

Введение

Ansys Workbench – является одной из основных оболочек программного инженерного комплекса ANSYS. Инструментарий выбора задач Toolbox оболочки Workbench решает следующие задачи:

- 1) Статический анализ на прочность твёрдых конструкций Static Structural
- 2) Динамический анализ на прочность твёрдых конструкций Transient Structural
- 3) Steady State Thermal для решения стационарных задач распределения поля температуры
- 4) Transient Thermal для решения динамических задач распределения поля температуры
- 5) Fluid Flow (Fluent) решатель произвольных гидродинамических задач
- 6) Electric решатель электродинамических задач. И т.д.

Мы рассмотрим два примера в решателе Static Structural для статического анализа прочности горизонтально нагруженной балки и Fluid Flow (Fluent) для определения гидродинамических и технических параметров потока жидкости.

Кроме инструментария Toolbox интерфейс оболочки Ansys Workbench содержит линейку меню(file, view, tools, units, extensions, help), основное поле проекта Project Schematic, messages – поле сообщений, Properties of Project Schematic – свойства поля проекта.

Введём сокращения - ЛКМ, ПКМ – нажатие левой и правой клавиши мыши соответственно. Технические требования: операционная система, например, Windows 2007, 2 – х ядерный процессор по 3 ГГц, оперативная память 2 Гб.

После открытия оболочки Ansys Workbench можно создать проект. Файл проекта Ansys Workbench имеет расширение (*.wbpj). File(ЛКМ)→ Save as(ЛКМ). Имя файла – balka, тип файла *.wbpj, сохранить(ЛКМ), например, на диск D(рис.1). После чего название проекта balka - Workbench появляется над линейкой меню.

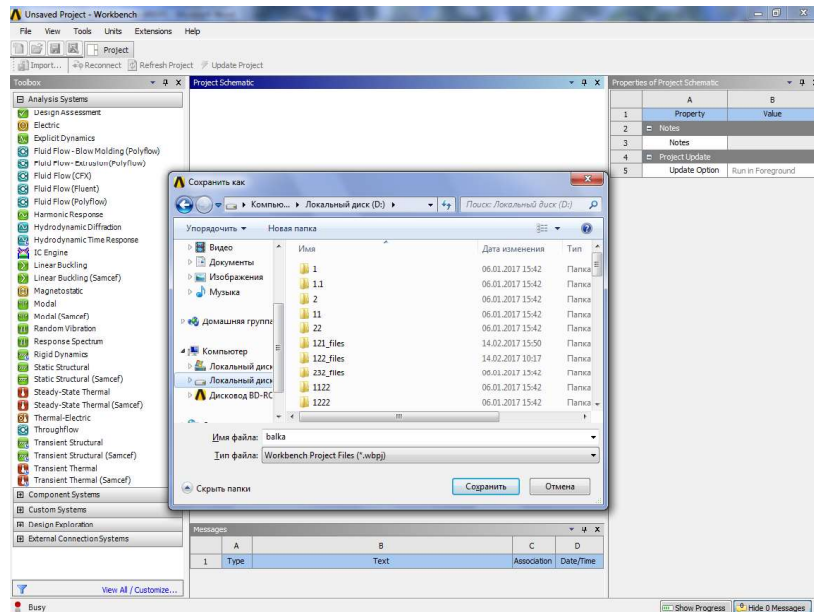
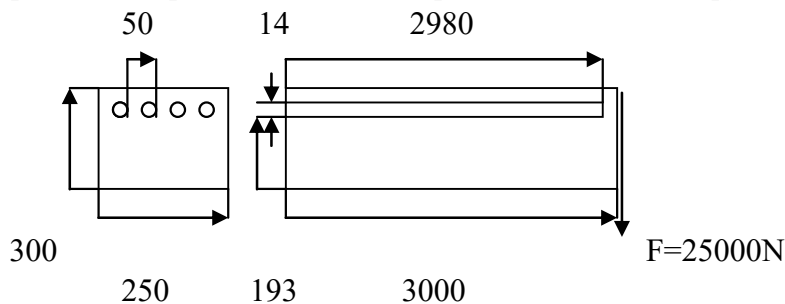


Рис.1

Лабораторная работа 1. Определение статической прочности горизонтально нагруженной железобетонной балки.

Постановка задачи

Железобетонная горизонтально расположенная плита жёстко зафиксирована левой торцевой плоскостью размерами $300 \times 250 \times 3000 \text{ mm}^3$ нагружена с правой торцевой плоскости вертикальной силой $F=25000 \text{ N}$. На высоте 200 mm от нижней грани балки находятся 4 цилиндрических арматурных стержня длиной 2980 mm и диаметром 14 mm расположенных на расстоянии 50 mm друг от друга.



Найти поле напряжений и поле деформаций под действием сосредоточенной силы.

1. Выбор типа задачи на статический анализ прочности.

Шаг 1. Во вкладке Toolbox(ЛКМ) → Удерживаем нажатую ЛКМ на Static Structural и перетаскиваем на зелёный свободный прямоугольник поля Project Schematic, пока он превратится в красный, отпускаем ЛКМ. В поле Project Schematic появилась заготовка проекта с буквой A, изменяем название задачи двойное быстрое нажатие (ЛКМ) Static Structural → Static Structural(balka). Нажимаем ЛКМ в свободном поле Project

Schematic. В строке Engineering Data приняты по умолчанию основные материалы (бетон и сталь), отмечена зелёным знаком ОК. Остальные строки проекта Geometry(геометрия), Model (модель), Setup, Solution, Results содержат синий знак вопроса так как не созданы. Рис.2

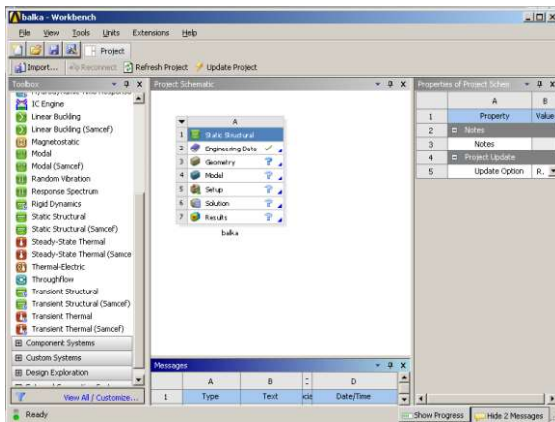


Рис.2

Все замечания, связанные с неудачным выбором параметров в настройках программ Engineering Data, Geometry, Model, Setup или неправильного выбора условий в постановке задачи, или недостаточного объема оперативной памяти или малого быстродействия процессора, или причины неудачно сгенерированной сетки mesh отображаются в окне сообщений Messages. Желательно, чтобы после решения задачи не было ни одного сообщения в виде предупреждения (Warning), а в случае возникновения ошибки (Error) решатель задачи останавливается.

2. Выбор Engineering Data. Шаг 1. Двойным щелчком (ЛКМ) по строке Engineering Data в Project Schematic :A Static Structural открываем Engineering Data (рис.3).

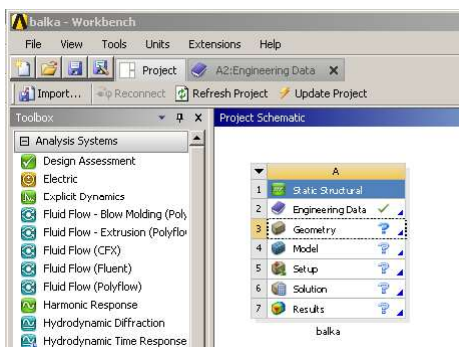


Рис.3

Шаг 2. (ЛКМ) Engineering Data Sources (верхняя лента меню) → в окне Engineering Data Sources выбираем (ЛКМ) пункт 9 Generals Materials (steel, concrete) → окно Outline of General Materials добавляем нажатием (ЛКМ)

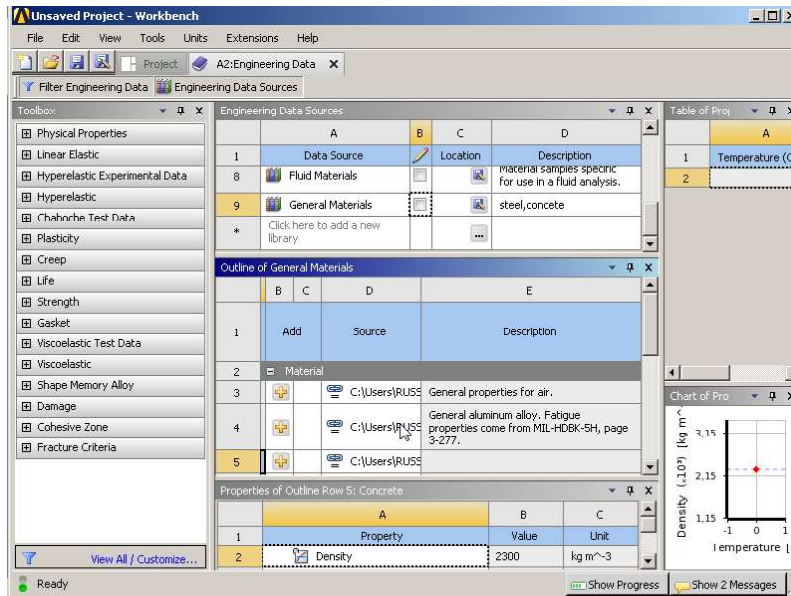



Рис.4

на знак  в фавориты все материалы, связанные со сталью и бетоном(с номерами 5,6,8,12,13) - появляется знак книги в 3 столбце таблицы(Рис.4). **Шаг 3.** Кроме того для выбранных материалов (5-13)

