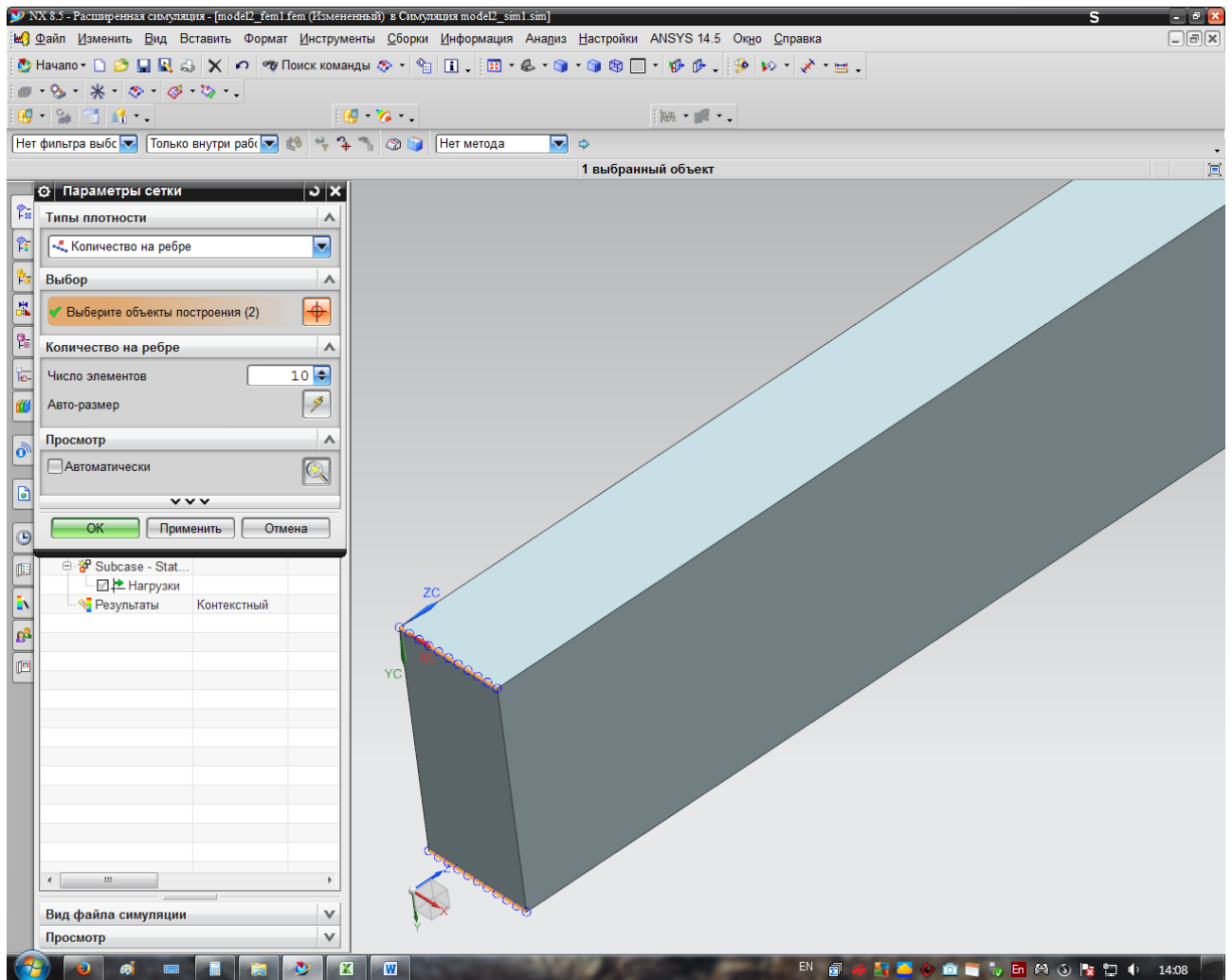
Материал балки – сталь (STEEL).



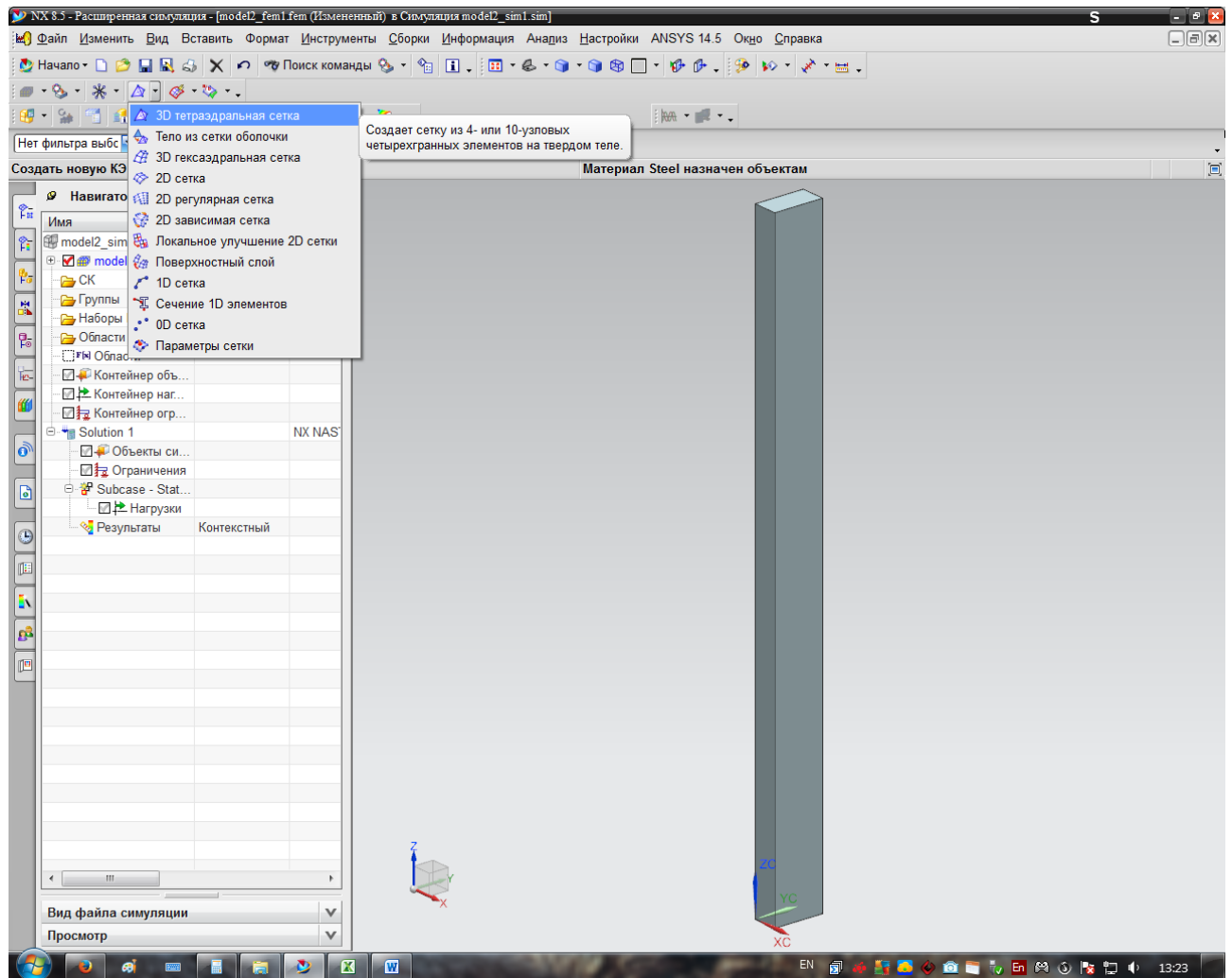
Переходим к созданию КЭ сетки. Выбираем опцию «**Параметр сетки**», чтобы создать на одном торце (где впоследствии будем прикладывать изгибающий момент) сетку со строго определенными параметрами.



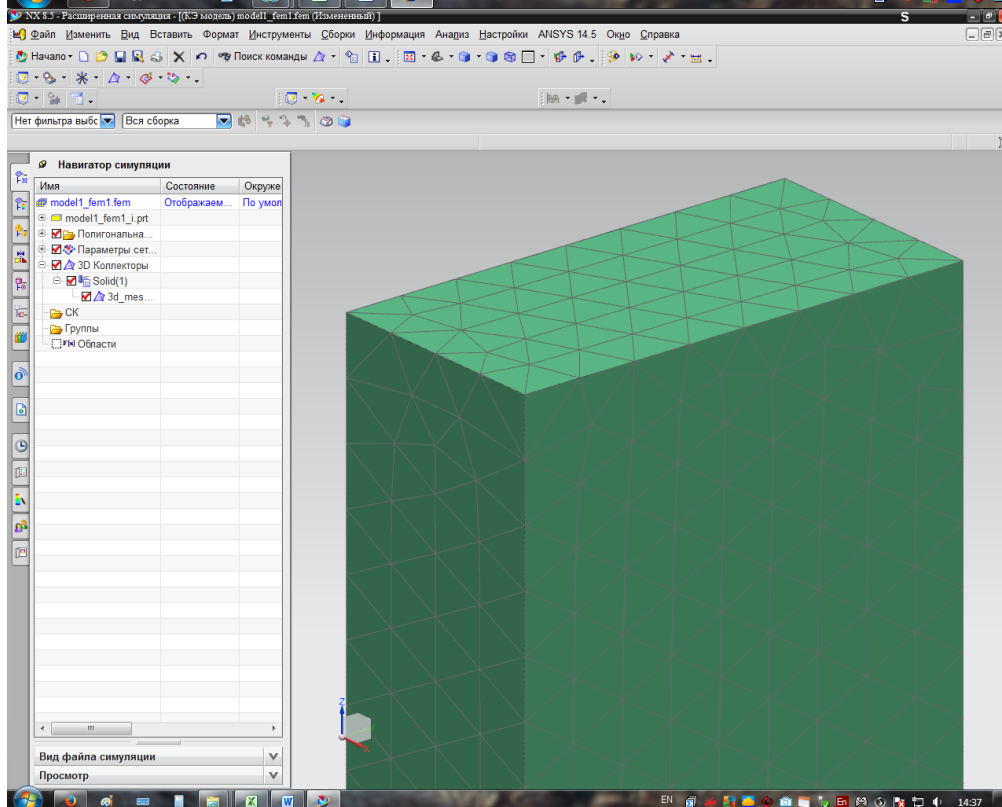
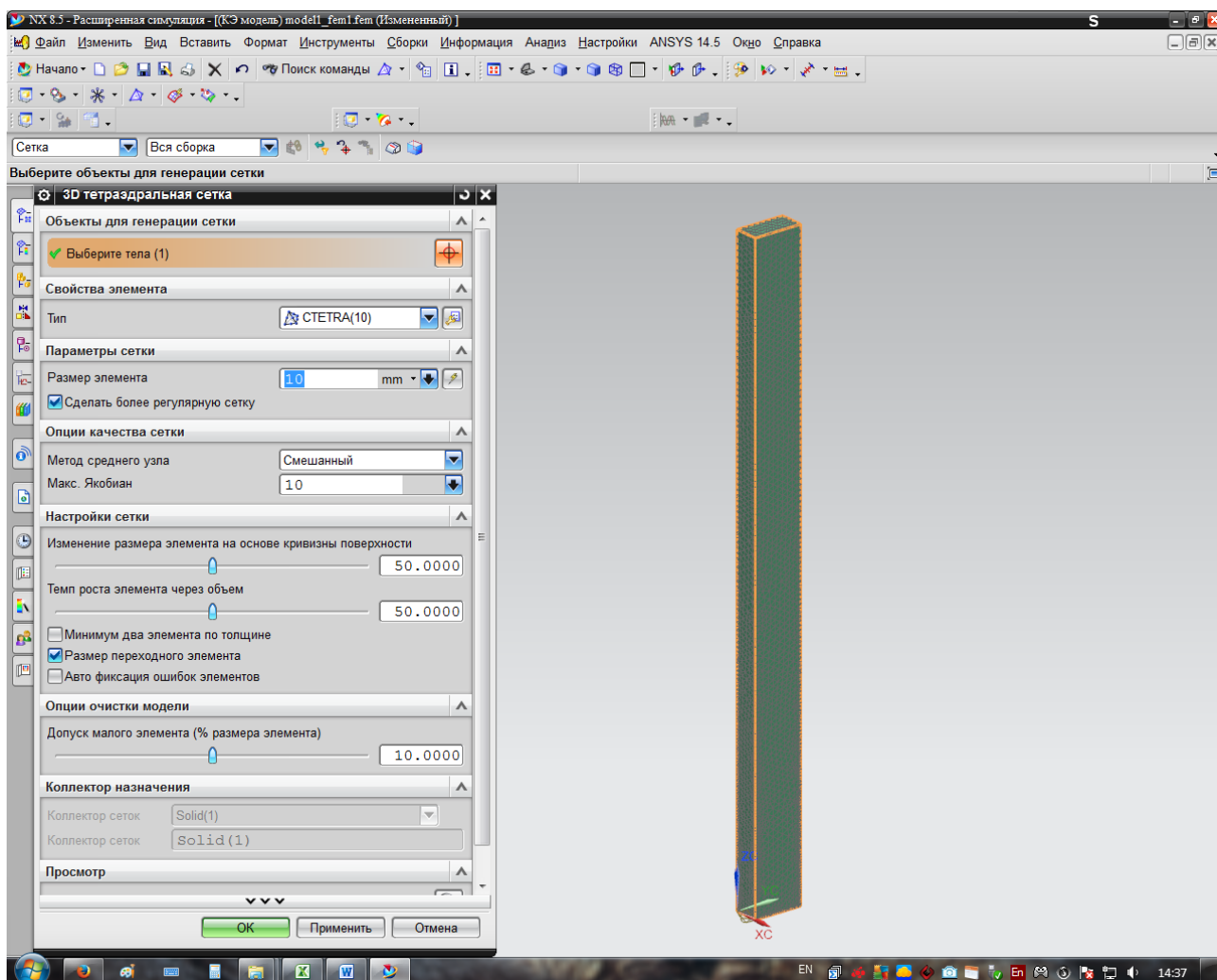
Выбираем Тип плотности → Количество на ребре, Число элементов → 10.



