

Лабораторная работа № 4

Освоение основ расчета на прочность и жесткость в программе ANSYS Workbench

1. Расчет на прочность стержня при растяжении

Задание: построить модель стержня прямоугольного сечения в программе ANSYS Workbench, произвести расчет стержня на прочность под действием растягивающих нагрузок. Параметры стержня: ширина $b = 30$ мм, толщина $h = 20$ мм, длина $l = 500$ мм; растягивающее усилие $N = 100$ кН. Материал стержня – *сталь*.

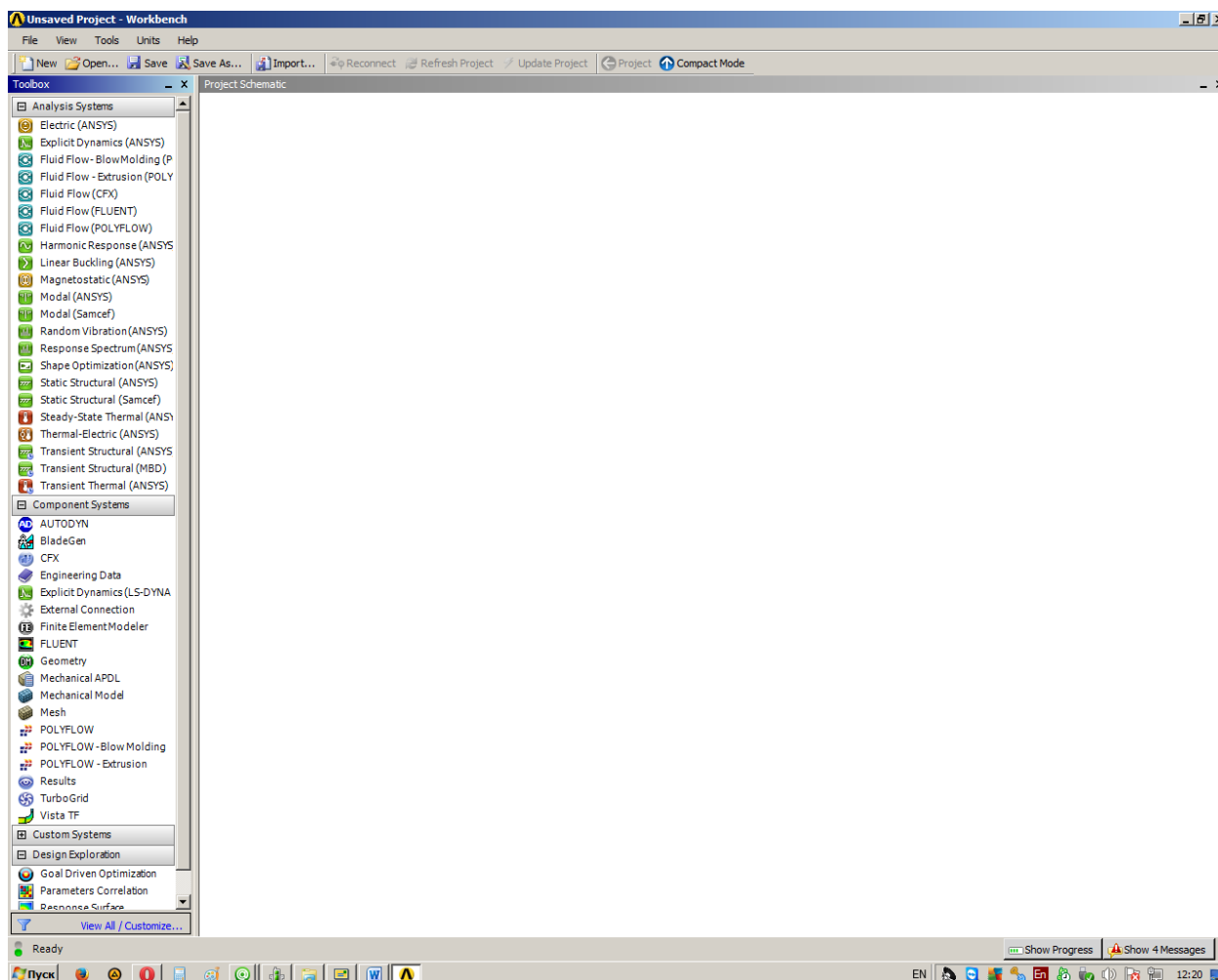
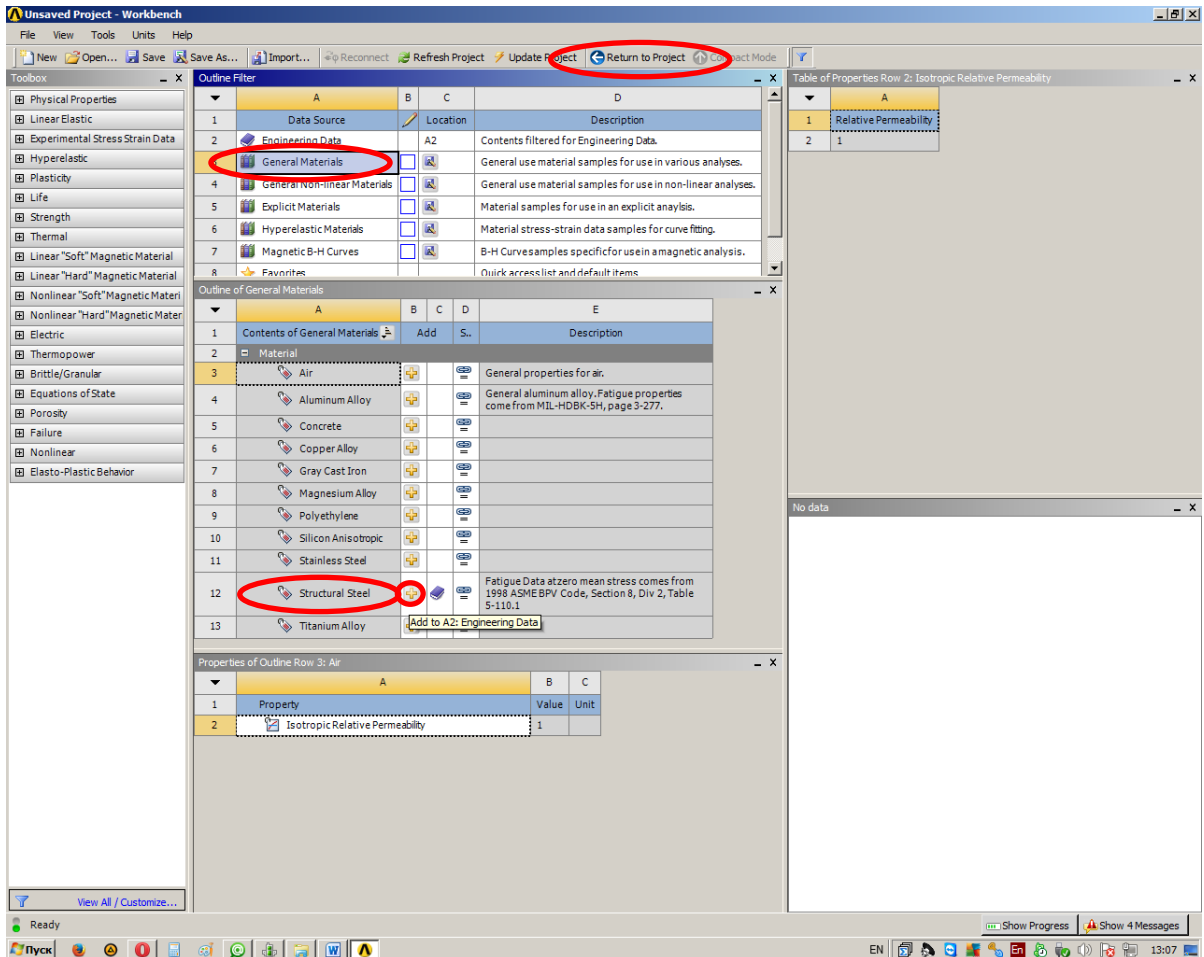
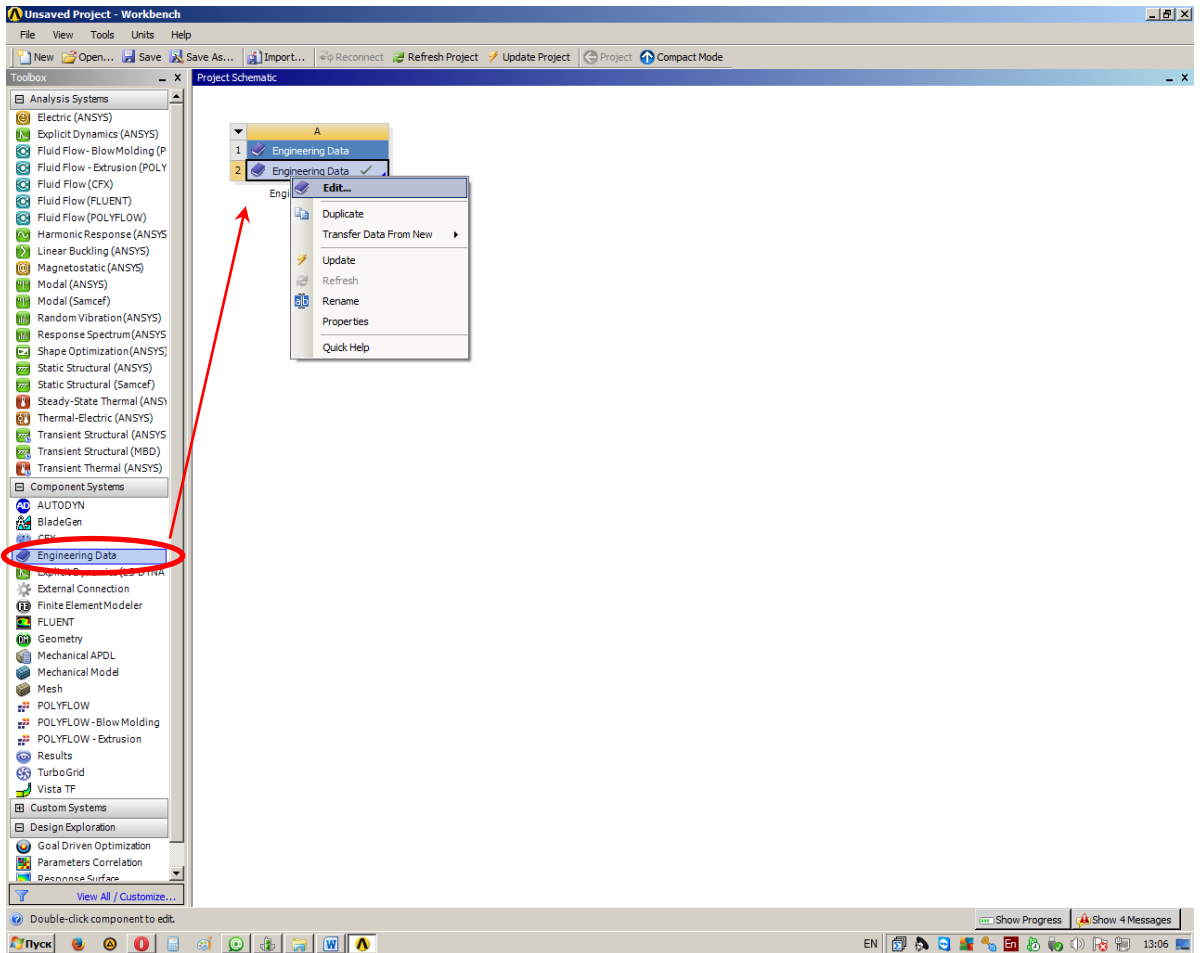
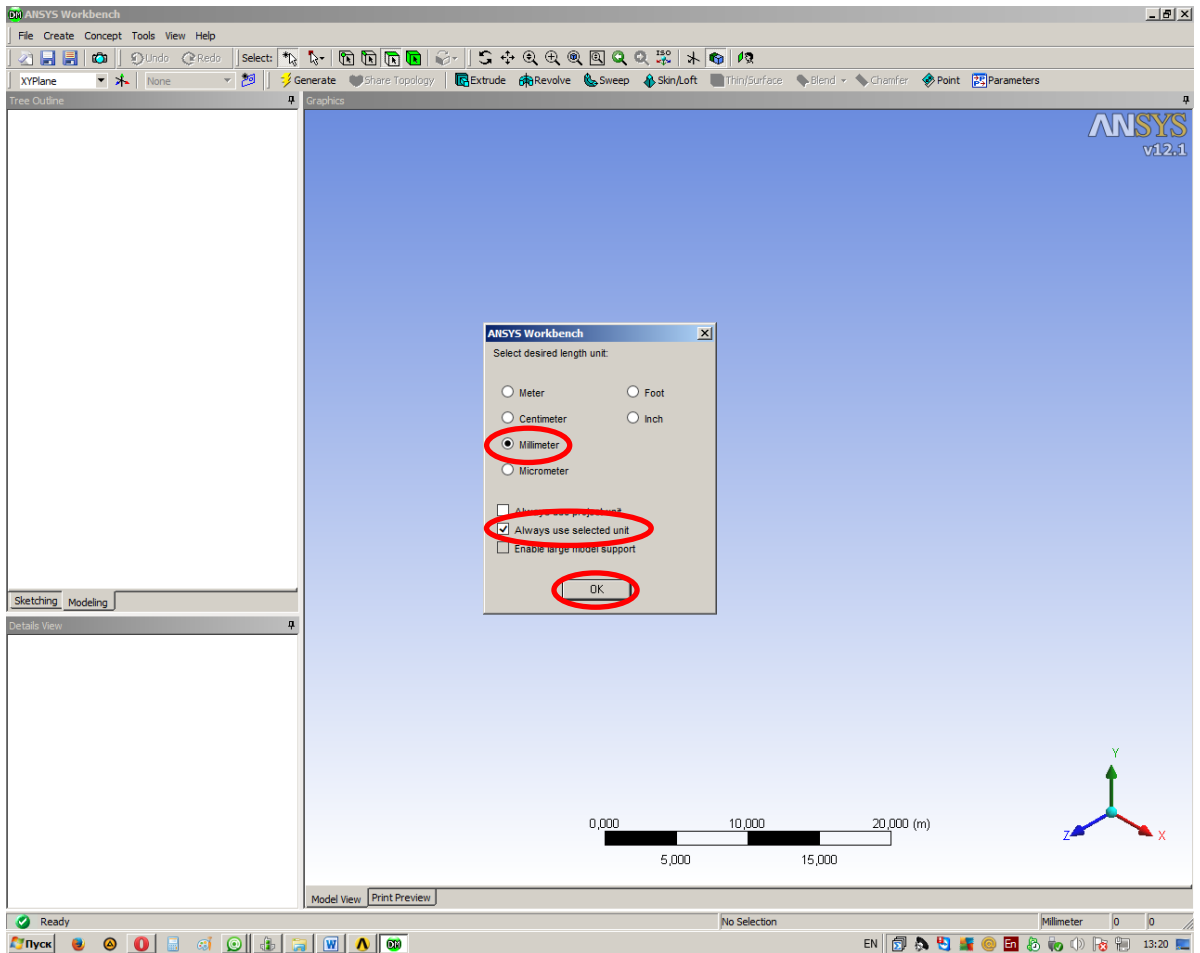
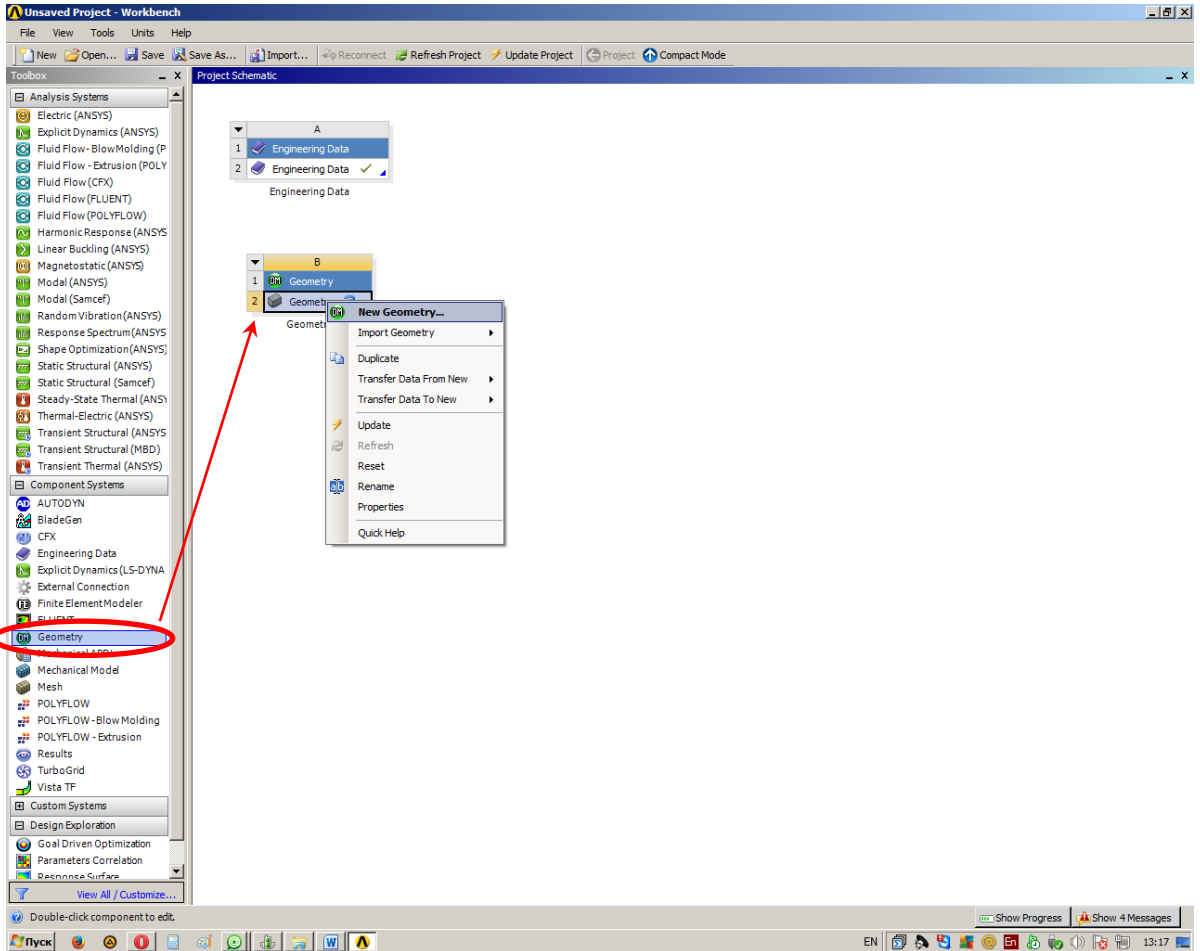


