

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

О.В.Голубева
С.Г.Ехилевский
Ю.Ф.Пастухов
Д.Ф.Пастухов

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ В
ОБОЛОЧКЕ ANSYS WORKBENCH**

Учебно-методическое пособие к лекционным и практическим занятиям
Моделирование систем для студентов специальности
1-40 01 01 Программное обеспечение информационных технологий

Новополоцк
ПГУ
2017

УДК 519.6

Одобрено и рекомендовано к изданию
методической комиссией факультета информационных технологий
В качестве учебно-методического пособия

Кафедра технологий программирования

Рецензенты:

А.Ф. Оськин, кандидат технических наук, доцент, доцент
кафедры технологий программирования;

Р.П. Богущ, кандидат технических наук, доцент, заведующий
кафедрой вычислительных систем и сетей

© Оформление УО «Полоцкий государственный университет», 2014

Содержание:	
Введение.....	4
Лабораторная работа 1. Определение статической прочности горизонтально нагруженной железобетонной балки.....	5
Задания для самостоятельной работы 1.....	24
Лабораторная работа 2. Определение спектра турбулентной кинетической энергии горизонтального развитого потока жидкости за периодической структурой.....	25
Задания для самостоятельной работы 2.....	42

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: оперативная 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.

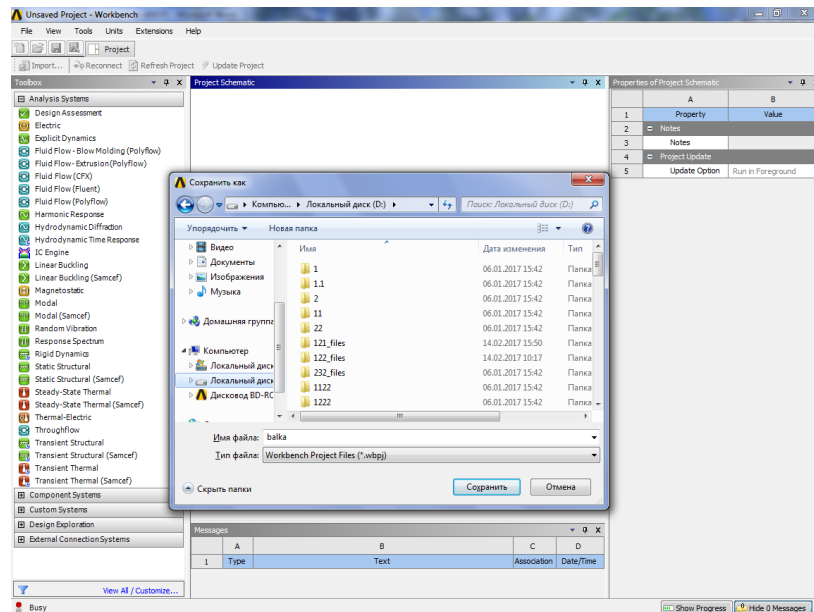
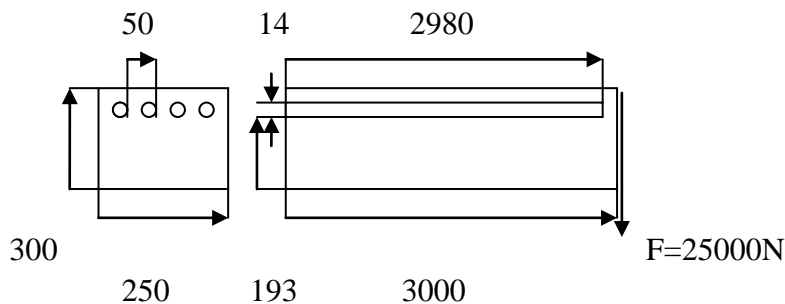


Рис.1

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

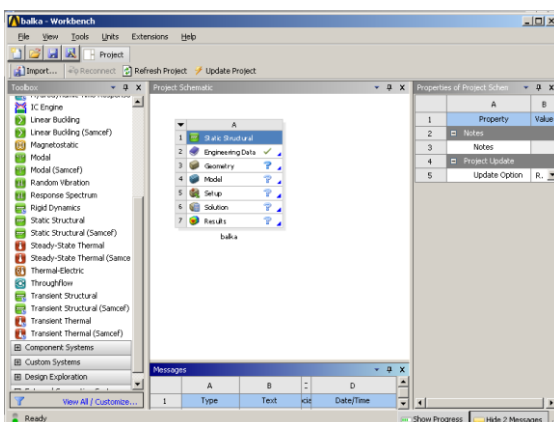


Рис.2

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 операционной 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).

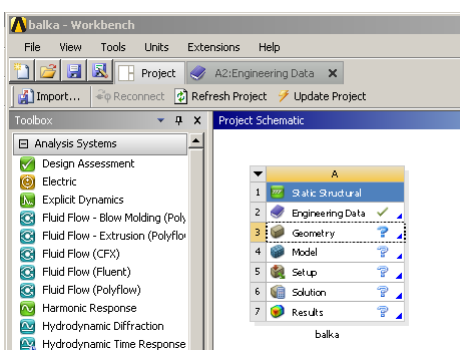


Рис.3

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)

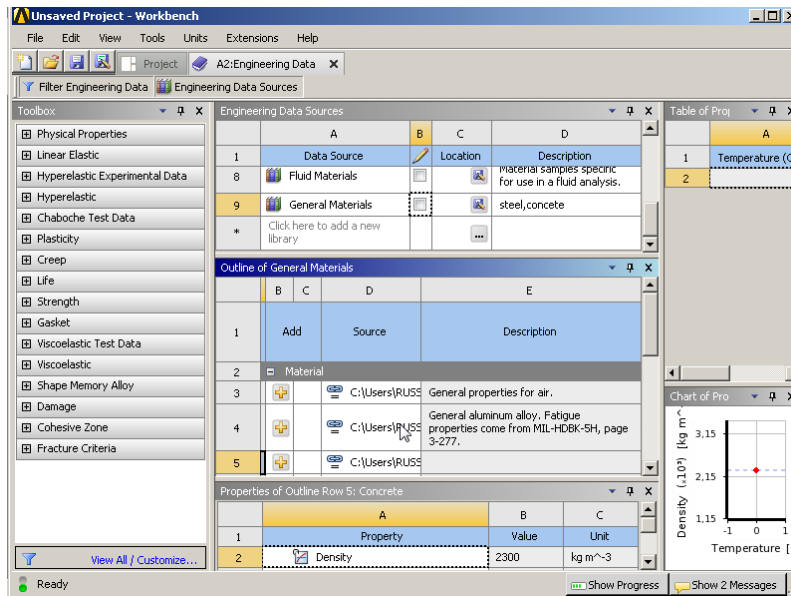



Рис.4

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)

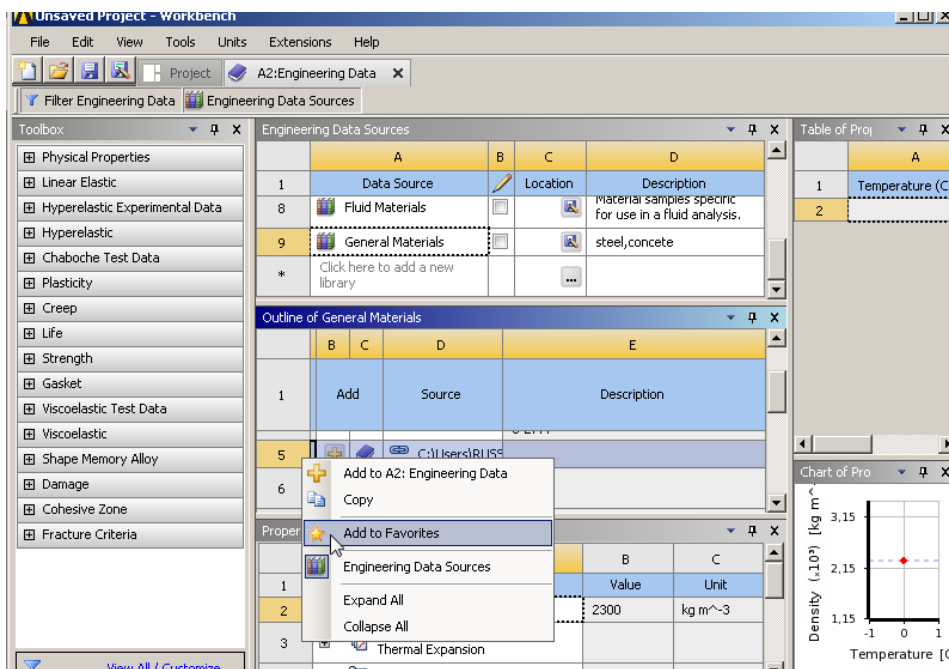


Рис.5

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),

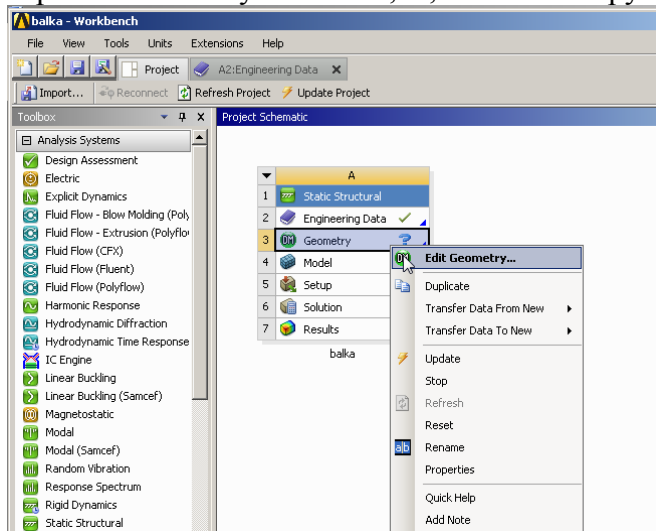


Рис.6

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).

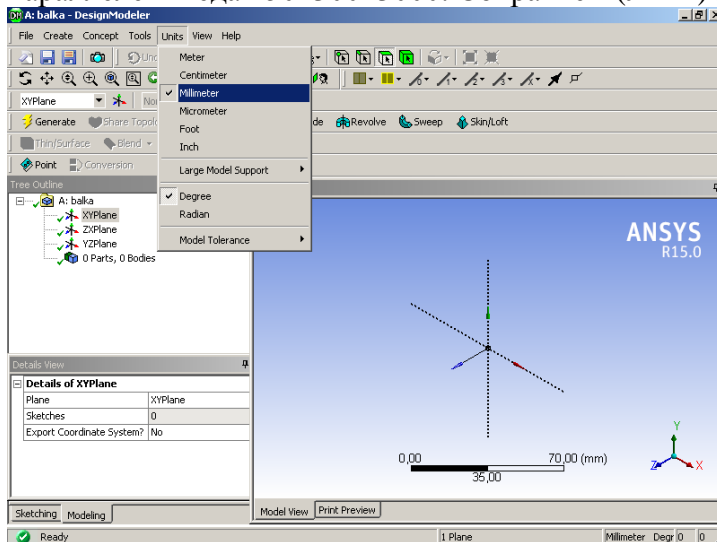


Рис.7

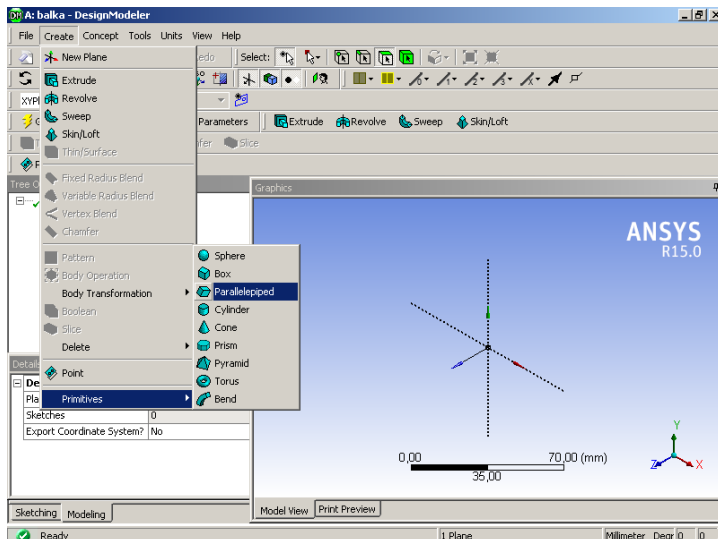


Рис.8

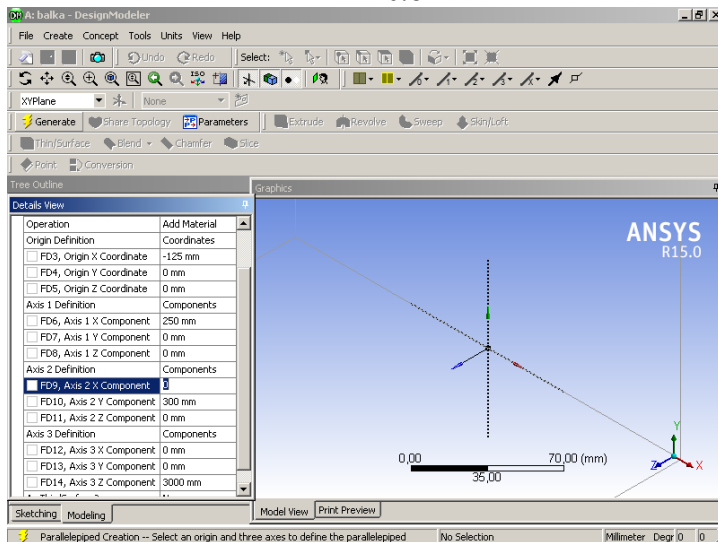


Рис.9

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. (ЛКМ)Create → Primitives → Cylinder →

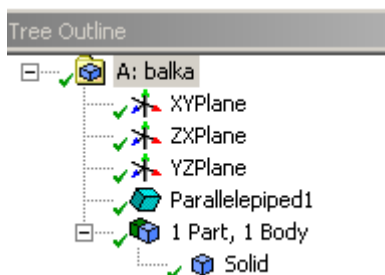


Рис.10

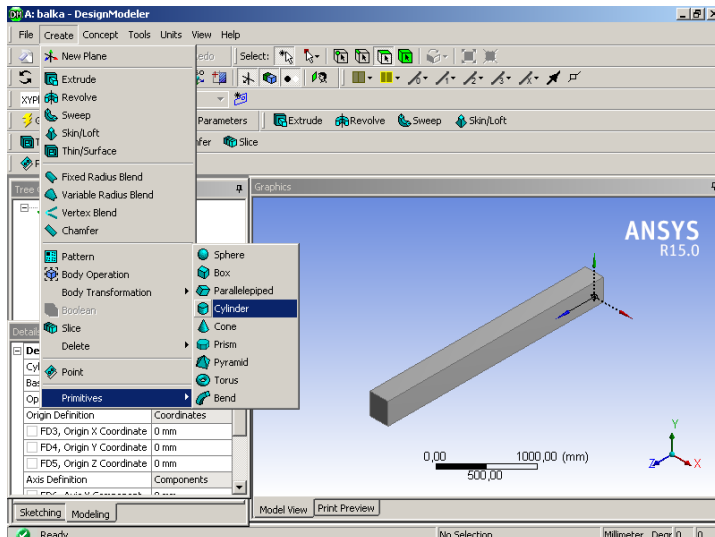


Рис.11

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.

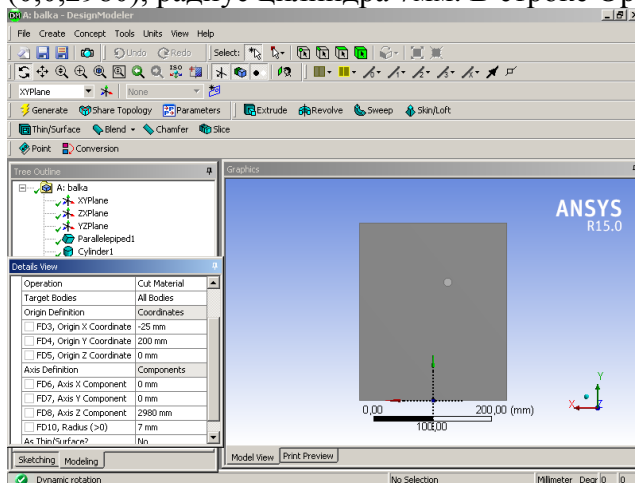


Рис.12

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).