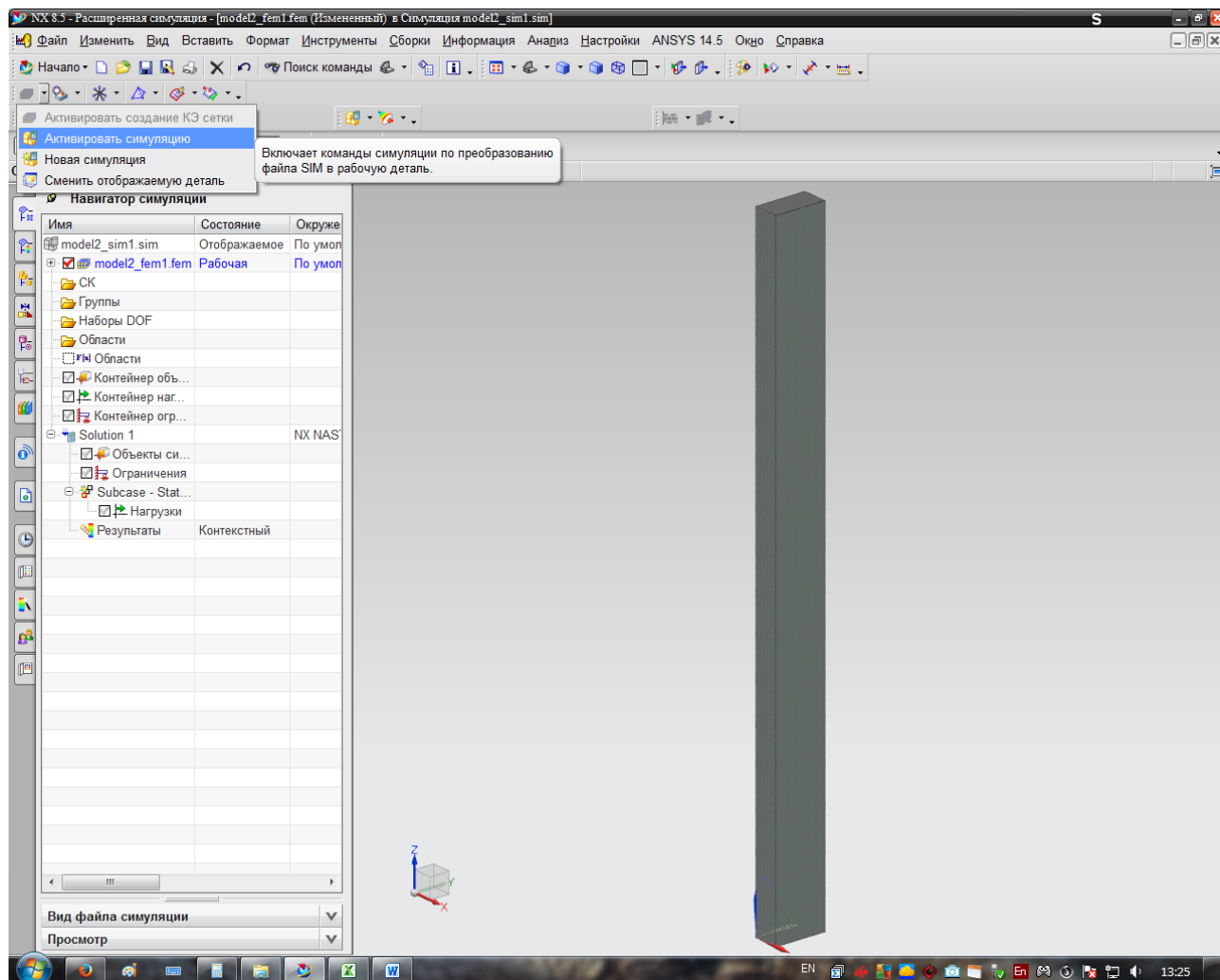
Теперь создаем КЭ сетку.



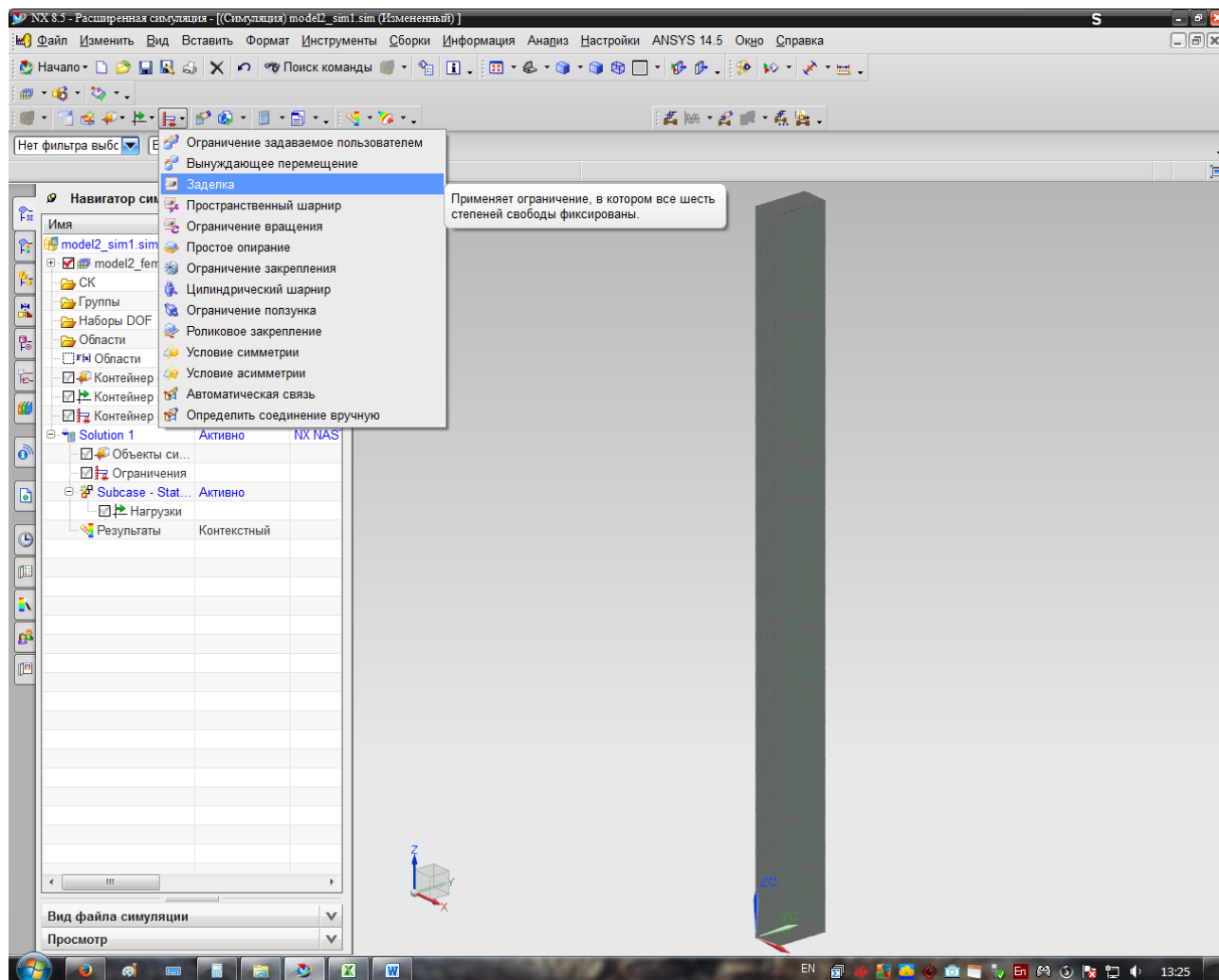
Выбираем 10-тиузловую сетку с размером элемента около 10 мм. Результат генерации сетки представлен на рис. далее.



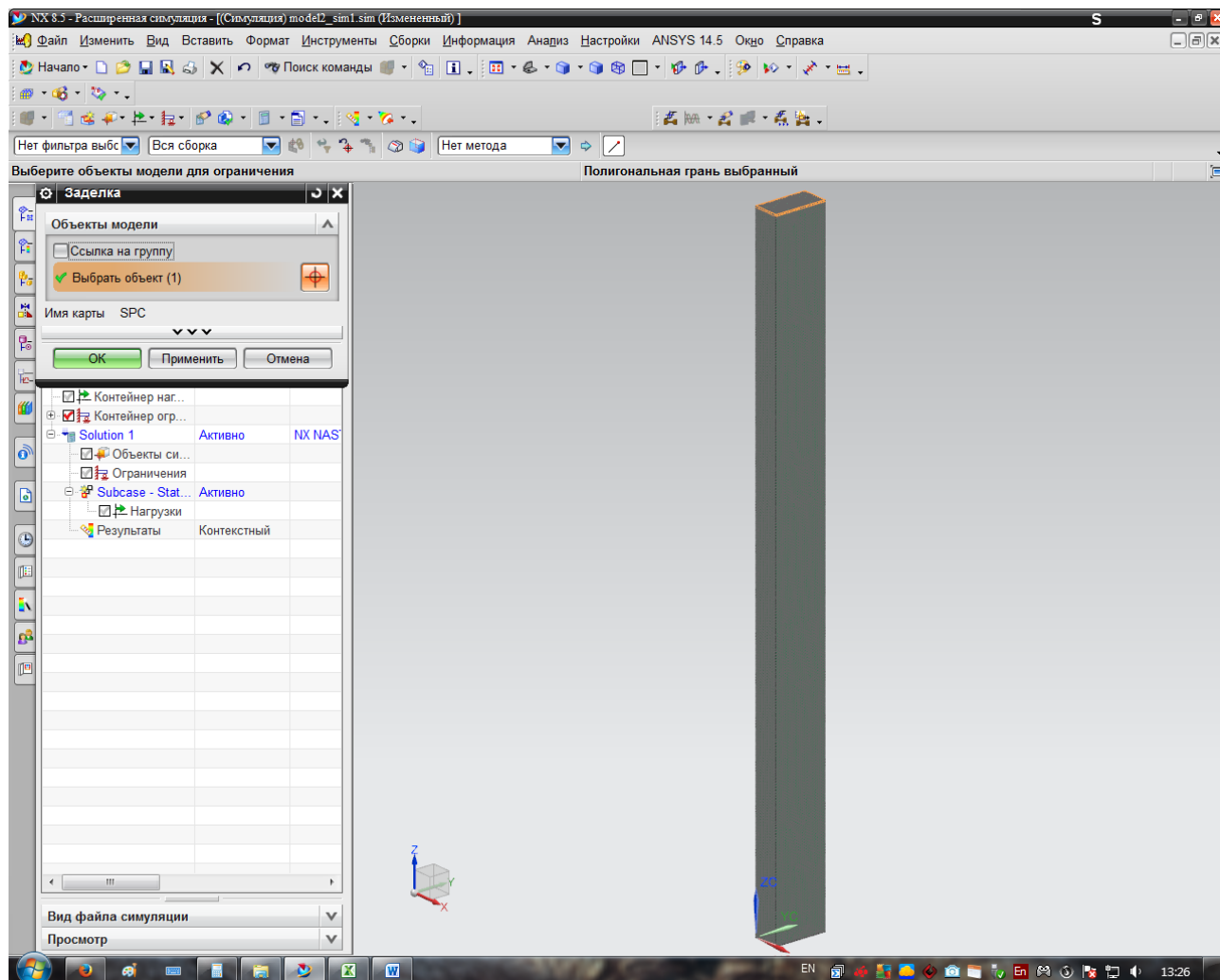
Сетка сгенерирована. Переходим в симуляцию.



Выбираем жесткую заделку для одного из концов балки.