Рис. 1. Общий вид рабочего окна программы ANSYS Workbench

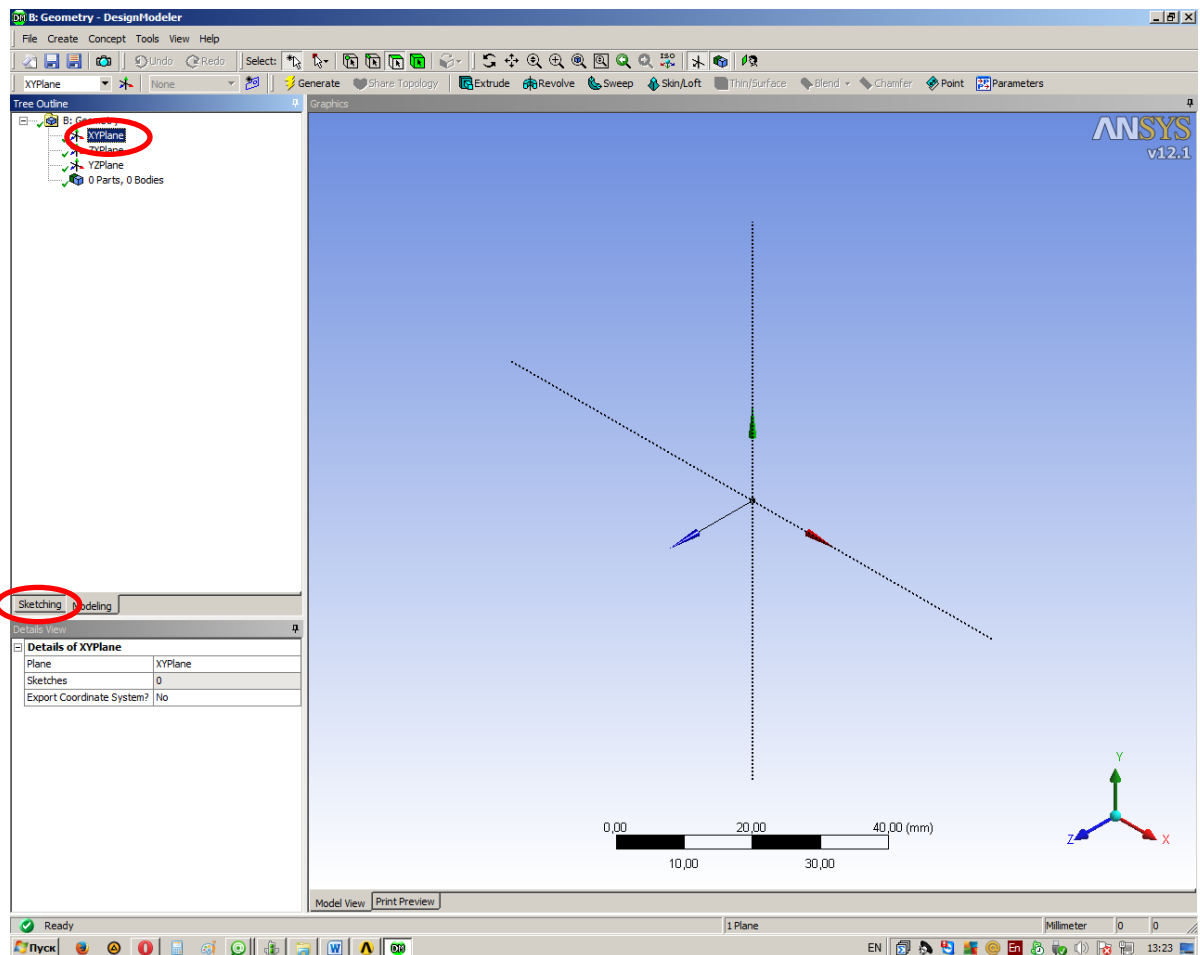
Порядок выполнения задания:

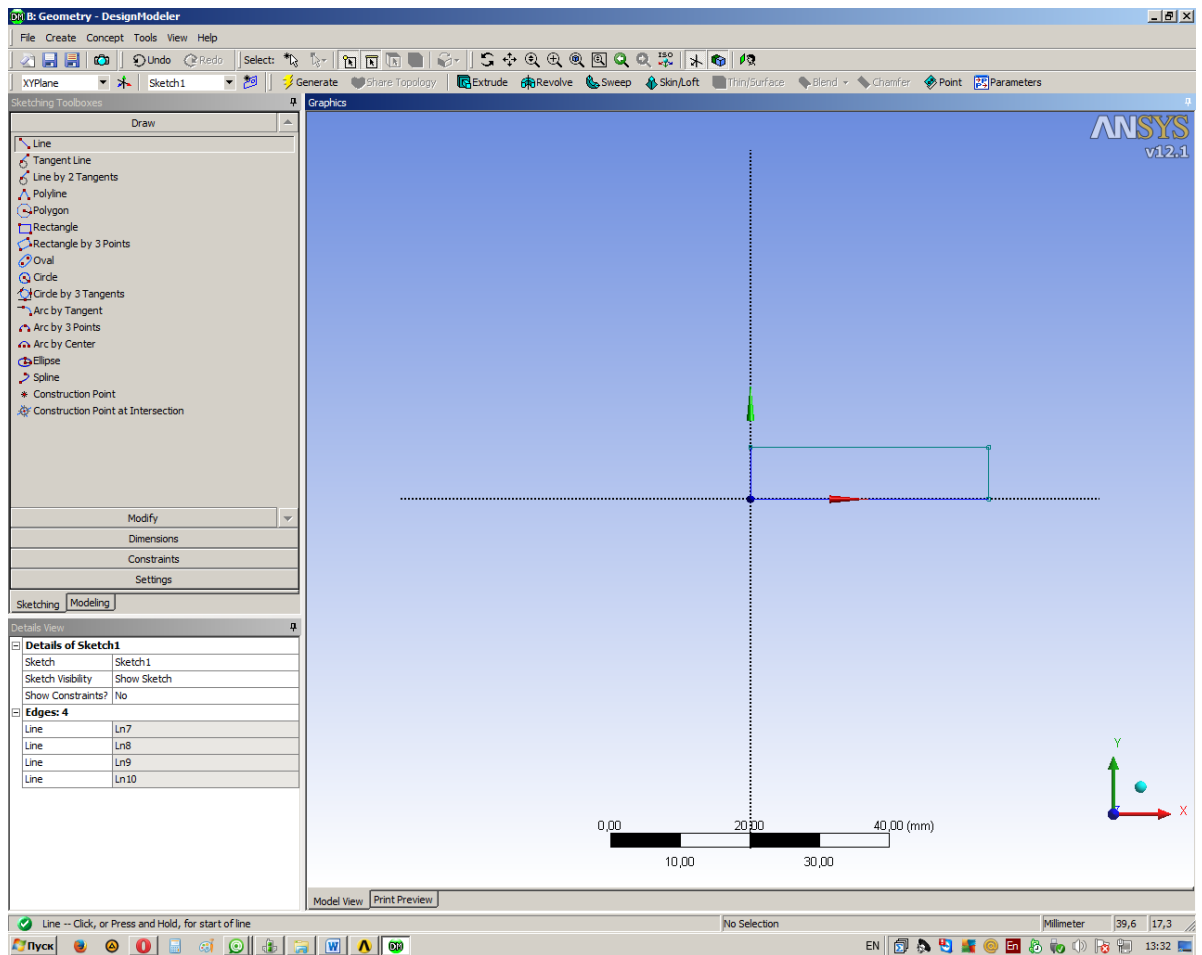
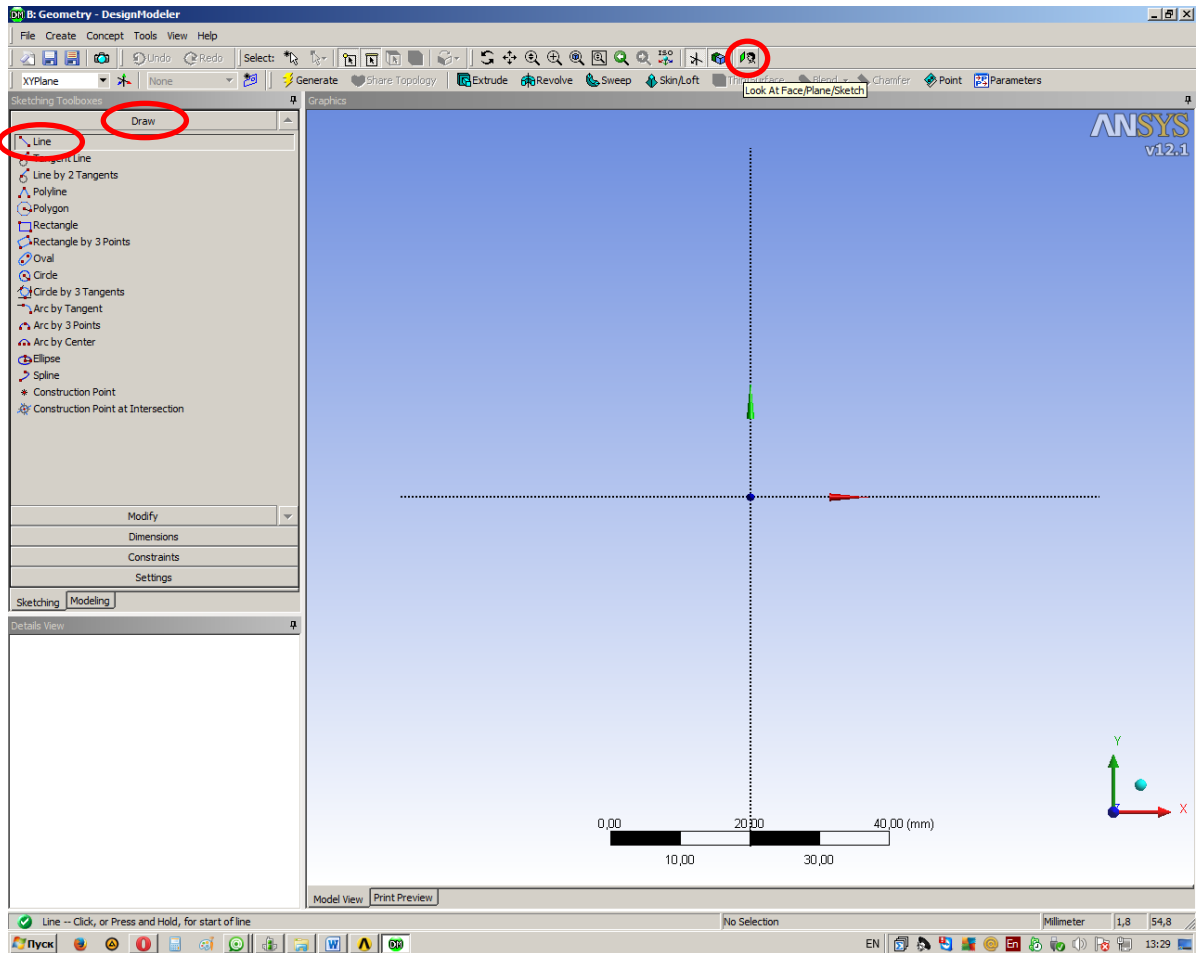
1. Перетащить в основное окно программы модуль *Engineering Data*, кликнуть на нем *правой кнопки мышки* (ПКМ), нажать **Edit...**, войти в модуль, выбрать в нем *General materials* → *Structural steel* и добавить материал из библиотеки с помощью команды *Add*; чтобы выйти из модуля *Engineering Data* необходимо нажать кнопку *Return to project*;
2. Поместить в окно проекта модуль *Geometry* и войти в него; выбираем единицы измерения – *миллиметры* и ставим галочку *Always use selected unit*;