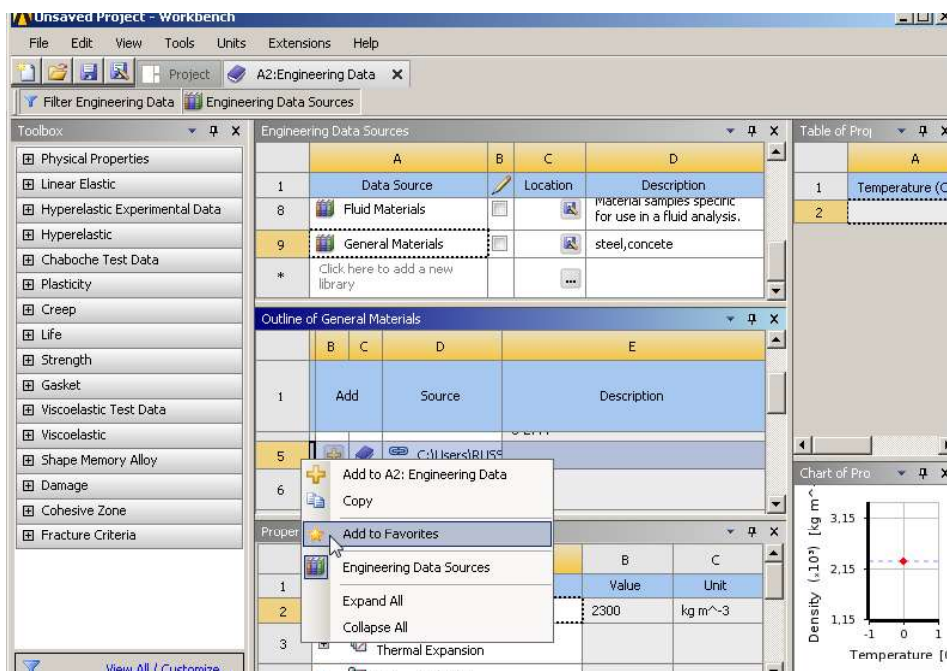


Рис.5

Outline of General Materials в первом столбце нажимаем (ПКМ) номер элемента 5 для цемента(concrete) → Add to Favorites(добавить) и т. д. В нижней таблице Properties of Outline приведены основные физические свойства выбранного материала. Более подробно свойства материала читаем таблично(Table of Properties) и графически(Chart of Properties). Теперь можно сохранить проект в Engineering Data(File → Save) и закрыть Engineering Data. При этом в Workbench A Static Structural появляется зелёный ок в строке Engineering Data.

3. Создание геометрии (Geometry) задачи. Шаг 1. Выделяем курсором в Workbench A Static Structural 3 строку Geometry → (ПКМ) → New Geometry (Рис.6), создаётся и открывается файл DM A: балка – Design Modeler. Интерфейс Design Modeler содержит верхнюю линейку меню file,..., панель инструментов, дерево операций (Tree Outline),

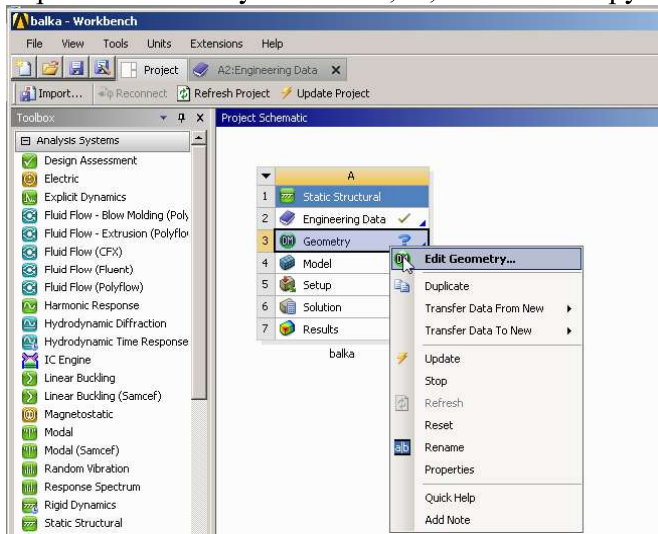


Рис.6

детализация действия (Details View), вид модели (View Model) (Рис.7). **Шаг 2.** Линейка меню (Units → *Millimeter*) – выбираем единицу измерения координатной системы миллиметр. **Шаг 3** (создаём бетонную балку). Линейка меню Create → Primitives → Parallelepiped (Рис.8). В дереве Tree Outline появляется Parallelepiped1, переходим к детализации Details View, начало координат (-125,0,0) в миллиметрах. Размеры параллелепипеда 250*300*3000. Сохраняем (ПКМ) Generate (Рис.9).

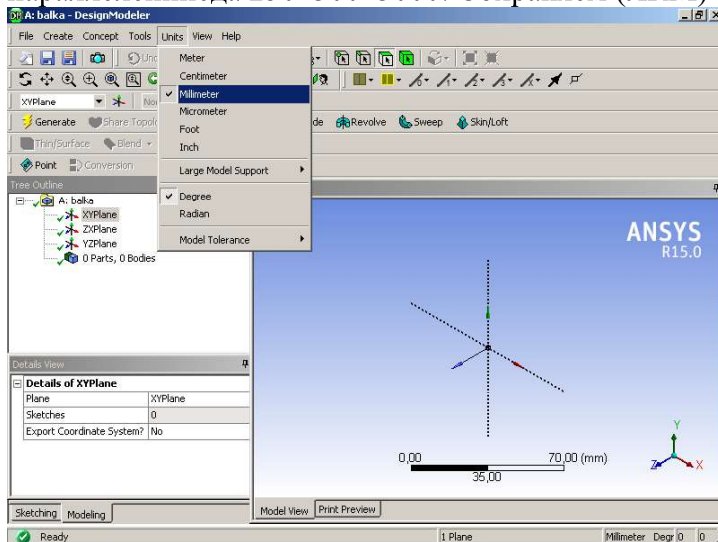


Рис.7

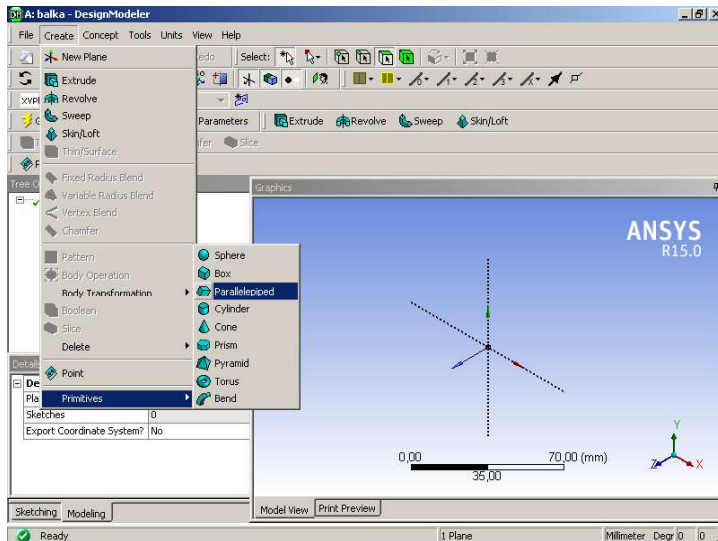


Рис.8

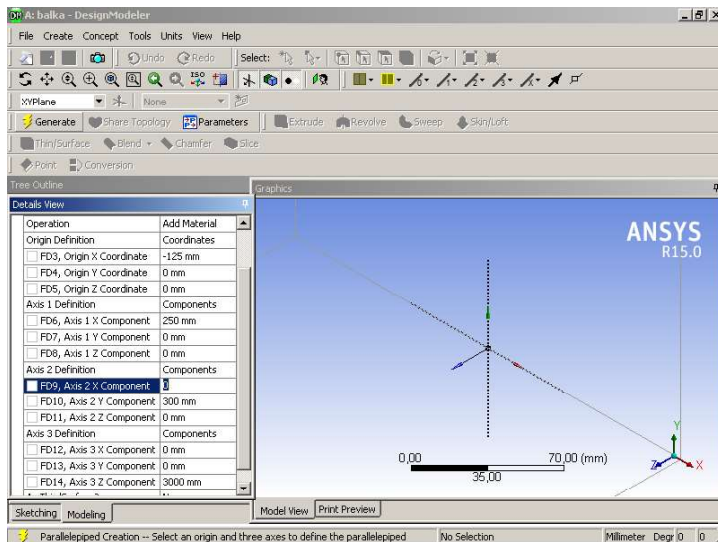


Рис.9

После чего в Tree Outline появляется зелёный знак ок для Parallelepiped1, создана 1 часть, 1 тело (Рис. 10). **Шаг 3.** Удаляем из параллелепипеда 4 цилиндрические области длиной 2980 мм и диаметром 14 мм. (JKM)Create → Primitives → Cylinder →



Рис.10

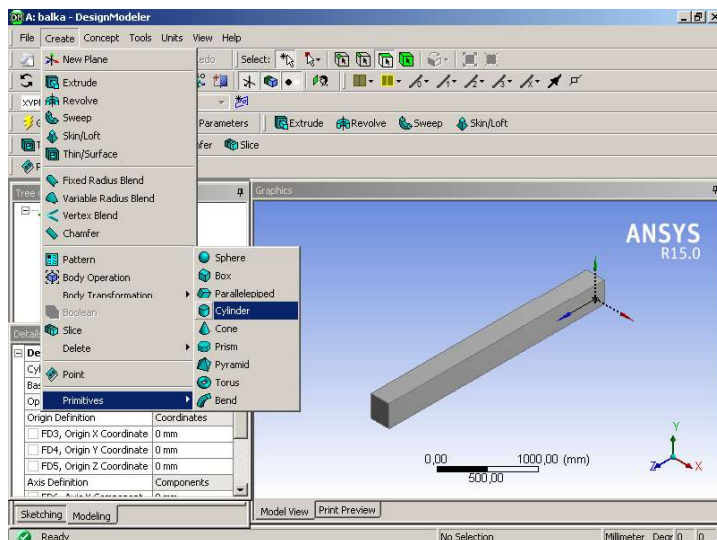


Рис.11

Generate (Рис.11). Переходим к детализации Details View, координаты начальной и конечной точки оси Cylinder1(-25,200,0) → (0,0,2980), радиус цилиндра 7мм(Рис.12). В строке Operation выбираем Cut Material → Generate(Рис.12). Аналогично, создаём и удаляем ещё 3 цилиндрические области с параметрами Cylinder2(-75,200,0) → (0,0,2980), радиус цилиндра 7мм. В строке Operation выбираем Cut Material → Generate.