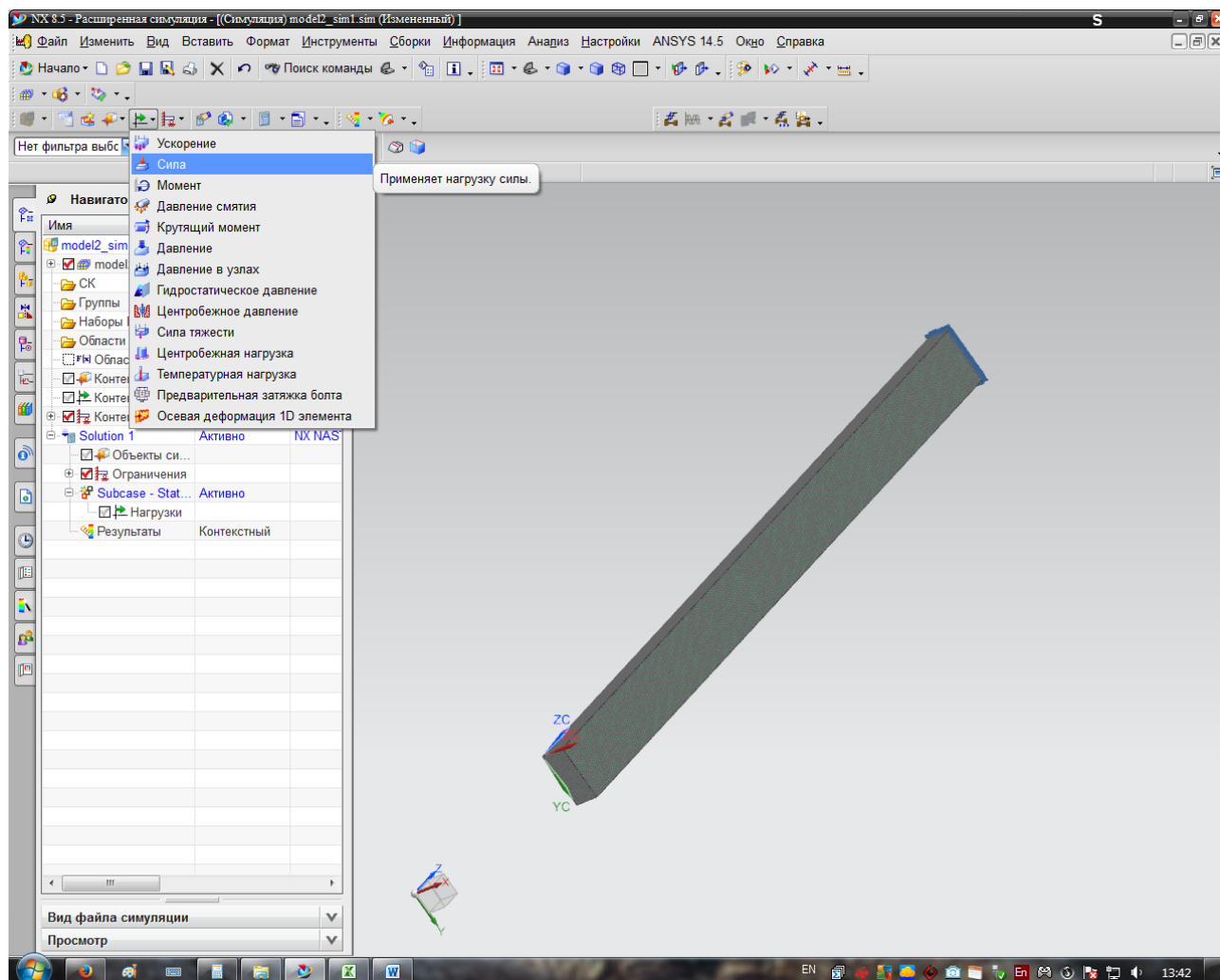


Выбираем торец для жесткой заделки.

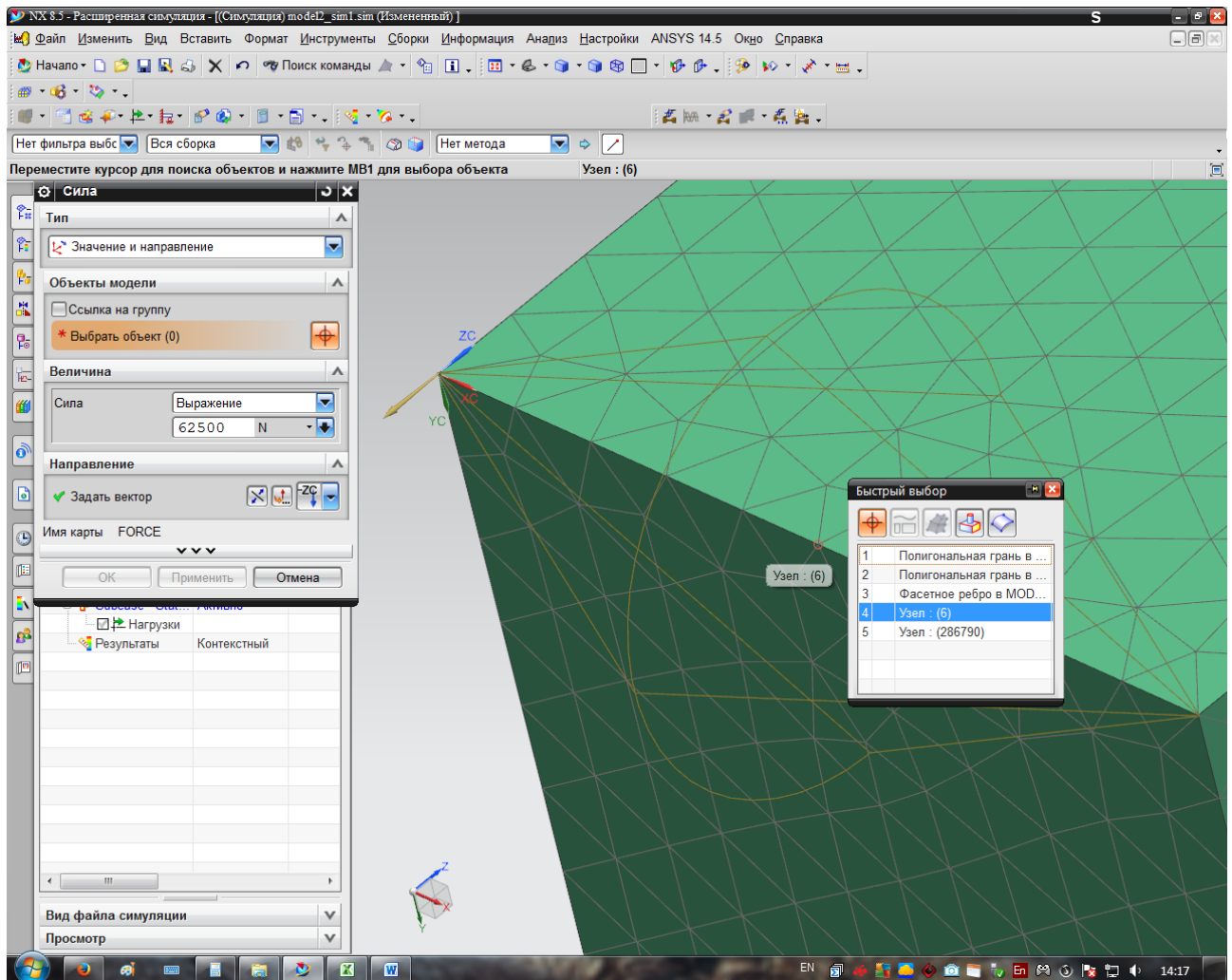


К другому торцу вала необходимо приложить изгибающий момент величиной $M_{\text{изг}} = 5 \text{ кН}\cdot\text{м}$. Реализовать его в программе NX 8.5 можно лишь за счет приложения **пары сил**. Величина силы в паре сил рассчитывается по формуле:

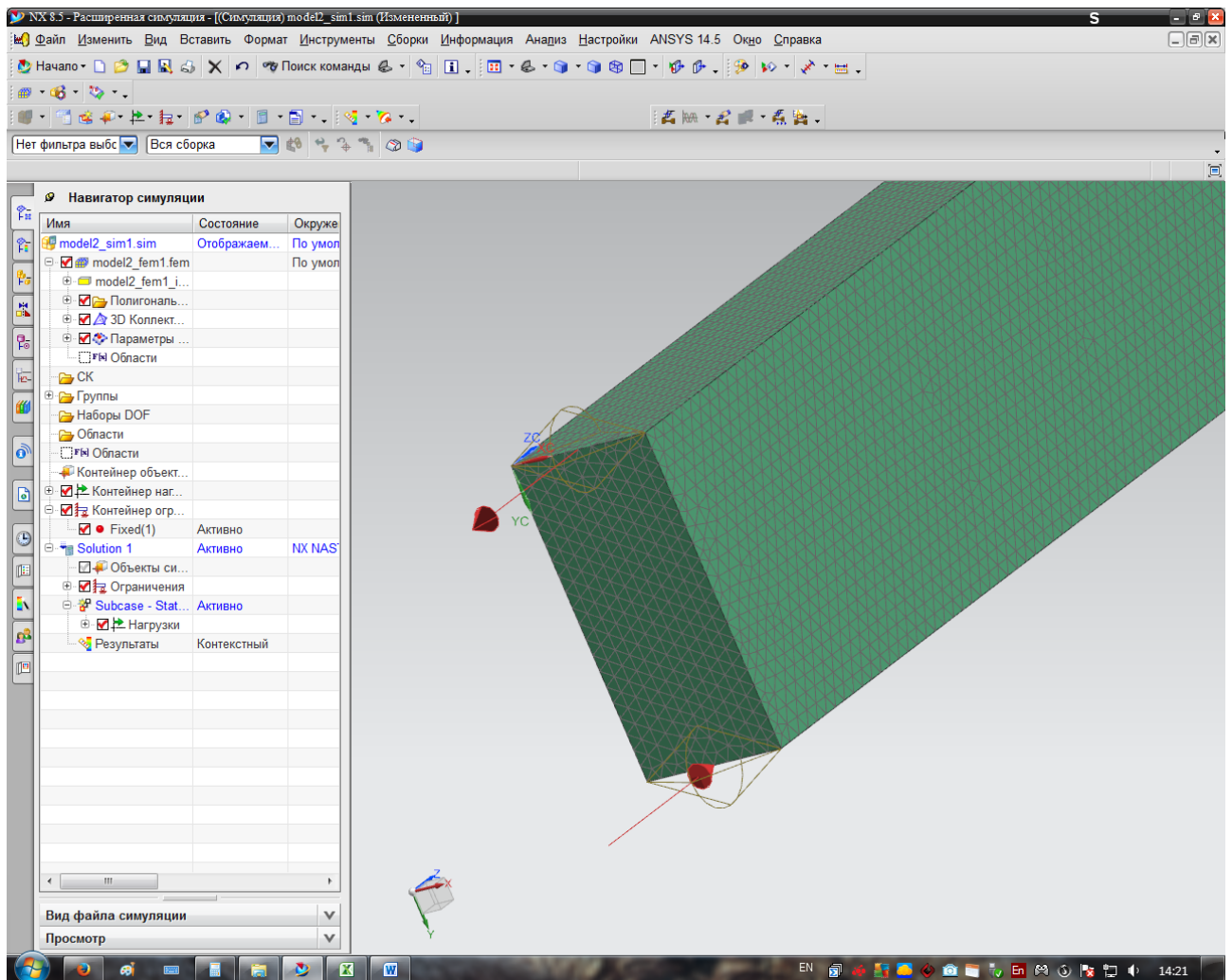
$$F_{\text{пары}} = \frac{M_{\text{изг}}}{h} = \frac{5000}{0,08} = 62500 \text{ Н} = 62,5 \text{ кН} \quad (1)$$