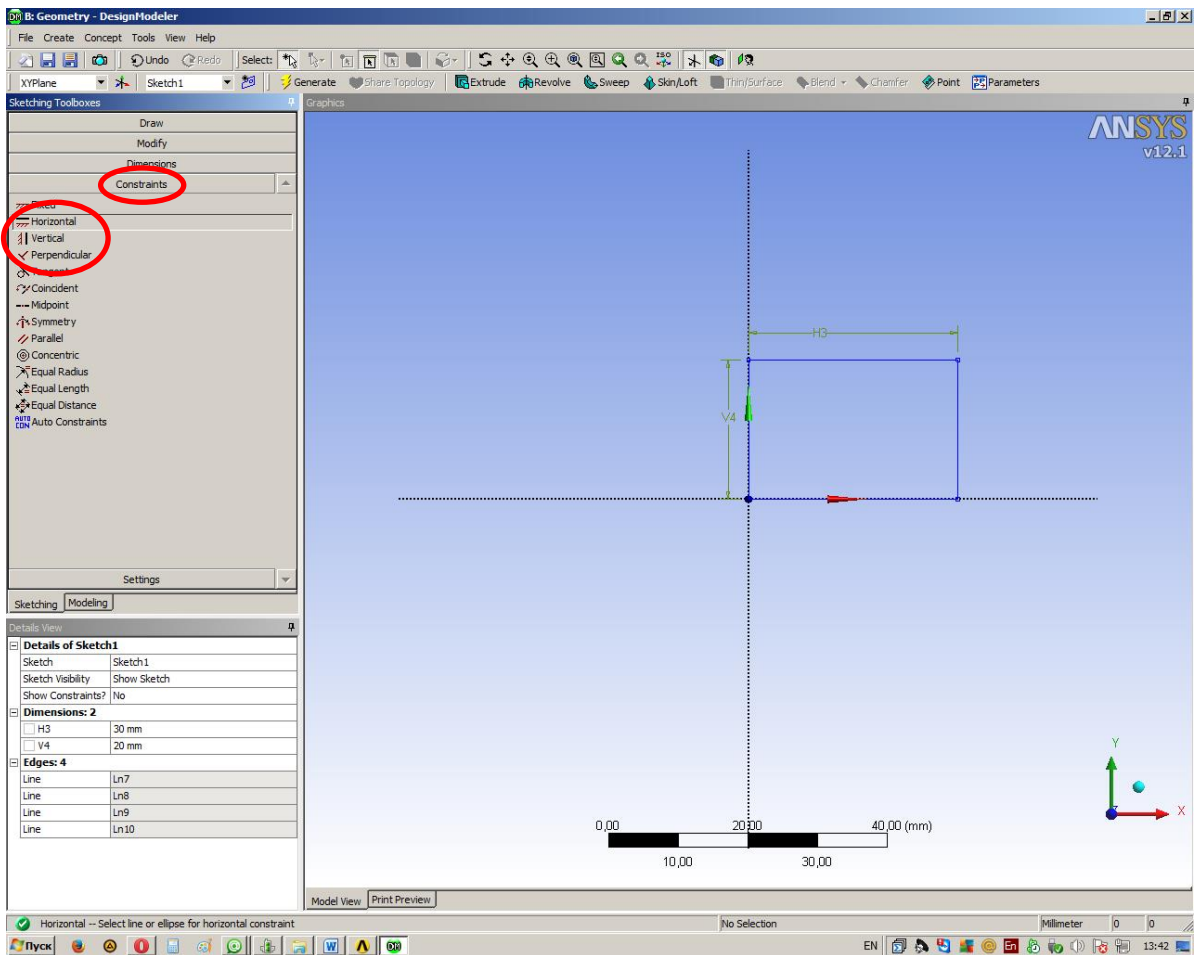
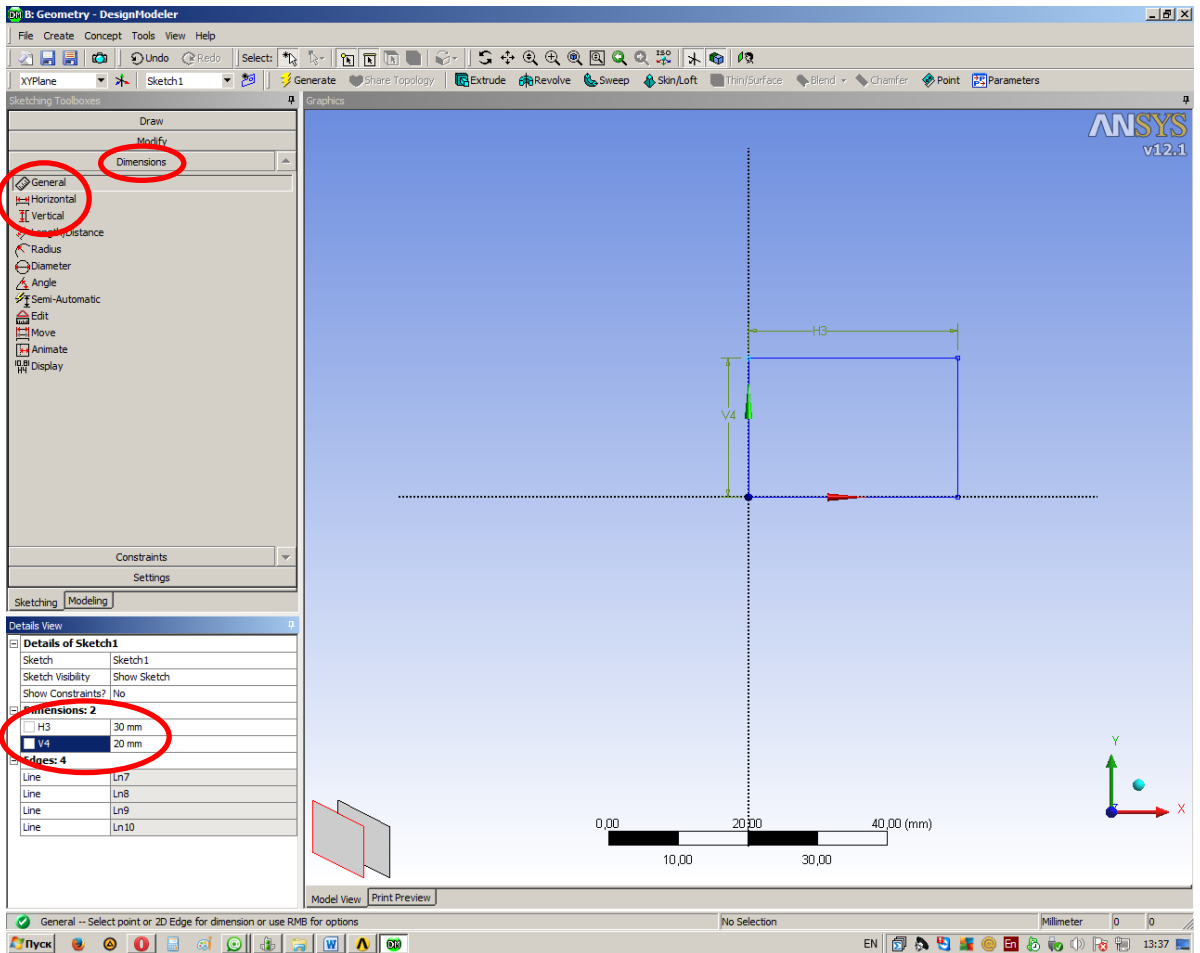


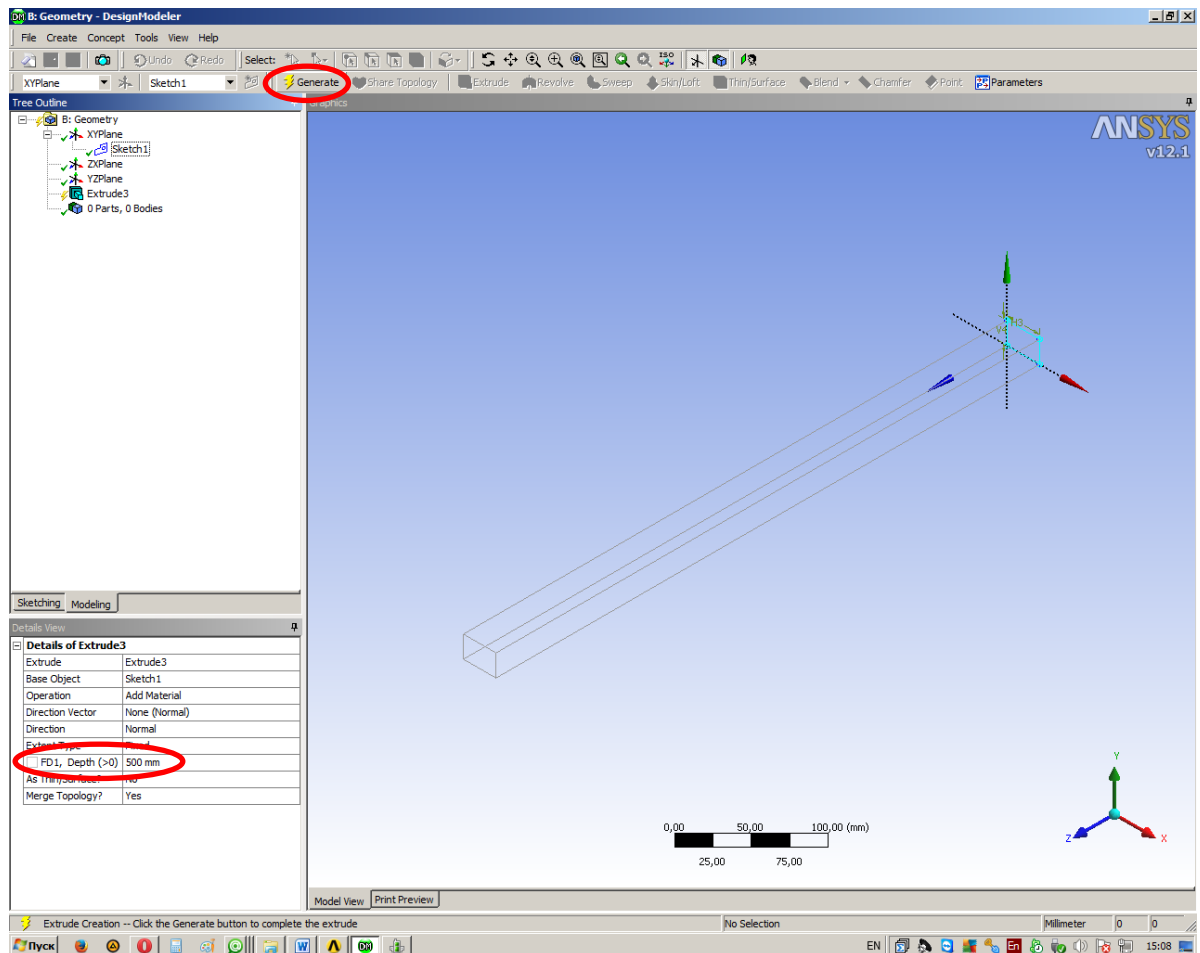
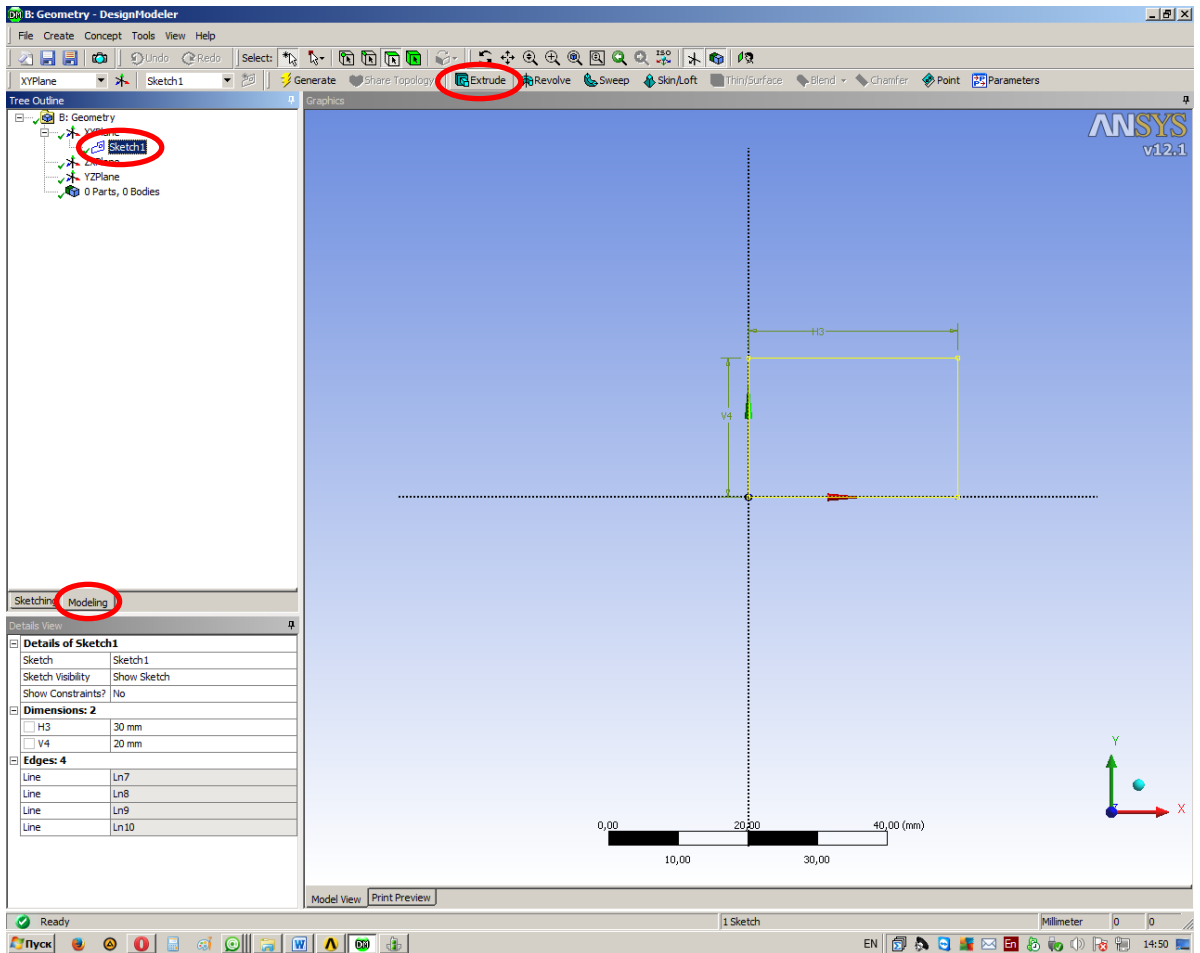


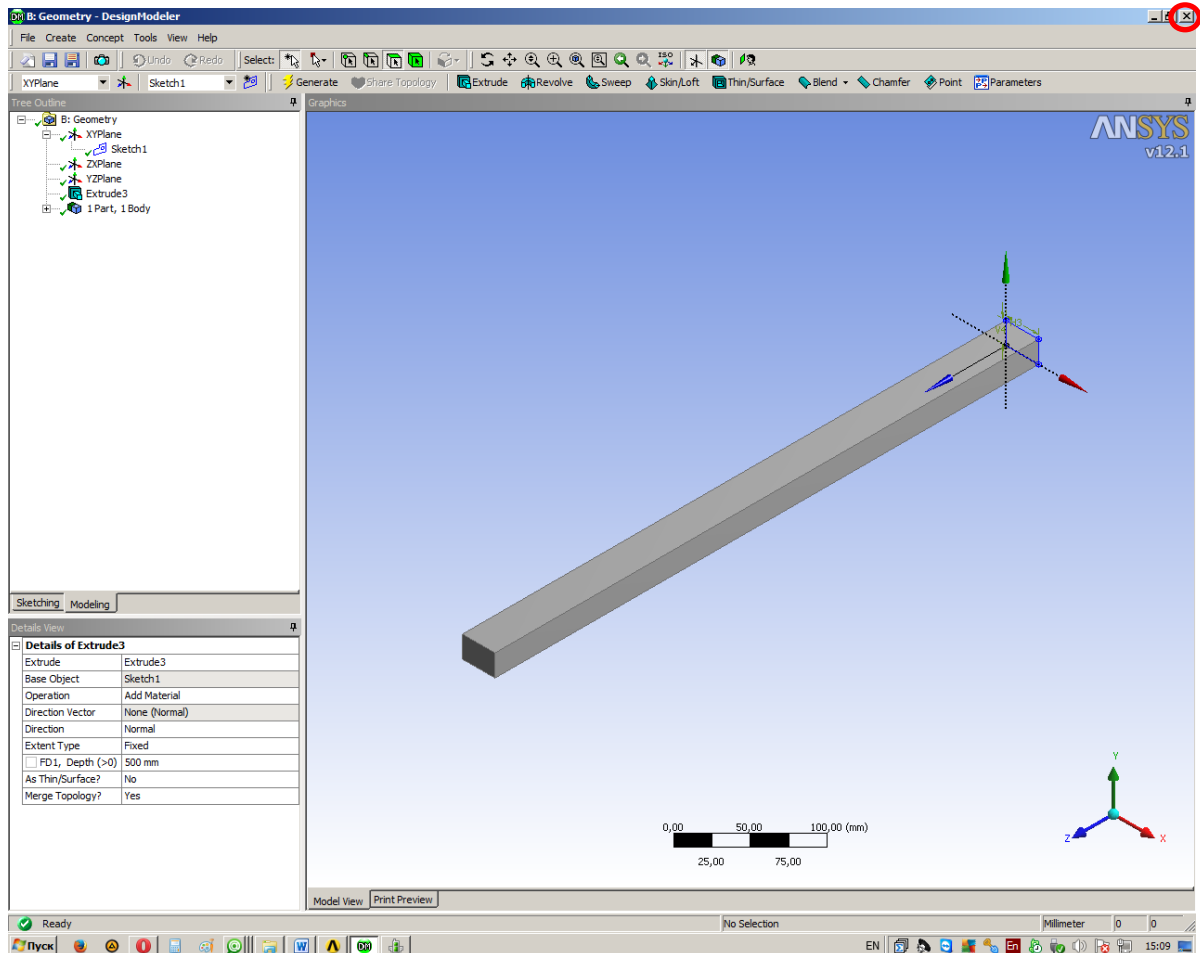
3. Выбираем одну из плоскостей для рисования в ней эскиза. Переходим во вкладку **Sketching**. Далее рисуем эскиз требуемого стержня с помощью панелей в левой части экрана **Draw** → **Line**; чтобы плоскость эскиза располагалась перпендикулярно направлению взгляда, выбираем команду **Look at face / Plane / Sketch**; рисуем сперва произвольный прямоугольник из линий, который впоследствии будет образмериваться с помощью панели **Dimensions** и на который будут добавлены соответствующие ограничения с помощью панели **Constraints**; для образмеривания в панели **Dimensions** пользуемся опциями **General**, **Horizontal** или **Vertical** в зависимости от вида корректируемого размера; вводим требуемые по условию значения ширины и толщины стержня; для нанесения ограничений в панели **Constraints** пользуемся опциями **Horizontal**, **Vertical** или **Perpendicular** по необходимости; переходим во вкладку **Modeling**, выбираем начерченный эскиз и нажимаем **Extrude**; вводим требуемое значение длины выдавливания и нажимаем кнопку **Generate**. После создания модели закрываем модуль **Geometry**.