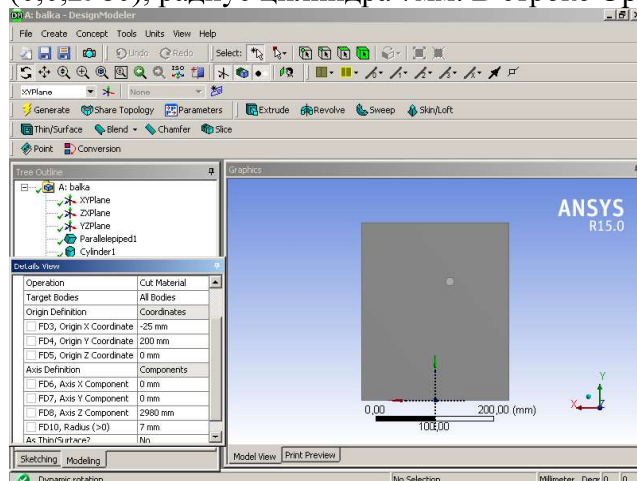


Рис.12

Cylinder3(25,200,0) → (0,0,2980), радиус цилиндра 7мм. В строке Operation выбираем Cut Material → Generate. Cylinder4(75,200,0) → (0,0,2980), радиус цилиндра 7мм. В строке Operation выбираем Cut Material → Generate(Рис.13).

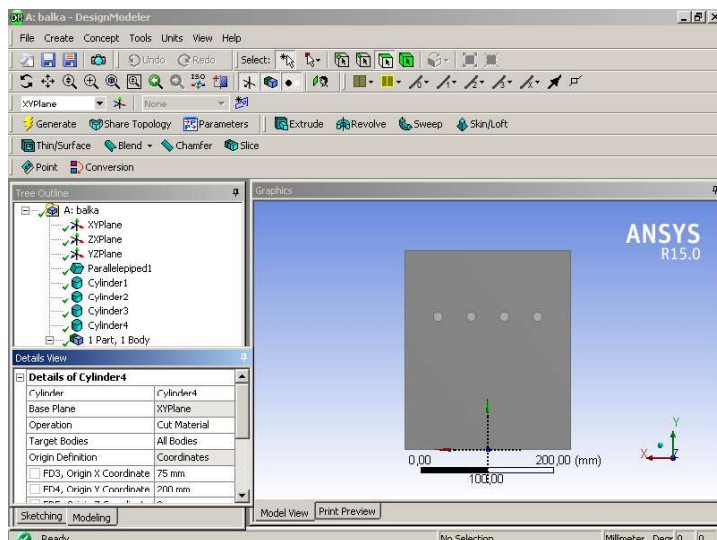



Рис.13

На панели управления, используя знаки , либо нажимая (ЛКМ) на координатные оси X,Y,Z Model View, вращая колесо мышки, можно изменить ориентацию и размеры геометрической модели, получим результат(Рис.14).

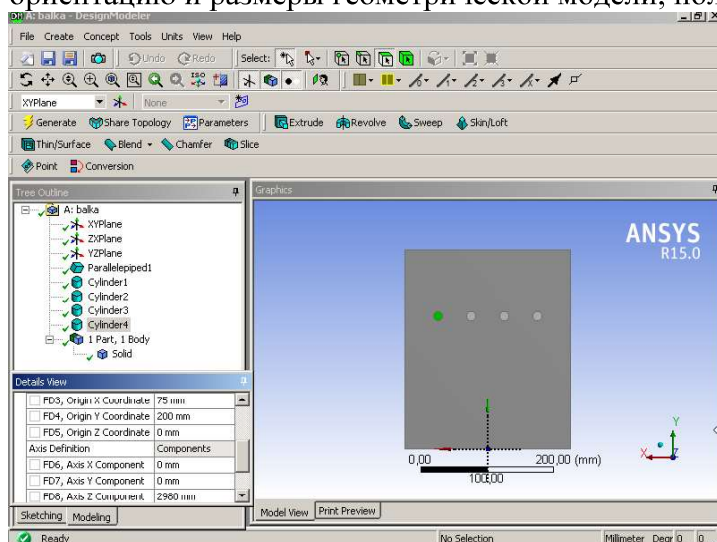


Рис.14

На данном этапе образовалось 1 тело, 1 часть. Далее на панели инструментов(ЛКМ)выделяем объёмное тело(Рис.15) → Model View(курсором наводим на тело,(ЛКМ) → Tree Outline(Solid(ЛКМ)) → Generate. После этого создана бетонная прямоугольная балка с 4 цилиндрическими отверстиями(Рис. 16). **Шаг 4.** Создаём 4 арматурных цилиндра со свойствами Operation – Add Frozen(для того , чтобы вместе с балкой получить 5 различных тел). Cylinder5(-25,200,0) → (0,0,2980), радиус цилиндра 7мм. В строке Operation выбираем Add Frozen → Generate. Cylinder6(-75,200,0) → (0,0,2980), радиус цилиндра 7мм. В строке Operation выбираем Add Frozen → Generate. Cylinder7(25,200,0) → (0,0,2980), радиус цилиндра 7мм. В строке Operation выбираем Add Frozen → Generate/ Cylinder8(75,200,0) → (0,0,2980), радиус цилиндра 7мм. В строке Operation выбираем Add Frozen → Generate(Рис.17). В результате образуется 5 тел Solid(Рис.17). **Шаг 5.** Задаём плоскость симметрииYZ.

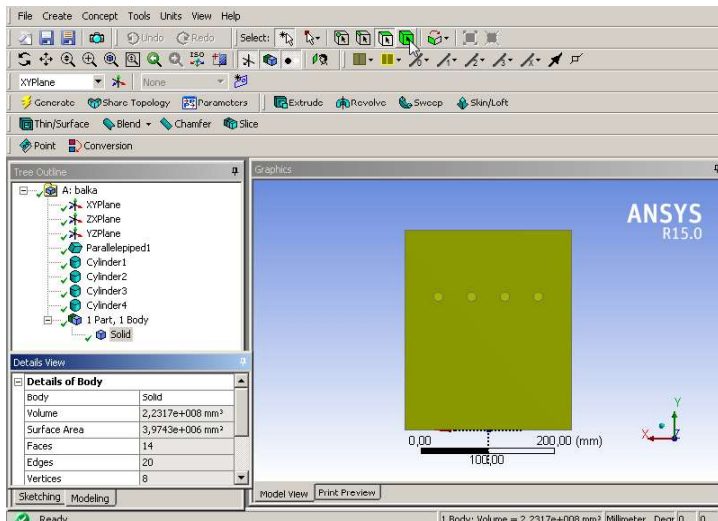


Рис.15

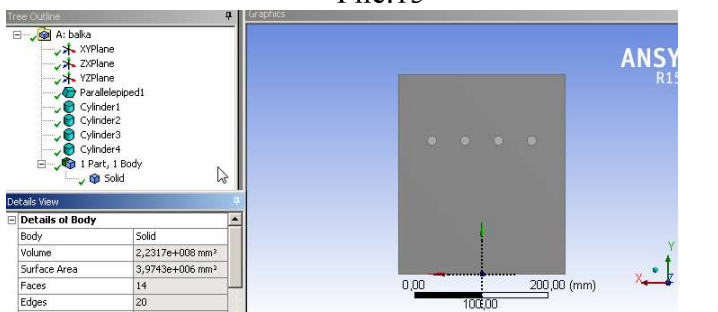


Рис.16

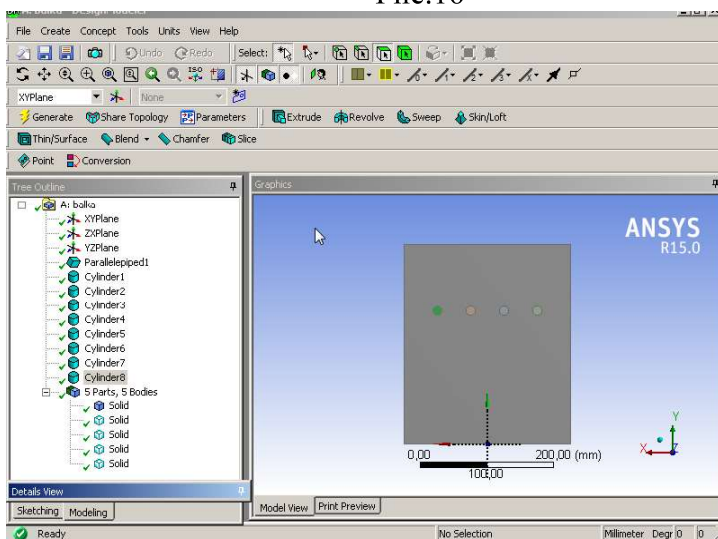


Рис.17

(ЛКМ)Tools → (ЛКМ) Symmetry(Рис.18). Переходим к детализации Symmetry1(рис.19). В Tree Outline выделяем плоскость(ЛКМ) YZ Plane. Details View → Symmetry Plane 1 → Apply → Generate. На рисунке 20 сгенерировалась одна половина модели. Использование плоскостей симметрии позволяет уменьшить использование операционной памяти компьютера и быстрее решить задачу. Сохраняю проект в Design Modeler → File → Save Project. Закрываем программу Design Modeler.