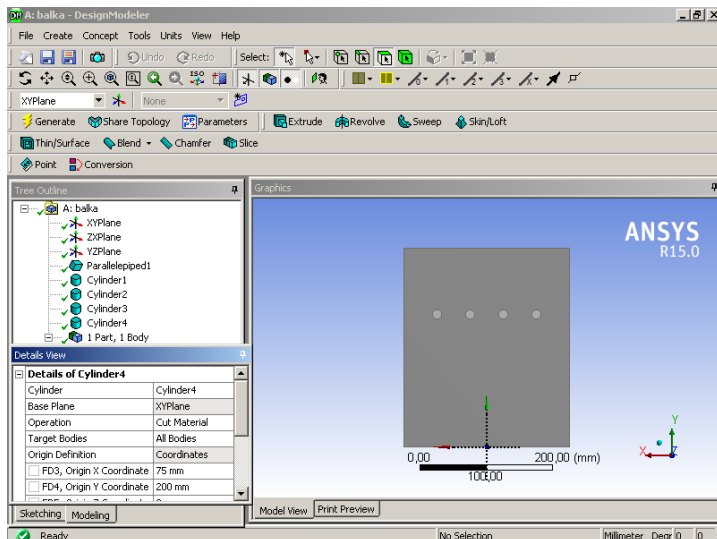



Рис.13

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).

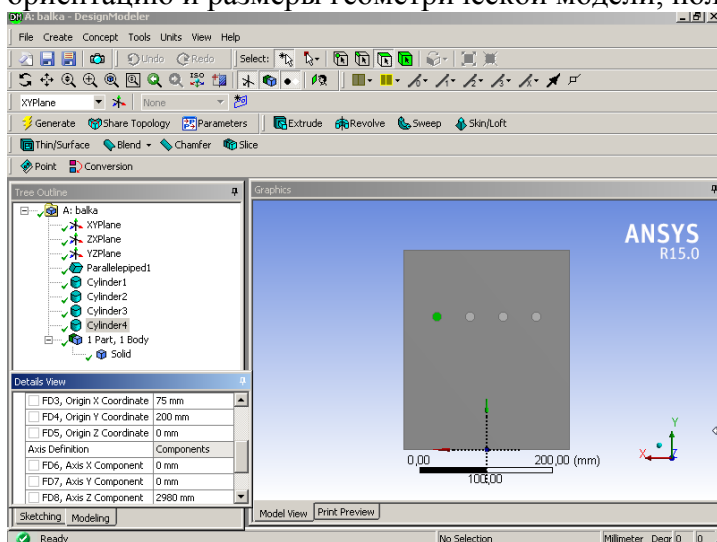


Рис.14

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.

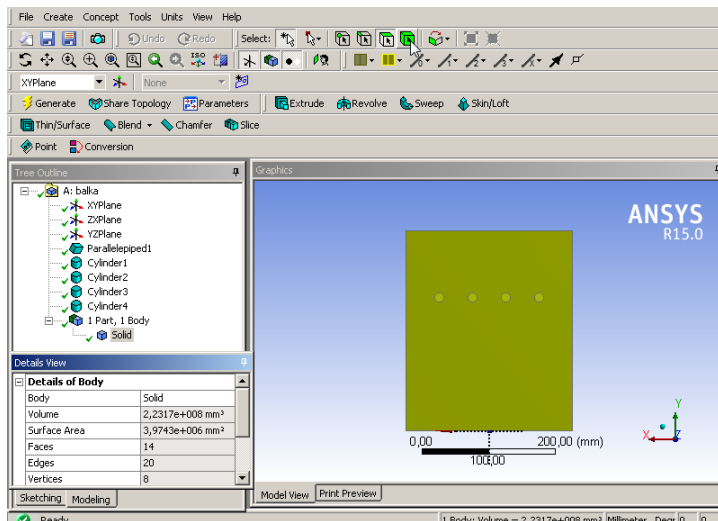


Рис.15

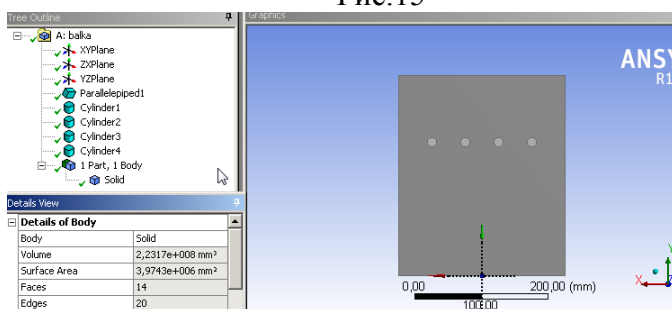


Рис.16

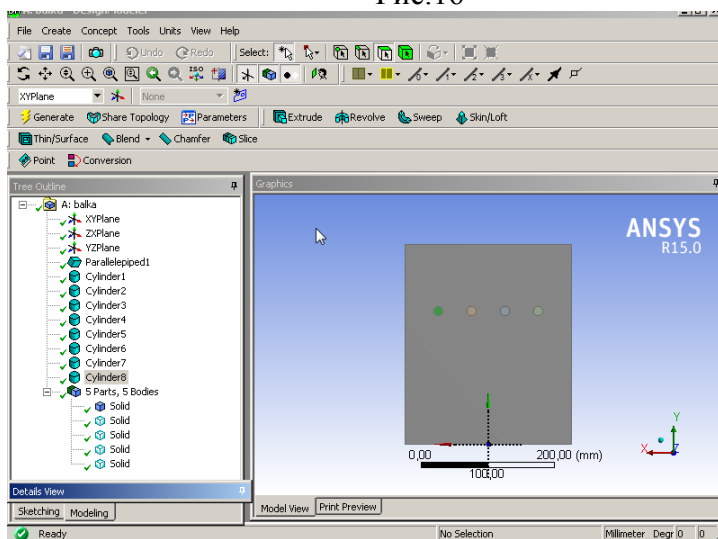


Рис.17

(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.

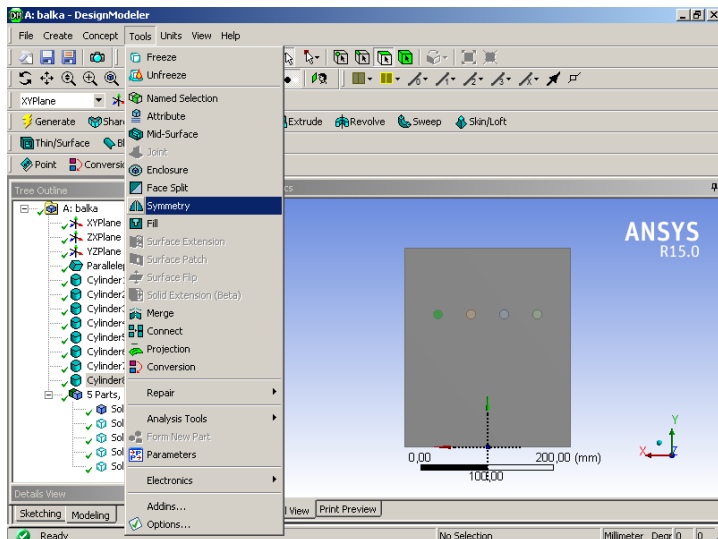


Рис.18

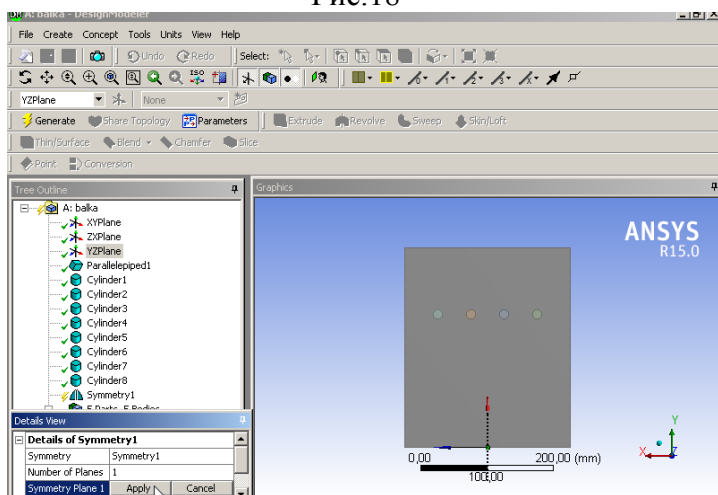


Рис.19

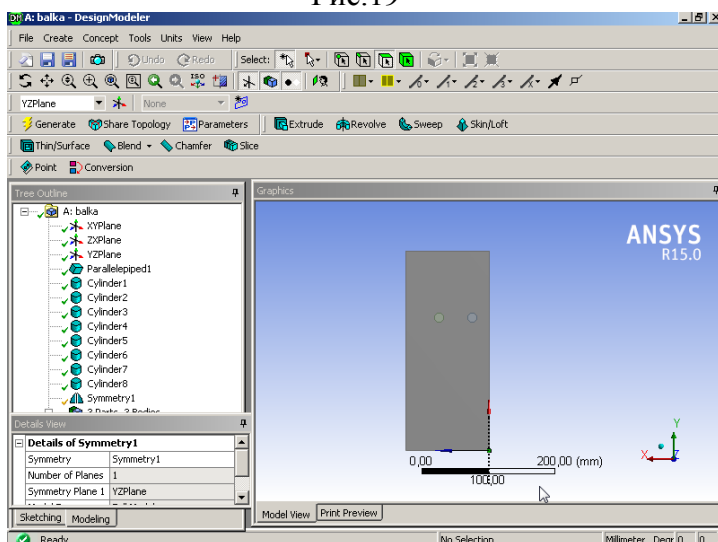


Рис.20

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 М A balka – Mechanical ANSYS(Multiphysics) Рис.22.

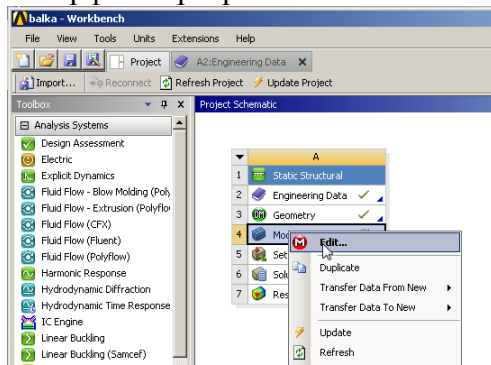


Рис.21

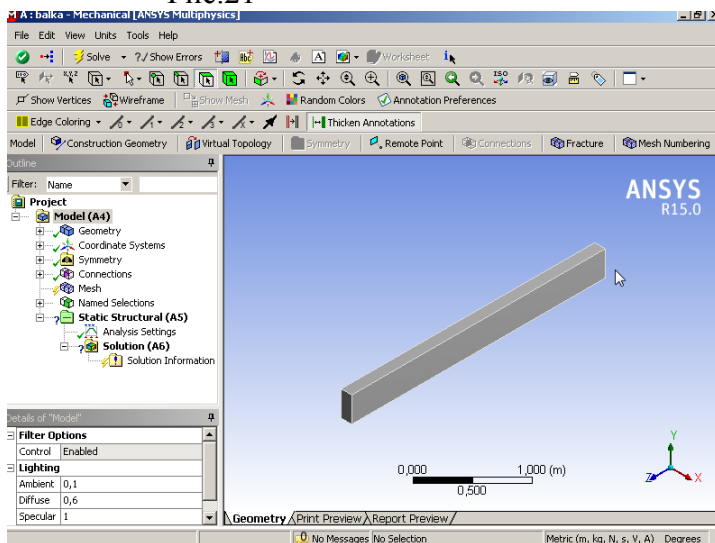


Рис.22

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

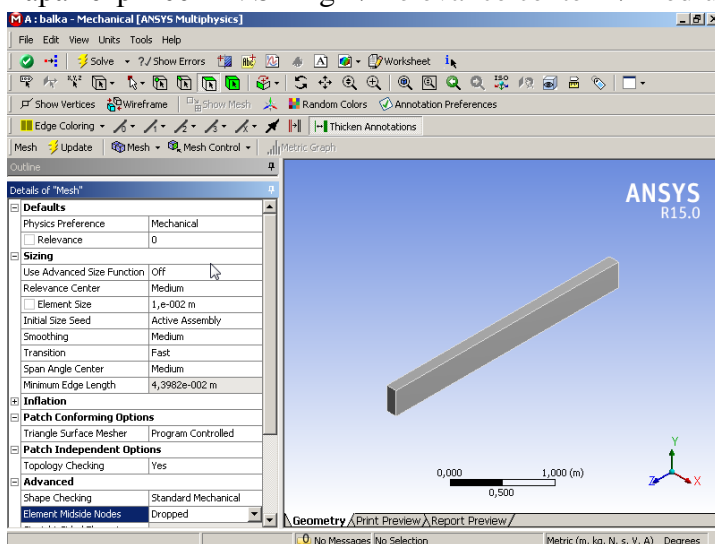


Рис.23

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.

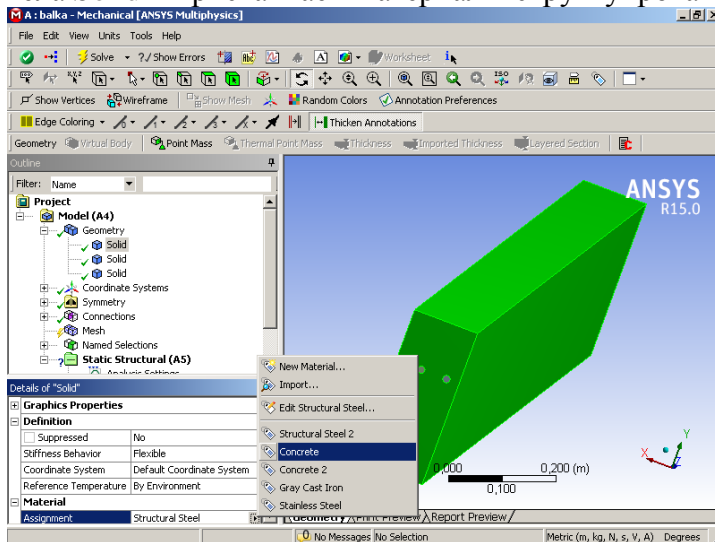


Рис.24

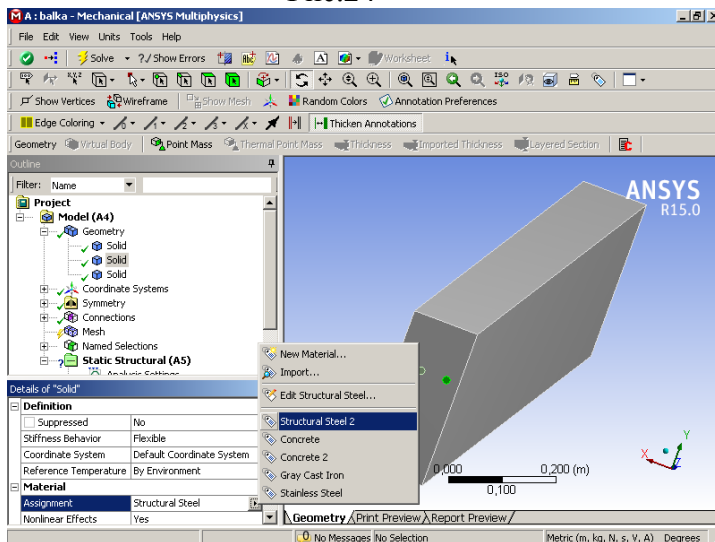


Рис.25

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).