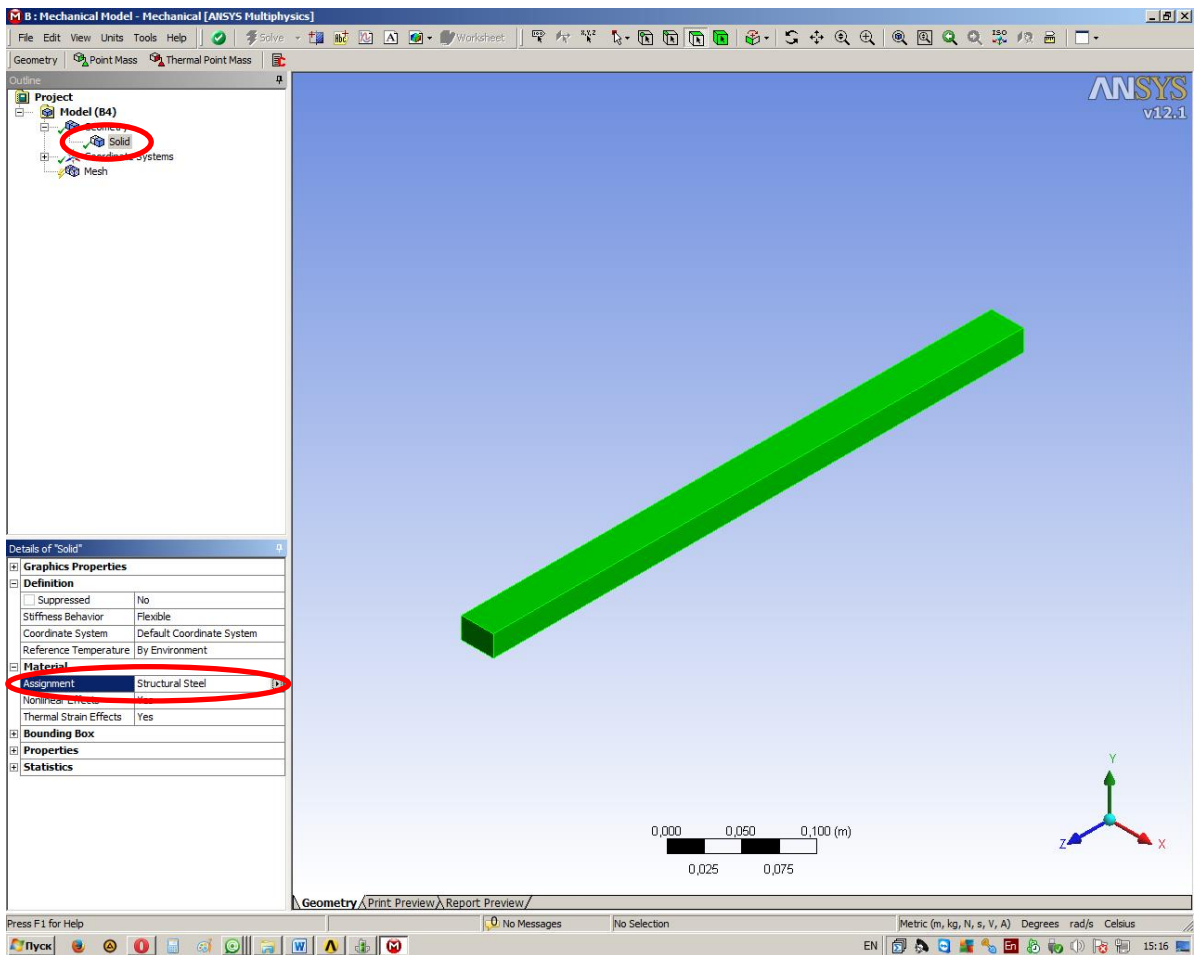
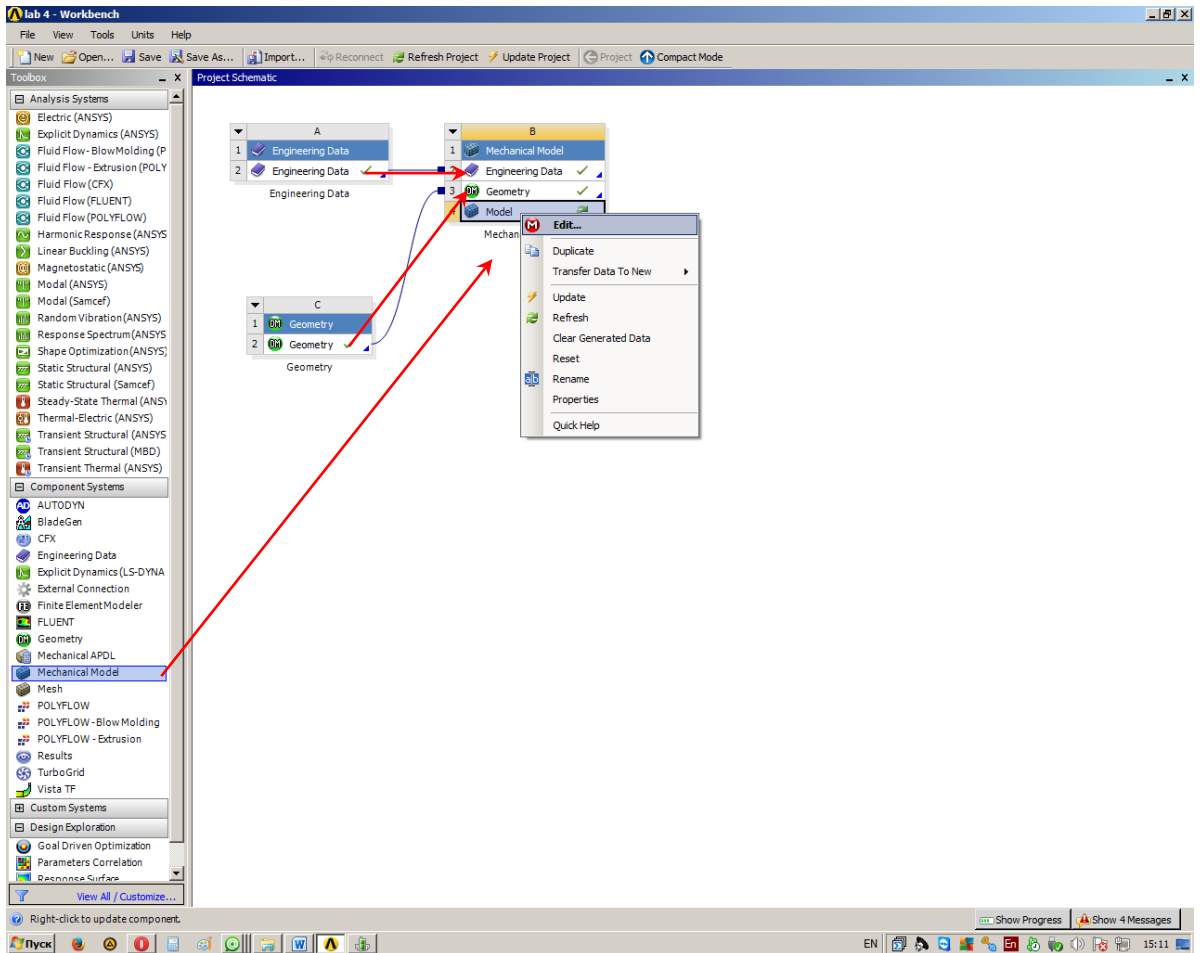


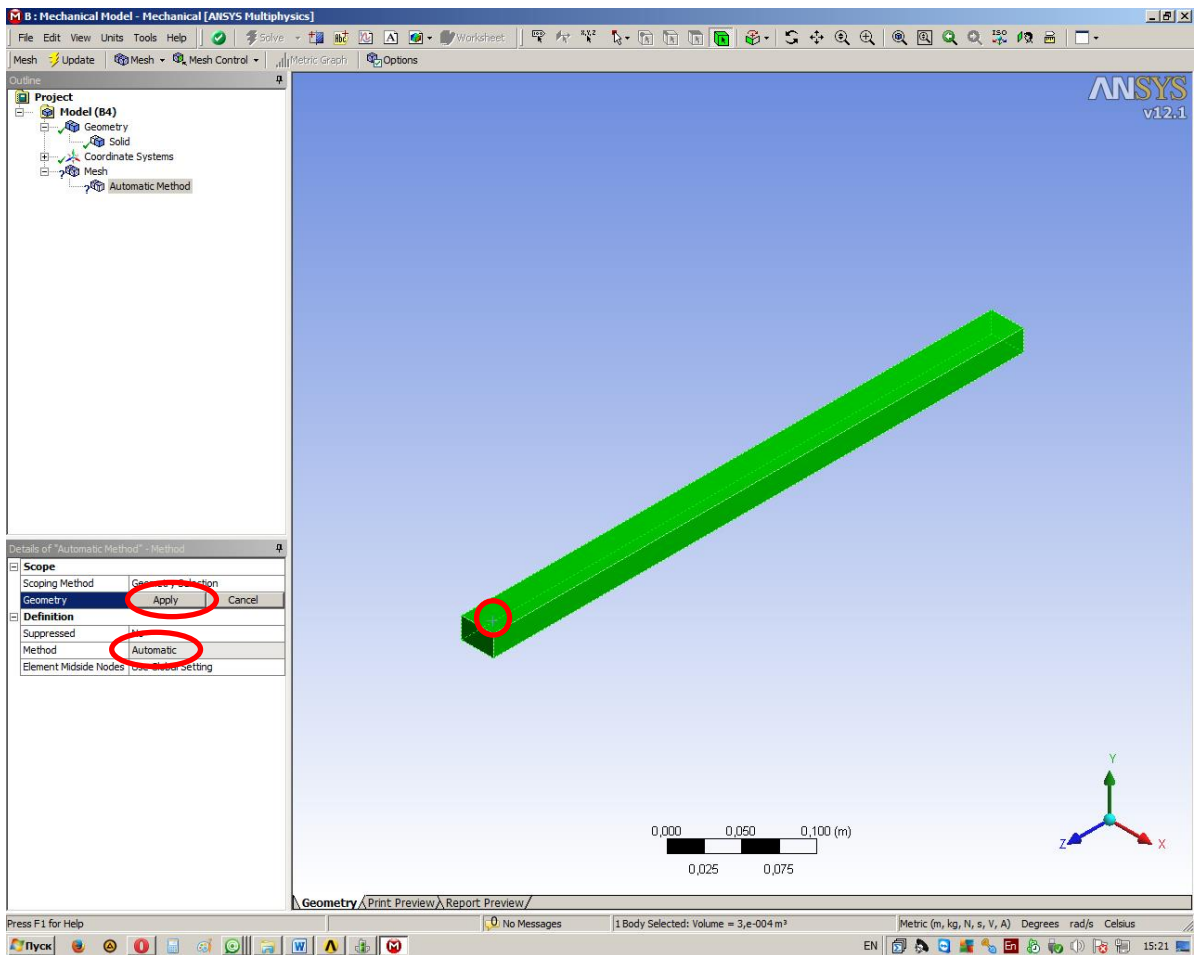
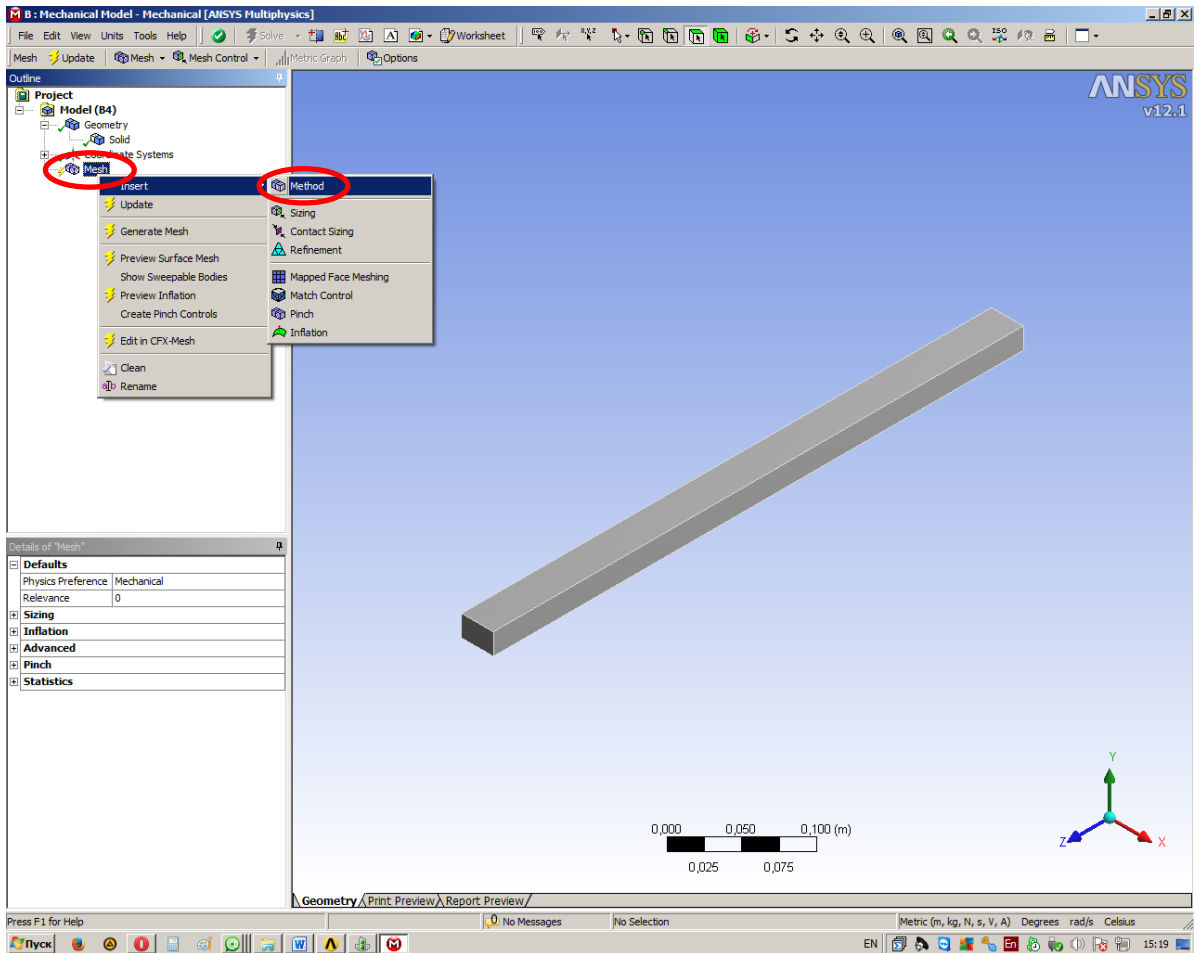