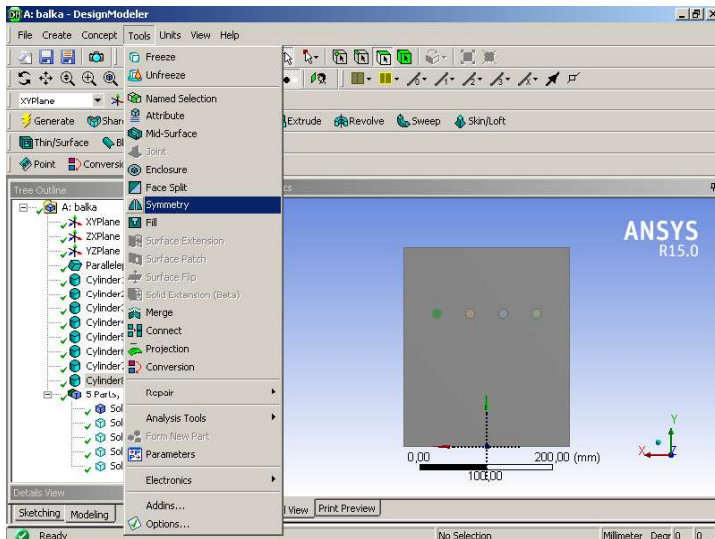


Рис.18

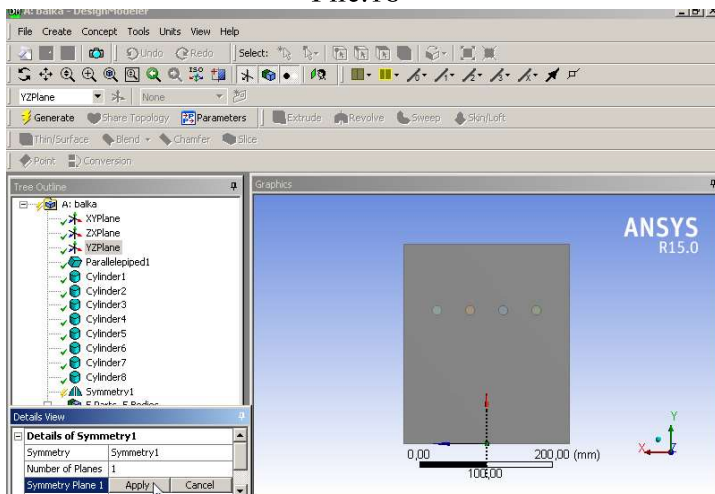


Рис.19

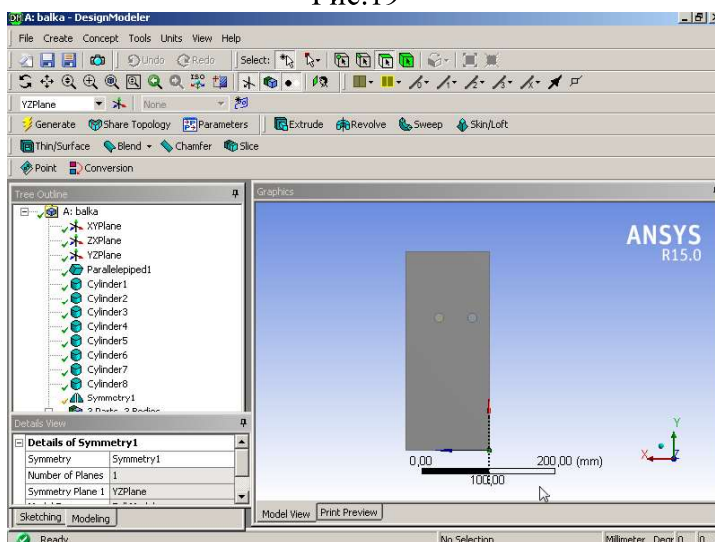


Рис.20

4. Создание сетки модели сеткогенератором Mesh. Шаг 1. Открываем оболочку Work Bench A: Static Structural(balka) – 4 строка Model(Setup)(2 раза ПКМ) → Edit(ЛКМ). Созданная ранее геометрическая модель автоматически загружается в

интерфейс программы M A balka – Mechanical ANSYS(Multiphysics) Рис.22.

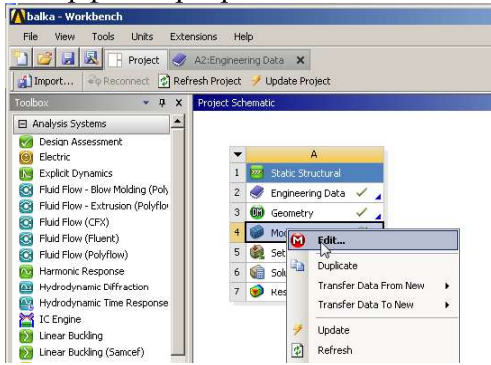


Рис.21

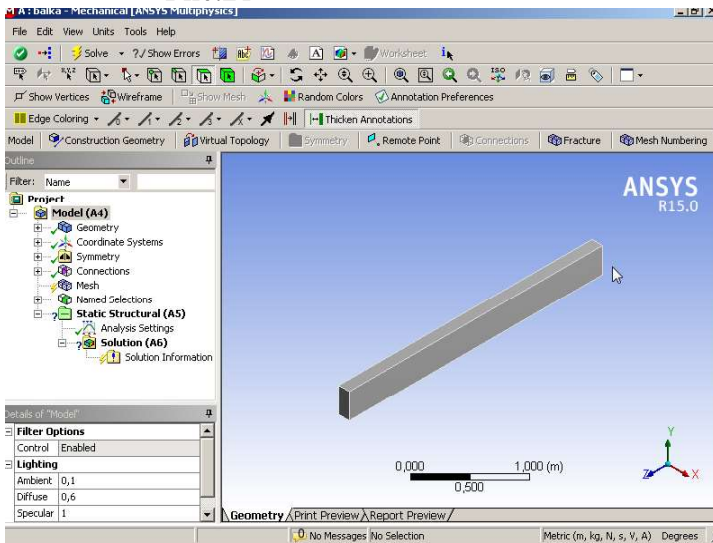


Рис.22

Шаг 2. В Tree Outline выделяем (ЛКМ) Mesh. В окне детализации устанавливаем параметры сетки. Sizing → Relevance center → Medium. Element Size → 0,01m .

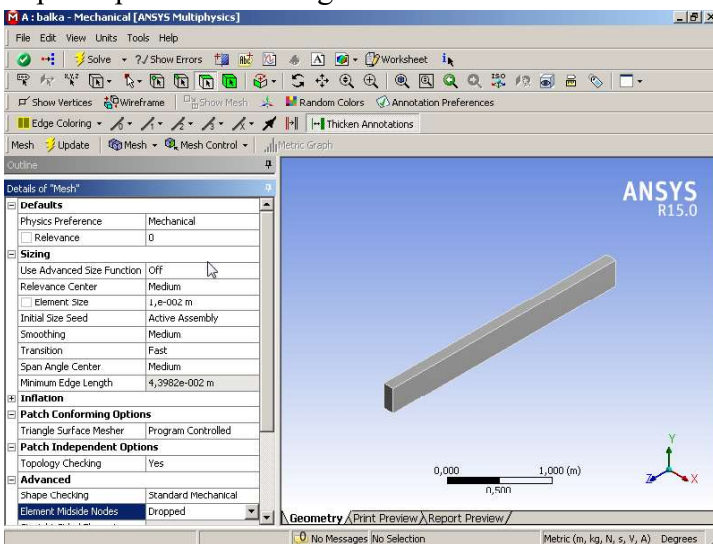


Рис.23

Smoothing → Medium, Element Mid Side Nodes → Dropped (Рис.23). **Шаг 3.**

Присвоение телам материала. В Outline выделяем (ЛКМ) Project → Model → Geometry → Solid (Рис.24). В окне детализации Details of Solid → (ЛКМ) Material → Assignment

→(ЛКМ) с курсором на стрелку вправо →Concrete. Аналогично выделяем 2 других тела Solid и присваиваем материал – структурированную сталь(Structural Steel 2)Рис.25.

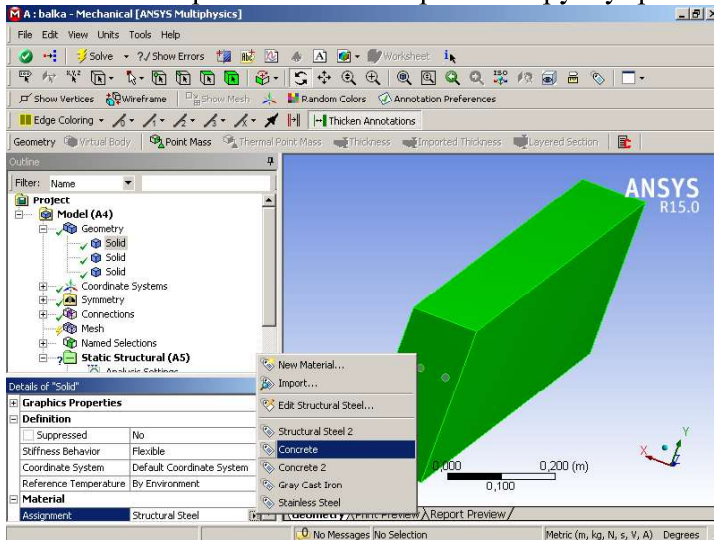


Рис.24

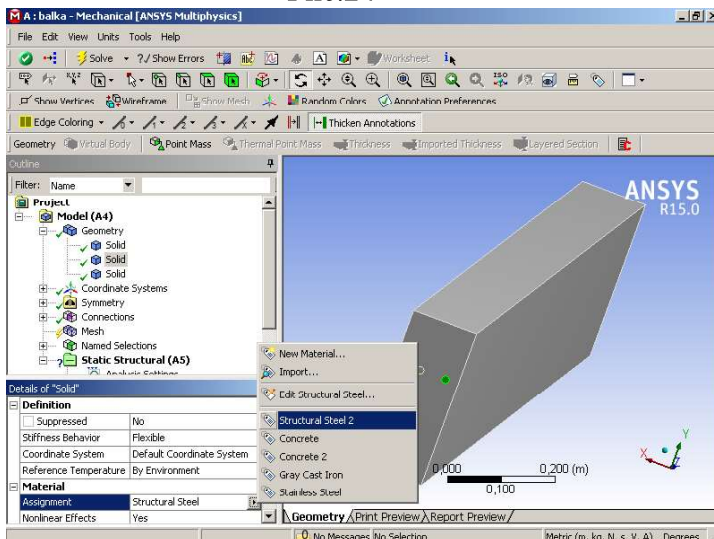


Рис.25

Шаг 4.Задание связей(Connection). Outline, (ЛКМ)Connections →(ЛКМ)

Contacts →(ЛКМ) →Contact Region. Переходим к окну детализации.

(ЛКМ)Contact(появляется пара надписей Apply – Cancel, а в поле Geometry выделяется зелёным правый арматурный стержень). Переходим в панель инструментов →(ЛКМ) на зелёный куб для выбора объёмного тела →Geometry →нажимаем (ЛКМ) на правый стержень, он становится зелёным →в Contact нажимаем Apply(ЛКМ) Рис.26. После нажатия Apply контактом становится первое тело, в поле геометрии(Geometry) указывается род контакта Bonded – Solid to Solid(красным цветом)Рис.27. В окне детализации(ЛКМ)Target(мишень, цель) появляется пара надписей Apply – Cancel, а в поле Geometry выделяется зелёным левый арматурный стержень. Переходим в панель инструментов →(ЛКМ) на зелёный куб для выбора объёмного тела →Geometry → нажимаем (ЛКМ) на балку, она становится зелёной →в Contact нажимаем Apply(ЛКМ) Рис.28. Создание первой контактной пары завершается рис.29.