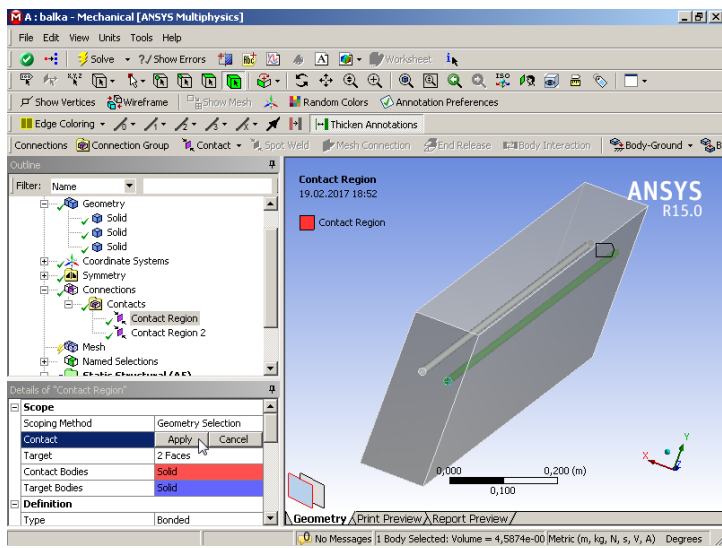


Рис.26

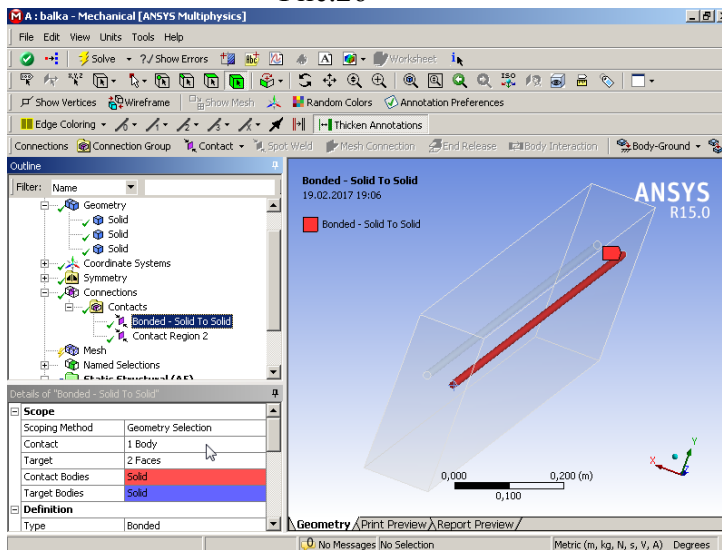


Рис.27

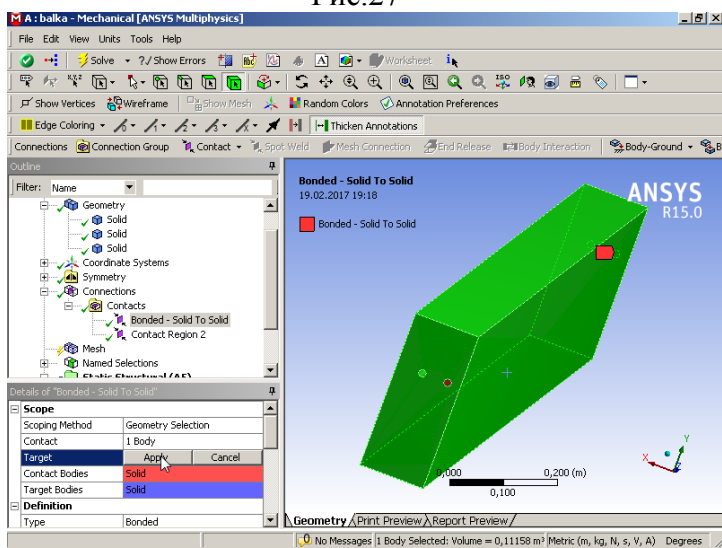


Рис.28

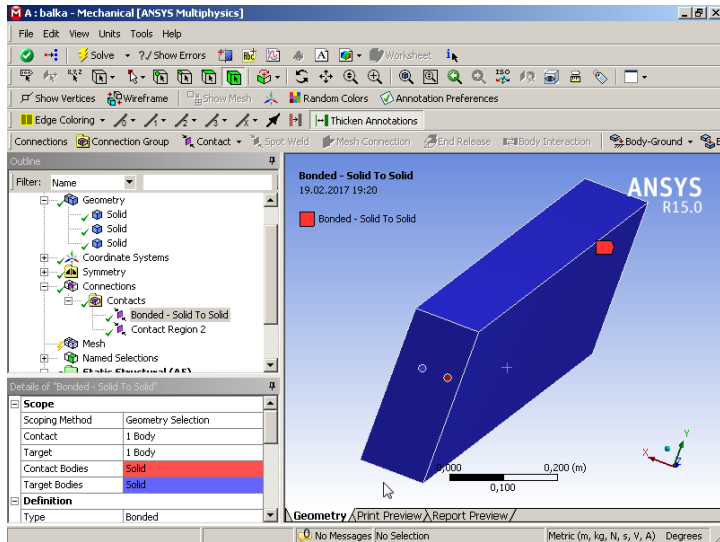


Рис.29

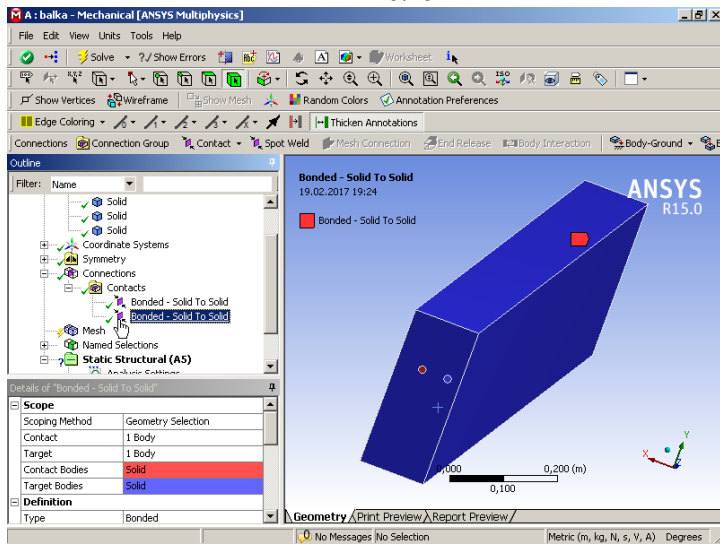


Рис.30

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

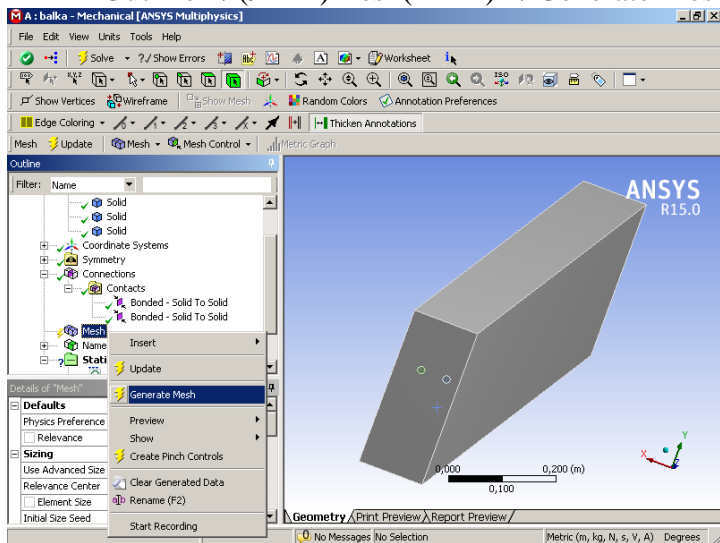


Рис.31

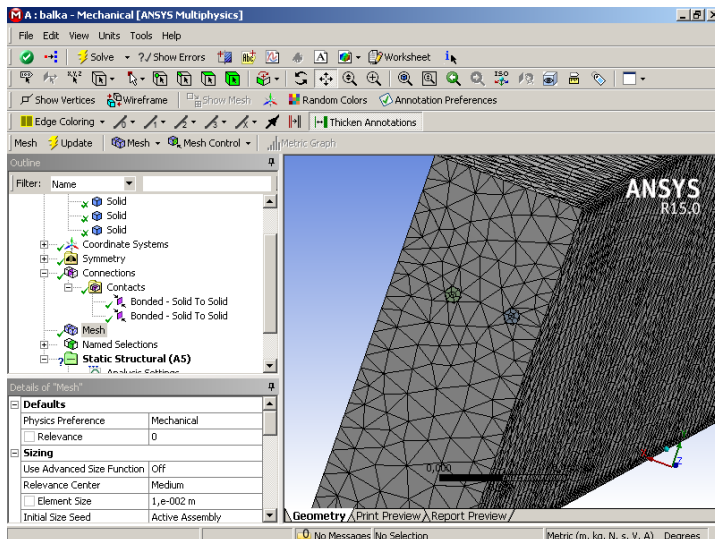


Рис.32

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.

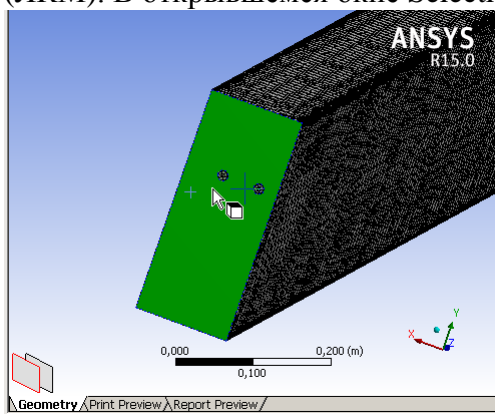


Рис.33

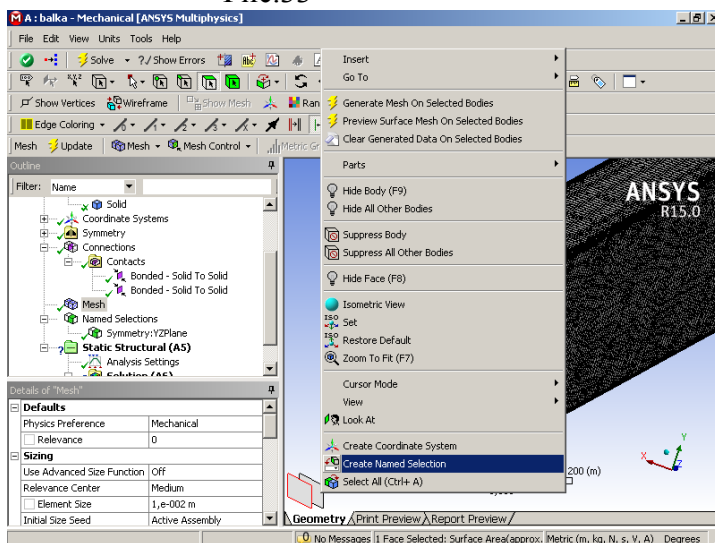


Рис.34

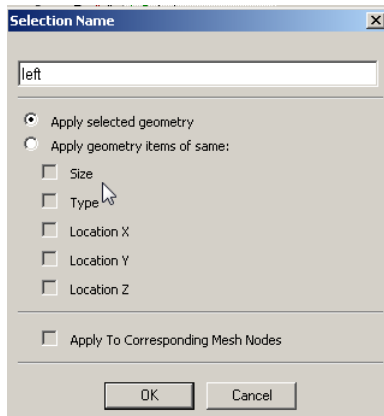


Рис.35

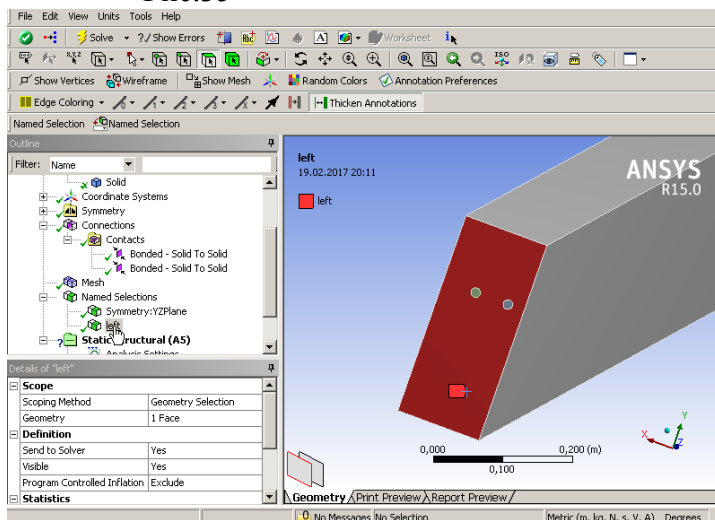


Рис.36

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.

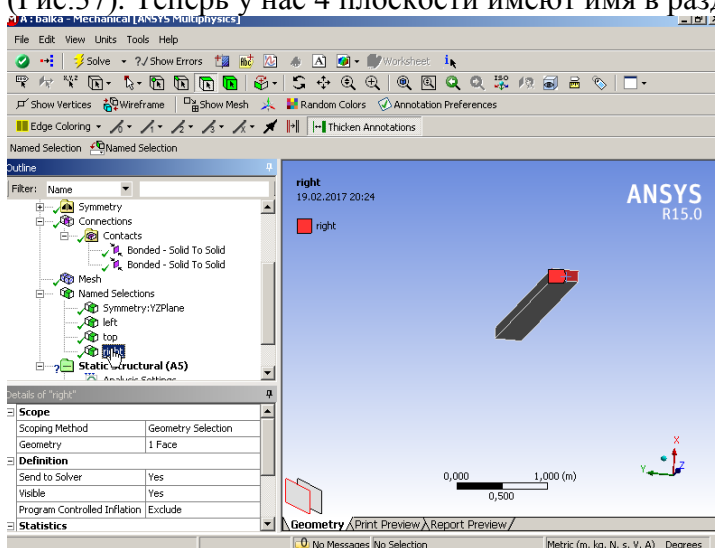


Рис.37

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 $F=12500N$. (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, $X=0,Y=-12500,Z=0$.

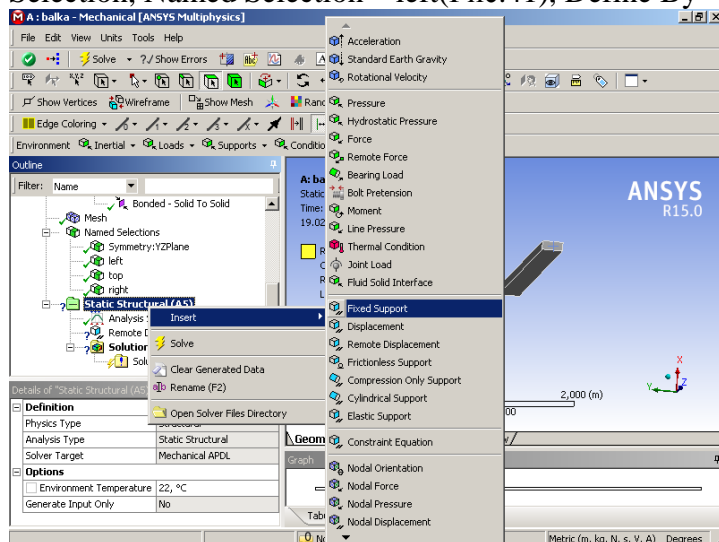


Рис.38

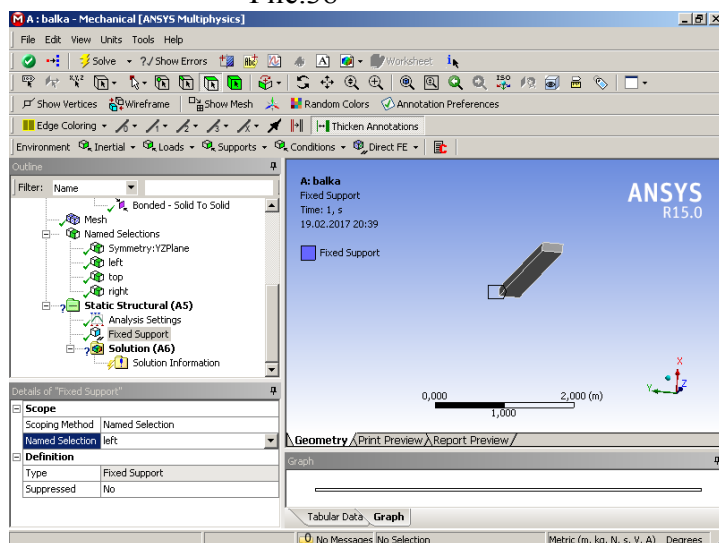


Рис.39

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).