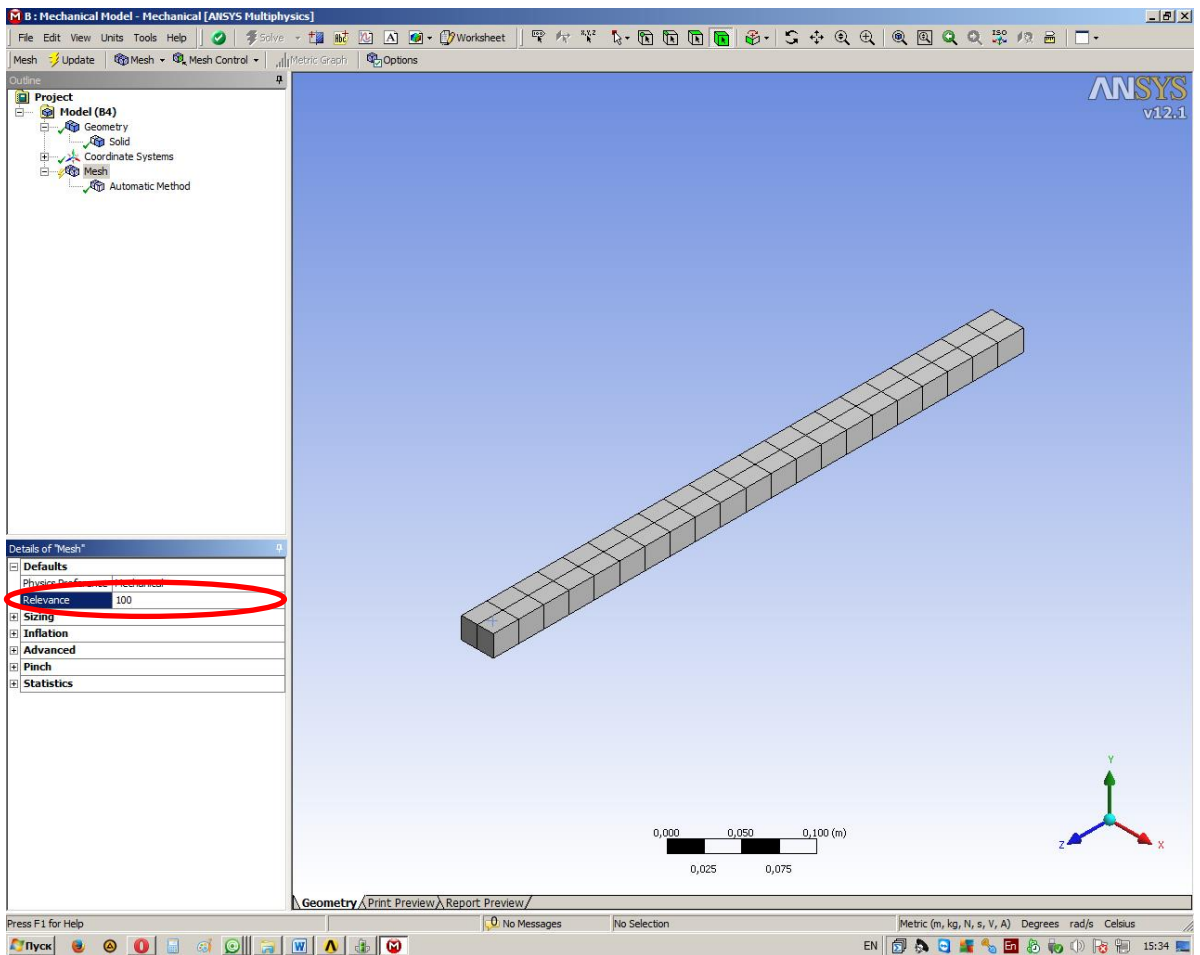
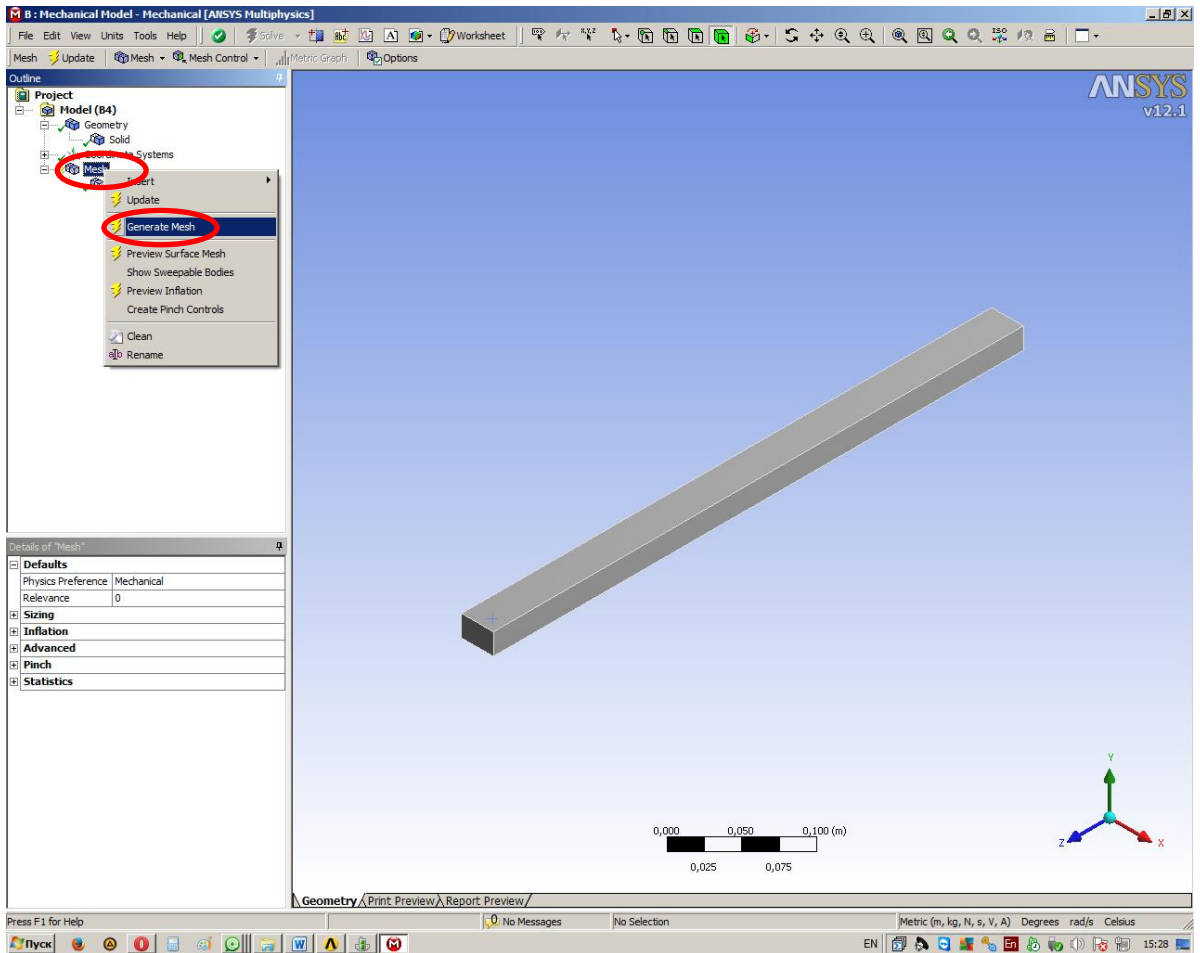


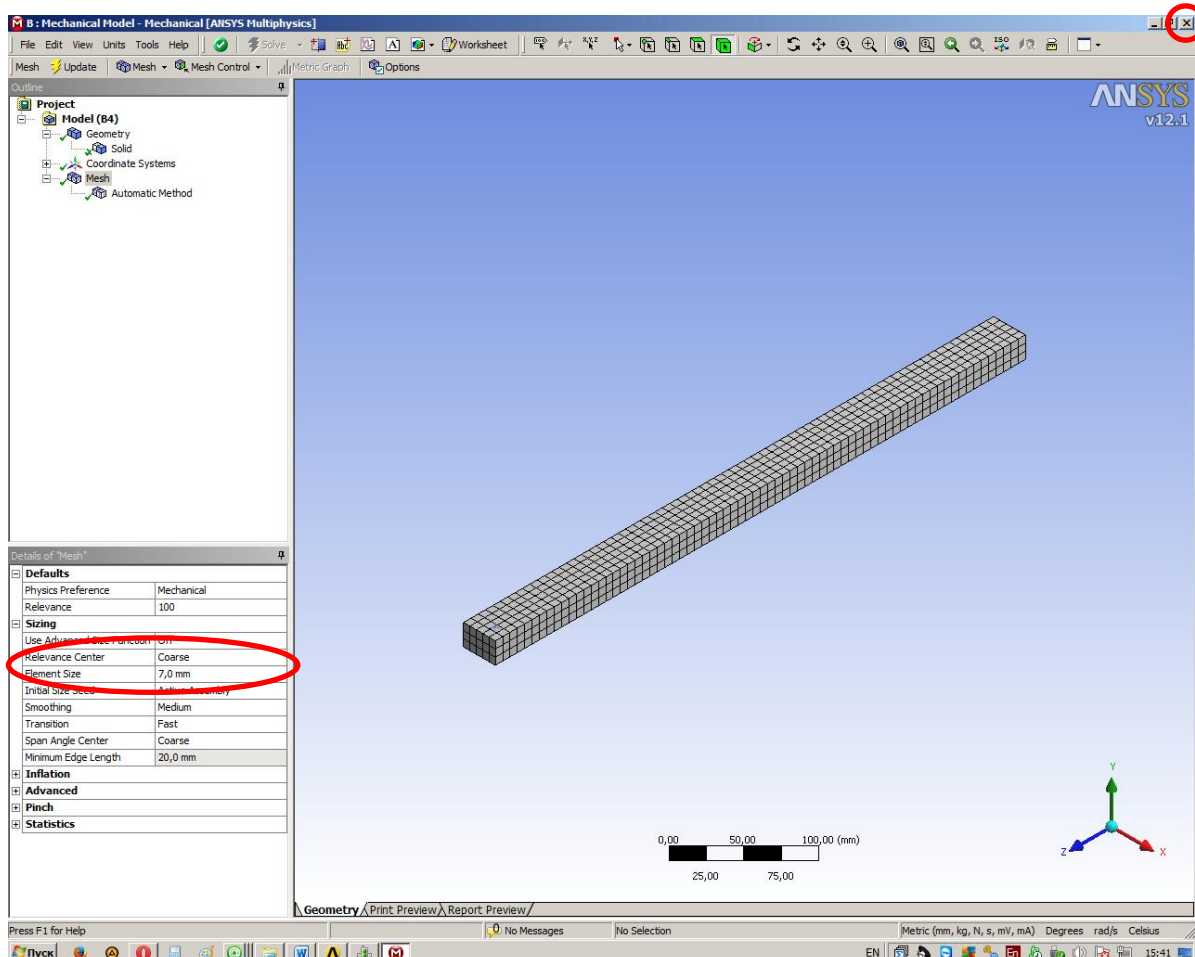


- Добавляем следующий модуль в дерево проекта – **Mechanical model**. От модулей **Engineering data** и **Geometry** с помощью *левой кнопки мышки* (ЛКМ) проводим связи, по которым будет осуществляться передача данных в соответствующие модули. Заходим в модуль **Mechanical model**. Назначаем для построенного стержня требуемый материал. Далее приступаем к генерации конечно-элементной сетки. Для этого ПКМ на **Mesh** → **Insert** → **Method**. Выбираем тело, для которого будет использоваться данный метод (в нашем случае, это стержень), нажимаем **Apply**, проверяем, чтобы в графе **Method** был выбран пункт **Automatic**, после этого нажимаем ПКМ на **Mesh** → **Generate mesh**. Конечно-элементная сетка будет сгенерирована. Если она будет слишком крупной, расчет может дать неверные результаты, поэтому сетку необходимо измельчить с помощью параметра **Relevance**. Для измельчения сетки сдвигаем этот параметр до значения **100**, для укрупнения сетки до значения **-100**. Повторно генерируем сетку. Если и в этом случае не достигается удовлетворительный результат, можно поварьировать параметрами **Relevance Center** и **Element size**. Можно также задать ручное генерирование сетки с помощью ПКМ **Mesh** → **Insert** → **Sizing** и указанием линий, по которым будет производиться разбиение и количество элементов (**Number of Divisions**) по ним. Размер сетки следует выбирать таким, чтобы она была не слишком крупной, иначе результат расчета будет неверен, но и не слишком мелкой, так как в этом случае для расчета будет требоваться намного больше ресурсов компьютера и времени. Получив удовлетворительную сетку, закрываем модуль **Mechanical model**.