Аналогично создаём вторую контактную пару левый стержень – балка. В результате в окне Outline →Connection →Contacts образуются зелёный ок и сиреневые знаки контактной площадки(Рис.30).

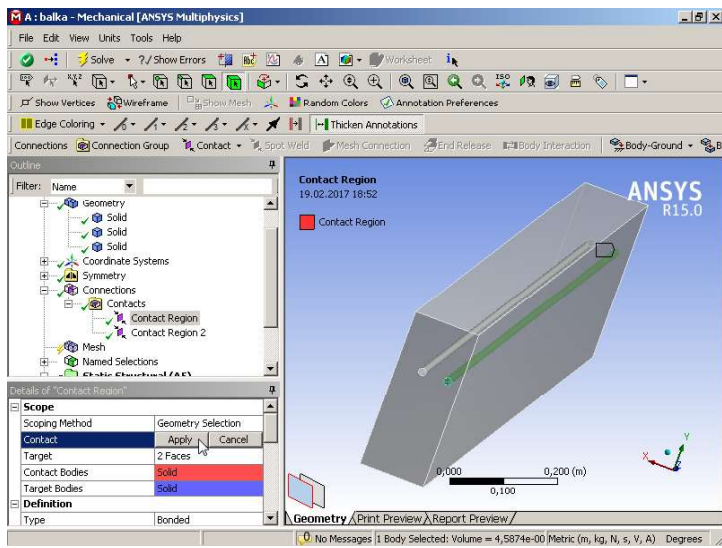


Рис.26

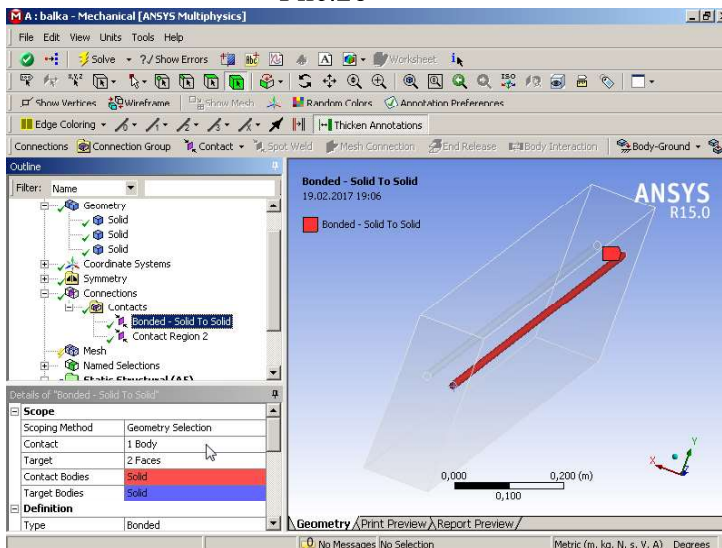


Рис.27

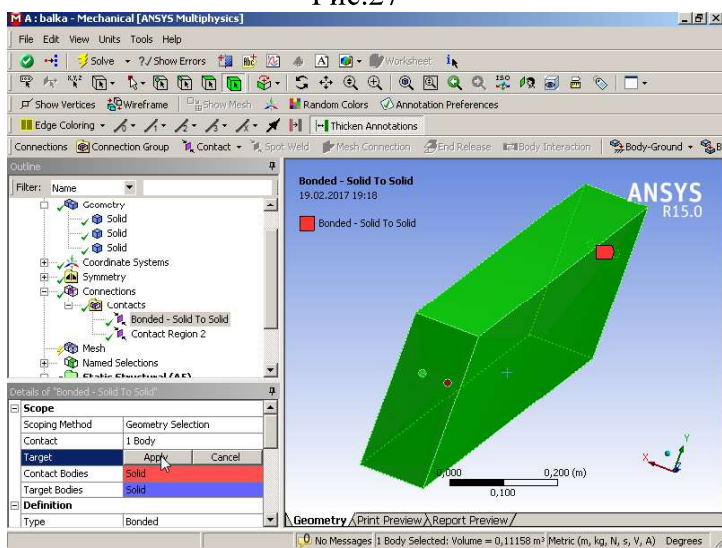


Рис.28

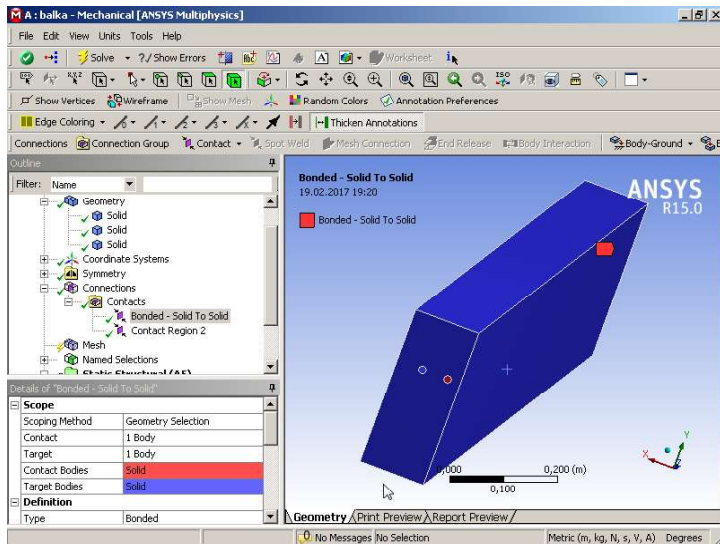


Рис.29

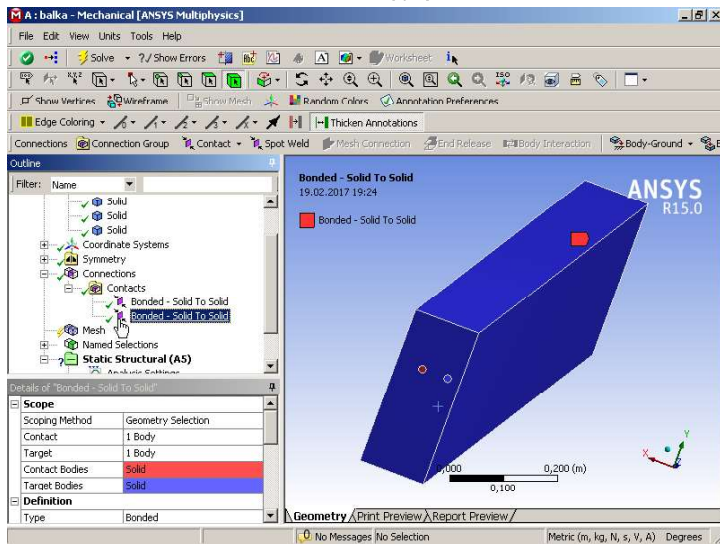


Рис.30

Далее сохраняю проект File → Save Project. Шаг 5. Генерация сетки. В окне Outline → (ЛКМ)Mesh(ПКМ) → Generate Mesh(Рис.31).

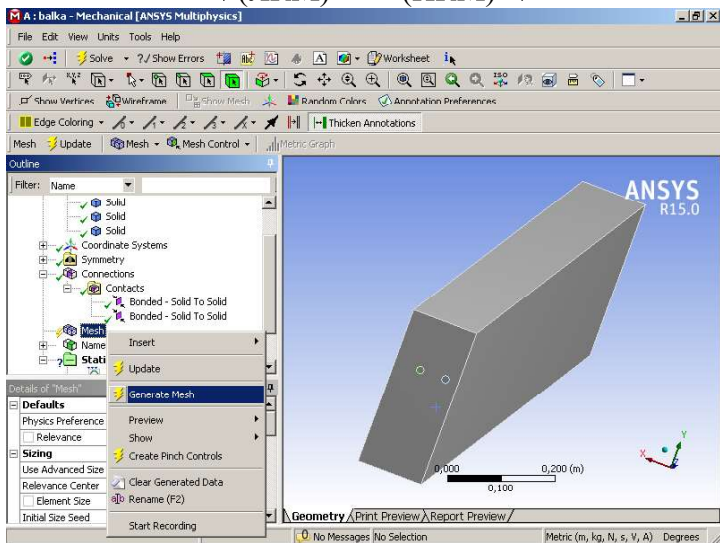


Рис.31

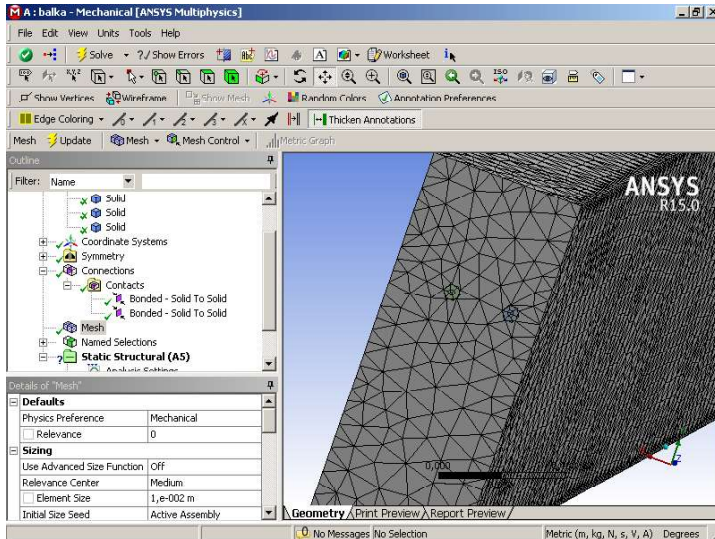


Рис.32

Через некоторое время генерируется сетка (Рис.32).

Шаг 6. Наименование поверхностей. Окно Outline → Named Selections → (ЛКМ) (панель инструментов) → (ЛКМ) левая грань бруска (Рис.33). Далее (ПКМ) нажимаем на 2 прямоугольника в нижнем левом крае поля Geometry → Create Named Selection (ЛКМ). В открывшемся окне Selection Name набираем left → ОК.