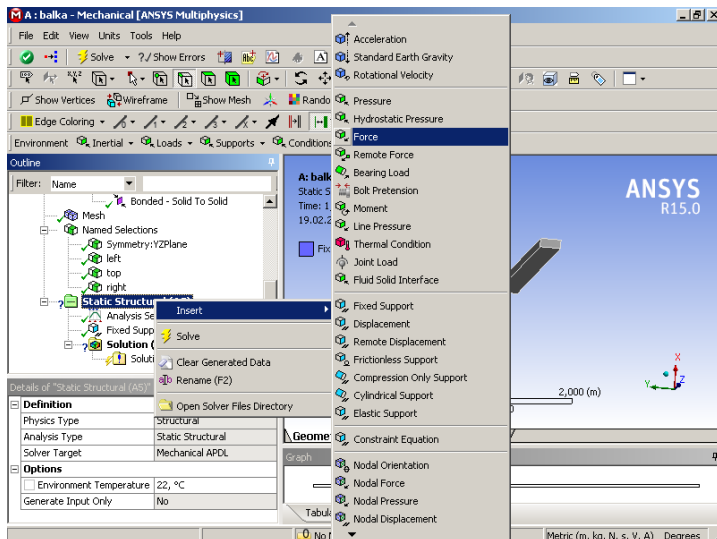


Рис.40

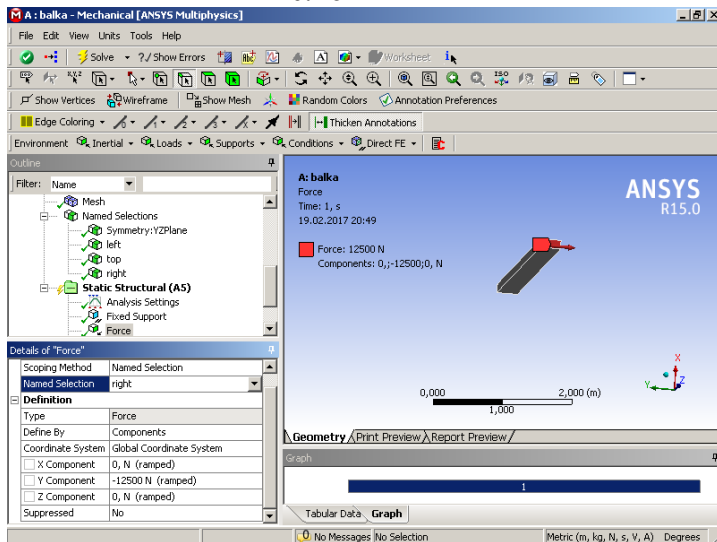


Рис.41

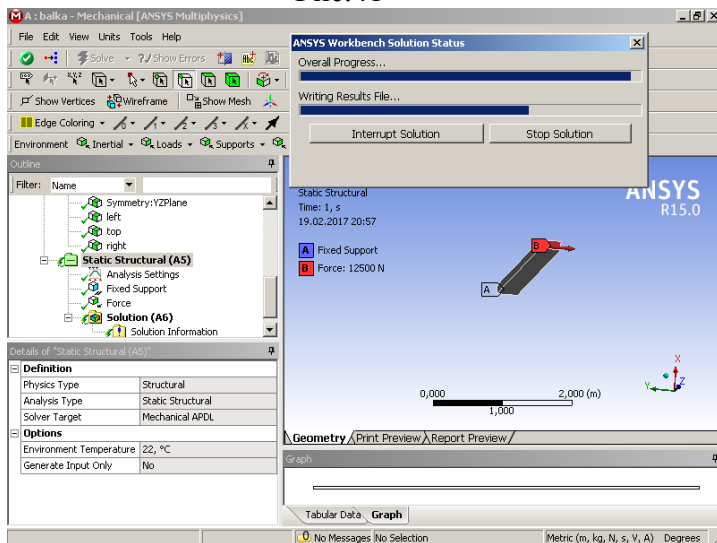


Рис.42

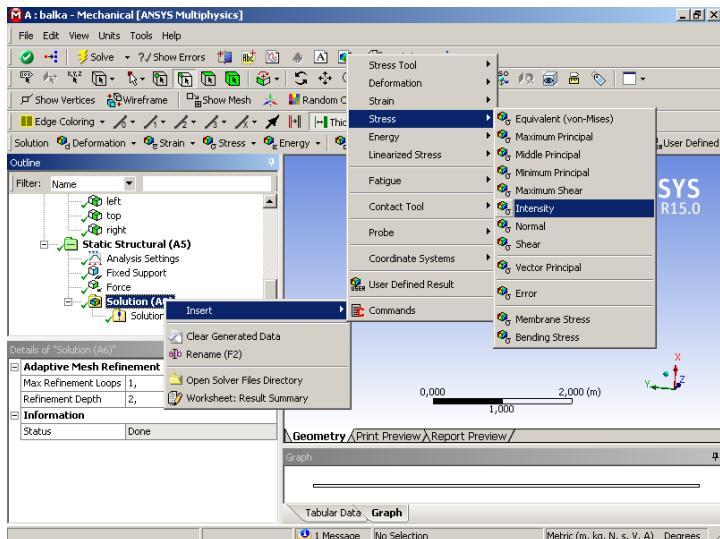


Рис.43

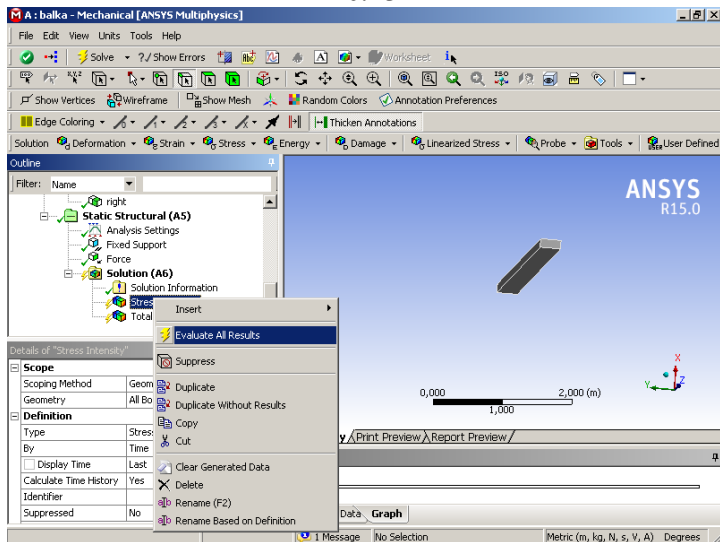
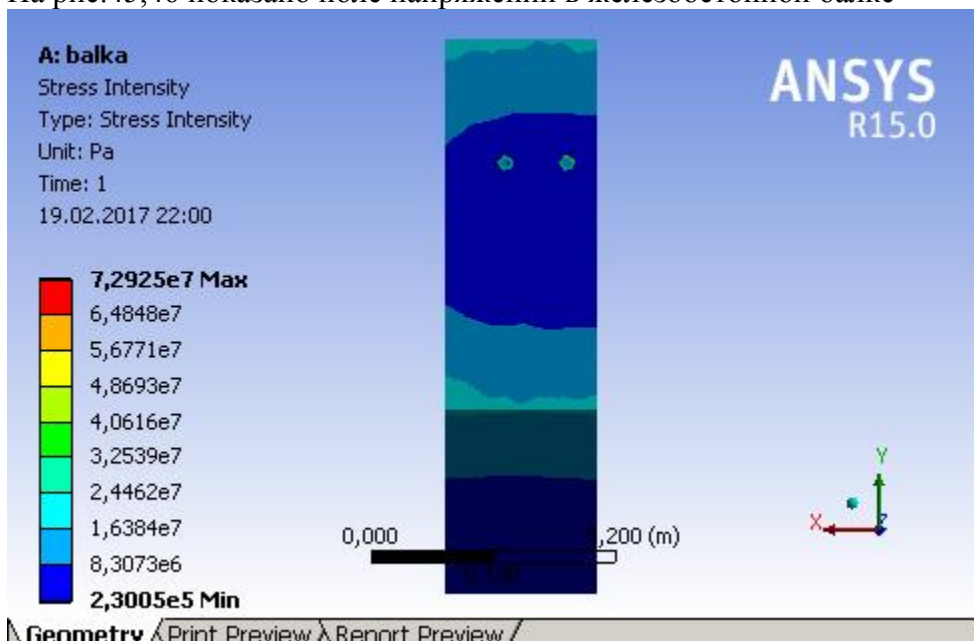


Рис.44

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



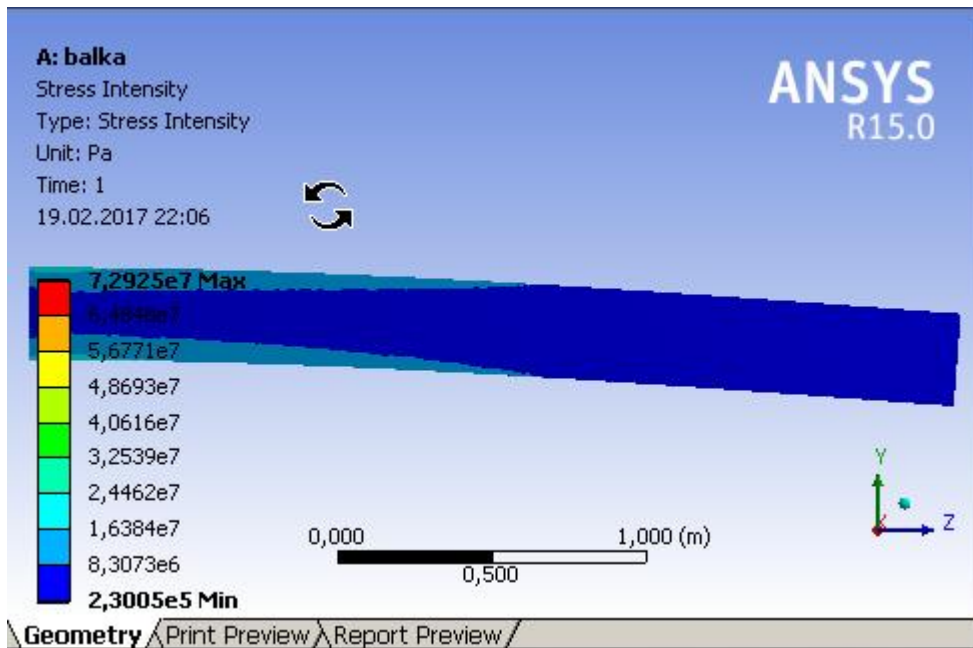
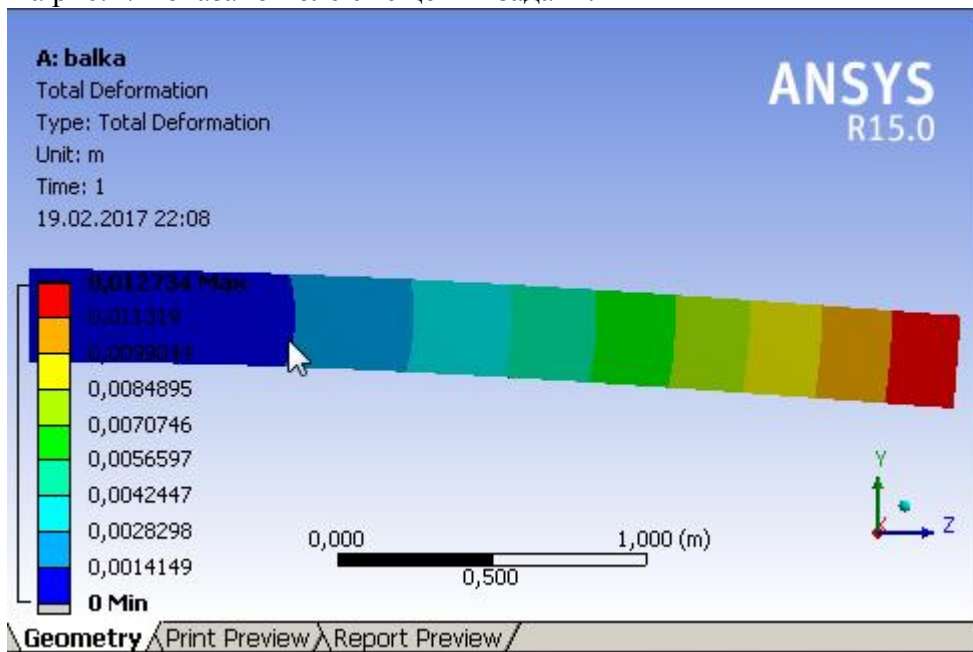


Рис.46

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 $4.1 \cdot 10^7 \text{ Па}$ (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).

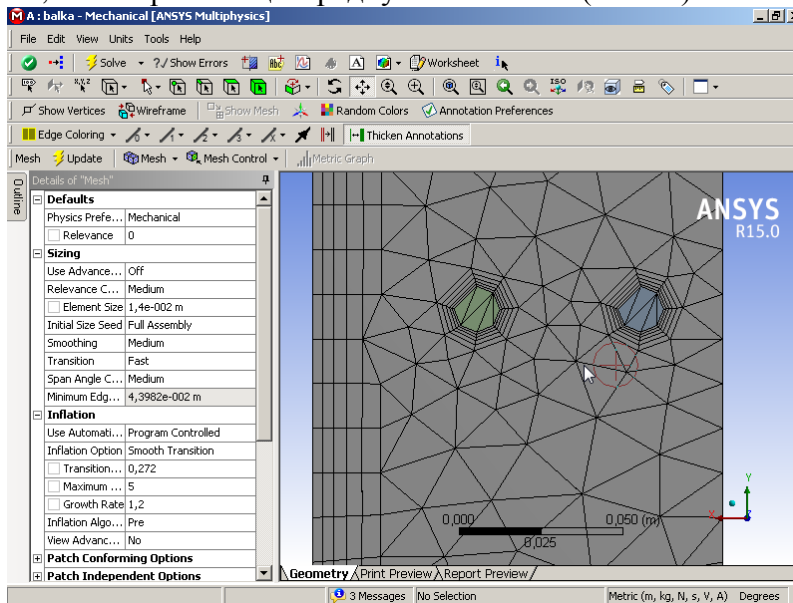


Рис.48

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 палоскости балки обусловлена действием сил трения со стороны стенки на балку и по порядку величины определяется размером основания (высоты балки).

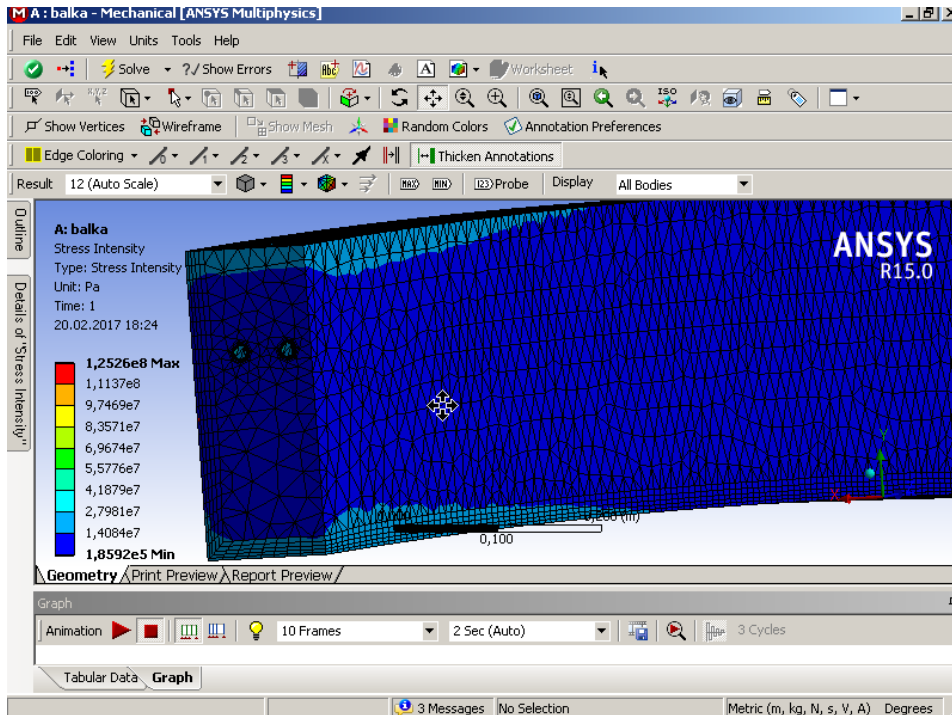
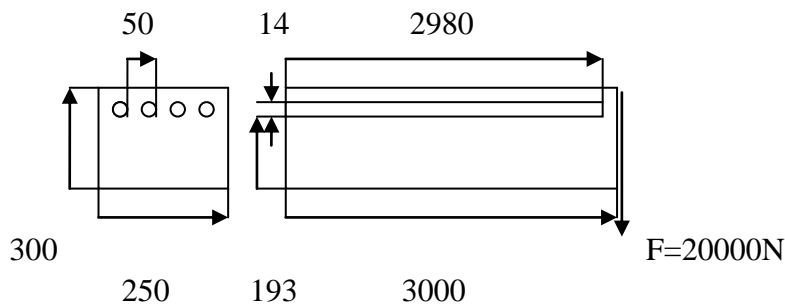


Рис.49

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.