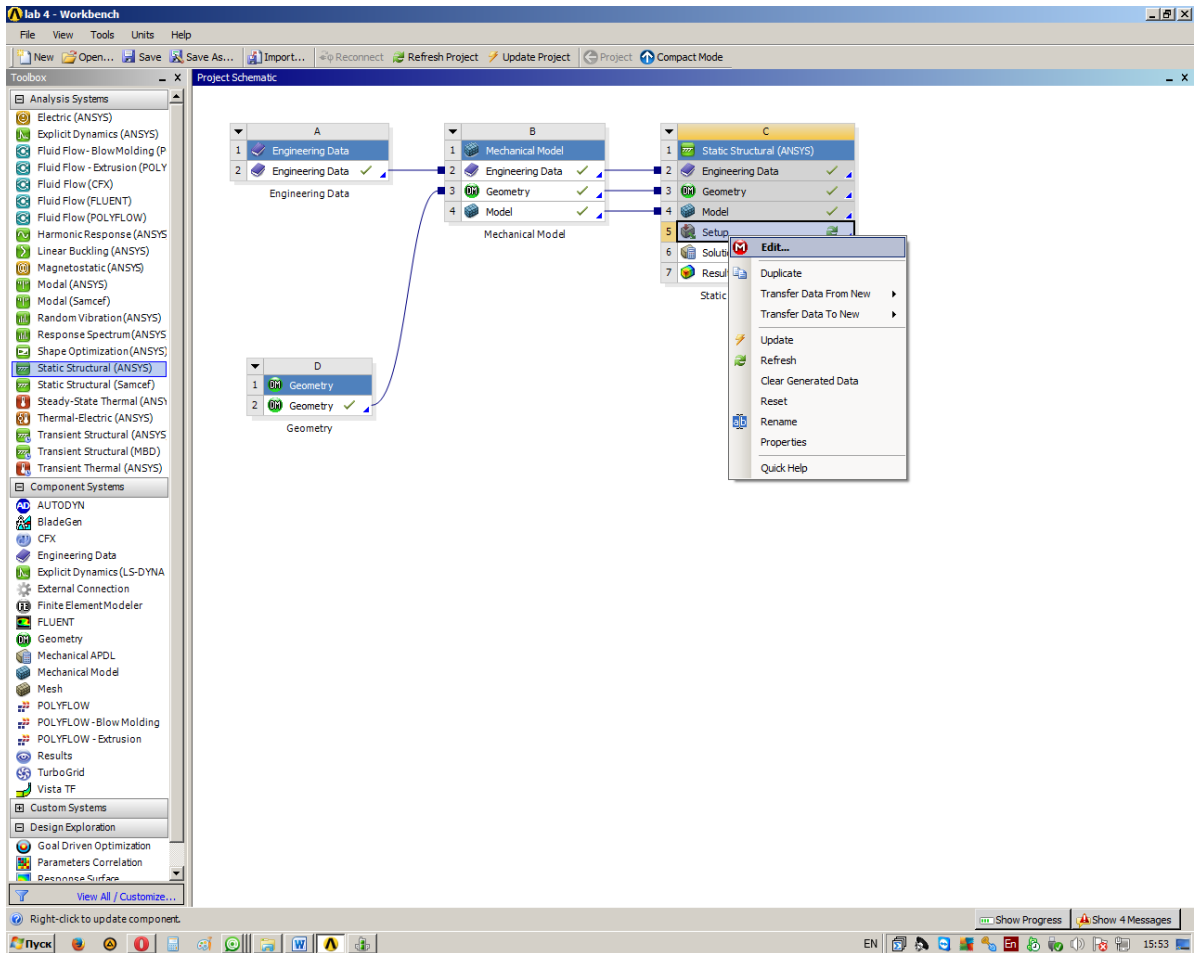
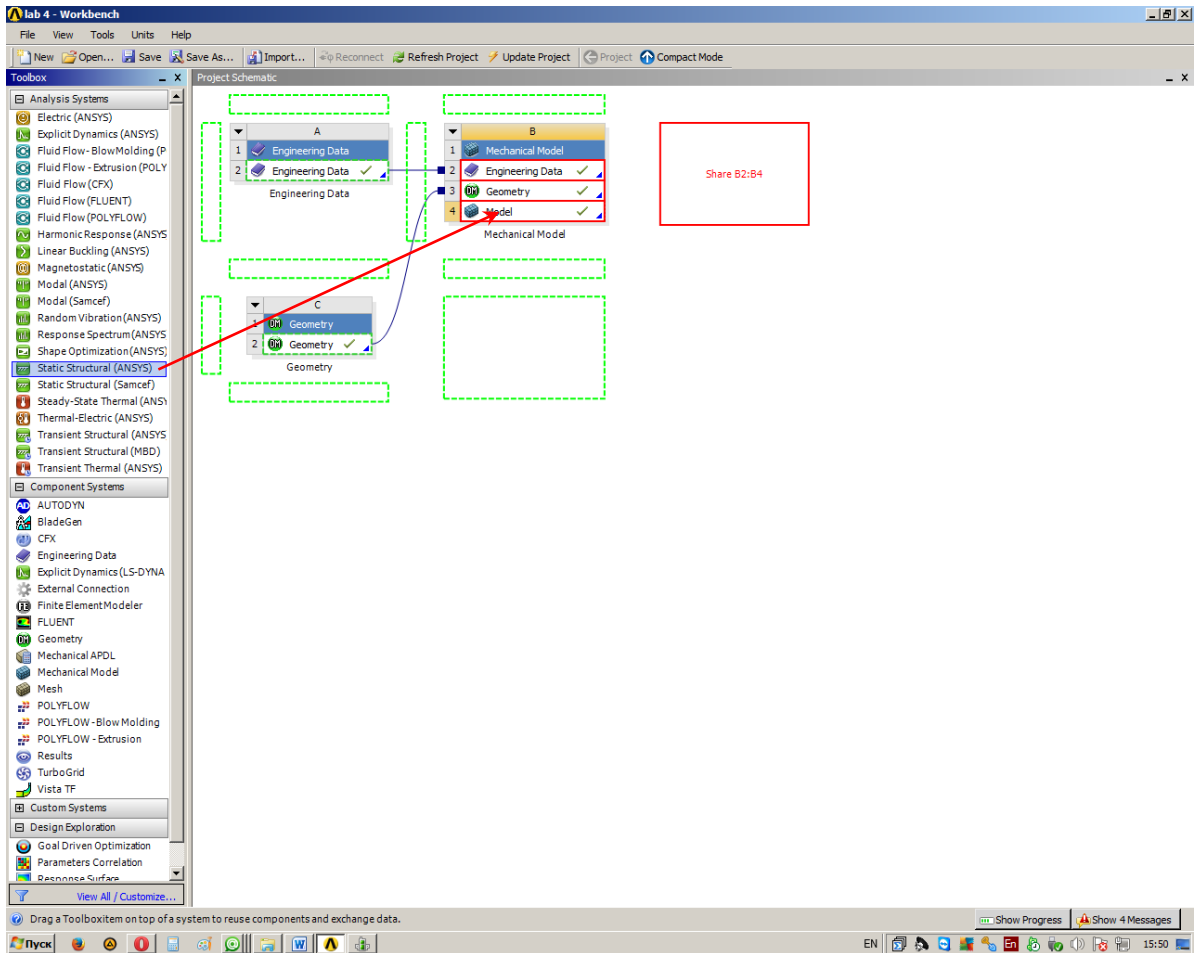


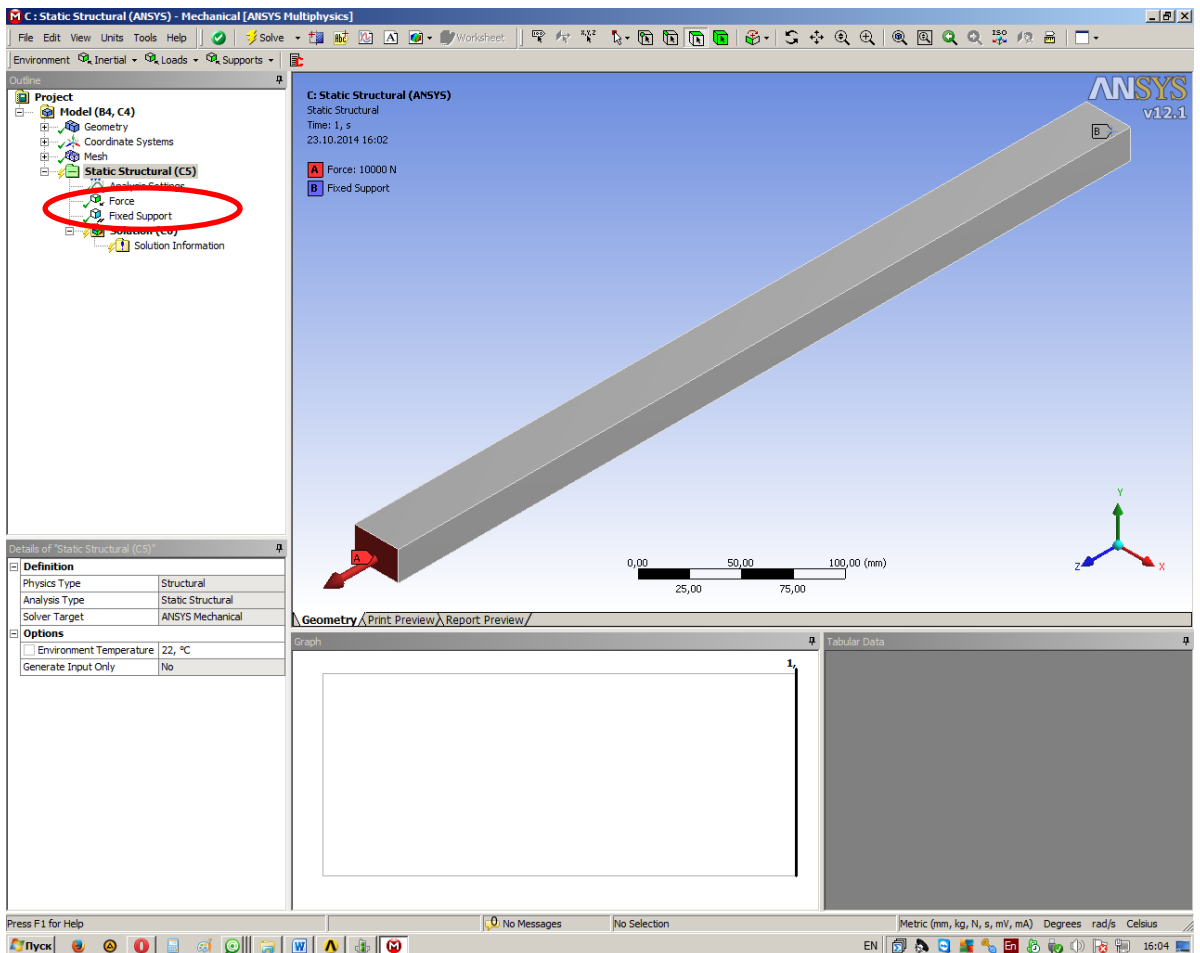
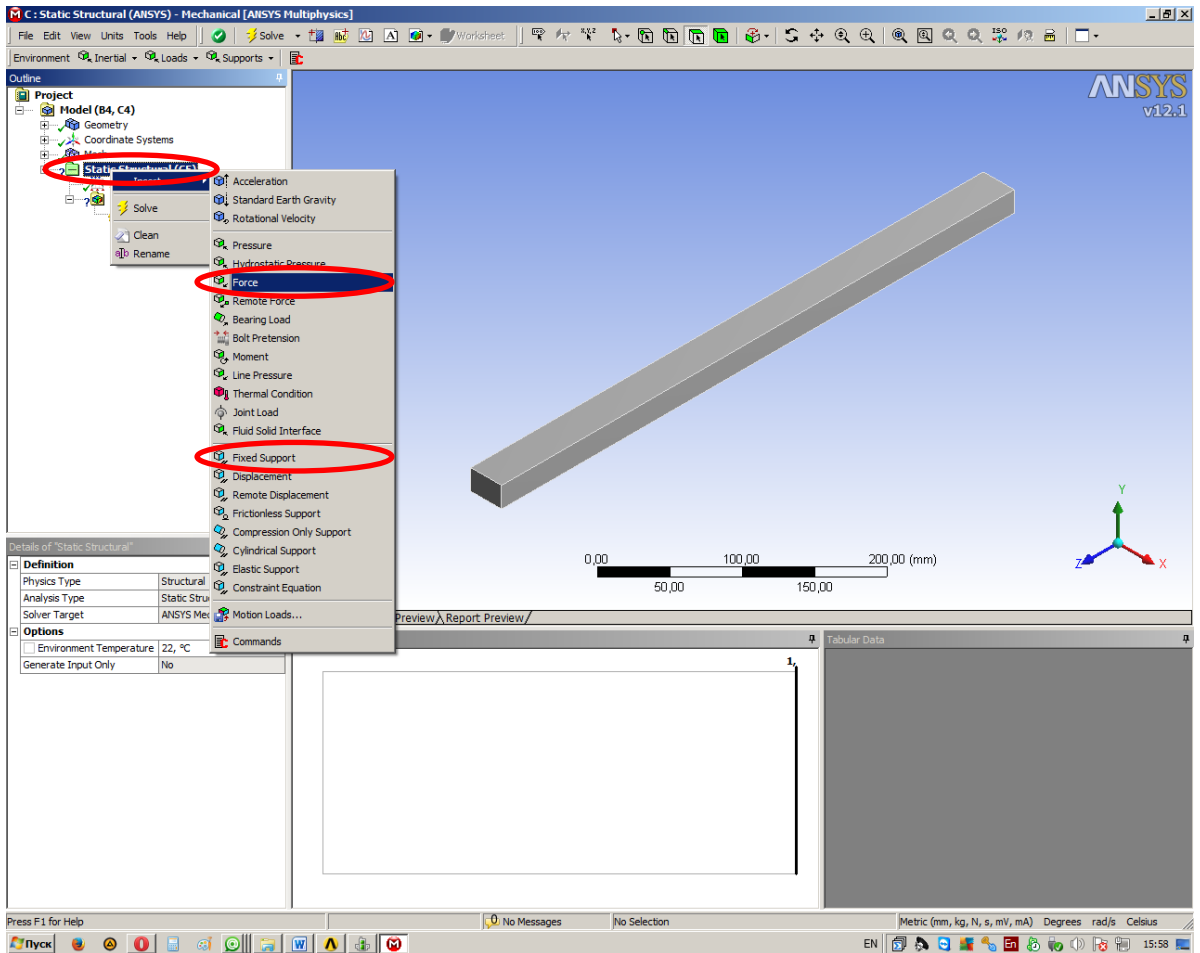


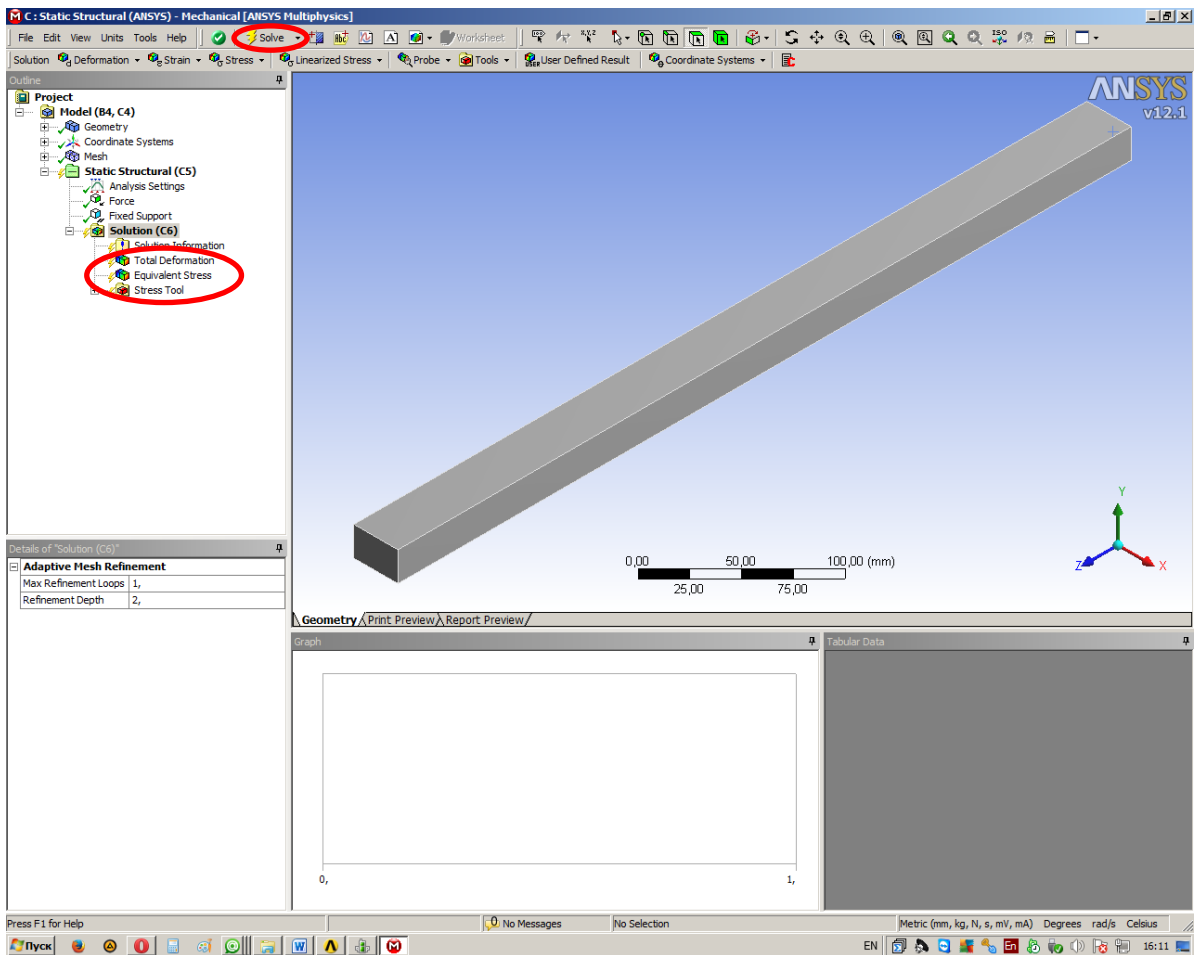
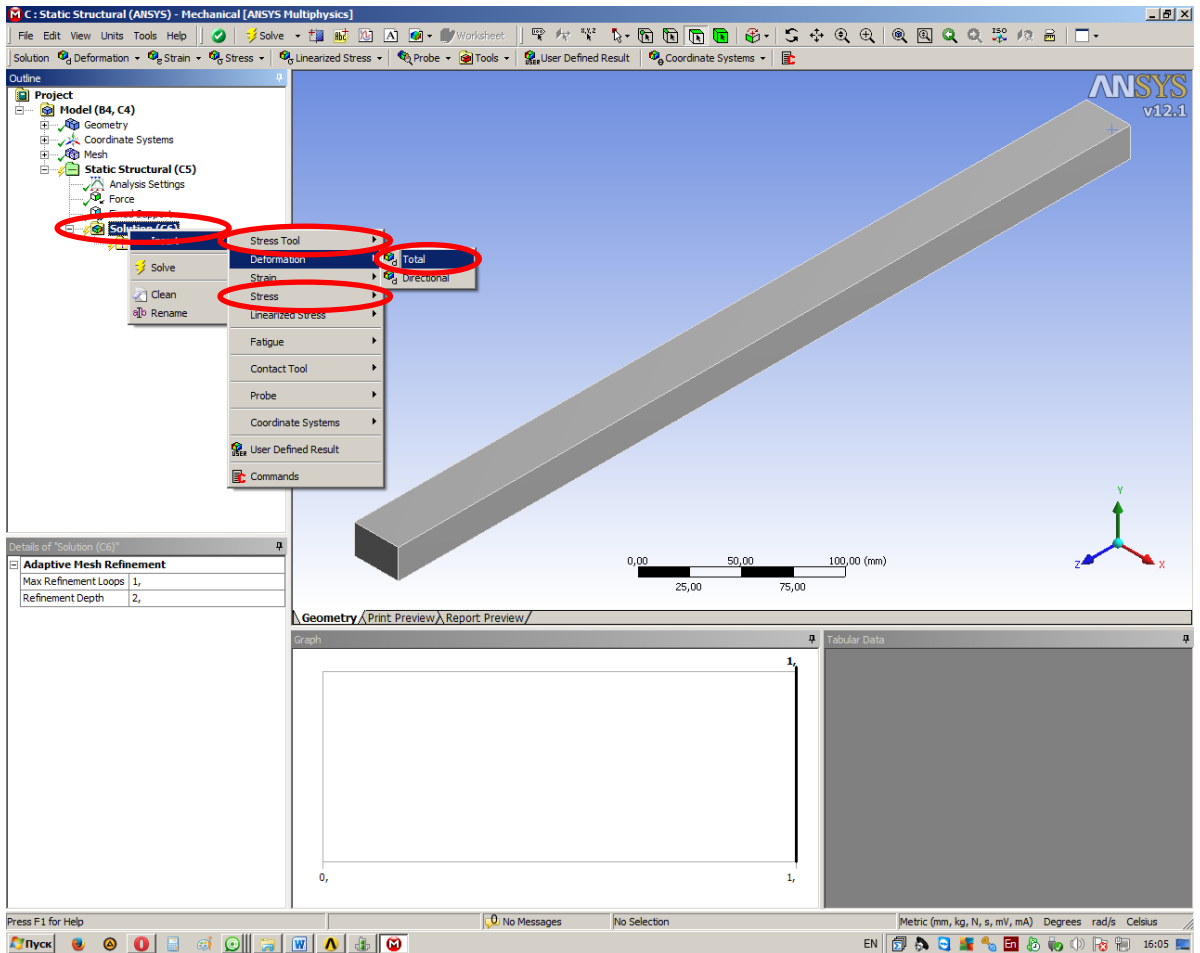