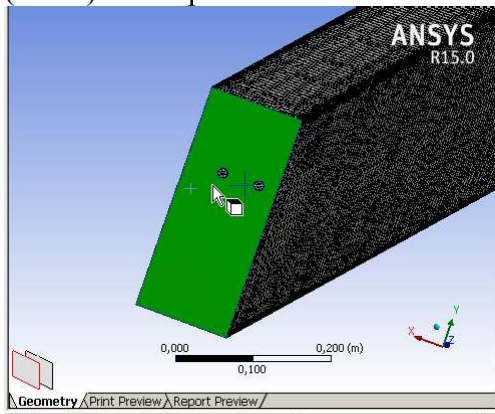


Рис.33

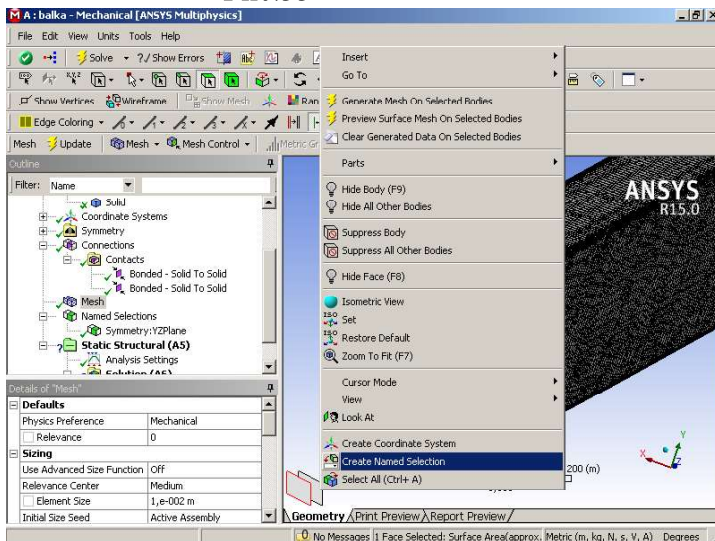


Рис.34

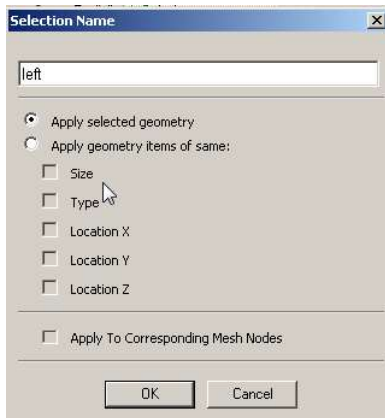


Рис.35

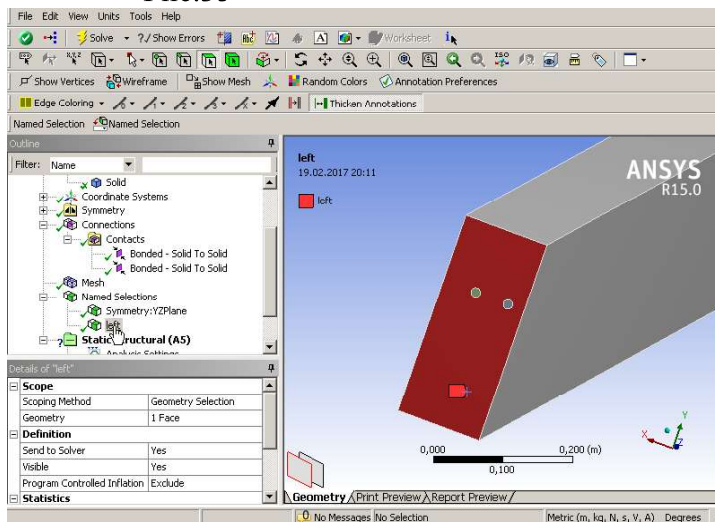


Рис.36

При этом в подкаталоге дерева Named Selections плоскость с именем left отмечается зелёным ок, а в поле геометрии красным цветом выделена сама плоскость (Рис.36). Аналогично именуем верхнюю плоскость бруса (top) и правую плоскость right (Рис.37). Теперь у нас 4 плоскости имеют имя в разделе Named Selections.

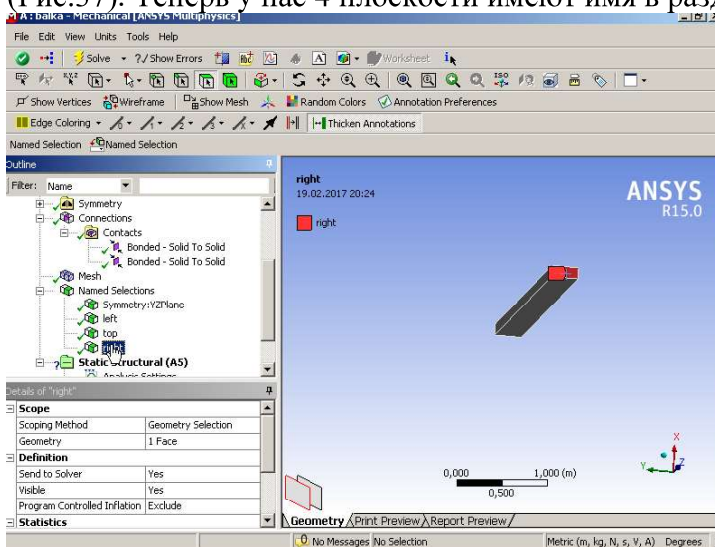


Рис.37

Шаг 7. Задание граничных условий. Фиксируем левую грань бруса(защемляем).(ЛКМ)Static Structural(A5)(ПКМ) → Insert → Fixed Support(Рис.38). Переходим в окно детализации. Выбираем Scoping Method – Named Selection, Named Selection – left(Рис.39).

Шаг 8. Нагружаем правую грань бруса right половиной по условию задачи сосредоточенной силой $F=12500\text{N}$. (ЛКМ)Static Structural(A5)(ПКМ) → Insert → Force(Рис.40). Переходим в око детализации. Выбираем Scoping Method – Named Selection, Named Selection – left(Рис.41), Define By – Components, $X=0, Y=-12500, Z=0$.

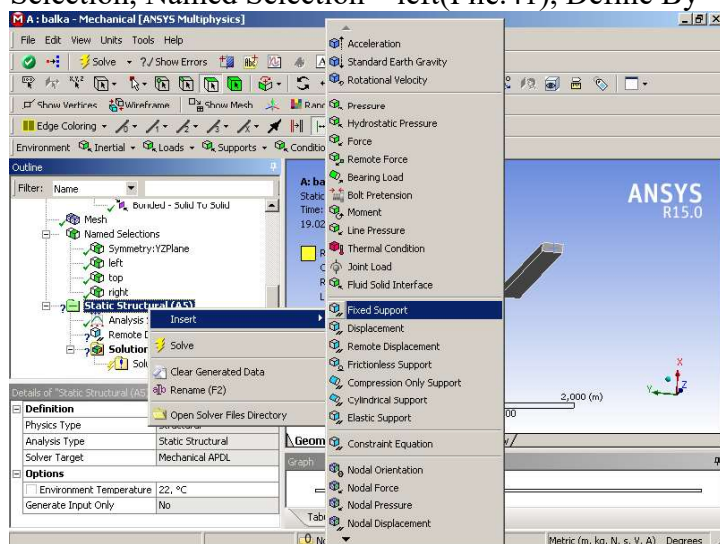


Рис.38

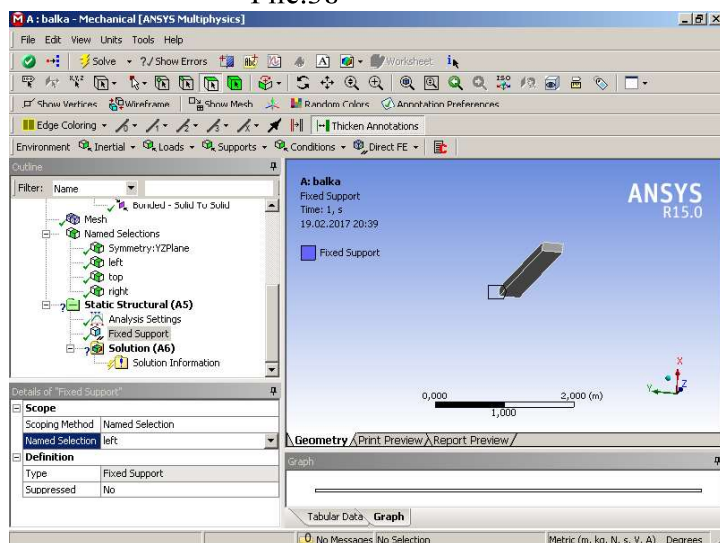


Рис.39

Шаг 9. Запускаем решатель. (ЛКМ)Static Structural (A5)(ПКМ) → Solve. Через некоторое время, которое зависит от метода и качества сетки, решение записывается в файл(Рис.42).

Шаг 10. Выбираем графическое решение задачи поле - давления и смещения. (ЛКМ)Solution (A6) (ПКМ) → Insert → Stress → Intensity(ЛКМ)(Рис.43).

(ЛКМ)Solution (A6) (ПКМ) → Insert → Deformation → Total (ЛКМ).

(ЛКМ)Solution (A6) (ПКМ) → Insert → Evaluate All Results (ЛКМ)(Рис.44).