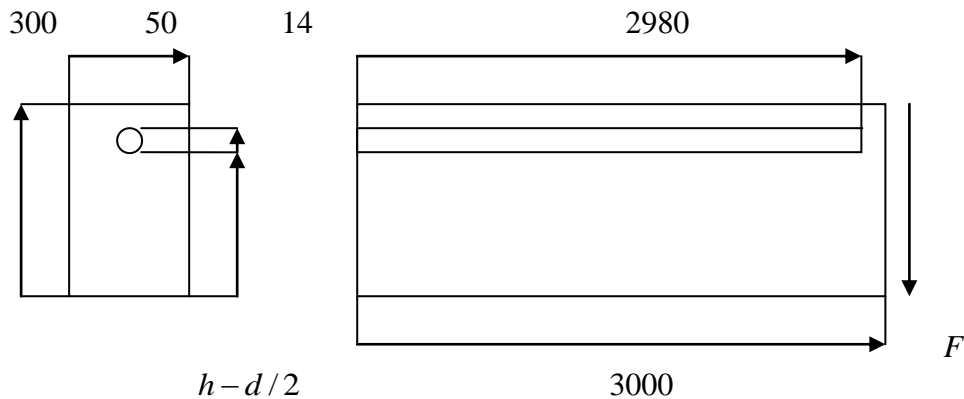


Найти высоту h , при которой поле напряжений будет допустимым под действием наибольшей сосредоточенной силы (найти также максимальную допустимую силу при оптимальном h).

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)

силую нагрузку F на противоположную грань плиты и направленную вертикально вниз.

Указание: задача эквивалентна следующей



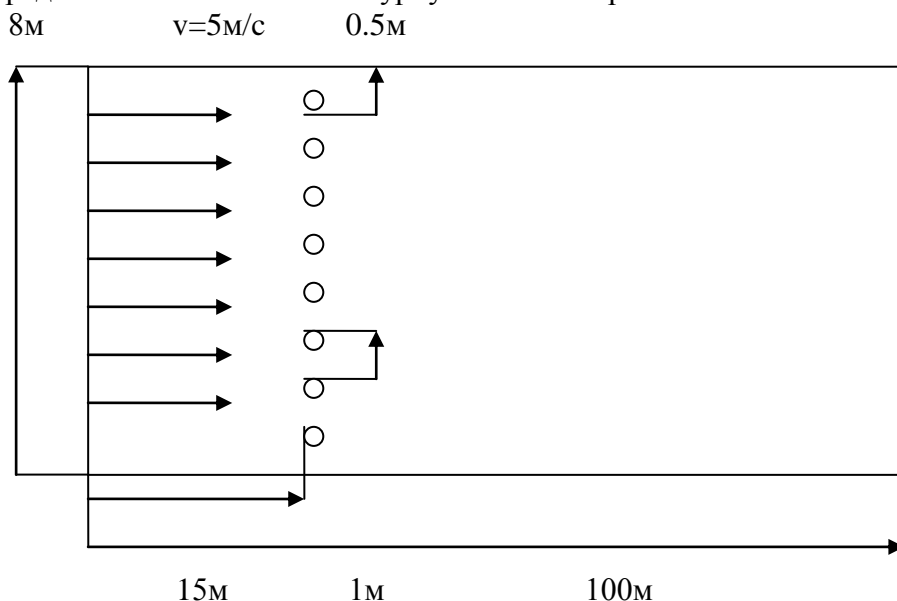
Литература

- 1) Кривцов А.В. Знакомство с CAE – системой анализа течений жидкости и газа ANSYS Fluent. Самарский государственный аэрокосмический университет. Самара 2013.

Лабораторная работа 2. Определение спектра турбулентной кинетической энергии горизонтального развитого потока жидкости за периодической структурой

Постановка задачи

Двумерный поток жидкости движется между двумя параллельными бесконечно широкими горизонтальными плоскостями длиной 100м. Расстояние между плоскостями 8м. Входная скорость потока 5м/с при атмосферном давлении и температурой 20 С. На выходе системы задано избыточное давление 1 атмосфера. Поток воды встречает преграду из 8 горизонтальных длинных стержней, расположенных поперёк потока. Диаметр стержней 40см, расстояние между ними 1 м. Определить поле распределения скорости жидких частиц в потоке и поле распределения кинетической турбулентной энергии.



1.Открываем оболочку ANSYS WORKBENCH и сохраняем будущий проект под именем Fluent. Toolbox →(ЛКМ)Fluid Flow(Fluent) → с нажатой(ЛКМ) перетаскиваем в свободный зелёный прямоугольник на поле Project Schematic, пока цвет прямоугольника не изменится на красный, отпускаем(ЛКМ). Попутно для проекта A Fluid Flow(Fluent) устанавливаем имя Fluent (Рис.1). В окне свойств Properties of Schematic в строке с номером 22 Analysis Type указываем размерность потока 2D(Рис.1).

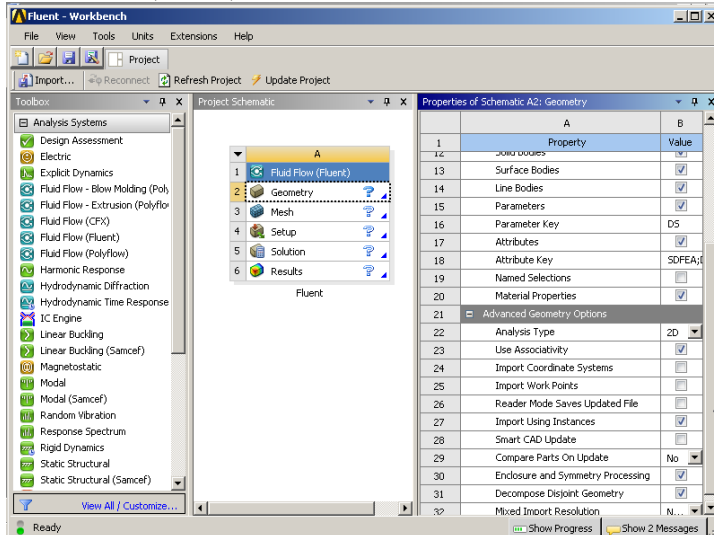


Рис.1

2. Создание геометрии потока. Шаг 1. Запускаем систему 3 мерного моделирования Design Modeler(Рис.2). Шаг 2. В открывшемся интерфейсе DM выбираем единицу измерения.(ЛКМ)Units → Meter (ЛКМ)Рис.3

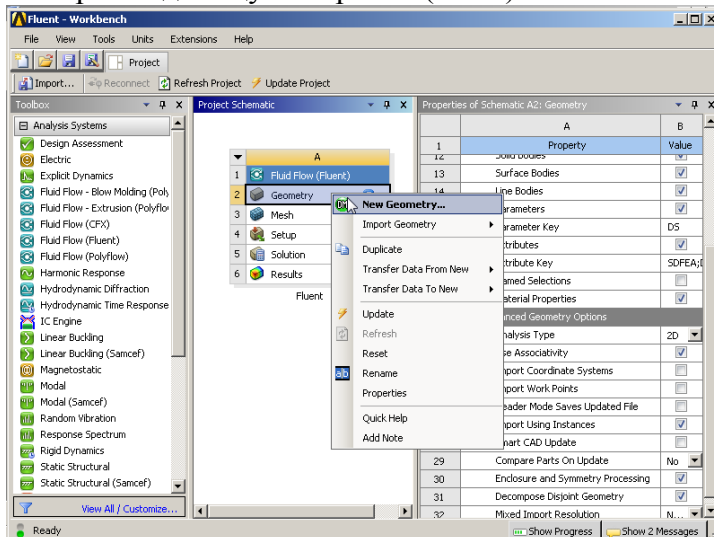


Рис.2

Design Modeler сокращённо DM имеет основные части сверху вниз: верхняя линейка меню, панель инструментов, дерево проекта (Tree Outline), окно детализации(Details View), справа расположен графический визуализатор проекта Model View(Рис.3) .

Шаг 3. Создаём эскиз модели. Необходимо выбрать плоскость XY, Tree Outline →XY Plain(ЛКМ), развернуть рабочую плоскость к пользователю с помощью знака на панели инструментов (ЛКМ). Открываем Редактор рисования Sketching(ЛКМ). Создаём рисунок, соответствующий условию задачи.

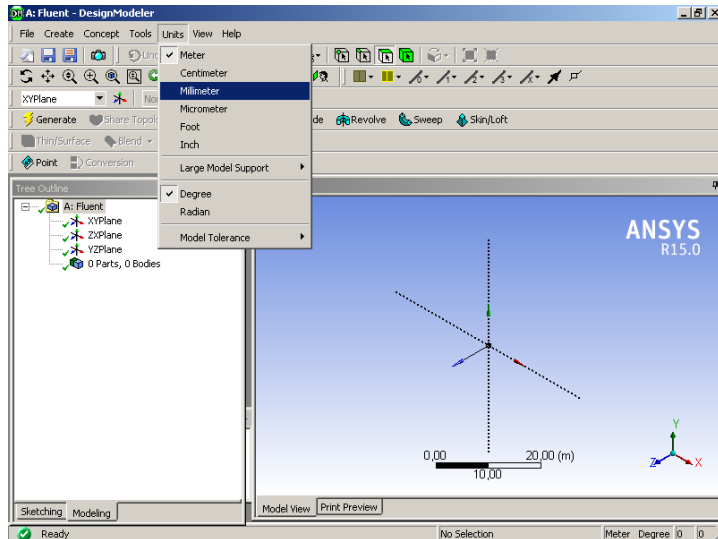


Рис.3

Шаг 4. Выбираем прямоугольник(ЛКМ)Draw → Rectangle(ЛКМ). Рисуем в поле симметричный прямоугольник относительно начала координат по рисунку к задаче. (ЛКМ) Dimensions → Vertical на рисунке(ЛКМ)выделяем ось OX и верхнюю плоскость(ЛКМ) → образуется стрелка с карандашом(Рис.4) → (ЛКМ) → размерной стрелке присваивается наименование V1 и зелёный цвет(Рис.5).

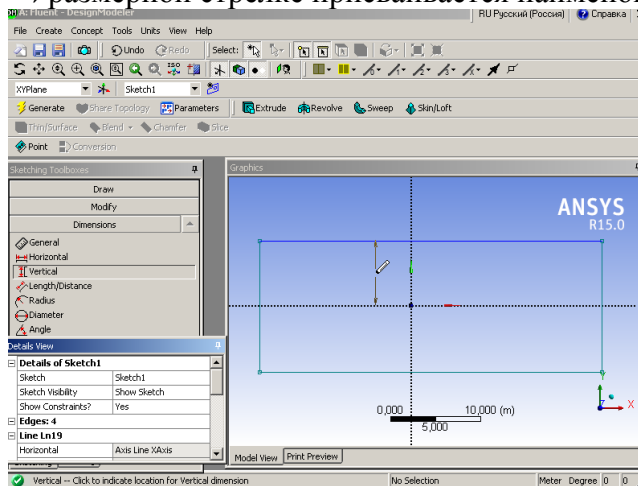


Рис.4

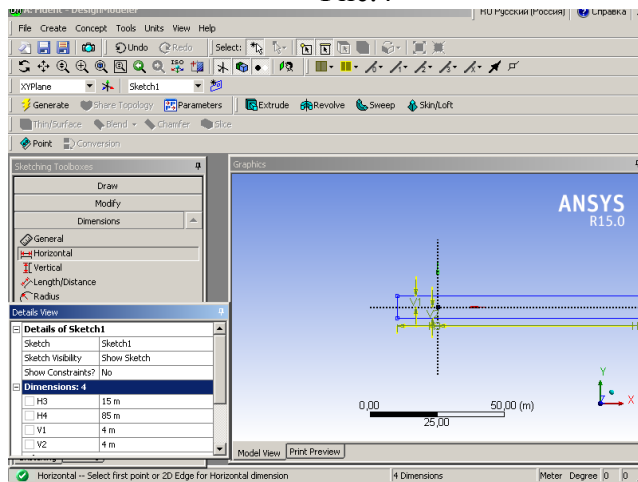


Рис.5

Переходим к окну детализации Details View → $V1 = 4m$. Аналогично выставляем $V2 = 4m, H3=85m, H4=15m$.

Шаг 5. Рисуем 8 цилиндров на оси OY с Y координатами центров 0.5m; 1.5m; 2.5m; 3.5m симметрично выше и ниже горизонтальной оси и радиусом 0.1m. Выбираем X координаты центров окружностей $H=5m$ (так как их необходимо задать ненулевыми), одновременно смещаем положение плоскостей относительно координатной системы $H3=80m, H4=20m$

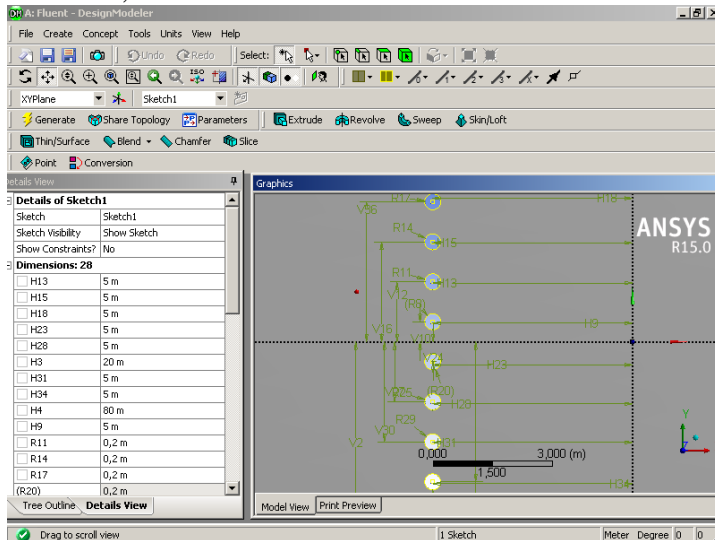


Рис.6

Шаг 6. Создаём поверхность на основании созданного эскиза. В линейке меню Concept выбрать создание поверхности по эскизу(ЛКМ). Переходим в окно Modeling, выбираем

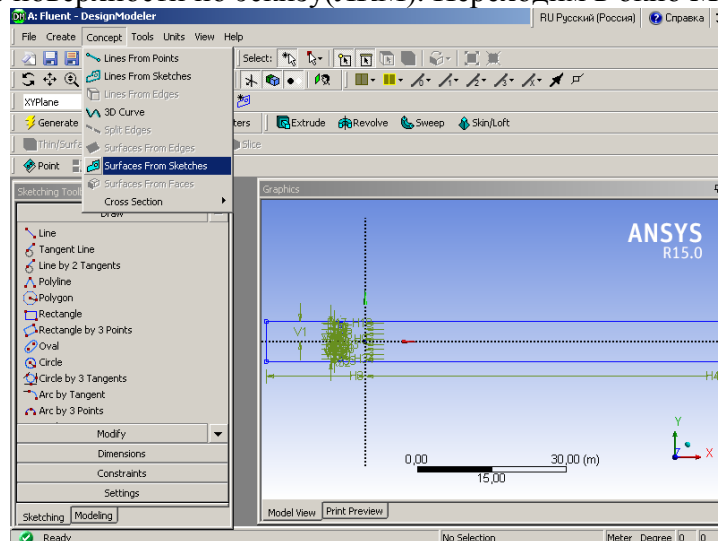


Рис.7

Tree Outline → Surfacek1. Выделяем контуры всех объектов на чертеже 4 линии прямоугольника и 8 окружностей(всё время удерживать нажатой Ctrl при добавлении новой детали контура).Переходим в окно детализации, выбираем напротив Base Object → Apply(ЛКМ). В результате текущее состояние окон Tree Outline, детализации и Model View как на Рис.8.