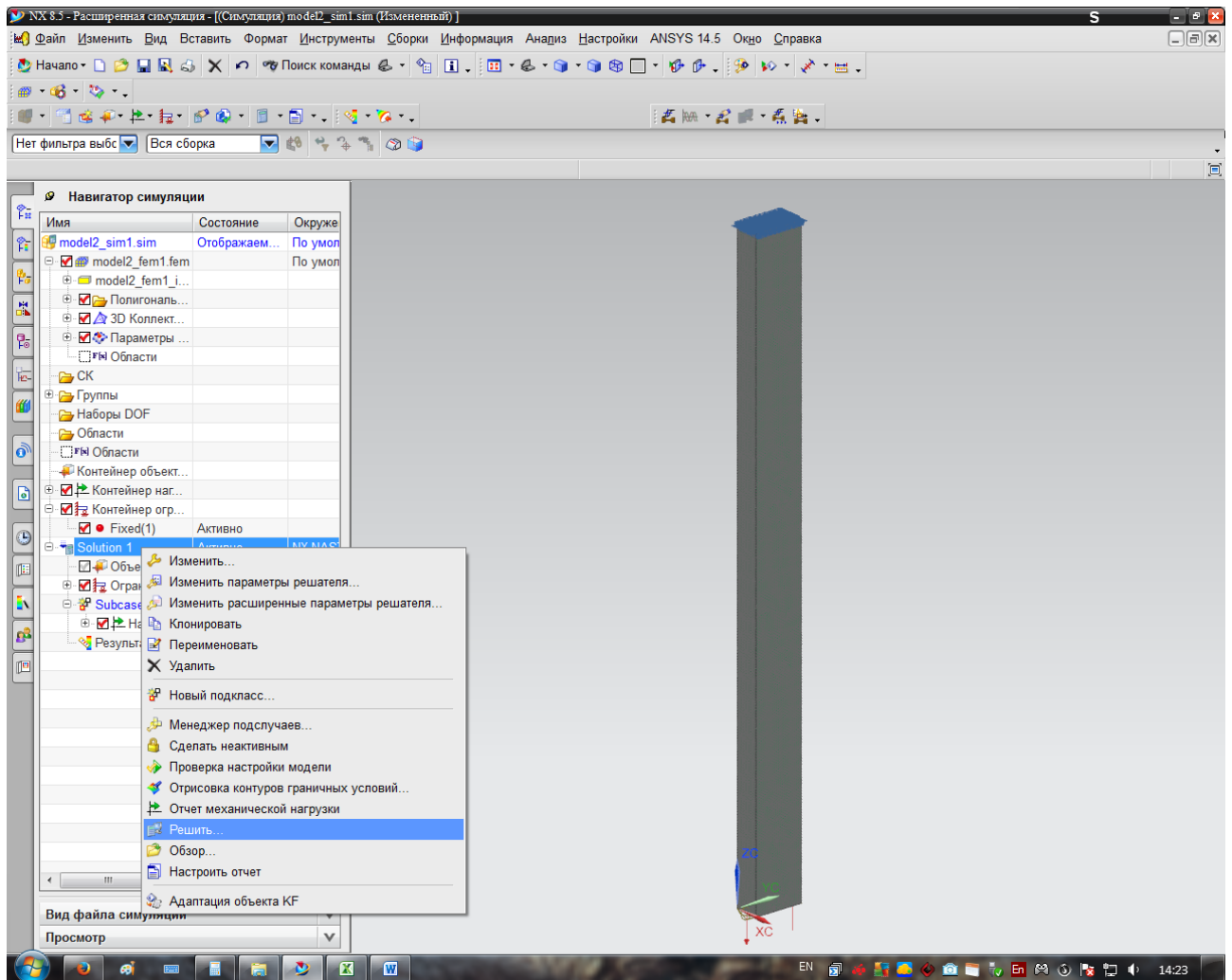
Выбираем следующие опции: «Значение и направление», наводим на узел посередине ребра и ждем некоторое время (порядка 3-5с), пока не выйдет контекстное меню с выбором объекта, выбираем узел (6), вводим численное значение силы **62500 Н** и направление **-ZC**.



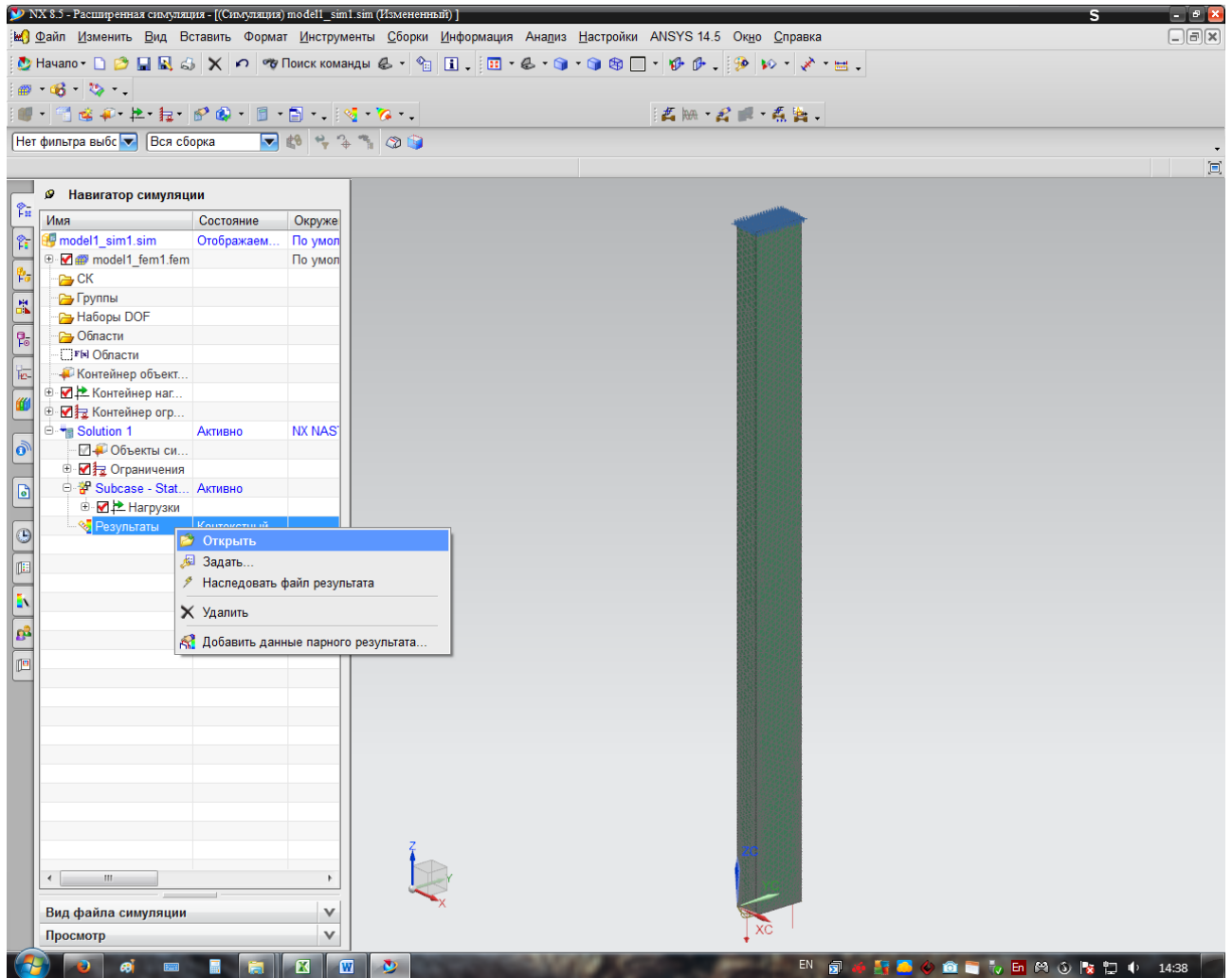
Для второй силы в паре сил действуем аналогично за исключением направления: **ZC**.
Результат приложения пары сил представлен на рис. далее.



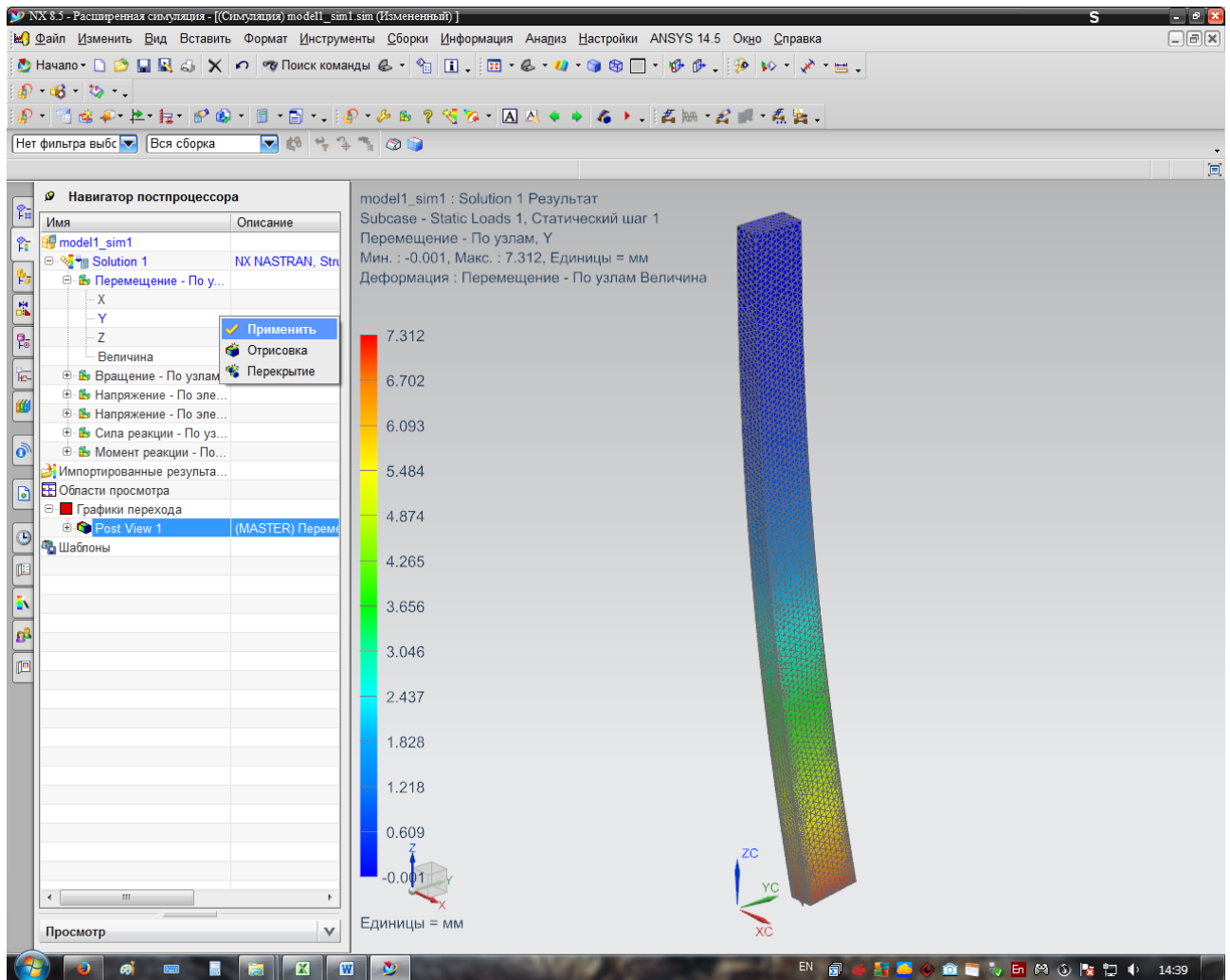
Решаем статическую задачу.



Переходим к результатам.



Анализируем перемещения точек балки по оси Y (прогиб).



Теоретический прогиб при таких граничных условиях определяется по формуле

$$v = \frac{M_{\text{изг}} \cdot l^2}{2EJ_x}, \quad (2)$$

где $M_{\text{изг}}$ – величина изгибающего момента, l – длина балки, E – модуль упругости материала, J_x – осевой момент инерции поперечного сечения балки.

Теоретический угол поворота при таких граничных условиях определяется по формуле

$$\theta = \frac{M_{\text{изг}} \cdot l}{EJ_x}. \quad (3)$$

Для прямоугольного сечения осевой момент инерции определяется по формуле:

$$J_x = \frac{bh^3}{12}, \quad (4)$$

где b, h – соответственно ширина и высота балки.

(!) Подсказка: Характеристики материала можно посмотреть в библиотеке материалов.

Задание 1: необходимо рассчитать теоретический и модельный прогиб, сравнить их и вычислить относительную погрешность.

Задание 2: произвести расчет балки на жесткость по формуле (5) и сделать выводы о соблюдении условия жесткости.