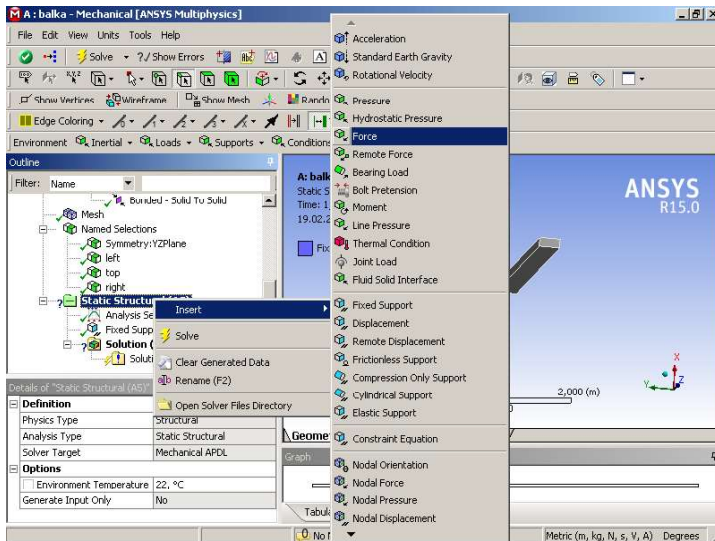


Рис.40

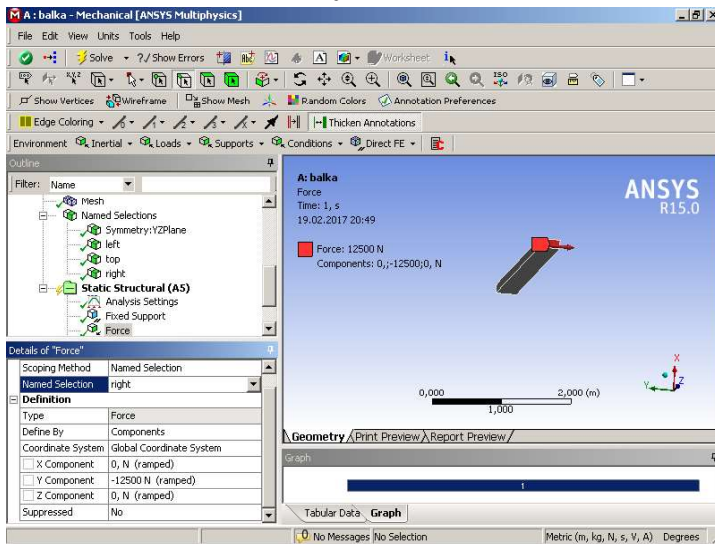


Рис.41

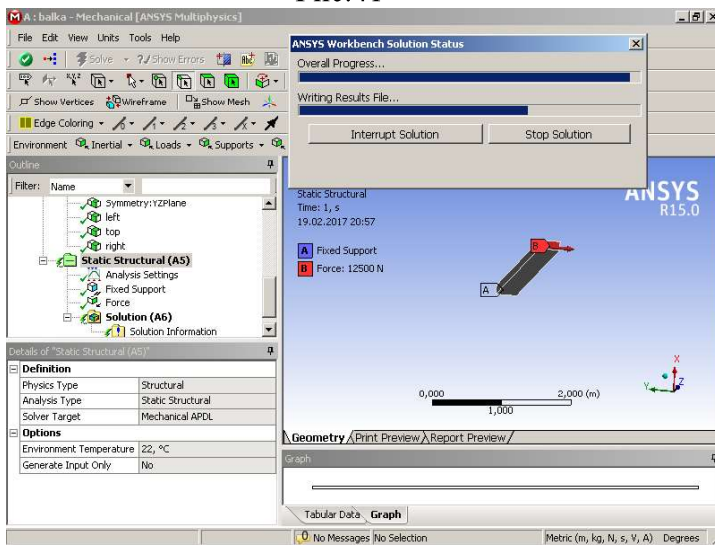


Рис.42

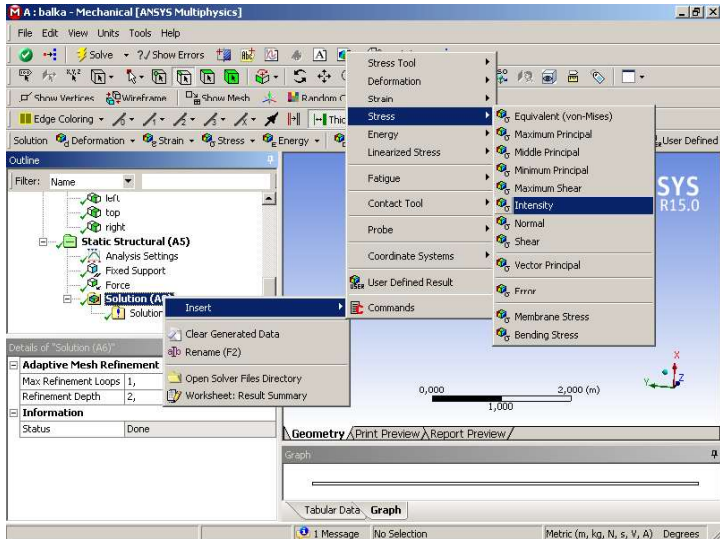


Рис.43

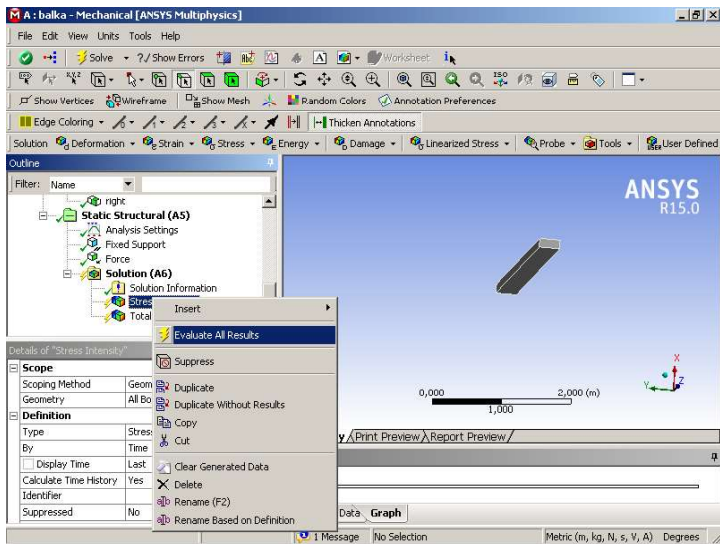
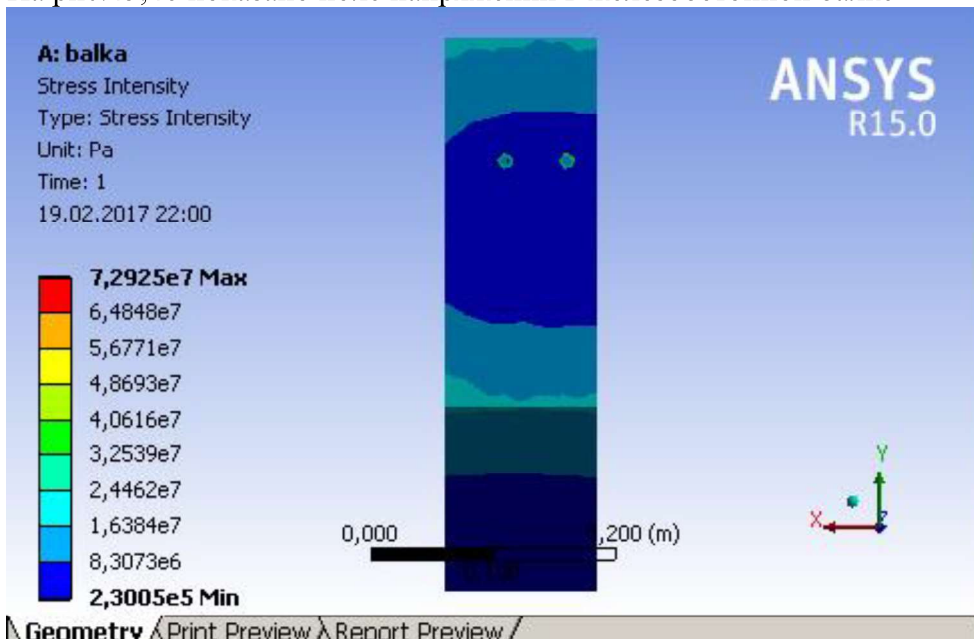


Рис.44

На рис.45,46 показано поле напряжений в железобетонной балке



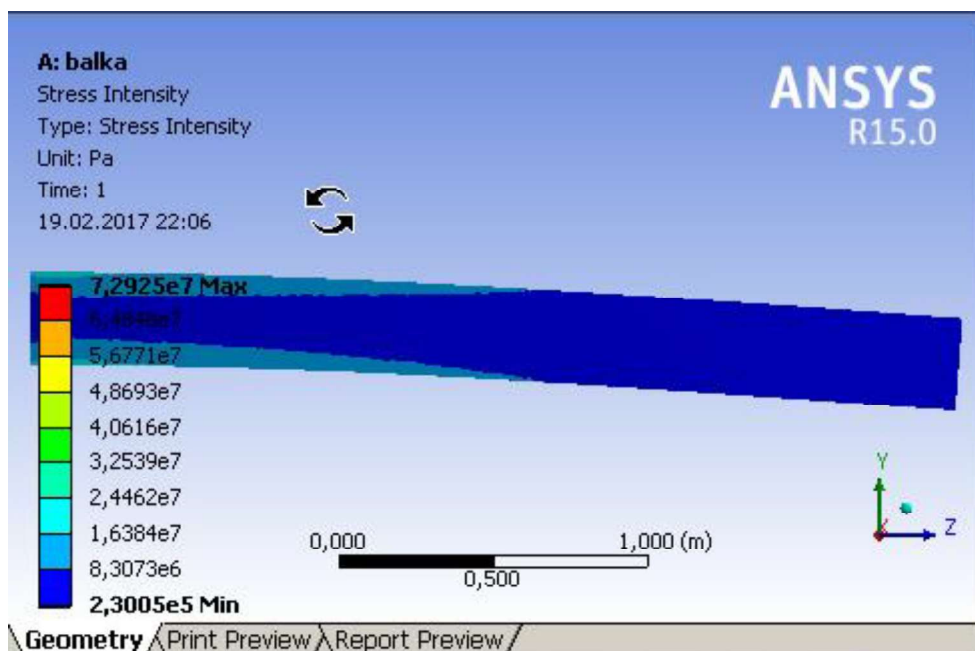
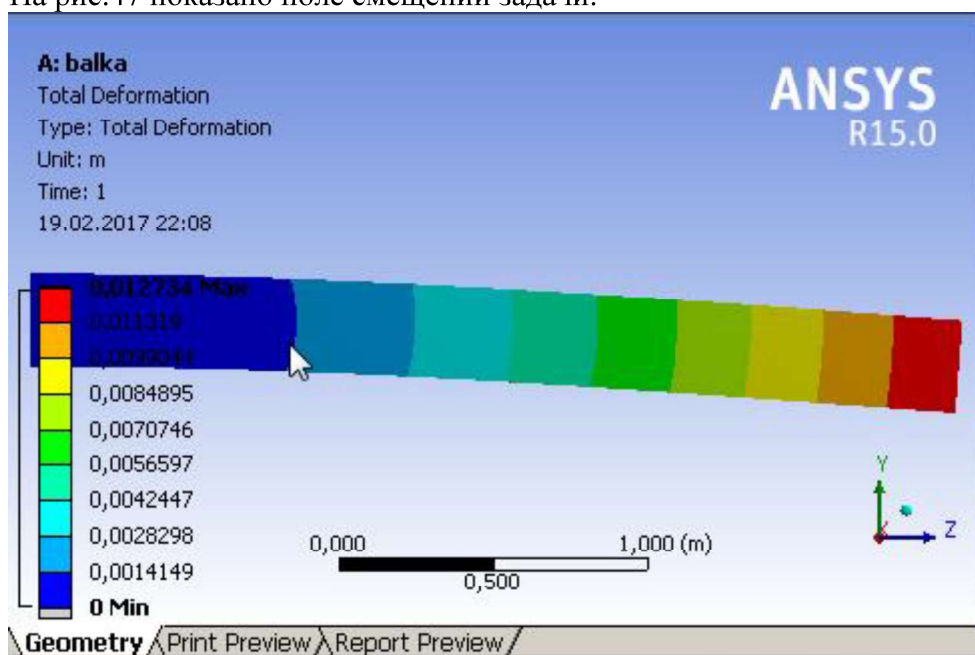