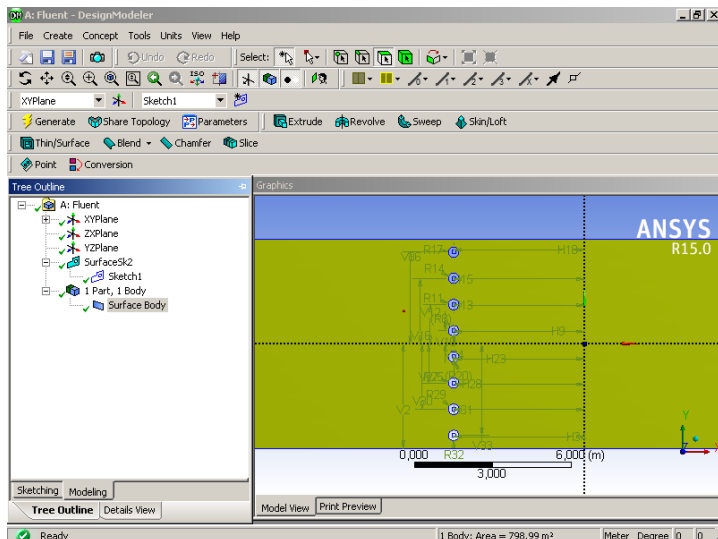


Рис.8

Шаг 7. После окончания построения модели можно закрыть design Modeler И вернуться в Workbench. При этом строка DM Geometry активизирована зелёным ок, а Mesh готов к началу работы – 2 зелёные стрелки(Рис.9). Чтобы открыть сеткогенератор достаточно дважды кликнуть(ЛКМ)Mesh. При этом созданная нами ранее геометрическая модель автоматически загружается в сеткогенератор.

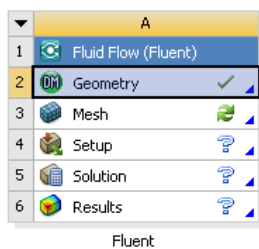



Рис.9

3. Создание сетки. Шаг 1. Необходимо границы модели, на которые будут наложены различные граничные условия. На панели инструментов выбирае фильтр  для выделения линий. В окне Geometry выделяем левую границу области(Рис.10).

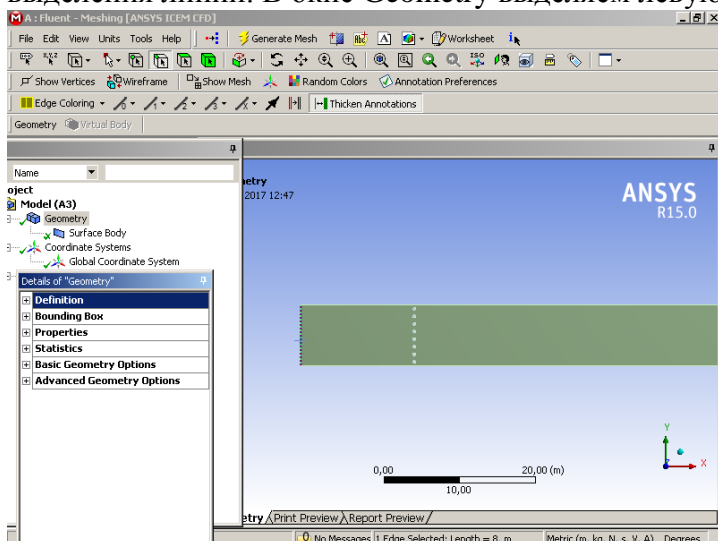


Рис.10

После нажатия (ЛКМ) граница становится зелёной. Далее необходимо нажать(ПКМ), в

контекстном меню выбрать пункт Create Named Selection(ЛКМ)Рис.11.

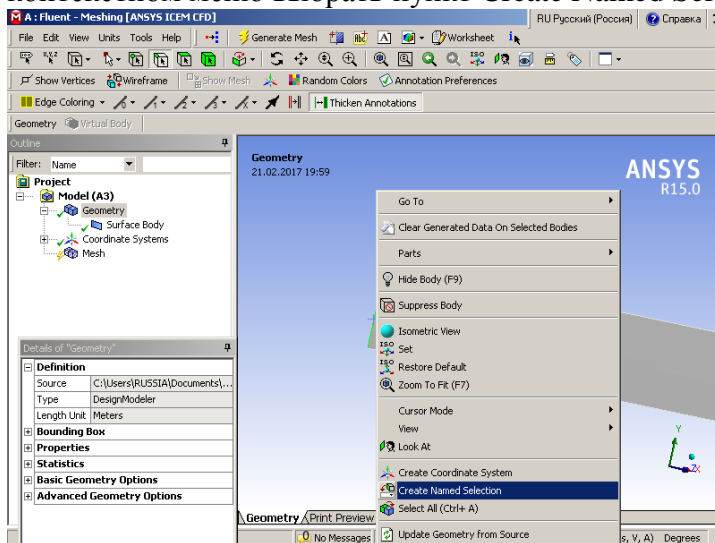


Рис.11

Ввести название границы – вход(Inlet). Название не должно содержать пробелов, может содержать латинские буквы, цифры и должно начинаться с буквы(Рис.12).Нажать ок.

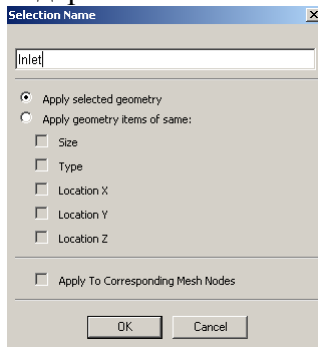


Рис.12

После чего наименование входной границы завершено. В Outlet →Named Selected →Inlet отмечено зелёным знаком ок, при выделении Inlet в окне геометрии(Geometry) стрелкой указана граница и её название.

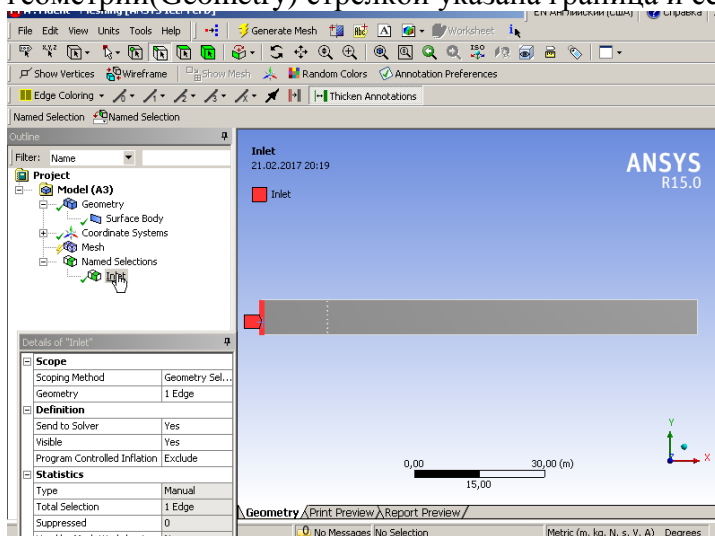


Рис.13

Шаг 2. Аналогичным образом создаём выходную границу Outlet(Рис.14). Создаём плоскость Symmetry – нижняя и верхняя стороны прямоугольника(Рис.15).

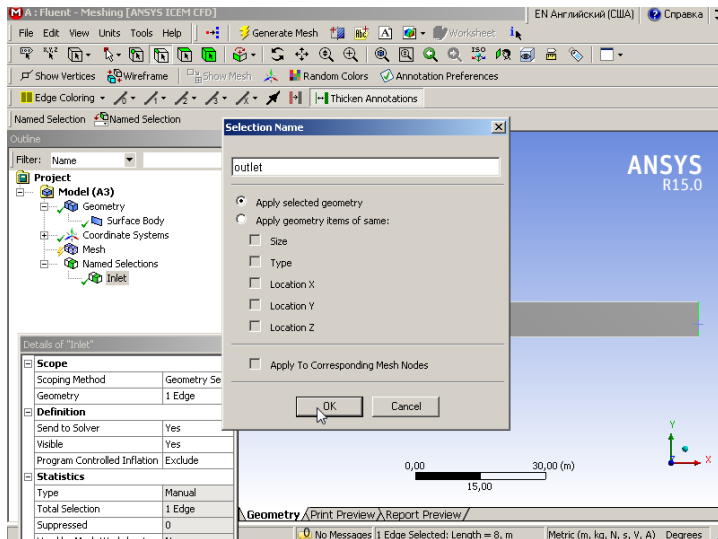


Рис. 14

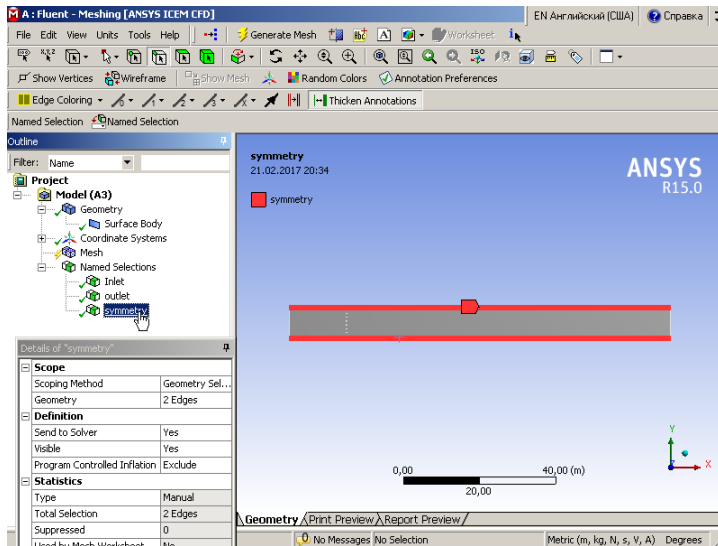



Рис. 15

Шаг 3. После задания границ необходимо задать параметры сетки и построить её. Для этого выбираем в дереве проекта пункт Mesh. В окне детализации устанавливаем значение Relevance Center – Fine(качественная сетка). Smoothing – High (высокое сглаживание). Span Angle Center – Fine. Advanced → Element Mid Side Nodes – Program Controlled. Остальные настройки элементов сетки оставим по умолчанию.

Шаг 4. Вблизи стержней параметры сетки должны быть особенно подробны. В дереве сеткогенератора выбираем пункт Mesh(ПКМ) → Insert → Sizing(Рис. 16). В поле

Geometry фильтром  выбираем 8 линий окружностей, верхнюю и нижнюю плоскости гидродинамической трубы. В окне детализации для Sizing выбираем параметры Element Size – 0,01m. Growth Rate 1,05 – множитель роста ячеек. Score → Scoring Method(Geometry Selection), Geometry(Apply(ЛКМ)) Рис. 17.

Шаг 5. Генерируем сетку.Outline → Mesh(ПКМ) → Generate Mesh. В результате сеткогенератор создаёт сетку наиболее подробную у бесконечных стержней, создающих набегающему потоку периодическую структуру препятствий (Рис. 18). После этого сеткогенератор можно закрыть и вернуться в WORKBENCH. Сохранение сетки произойдёт при этом автоматически. В окне WORKBENCH можно ополнительно

сохранить проект. При этом в 4 строке Setup появится знак зелёных стрелок – указание на готовность к решению задачи.

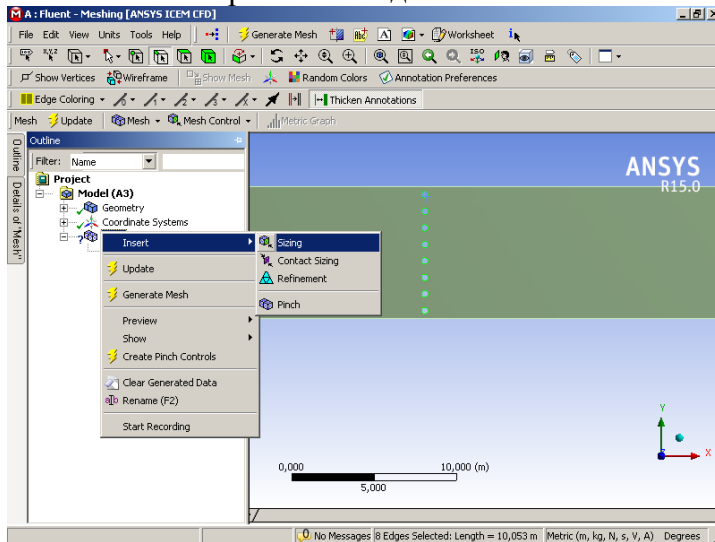


Рис.16

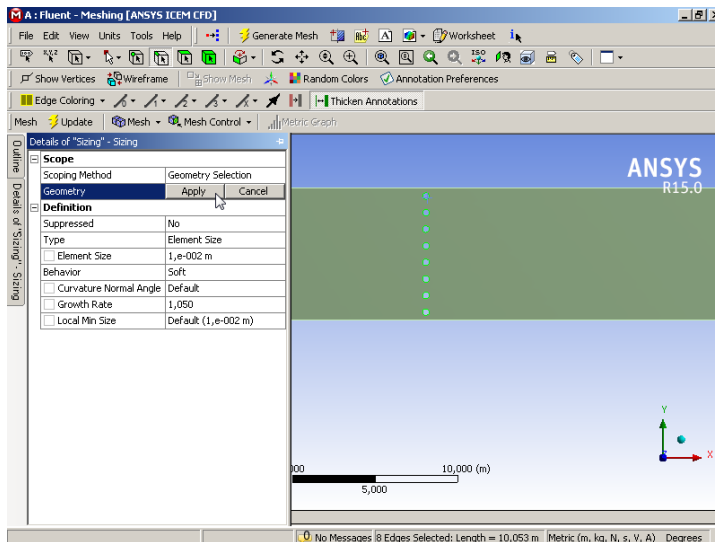


Рис.17

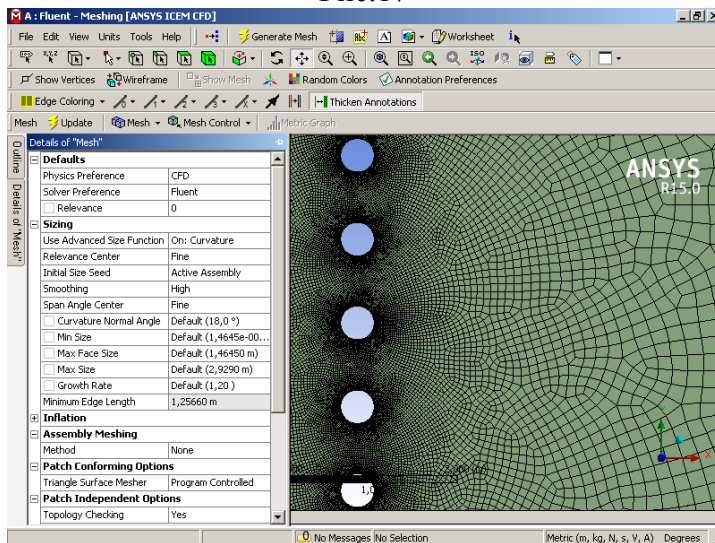


Рис.18

4. Постановка расчётной модели и её решение. Шаг 1. В Workbench дважды нажать (ЛКМ) по строке Setup. Загружается программа Fluent. Вычисления проводим с двойной точностью Double Precision. Все остальные параметры настройки нужно оставить по умолчанию и нажать ок для запуска Fluent(Рис.19).