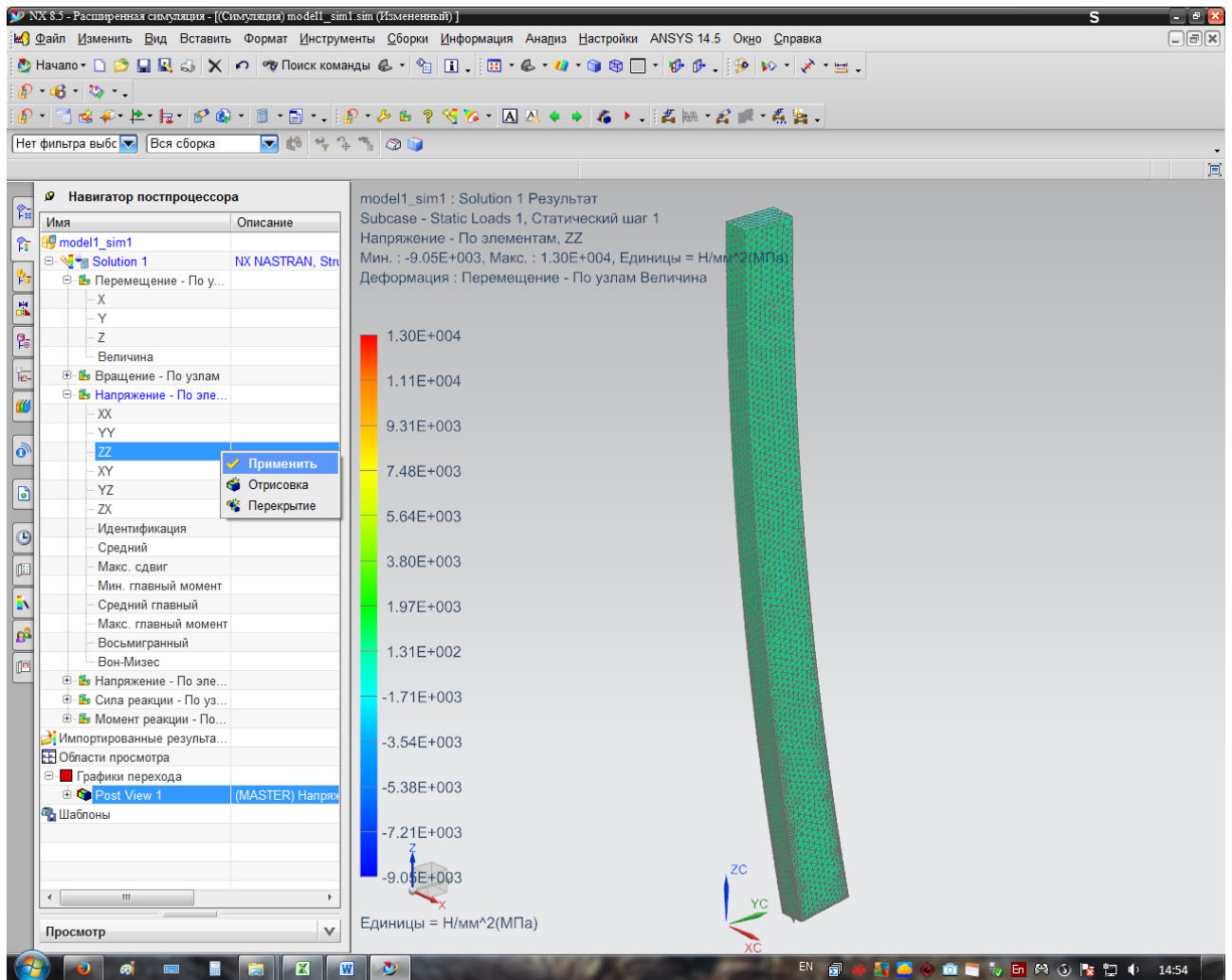
Формула для расчета на жесткость:

$$v_{\text{мод}} \leq [v], \quad (5)$$

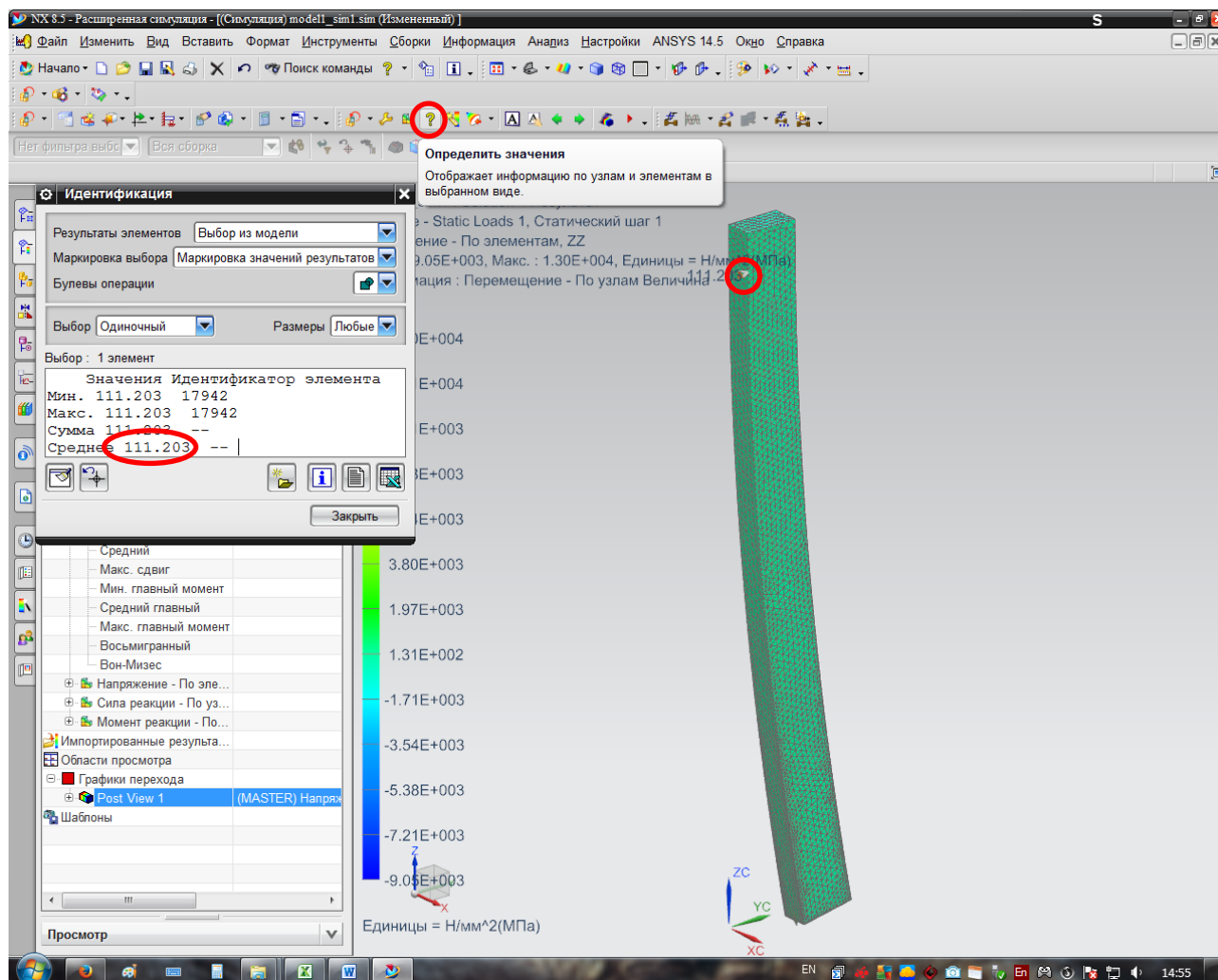
где $[v]$ – допускаемое значение прогиба, определяется по формуле:

$$[v] = \frac{l}{300}. \quad (6)$$

Анализируем максимальные нормальные напряжения по балке.



С помощью инструмента «**Определить значения**» анализируем величину нормальных напряжений на некотором расстоянии от заделки, для того чтобы исключить влияние граничных условий на величину напряжений.



Теоретическое значение максимальных нормальных напряжений определяется по формуле

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\text{изг}}}{W_x}, \quad (7)$$

где $M_{\text{изг}}$ – величина изгибающего момента, W_x – осевой момент сопротивления поперечного сечения балки.

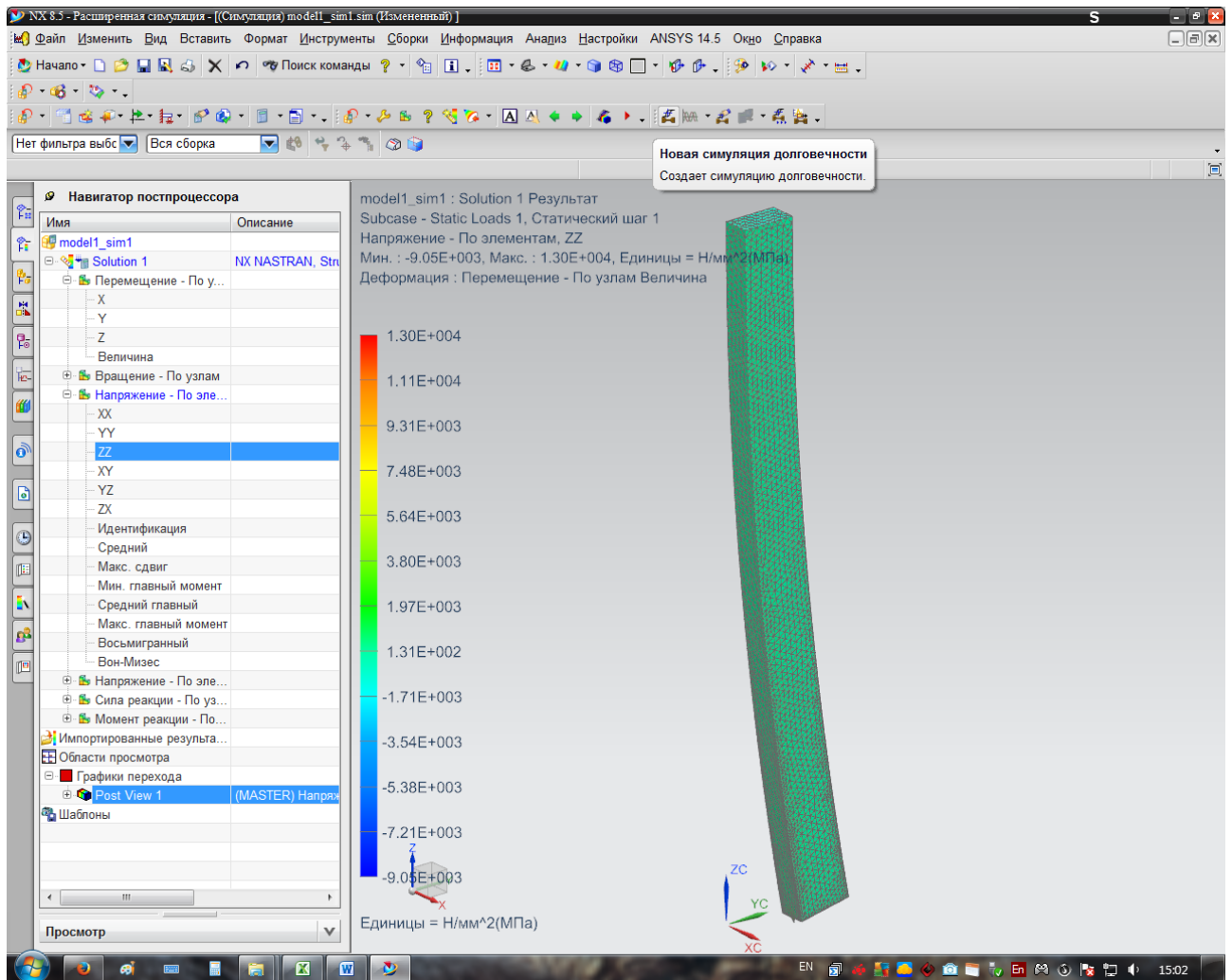
Для прямоугольного сечения осевой момент сопротивления определяется по формуле:

$$W_x = \frac{J_x \cdot 2}{h} = \frac{bh^2}{6}, \quad (8)$$

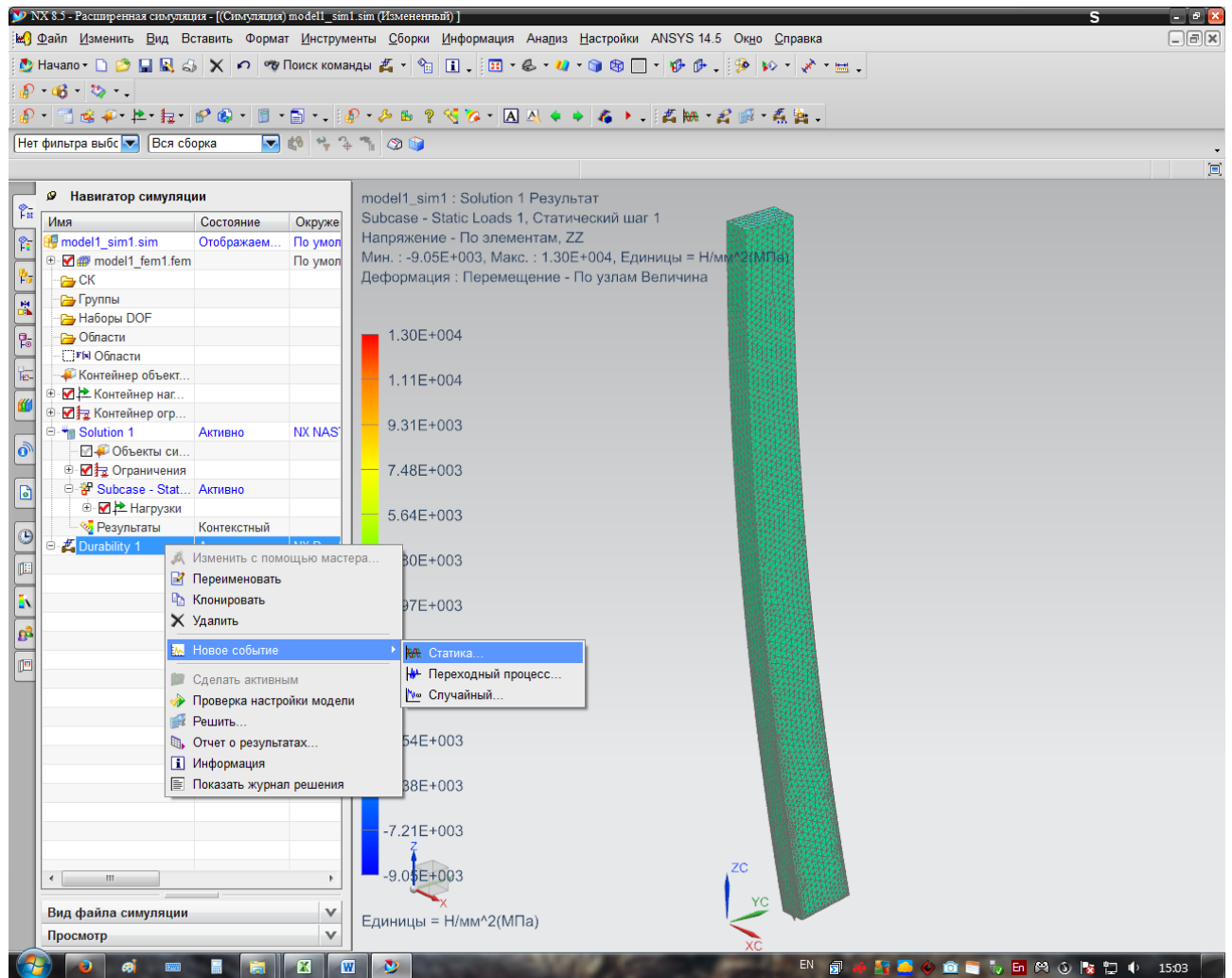
где b, h – соответственно ширина и высота балки.