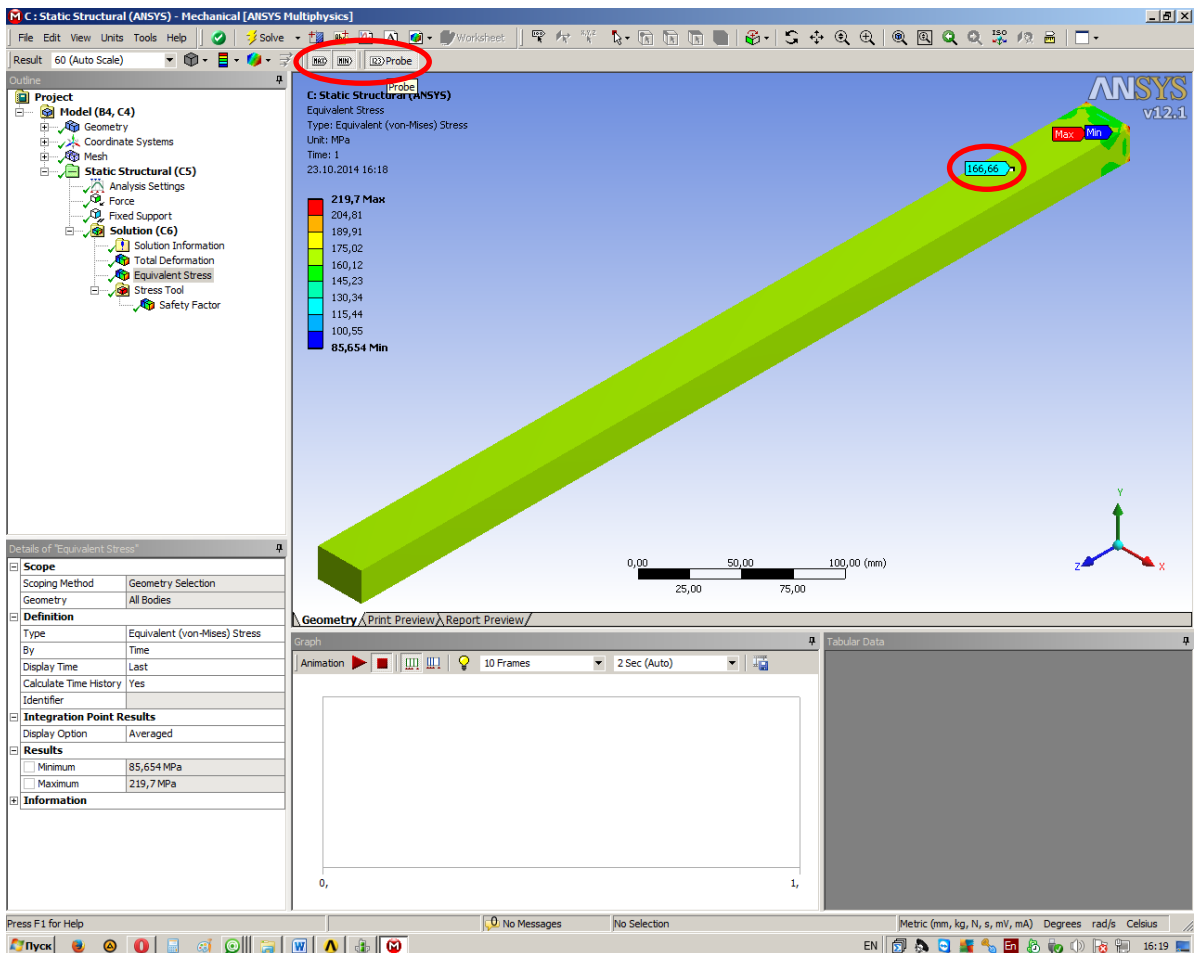
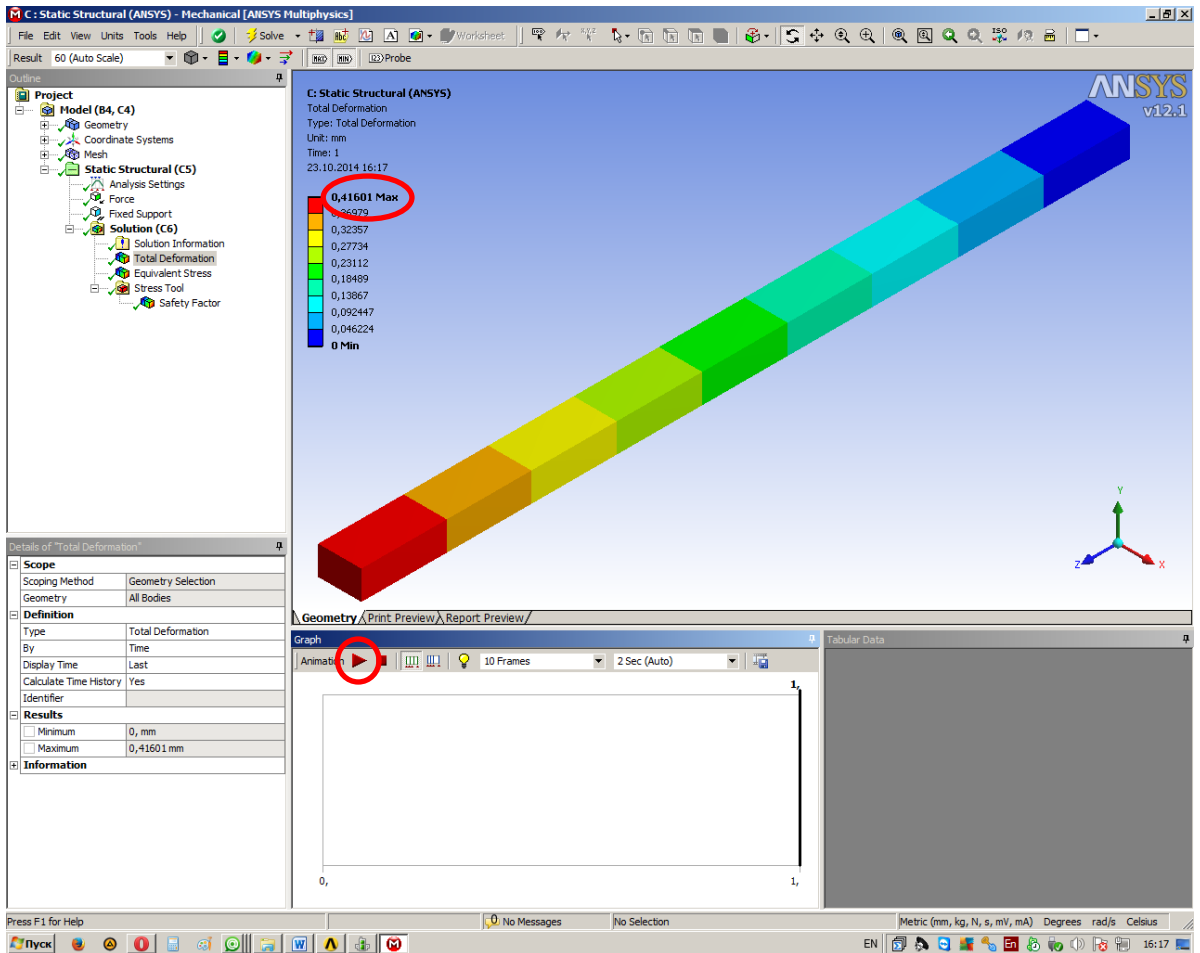


5. Добавляем в дерево проекта модуль *Static Structural (ANSYS)*, перетаскивая его с помощью ЛКМ на раздел *Model* в модуле *Mechanical model*. Все необходимые связи в этом случае должны появиться *автоматически*. Заходим в раздел *Setup* модуля *Static Structural* с помощью ПКМ. Добавляем к модели граничные условия: силу (ПКМ *Static structural* → *Insert* → *Force*) на один торец стержня и жесткую заделку (ПКМ *Static structural* → *Insert* → *Fixed support*) по другому торцу стержня. Значение силы необходимо ввести в соответствии с исходными данными. В раздел *Solution* добавляем результаты для визуализации: полные деформации (ПКМ *Solution* → *Insert* → *Deformation* → *Total*), напряжения (ПКМ *Solution* → *Insert* → *Stress* → *Equivalent (von-Mises)*) и коэффициент запаса прочности (ПКМ *Solution* → *Insert* → *Stress Tool* → *Max Equivalent Stress*). После этого нажимаем кнопку *Solve* и ждем окончания решения задачи. Далее анализируем полученные результаты: смотрим максимальные деформации, уровень напряжений и коэффициент запаса прочности. Можно включить *анимацию*, чтобы посмотреть, как деформируется стержень. Для анализа напряжений и коэффициентов запаса прочности используем инструмент *Probe* и ставим его в точку на *некотором расстоянии от заделки*, где уровень напряжений выравнивается. *Рассматривать напряжения в заделке нельзя*, так как там имеет место влияние граничных условий, искажающих картину напряжений.









C:\Static Structural (ANSYS) - Mechanical [ANSYS Multiphysics]

File Edit View Units Tools Help Solve **Probe** Worksheet

Result 60 (Auto Scale) **Probe**

Outline

- Project
 - Model (B4, C4)
 - Geometry
 - Coordinate Systems
 - Mesh
 - Static Structural (C5)
 - Analysis Settings
 - Force
 - Fixed Support
 - Solution (C6)
 - Solution Information
 - Total Deformation
 - Equivalent Stress
 - Stress Tool
 - Safety Factor

C:\Static Structural (ANSYS)
Safety Factor
Type: Safety Factor
Time: 1
23.10.2014 16:23

15
13,923
12,846
11,769
10,692
9,6154
8,5385
7,4615
6,3846
5,3077
4,2308
2,9187 Max
1,1379 Min
0

0,00 25,00 50,00 75,00 100,00 (mm)

Geometry | Print Preview | Report Preview |

Graph
Animation **1** 10 Frames 2 Sec (Auto)

Tabular Data

Details of "Safety Factor"

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Definition	
Type	Safety Factor
By	Time
Display Time	Last
Calculate Time History	Yes
Identifier	
Integration Point Results	
Display Option	Averaged
Results	
Minimum	1,1379
Information	

Press F1 for Help

No Messages No Selection

Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius

16:23

2. Разработка мероприятий по обеспечению прочности и жесткости стержня при растяжении

Задание: рассчитать напряженно-деформированное состояние стержня под действием растягивающих нагрузок, принять необходимые меры для удовлетворения условиям прочности и жесткости:

$$\begin{cases} [RF] = 2,0 \dots 3,0, \\ [\Delta l_{\max}] \leq 0,2 \text{ мм}, \end{cases}$$

где $[RF]$ – допускаемое значение коэффициента запаса прочности, $[\Delta l_{\max}]$ – максимальное допускаемое абсолютное удлинение стержня. Стержень прямоугольного сечения соотношением сторон $\frac{b}{h} = \frac{3}{2}$. Усилие $N = 100$ кН. Материал стержня – *сталь*. Предел текучести стали при растяжении (*Tensile Yield Strength*) и сжатии (*Compressive Yield Strength*) $\sigma_t^+ = \sigma_t^- = 200$ МПа.