Рис.46

На рис.47 показано поле смещений задачи.



Анализ полученных решений

- 1) Вблизи арматурных стержней бетон слабо нагружен, максимальное напряжение 7.310^7 Па (Рис.45). Это максимальное напряжение в задаче меньше прочности структурной стали на растяжение 2.510^8 Па . Максимальное напряжение в бетоне 2.510^7 Па меньше, чем максимальная прочность бетона на сжатие 4.110^7 Па (Рис.45) смотрим значения бетона в Engineering Data.
- 2) Максимальное смещение балки (правой грани), как видно из рис.47, равно 1.3 см.
- 3) Из Рис.45 видно, что напряжение в арматурных стержнях неоднородно по сечению стержня, максимальное напряжение приходится на поверхность.

Отсюда очевиден вывод, что арматурную сталь нужно закалять, упрочнять прежде всего у поверхности.

Зависимость решения от качества параметров сетки

Используем следующие настройки сетки не изменяя условие задачи. В Tree Outline выделяем (ЛКМ) Mesh. В окне детализации устанавливаем параметры сетки. Sizing → Relevance center → Medium. Smoothing → Medium, Span Angle Center → Medium, Element Mid Side Nodes → Dropped. Данную опцию рекомендуют при расчёте строительных конструкций в ANSYS, но при этой опции трудно сгенерировать непрерывную сетку между телами. Главная идея заключается в следующем Element Size → 0,014m. Т.е. характерный размер сетки связан (равен) с минимальным размером задачи (диаметр арматуры). Для увеличения подробностей вблизи стержней выбираем настройку Use Automatic Inflation → Program Controlled, Inflation Option → Smooth Transition, Maximum Layers – 5 (число оболочек сетки вокруг стержней). Graph Ratio = 1,2 – с нарастающим радиусом оболочек (Рис.48).

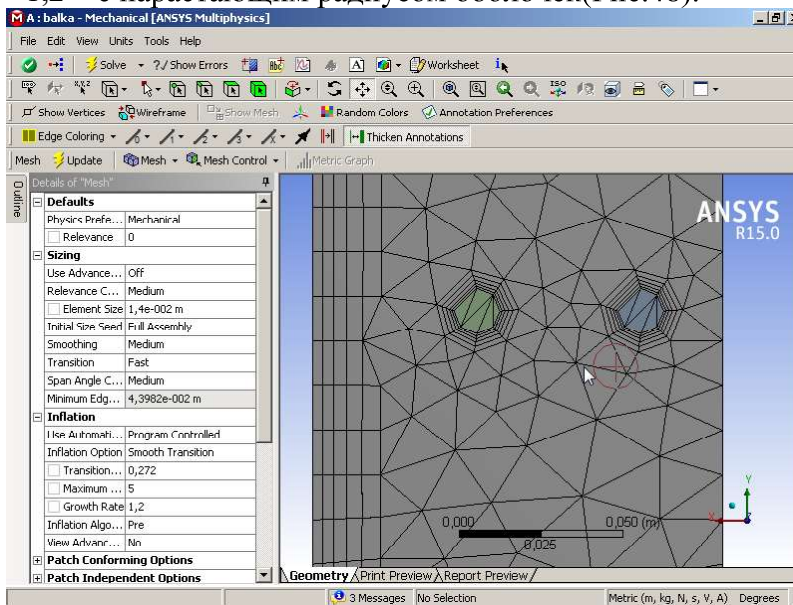


Рис.48

Отчётливо видно, что линии сетки Рис.48 непрерывно переходят от бетонной балки к арматурным стержням и сгущаются паутиной вблизи стержней. Решение поля напряжений задачи приведены на Рис.49. У плоскости фиксации слева бетон подвержен дополнительному напряжению в верхней части – растяжению, а в нижней части – сжатию, как видно из Рис.49. Длина распространения повышенного напряжения в бетоне равна приблизительно утроенной высоте бетонной балки. Известно, что при продольном осевом сжатии образца бетона прочность образца практически не зависит от высоты образца, если она превышает учетверённый размер основания. Т.е. мы получили похожий результат. Глубина действия высокого напряжения у фиксированной плоскости балки обусловлена действием сил трения со стороны стенки на балку и по порядку величины определяется размером основания (высоты балки).

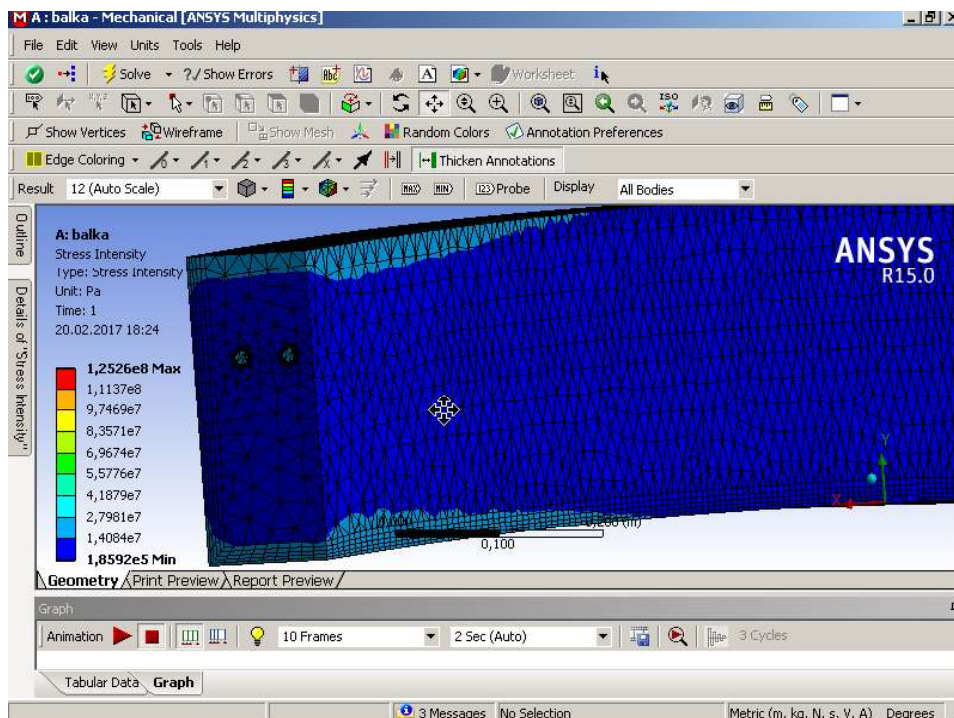
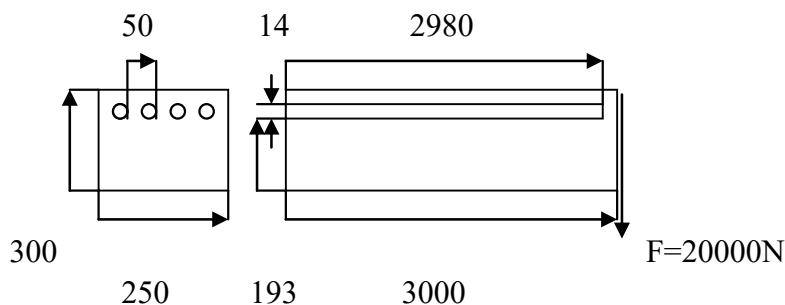


Рис.49

Задачи для самостоятельной работы 1

1) Железобетонная горизонтально расположенная плита жёстко зафиксирована левой торцевой плоскостью размерами $300 \times 250 \times 3000 \text{ mm}^3$ нагружена с правой торцевой плоскости вертикальной силой $F=25000 \text{ N}$. Равная высота 4 цилиндрических арматурных стержней от нижней грани балки является параметром задачи h . Стержни длиной 2980 mm и диаметром 14 mm расположены на расстоянии 50 mm друг от друга и на расстоянии 25 mm от стенок балки.



Найти высоту h , при которой поле напряжений будет допустимым под действием наибольшей сосредоточенной силы (найти также максимальную допустимую силу при оптимальном h).

2) Рассмотрим длинную бетонную балку – плиту, горизонтально закреплённую в стенке, имеющую большое число стержней диаметром $d = 14 \text{ mm}$ из структурированной стали длиной 2980 mm , равномерно (на расстоянии $l = 50 \text{ mm}$ друг от друга) расположенных на равной высоте от нижней грани плиты h . Плита имеет высоту 300 mm и ширину 3 m . Определить оптимальное значение h , при котором поле напряжений в стержнях и бетоне будет допустимым. Найти также максимальную допустимую линейную (на 1 m)