Задание: необходимо рассчитать теоретическое и модельное значение максимальных нормальных напряжений, сравнить их и вычислить относительную погрешность.

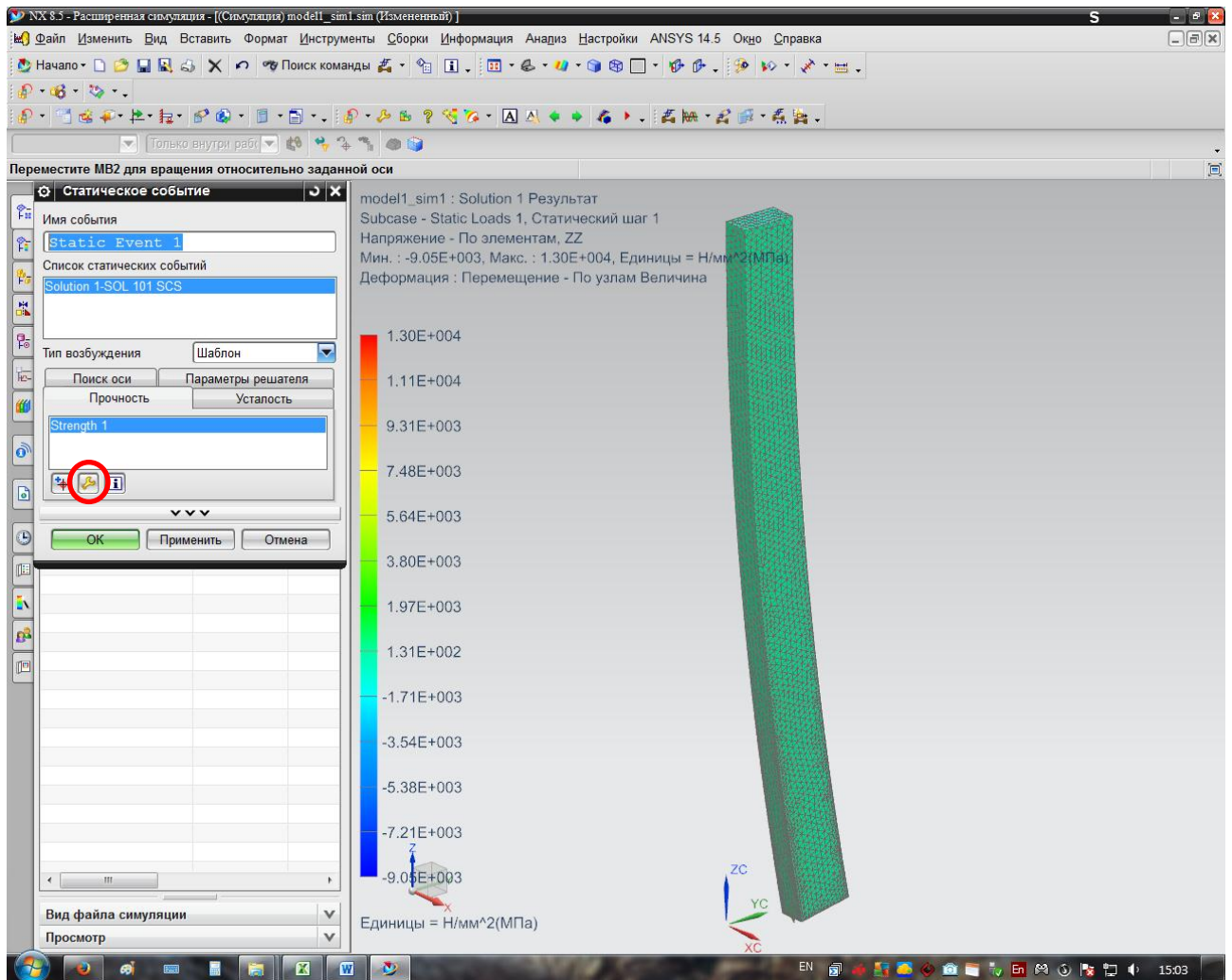
Переходим к оценке прочности балки.



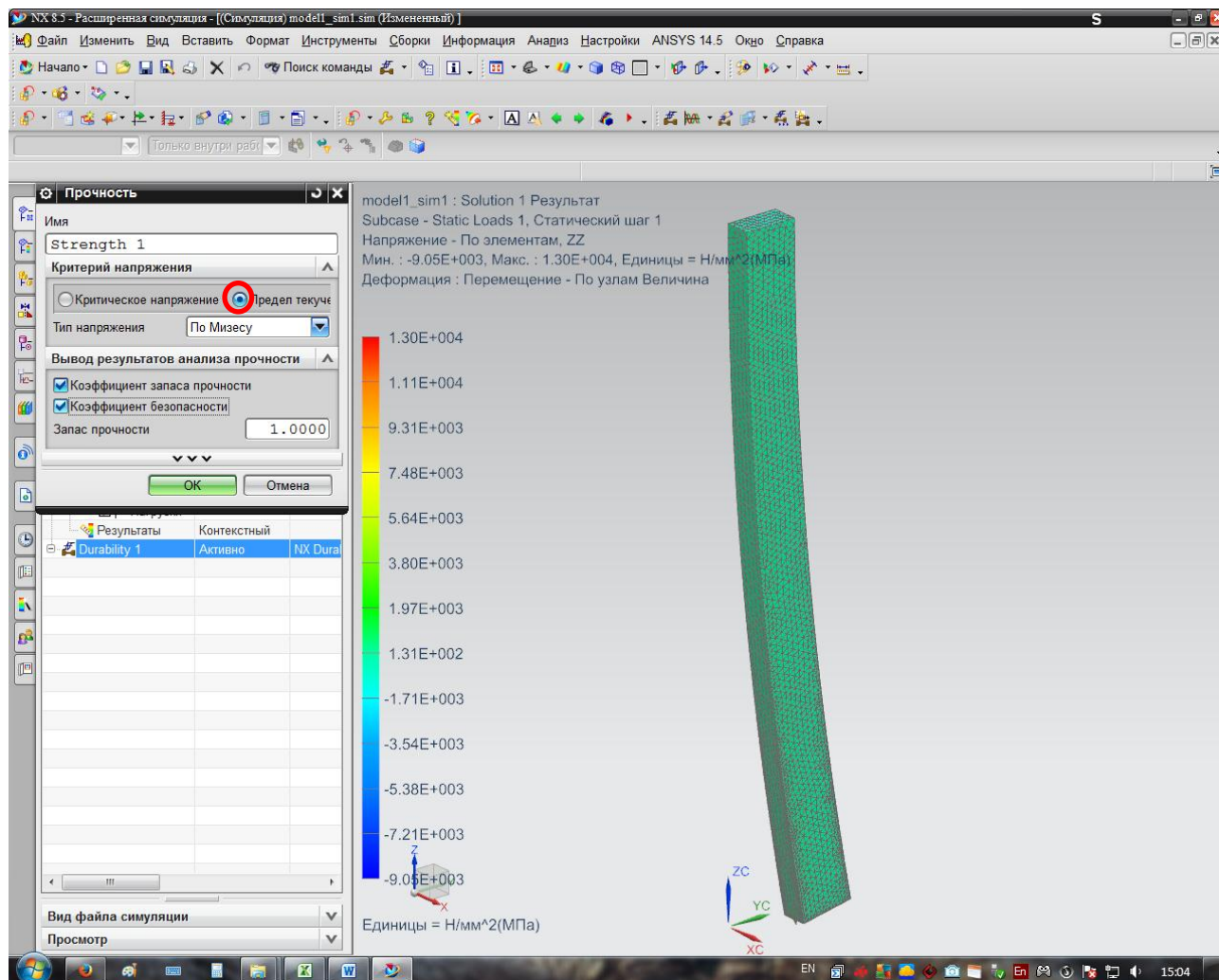
Создаем новое событие → статика.



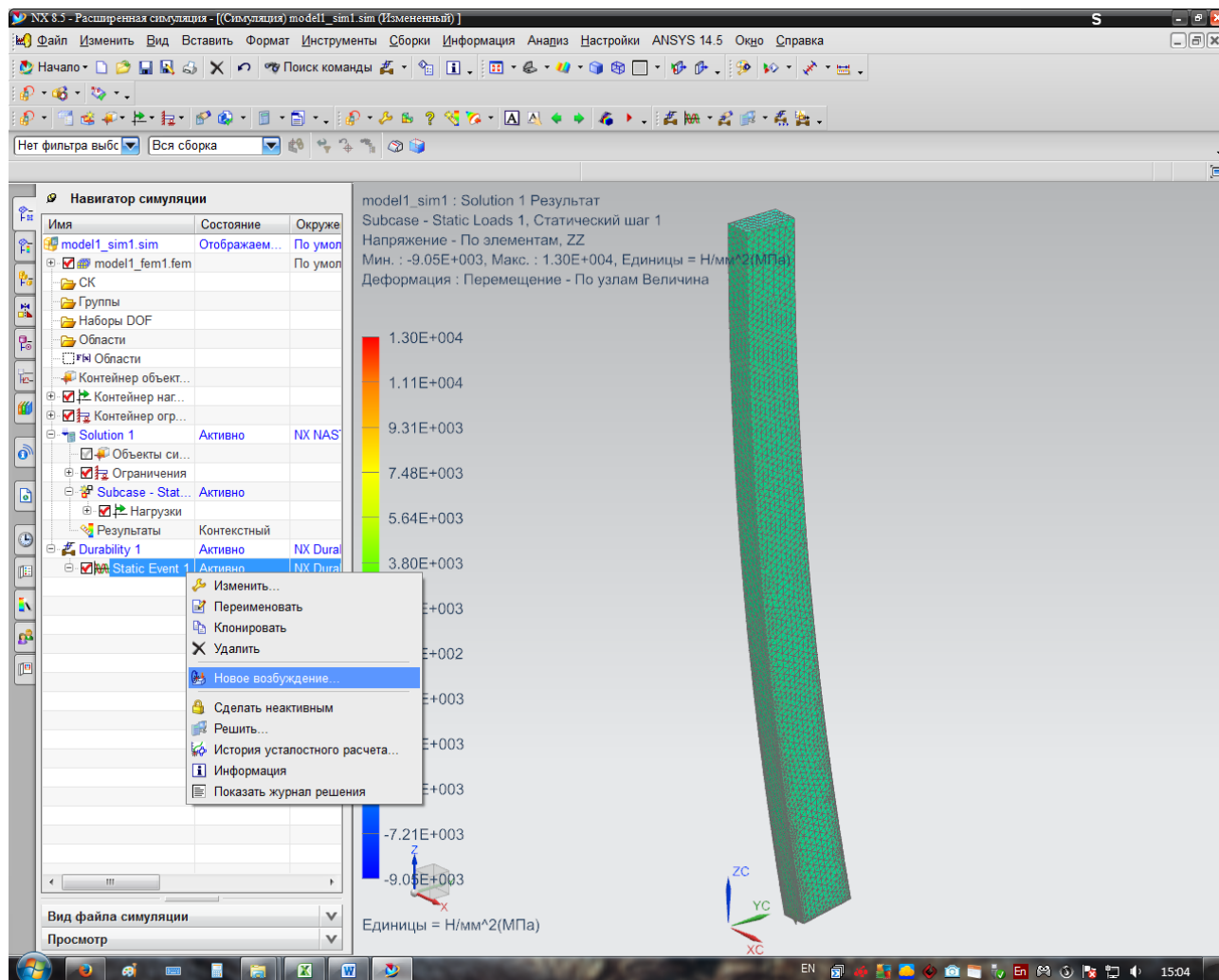
Изменяем настройки прочности.