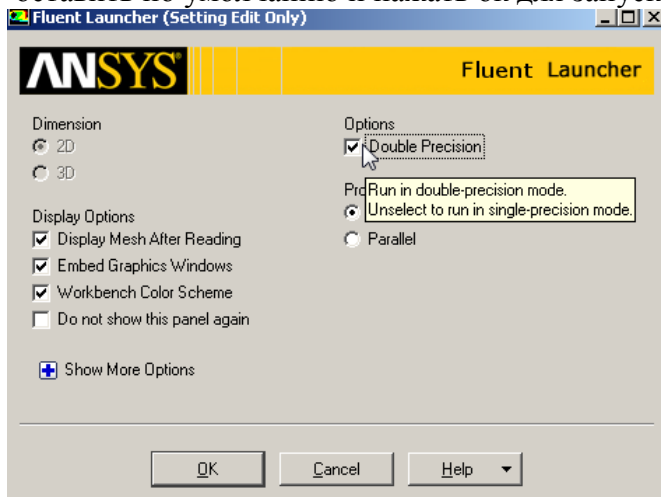


Рис.19

В окне Fluent мы видим загруженную сетку проекта, окна текстовых сообщений о выполнении заданных команд, дерева проекта и панели инструментов. На панели General(общее) собраны инструменты для начальной настройки задачи(Рис.20).

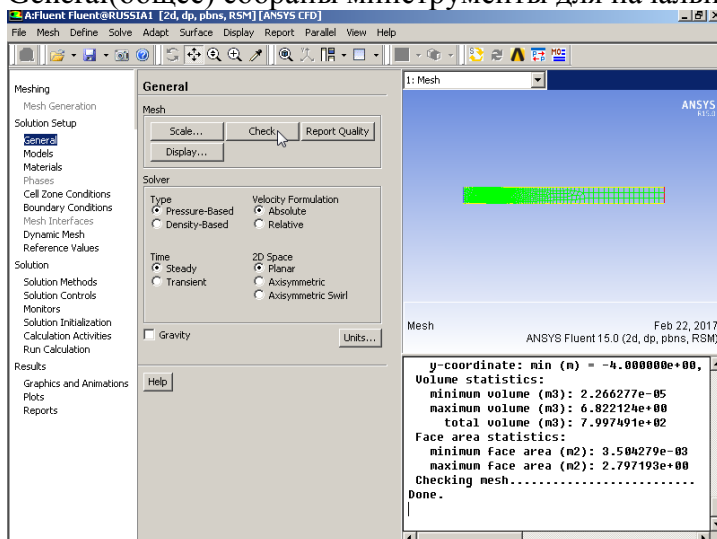


Рис.20

Шаг 1. Проверка качества построенной сетки. Нажать на панели General кнопку Check. Проверка определяет габариты сетки, минимальные и максимальные объемы ячеек и площади их граней. Если в сетке есть ошибки, то выводятся соответствующие сообщения с причиной ошибки. Если ошибок нет, сообщение выглядит как на Рис.21.

Domain Extents:
x-coordinate: min (m) = -2.000000e+01,
y-coordinate: min (m) = -4.000000e+00,
Volume statistics:
minimum volume (m3): 2.266277e-05
maximum volume (m3): 6.822124e+00
total volume (m3): 7.997491e+02
Face area statistics:
minimum face area (m2): 3.504279e-03
maximum face area (m2): 2.797193e+00
Checking mesh.....
Done.

Рис. 21

Шаг 2. Выбор системы уравнений для задачи. Переходим во вкладку Models(ЛКМ) → Viscous-Laminar (ЛКМ – 2 раза) → Reynolds Stress (5 eqn) система гидродинамических уравнений Рейнольдса. Остальные параметры не изменяем. Нажать ок(Рис.22).

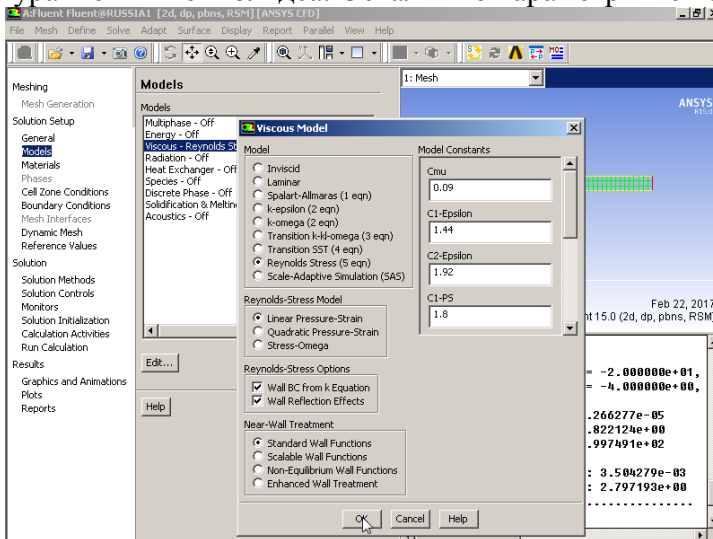


Рис.22

Шаг 3. Добавляем в проект новое рабочее тело. Вкладка Materials нажать кнопку Create/Edit → Fluent Data Base → Water -Liquid → Copy(Рис.23) → Close → Close

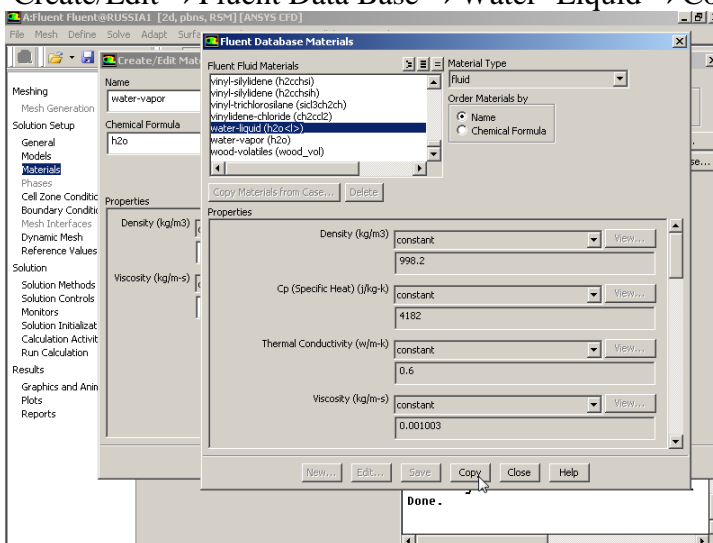


Рис.23

После чего во вкладке Materials в разделе жидкости(Fuild) появилось новое

вещество Water – Liquid.

Шаг 3. Необходимо указать новое рабочее тело для расчётной модели. Переходим во вкладку Cell Zone Conditions → Edit → Material Name(Water – Liquid) → OK(Рис.24).

Шаг 4. Настройка граничных условий. Переходим во вкладку Boundary Condition (граничные условия). В поле Boundary Condition отображаются имена всех границ в задаче. Выбираем Inlet → Type(Velocity – Inlet) → Edit. В окне Velocity – Inlet выставляем величину скорости потока 5м/с, турбулентная интенсивность(Turbulent Intensity - 5%), Specification Method –Intensity and Hydraulic Diameter. . Turbulent Viscosity Rate -10. Нажать OK(Рис.25).

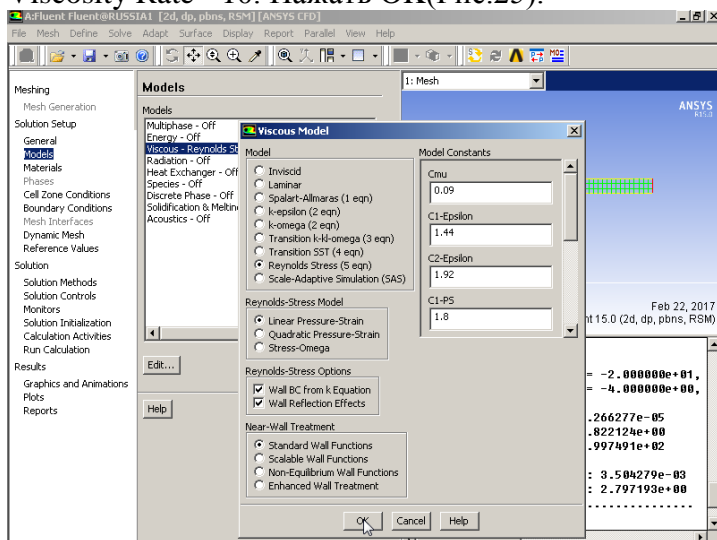


Рис.24

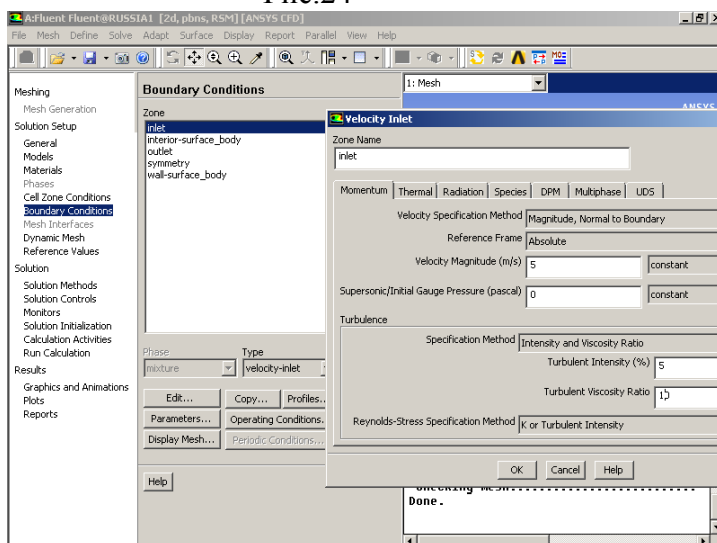


Рис.25

Аналогично настроить граничное условие выхода Outlet.

Type → pressure – outlet (выход с заданием давления)

Momentum

Gauge Pressure (статическое избыточное давление) → 100000

Любое значение давления во Fluent задаётся от уровня опорного(Operation Pressure), Которое по умолчанию равно 1 атм(Рис.26). турбулентная интенсивность(Turbulent Intensity - 5%), Specification Method – Intensity and Hydraulic Diameter. Turbulent Viscosity Rate -10. Нажать OK.

Шаг 5. Необходимо для границы Symmetry применить соответствующий тип граничных условий. Boundary Condition → Symmetry, Type → Symmetry (Рис.27). Нажать ОК.

Шаг 6. Переход к настройке ссылочных параметров осуществляется нажатием кнопки Operation Condition. В открывшемся окне нужно ввести нулевое ссылочное давление(Рис.28).

Шаг 7. Выполнение инициализации расчётной модели(аналог задания начальной итерации при численном решении задачи методом сжатых отображений). Переходим во вкладку Solution Initialization . Выбираем метод стандартной Инициализации – Standard Initialization, в поле Compute from выбирается входная граница области(т.е. решение осуществляется по потоку). На панели нажимаем кнопку Initialize(Рис.29).

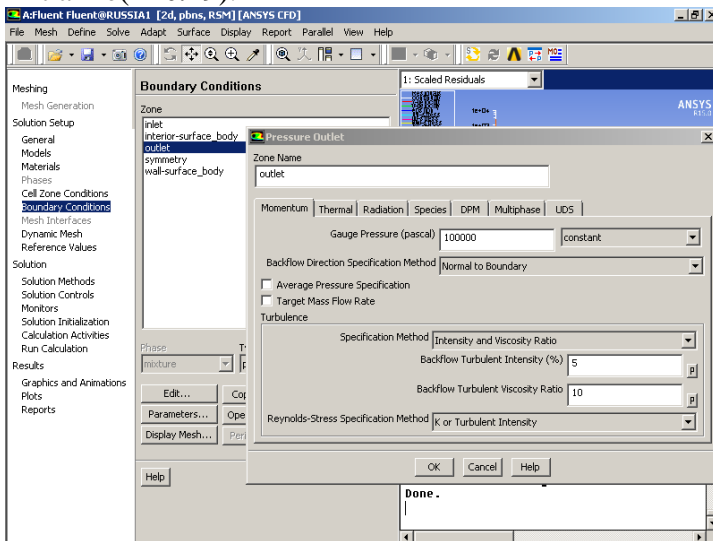


Рис.26

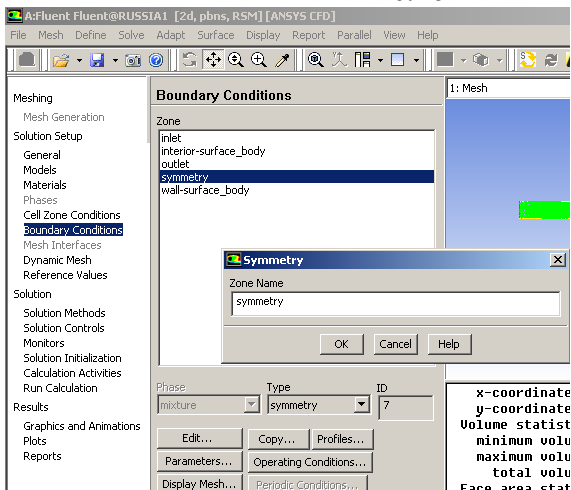


Рис.27

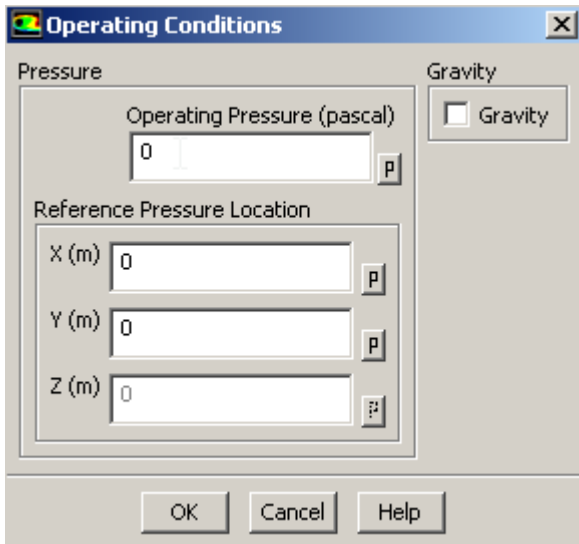


Рис.28

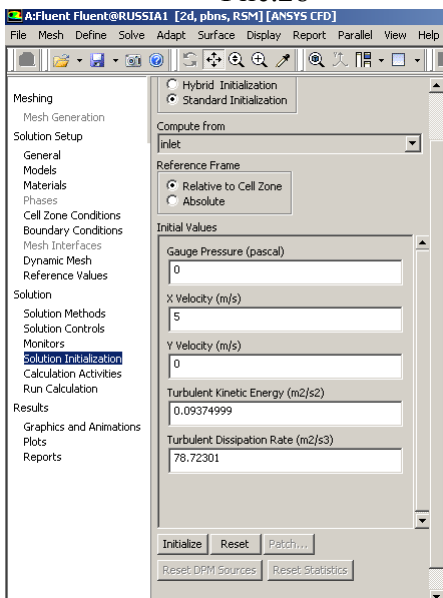


Рис.29

При этом во всей расчётной области начальные параметры в ячейках равны параметрам на входе системы.

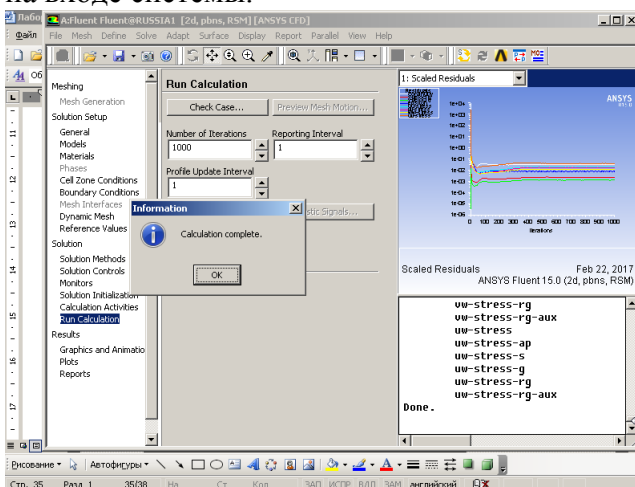


Рис.30

Шаг 8. Начинаем инициализацию решения. Переходим во вкладку Run Calculation, Выбираем число итераций Number of Iterations 1000 и нажимаем кнопку Calculation(вычислять)(Рис.30). На графиках указаны текущие невязки основных параметров расчёта (Residuals), количество итераций может быть меньше задаваемого в таблице, если невязки расчётов не превышают значения (по умолчанию) 0,001. Такое решение считается сошедшимся при появлении надписи в окне сообщений (Solution is converged). В конце необходимо нажать ок.