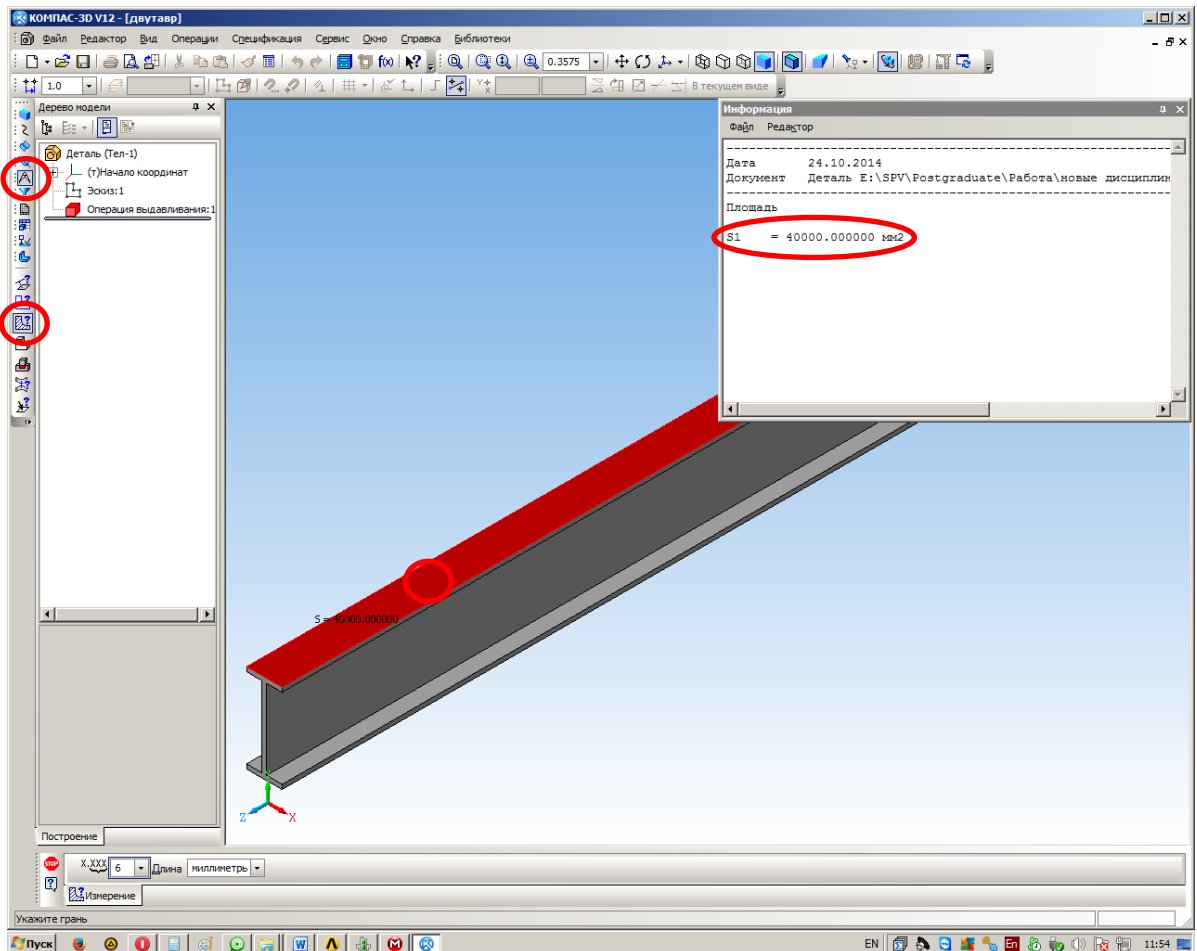
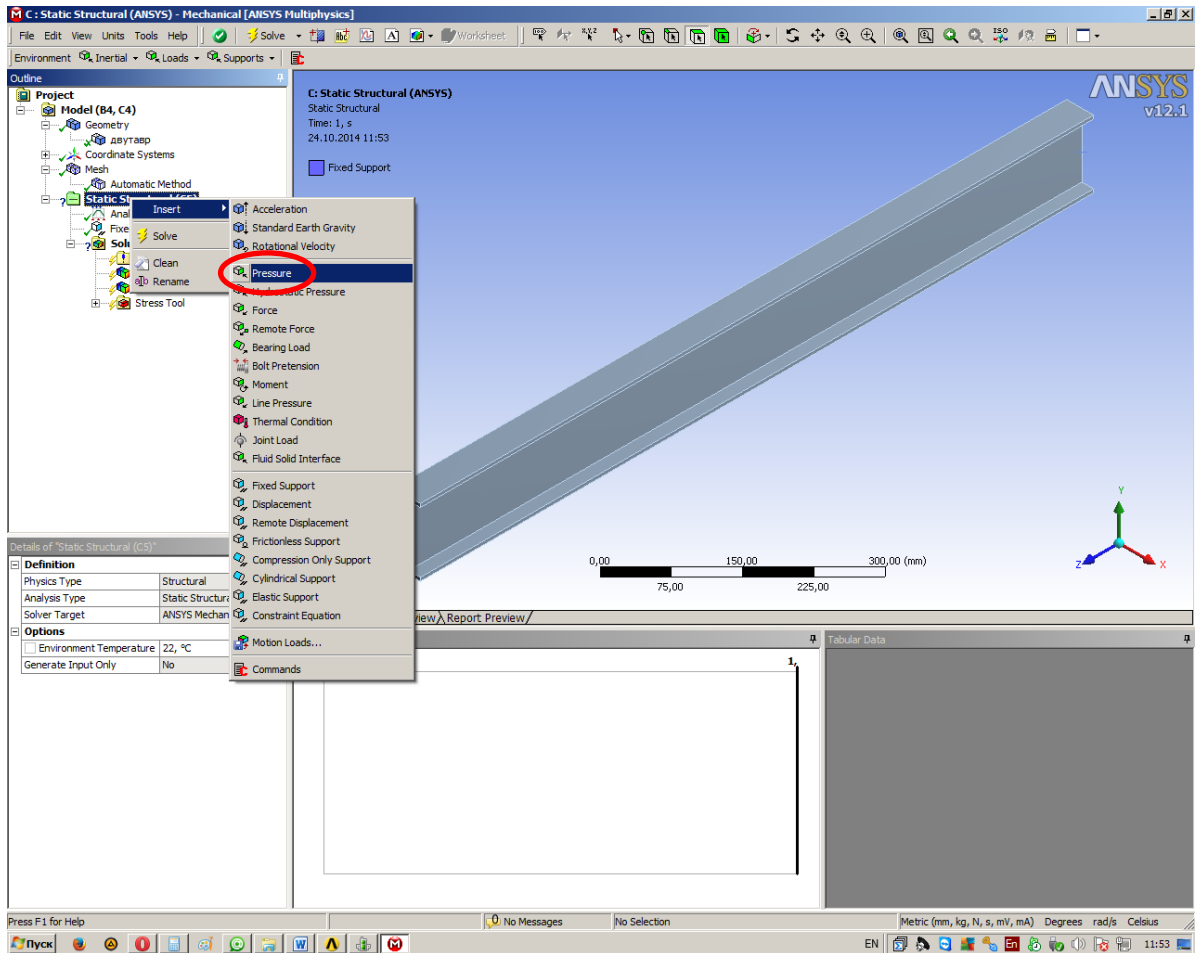
3. Расчет напряженно-деформированного состояния двутавровой балки при изгибе

Задание: импортировать модель ранее построенной в программе КОМПАС-3D двутаврового титанового лонжерона крыла, произвести его расчет на прочность и жесткость под действием давления воздуха, если вес самолета равен $P_{\text{сам}} = 5$ тонн. Материал лонжерона – *титан*.

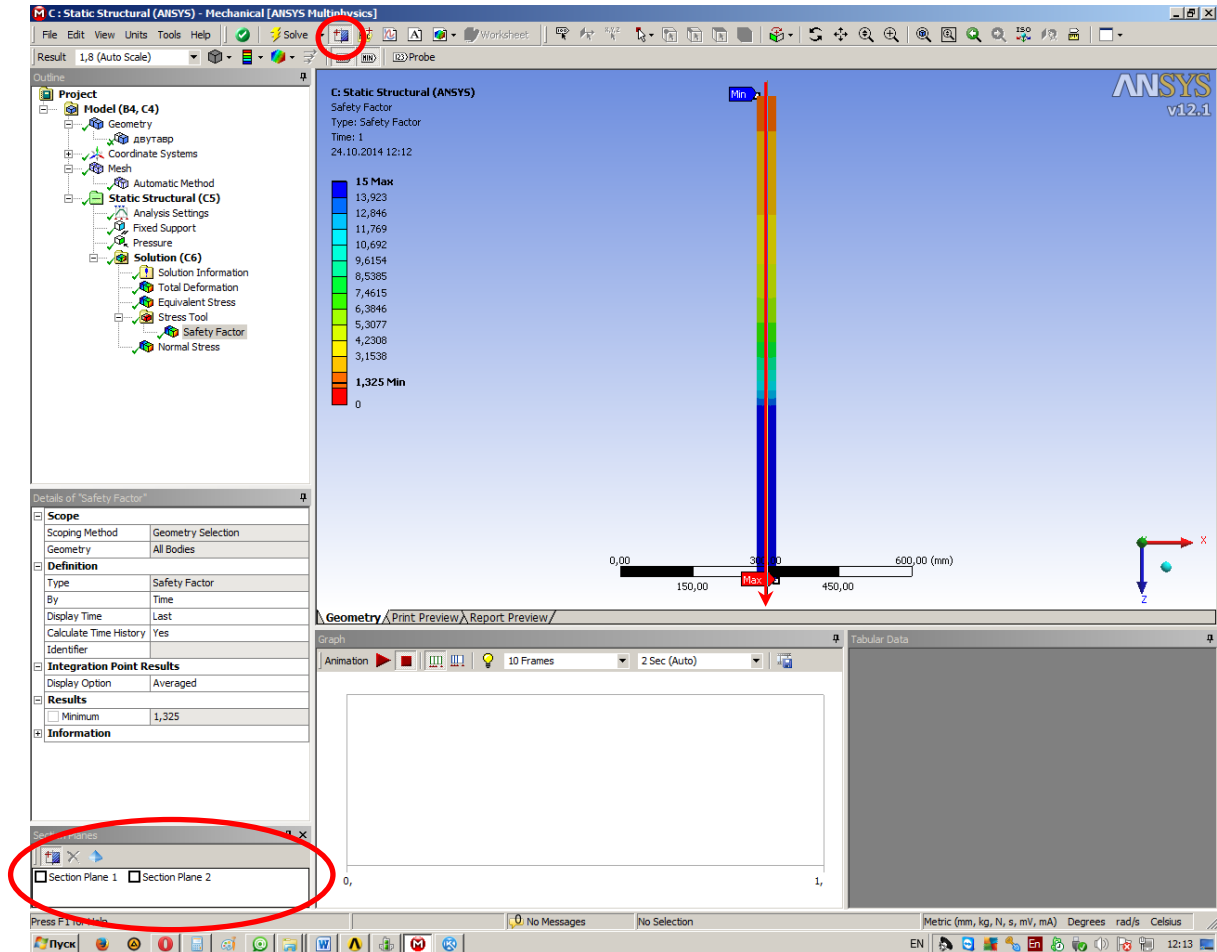
1. Для того, чтобы импортировать деталь, построенную в программе КОМПАС-3D в программный комплекс ANSYS Workbench, необходимо сохранить ее в КОМПАСе в расширение *x_t*. Для этого выполняем в КОМПАСе следующие операции: открываем модель двутавра, далее **Файл** → **Сохранить как** → **Имя файла** – **Doubletee** → **Тип файла** – **Parasolid (x_t)** → **Сохранить** → **Начать запись**. Имя файла и наименование папки, в которой он будет находиться, обязательно должны быть на английском языке, иначе ANSYS не будет их воспринимать. Чтобы импортировать геометрию модели в ANSYS, необходимо нажать ПКМ на **Geometry** → **Import geometry / Replace geometry** → **Browse**, выбрать нужный файл с расширением *x_t*, нажать **ОК**, затем зайти в модуль **Geometry** и нажать **Generate**.
2. Чтобы приложить давление, в модуле **Static structural** нажимаем ПКМ на **Static structural** → **Insert** → **Pressure**. Давление определяется по формуле:

$$P = \frac{F}{A},$$

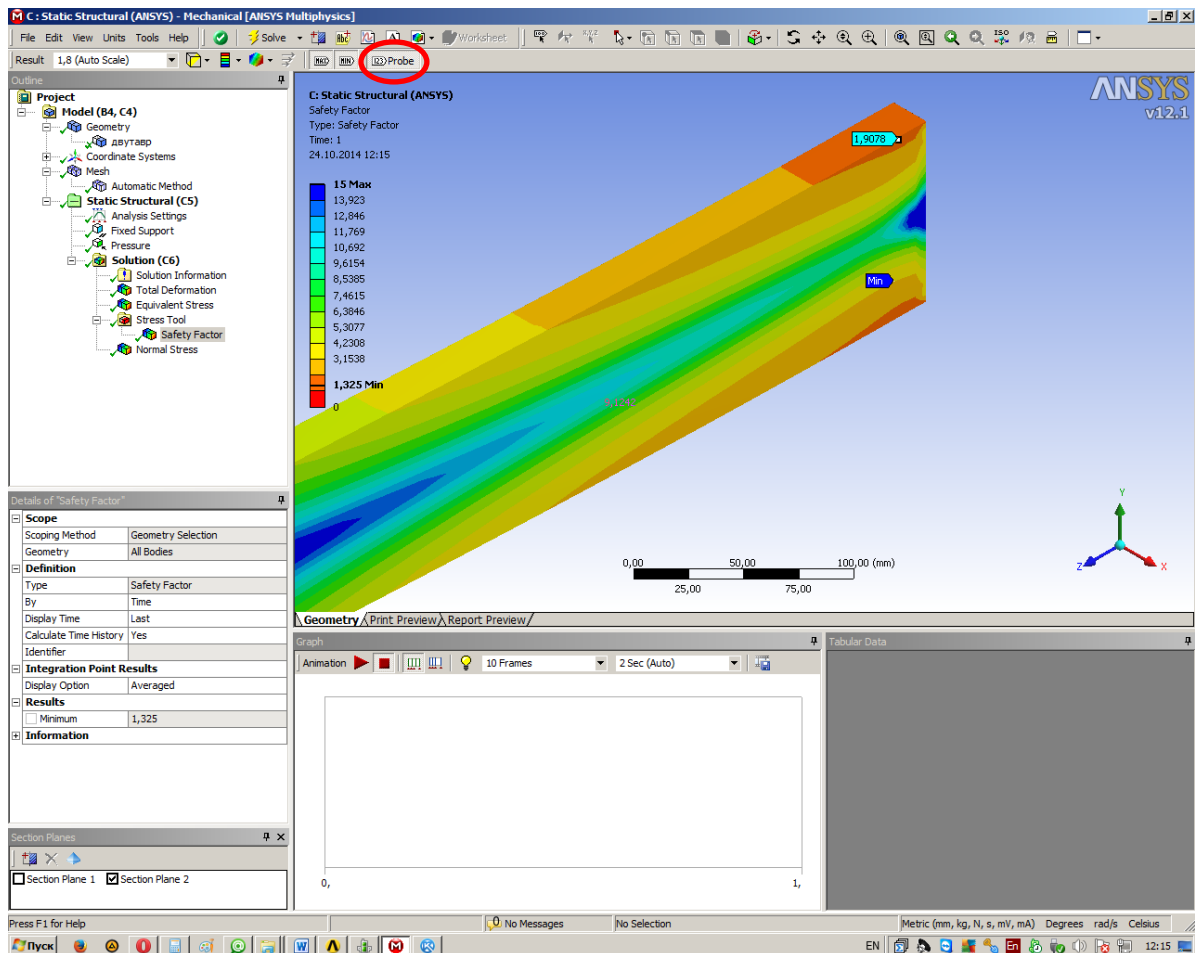
где F – усилие, действующее на лонжерон, A – площадь, на которую действует усилие. Площадь можно рассчитать вручную, зная геометрические параметры двутавра, или воспользоваться программой КОМПАС для вычисления геометрических характеристик сечений, как показано на рисунке далее. Вычисленное давление прикладываем к заданной поверхности лонжерона.



Для того, чтобы посмотреть картину распределения коэффициентов запаса прочности внутри балки, необходимо ее рассечь с помощью инструмента *Section Plane*, как показано на рисунке ниже. Необходимо настроить вид двутавра так, чтобы потом провести по нему линию, которая и станет рассекающей плоскостью. Отключать и включать разные *Section Planes* можно с помощью панели *Section Planes* в левом нижнем углу экрана.



Анализируем коэффициент запаса прочности вблизи заделки на некотором расстоянии от нее с помощью инструмента *Probe*. Необходимо также проанализировать напряженное и деформированное состояние и нормальные напряжения в направлении оси Z (ПКМ на *Solution* → *Insert* → *Stress* → *Normal*).



4. Определение полезной нагрузки самолета малой авиации

Задание: на основании расчета, полученного в 3-м задании, проанализировать, какую полезную нагрузку может перевозить самолет малой авиации с весом $P_{\text{сам}} = 5$ тонн. Материал лонжерона – *титановый сплав*. Минимальный коэффициент запаса прочности по лонжерону должен составлять $[RF] = 1,5 \dots 1,6$. В качестве полезной нагрузки необходимо определить, какой груз может вести самолет с одним пилотом или какое количество пассажиров он может перевезти из расчета, что в среднем один человек весит 80 кг.