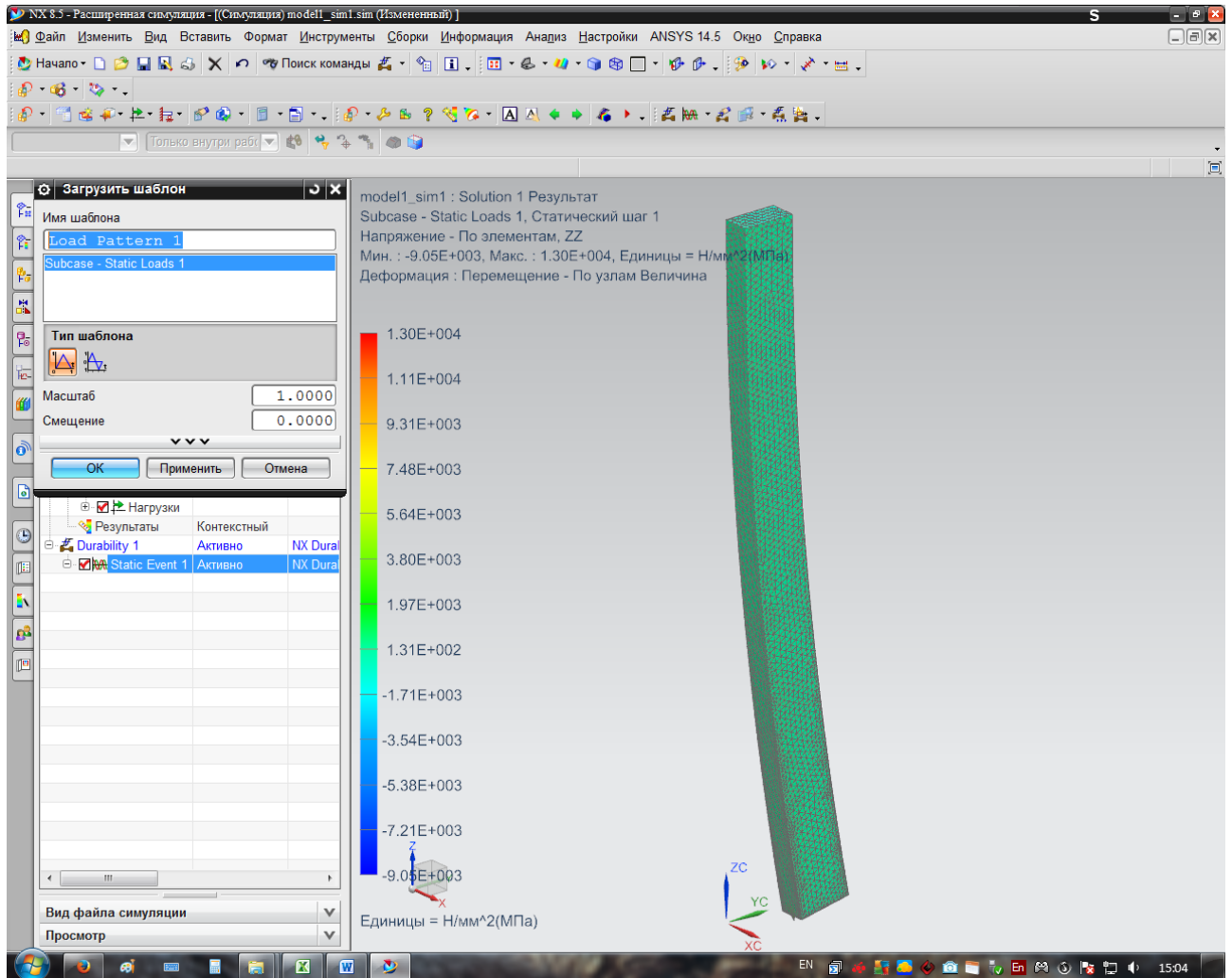
В качестве предельных напряжений выбираем предел текучести.



Создаем новое возбуждение.



Здесь без изменений.



Решаем задачу оценки прочности.

model1_sim1 : Solution 1 Результат
Subcase - Static Loads 1, Статический шаг 1
Напряжение - По элементам, ZZ
Мин. : -9.05E+003, Макс. : 1.30E+004, Единицы = Н/мм²(МПа)
Деформация : Перемещение - По узлам Величина

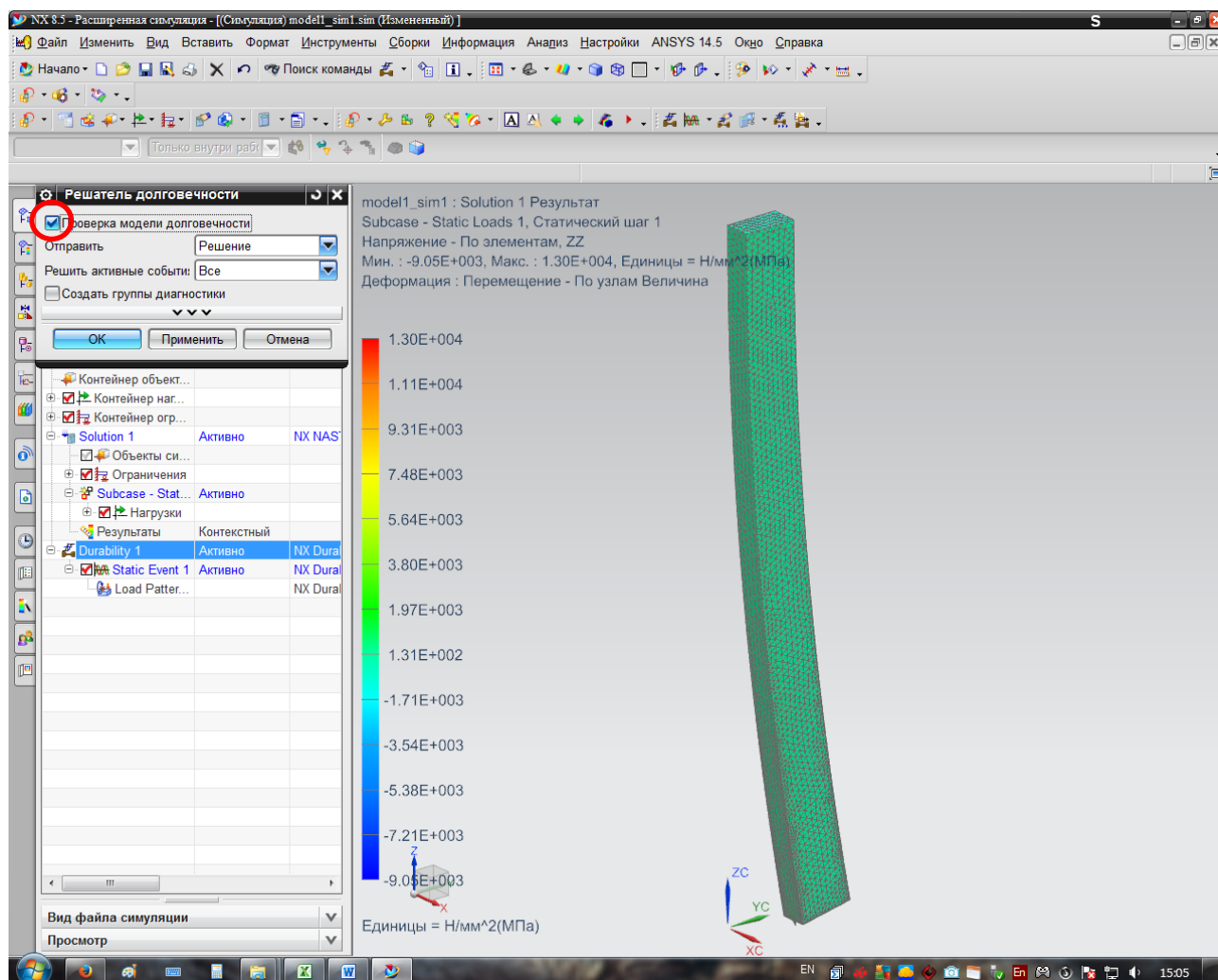
Имя	Состояние	Окруже
model1_sim1_sim	Отображаем...	По умол
model1_fem1.fem		По умол
СК		
Группы		
Наборы DOF		
Области		
FN Области		
Контейнер объект...		
Контейнер наг...		
Контейнер огр...		
Solution 1	Активно	NX NAS
Объекты си...		
Ограничения		
Subcase - Stat...	Активно	
Нагрузки		
Результаты	Контекстный	
Durability 1		
Static Event		
Load Patter...		

Вид файла симуляции
Просмотр

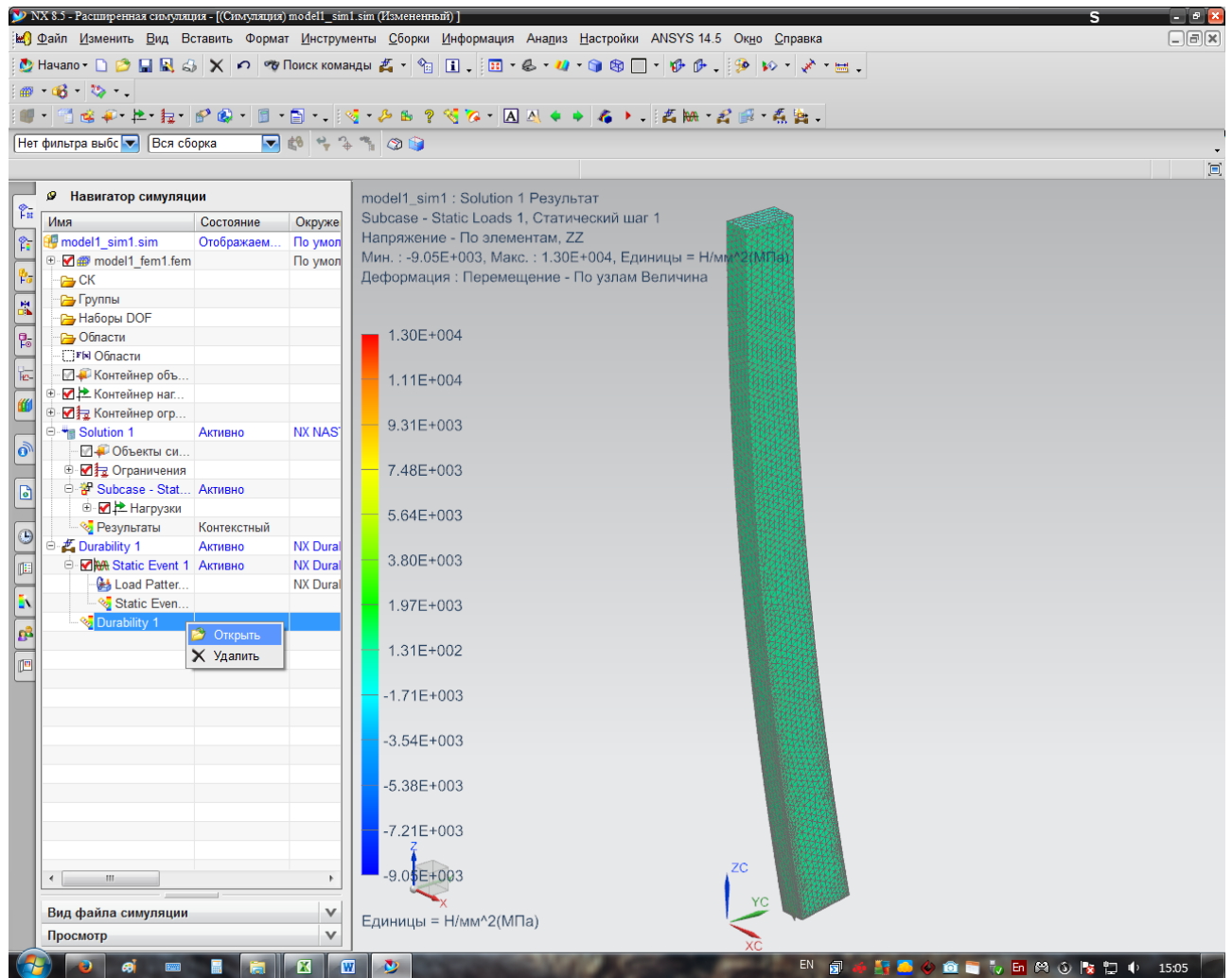
Единицы = Н/мм²(МПа)