Шаг 9. Просмотр результатов расчёта. Переходим во вкладку Graphics and Animations (графика и анимация) → Contours(2 ЛКМ) → Options – Field(поставить галочку).

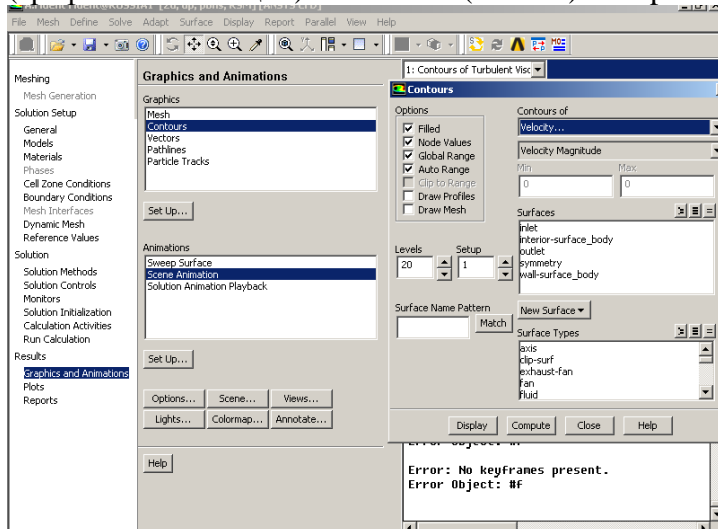


Рис.31

Contours of – Velocity, Velocity Magnitude. Нажать Display. Из Рис.32 видно, что

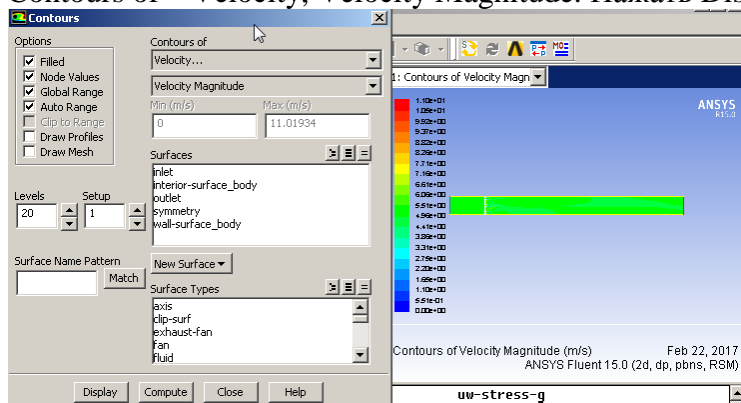


Рис.32

Поле скорости однородно по всей длине гидродинамической трубы, локально изменяясь вблизи поперечной периодической структуры. Рассмотрим распределение молекулярных свойств вдоль горизонтальной оси. Contours of – Properties , Molecular Viscosity. Нажать Display.

Результат показан на Рис.33. Неоднородности молекулярной вязкости расположены однородно и изотропно по всему объёму, более подробно и в меньших масштабах у препятствия с периодической структурой, так как именно там сетка построена наиболее подробно. Поэтому различие в размере неоднородностей объясняется особенностями построения сетки. А физическое поле молекулярной вязкости полностью однородно. Действительно, молекулярная вязкость определяется длиной свободного пробега молекулы воды, что намного меньше диаметра стержня 40см или расстояния между стержнями. Поэтому её свойства не могут зависеть от механического

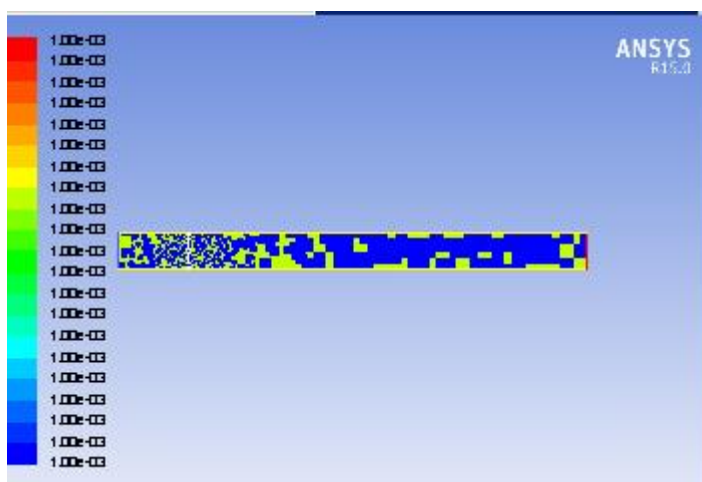


Рис.33.

препятствия таких размеров.

Теперь рассмотрим поле турбулентной кинетической энергии вдоль потока. Contours of Turbulence , Turbulence Kinetic Energy . Нажать Display.

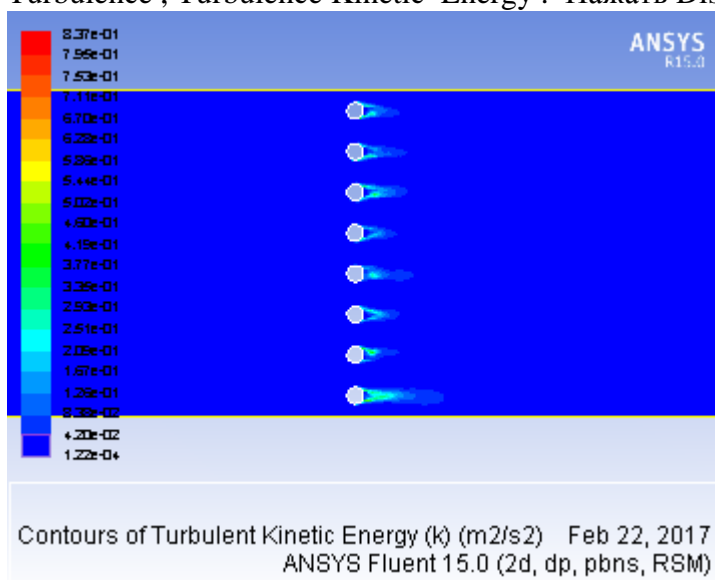


Рис.34

Мы видим, что с небольшим различием области с максимальной турбулентной энергией находятся за препятствиями по потоку, т.е. порождаются препятствиями. Однако, кинетическая энергия турбулентных вихрей порядка диаметра препятствия переходит в осредненную энергию среднего движения и мелкое вихревое движение подавляется потоком(Рис.34).

Поле коэффициента турбулентной вязкости локально у периодического препятствия показано на Рис.35 и по всей длине модели на Рис.36. Contours of Turbulence , Turbulence Viscosity Ratio. Нажать Display.

На Рис.35 видно, что области турбулентной вязкости, порождаемые препятствием, тоже могут быть подавлены средним потоком, так происходит за 1,2,3,4,6,7 стежнями. Однако время жизни или длина турбулентного следа гораздо больше чем у соответствующих областей для турбулентной кинетической энергией. Кроме того по следу генерируются и отрываются по потоку мелкие интенсивные области вязкости, которые увеличивают длину вязкого следа, рассасываясь в нём. Такие вихри образуются в шахматном порядке за симметричным препятствием и носят название

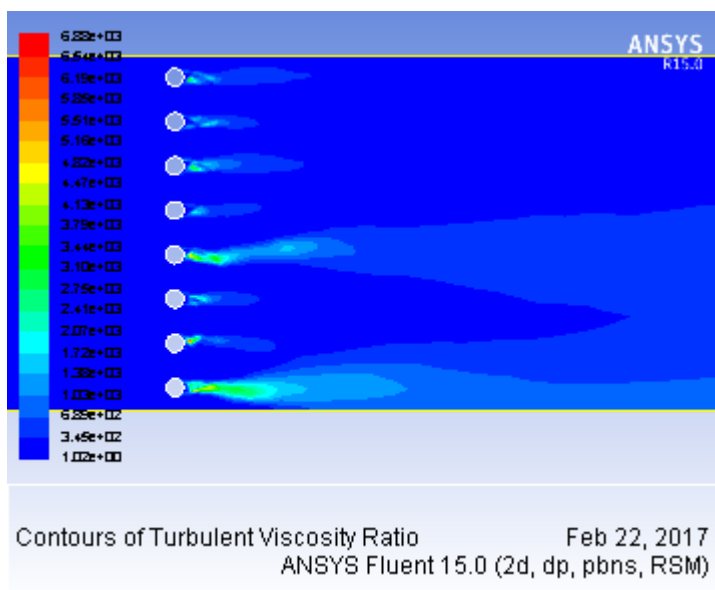


Рис.35

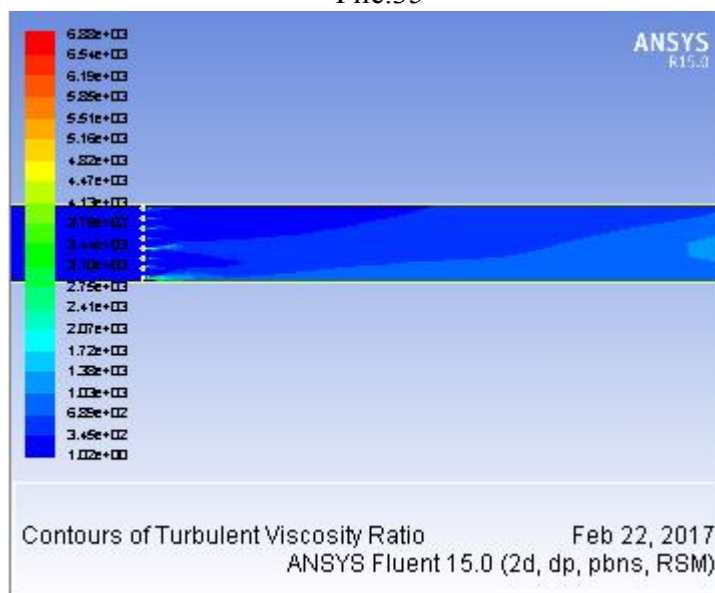


Рис.36

дорожки Кармана. Кроме того, стенки модели также являются своеобразным генератором вязкой турбулентности аналогично 8 рассматриваемым стержням. Как видно из Рис. 36, нижний 8 след особенно интенсивный от стержня до конца потока благодаря близкому взаимодействию с нижней пластиной. Наконец, на Рис. 36 5 и 8 след перекрывают полное сечение потока и за утроенным поперечным масштабом сбегаящий поток воды можно считать полностью развитым турбулентным потоком относительно величины турбулентной вязкости.

Интересно также отметить поле динамического давления Рис.37. Оно полностью однородно до препятствия. Но является сильно неоднородным после периодической структуры. Легко объяснить объяснить светлые зелёные периодические области между стержнями. Здесь работает уравнение неразрывности $S_1 v_1 = S_2 v_2$ - уменьшается сечение

– увеличивается скорость воды и динамическое давление по формуле $p = \frac{\rho v^2}{2}$ (1).

Но за препятствием из ряда стержней вся периодическая закономерность теряется !

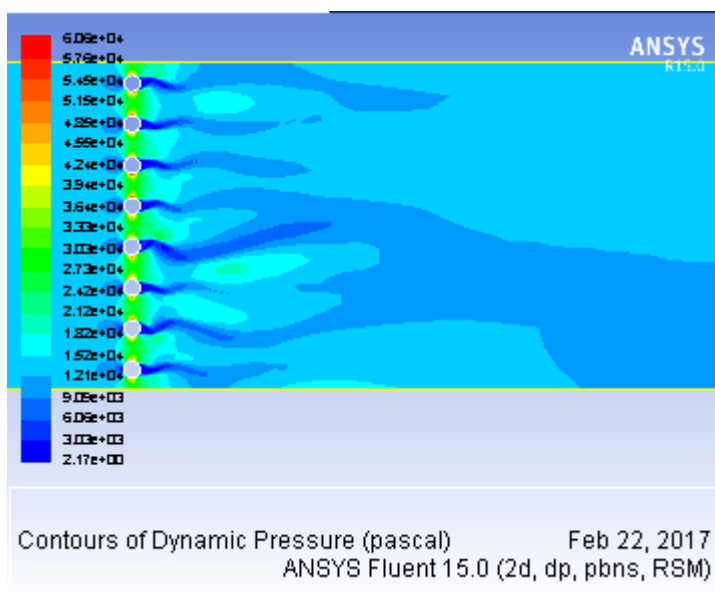
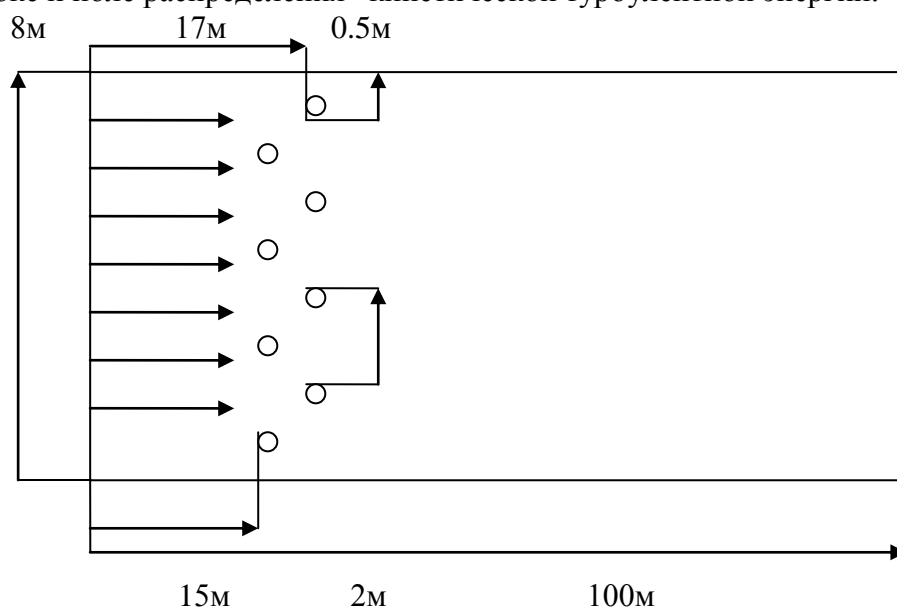


Рис. 37

Мы фиксируем случайно вытянутые языки и следы как с большим так и с низким динамическим давлением. Зелёные овальные замкнутые области можно связать с крупными вихрями. А случайные следы длиной в 10 – ки раз превышающие диаметр стержней можно связать только с турбулентной вязкостью. Другими словами динамическое давление не может быть описано такой простой формулой (1), но зависит от локальных свойств турбулентной вязкости.

Задания для самостоятельной работы 2

Двумерный поток жидкости движется между двумя параллельными бесконечно широкими горизонтальными плоскостями длиной 100м. Расстояние между плоскостями 8м. Входная скорость потока 5м/с при атмосферном давлении и температурой 20 С. На выходе системы задано избыточное давление 1 атмосфера. Поток воды встречает преграду из 8 горизонтальных длинных стержней, расположенных поперёк потока в шахматном порядке. Диаметр стержней 40см, расстояние между ними 1 м. Определить поле распределения скорости жидких частиц в потоке и поле распределения кинетической турбулентной энергии.



Литература:

- 1) Кривцов А.В. Знакомство с CAE – системой анализа течений жидкости и газа ANSYS Fluent. Самарский государственный аэрокосмический университет. Самара 2013.
- 2) Кривцов А.В. Изучение качества влияния сетки и моделей турбулентности на результаты CFD – расчёта в ANSYS Fluent. Самарский государственный аэрокосмический университет. Самара 2013.