15:05

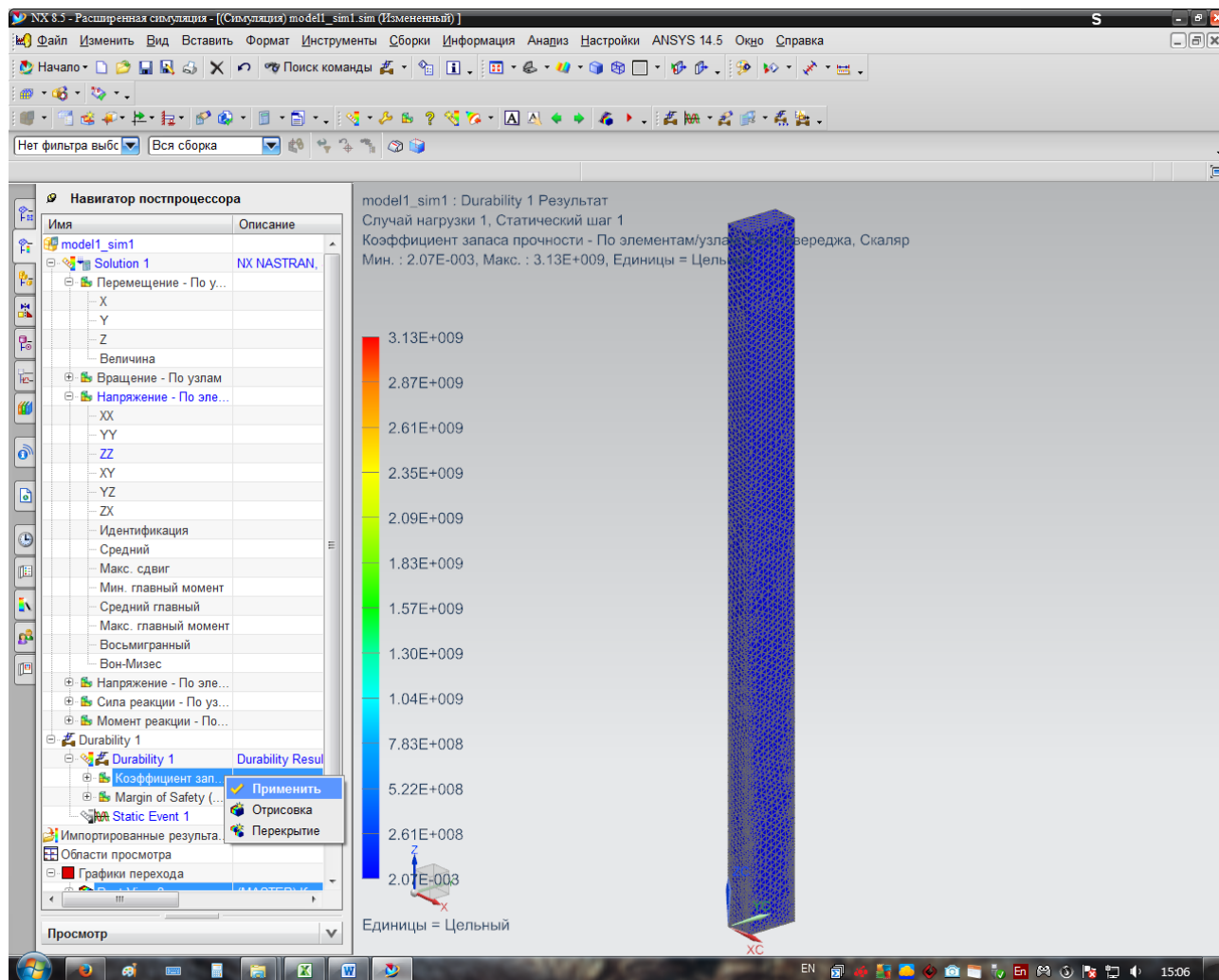
Обязательно ставим галочку «**Проверка модели долговечности**». В противном случае иногда имеют место вылеты программы.



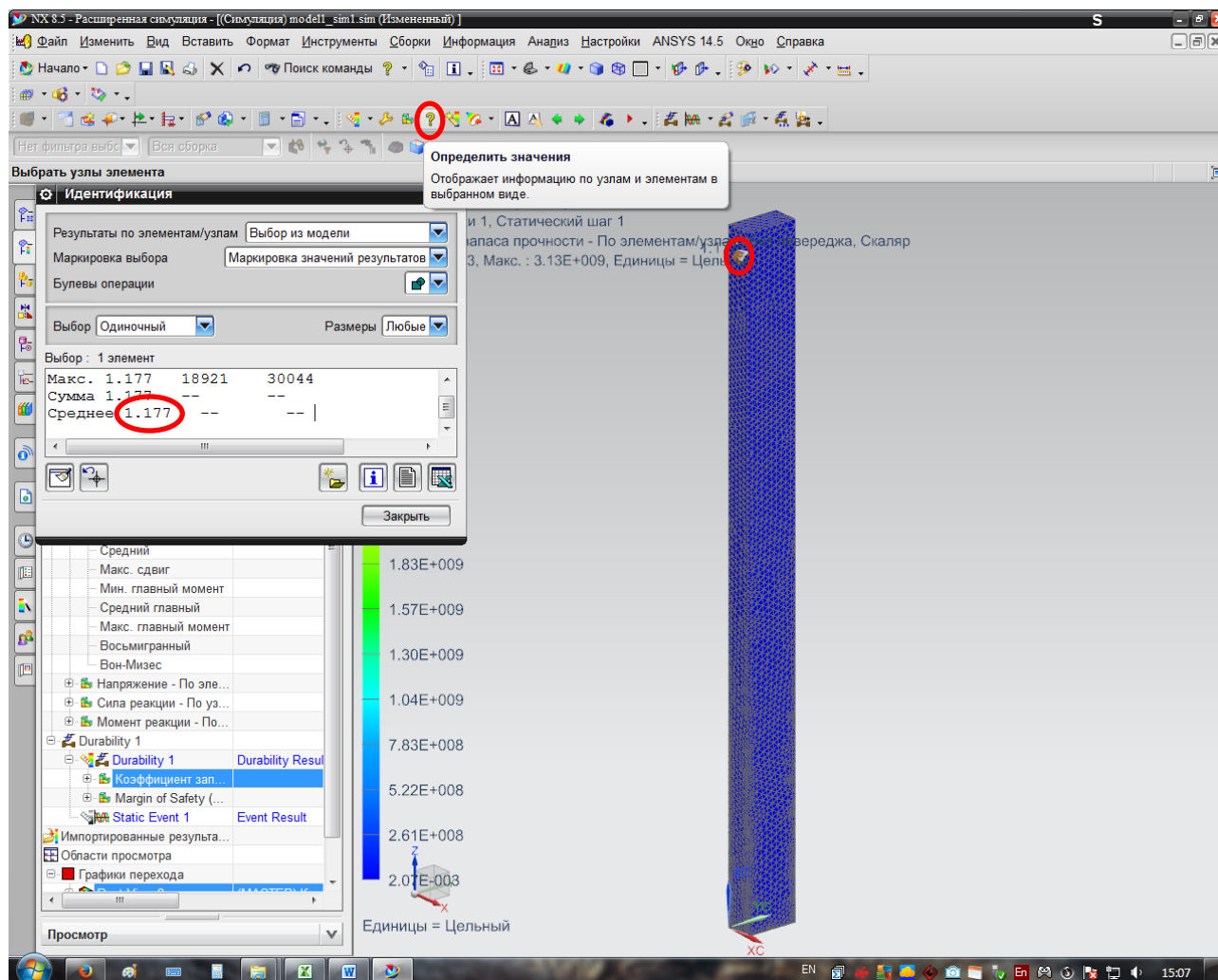
Переходим к анализу результатов оценки прочности.



Выбираем и анализируем «Коэффициент запаса прочности».



С помощью инструмента «**Определить значения**» анализируем величину коэффициента запаса прочности на некотором расстоянии от заделки, для того чтобы исключить влияние граничных условий на величину напряжений.



Коэффициент запаса по нормальным напряжениям определяется по формуле:

$$RF_{\sigma, \max} = \frac{\sigma_T}{\sigma_{\text{действ.}}}, \quad (9)$$

где σ_T – предел текучести материала; $\sigma_{\text{действ.}}$ – величина действующих нормальных напряжений.

Коэффициент запаса по эквивалентным напряжениям (по Мизесу) определяется по формуле:

$$RF_{\sigma, \text{экр.}} = \frac{\sigma_T}{\sigma_{\text{экр.}}}, \quad (10)$$

где σ_T – предел текучести материала; $\sigma_{\text{экр.}}$ – величина действующих эквивалентных напряжений (по Мизесу).

Задание 1: необходимо рассчитать теоретическое и модельное значение запаса прочности по максимальным нормальным напряжениям, сравнить их и вычислить относительную погрешность.

(!) Подсказка: Характеристики материала можно посмотреть в библиотеке материалов.

Задание 2: необходимо рассчитать значение запаса прочности по максимальным нормальным напряжениям и по эквивалентным напряжениям, сравнить их и сделать вывод о том, чем следует руководствоваться при расчете балки на прочность.

Контрольное задание 1: при вышеуказанных нагрузках подобрать размеры балки прямоугольного сечения, сохраняя соотношение сторон $\frac{h}{b} = 2$, исходя из условий прочности и жесткости, обеспечив запас прочности по максимальным нормальным и эквивалентным напряжениям не менее 1,5 ($RF_{\tau} \geq 1,5; RF_{\sigma} \geq 1,5$), определить массу балки.

Контрольное задание 2: при вышеуказанных нагрузках подобрать размеры балки квадратного сечения, исходя из условий прочности и жесткости, обеспечив запас прочности по максимальным нормальным и эквивалентным напряжениям не менее 1,5 ($RF_{\tau} \geq 1,5; RF_{\sigma} \geq 1,5$), определить массу балки.

Контрольное задание 3: при вышеуказанных нагрузках подобрать размеры балки круглого сечения, исходя из условий прочности и жесткости, обеспечив запас прочности по максимальным нормальным и эквивалентным напряжениям не менее 1,5 ($RF_{\tau} \geq 1,5; RF_{\sigma} \geq 1,5$), определить массу балки.

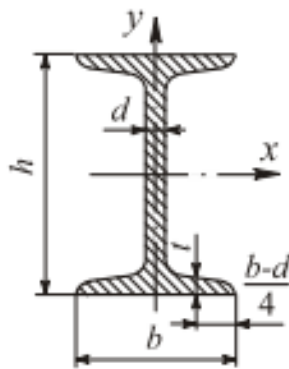
Контрольное задание 4: при вышеуказанных нагрузках подобрать размеры балки двутаврового сечения, исходя из условий прочности и жесткости, обеспечив запас прочности по максимальным нормальным и эквивалентным напряжениям не менее 1,5 ($RF_{\tau} \geq 1,5; RF_{\sigma} \geq 1,5$), определить массу балки. Параметры двутавра смотрите далее в *приложении*.

ИТОГИ: Сравнить массы всех полученных балок и сделать вывод об эффективности их использования при изгибе.

ПРИЛОЖЕНИЕ

3. СОРТАМЕНТ ПРОКАТНОЙ СТАЛИ

Таблица 3.1



Двутавры стальные горячекатаные
(по ГОСТ 8239-89)

A – площадь поперечного сечения;
 I – момент инерции;
 i – радиус инерции;
 m – масса одного погонного метра.

W – момент сопротивления;
 S – статический момент полусечения;

№	h , мм	b , мм	d , мм	t , мм	A , см ²	m , кг	I_{x_x} , см ⁴	W_{x_x} , см ³	i_{x_x} , см	S_{x_x} , см ³	I_{y_y} , см ⁴	W_{y_y} , см ³	i_{y_y} , см
10	100	55	4,5	7,2	12,0	9,46	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	7,3	14,7	11,50	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	140	73	4,9	7,5	17,4	13,70	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,50	1,55
16	160	81	5,0	7,8	20,2	15,90	873	109,0	6,57	62,3	58,6	14,50	1,70
18	180	90	5,1	8,1	23,4	18,40	1290	143,0	7,42	81,4	82,6	18,40	1,88
18a	180	100	5,1	8,3	25,4	19,90	1430	159,0	7,51	89,8	114,0	22,80	2,12
20	200	100	5,2	8,4	26,8	21,00	1840	184,0	8,28	104,0	115,0	23,10	2,07
20a	200	110	5,2	8,6	28,9	22,70	2030	203,0	8,37	114,0	155,0	28,20	2,32
22	220	110	5,4	8,7	30,6	24,00	2550	232,0	9,13	131,0	157,0	28,60	2,27
22a	220	120	5,4	8,9	32,8	25,80	2790	254,0	9,22	143,0	206,0	34,30	2,50
24	240	115	5,6	9,5	34,8	27,30	3460	289,0	9,97	163,0	198,0	34,50	2,37
24a	240	125	5,6	9,8	37,5	29,40	3800	317,0	10,10	178,0	260,0	41,60	2,63
27	270	125	6,0	9,8	40,2	31,50	5010	371,0	11,20	210,0	260,0	41,50	2,54
27a	270	135	6,0	10,2	43,2	33,90	5500	407,0	11,30	229,0	337,0	50,00	2,80
30	300	135	6,5	10,2	46,5	36,50	7080	472,0	12,30	268,0	337,0	49,90	2,69
30a	300	145	6,5	10,7	49,5	39,20	7780	518,0	12,50	292,0	436,0	60,10	2,95
33	330	140	7,0	11,2	53,8	42,20	9840	597,0	13,50	339,0	419,0	59,90	2,79
36	360	145	7,5	12,3	61,9	48,60	13380	743,0	14,70	423,0	516,0	71,10	2,89
40	400	155	8,3	13,0	72,6	57,00	19062	953,0	16,20	545,0	667,0	86,10	3,03
45	450	160	9,0	14,2	84,7	66,50	27696	1231,0	18,10	708,0	808,0	101,00	3,09
50	500	170	10,0	15,2	100,0	78,50	39727	1589,0	19,90	919,0	1043,0	123,00	3,23
55	550	180	11,0	16,5	118,0	92,60	55962	2035,0	21,80	1181,0	1356,0	151,00	3,39
60	600	190	12,0	17,8	138,0	108,0	76806	2560,0	23,60	1491,0	1725,0	182,00	3,54