МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Саровский физико-технический институт-филиал НИЯУ МИФИ

Физико-технический факультет

Кафедра теоретической и экспериментальной механики

**Речкин В.Н**., **Вяткин Ю.А.,** **Пухов М.А., Медведев Е.С**.

**ПРАКТИКУМ**

по курсу

**«Вычислительная механика»**

Учебно-методическое пособие

для студентов,

обучающихся по специальностям / направлениям подготовки

15.03.03 Прикладная механика и

15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

УТВЕРЖДЕНО

Заседанием кафедры ТиЭМ

Зав. кафедрой ТиЭМ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ А.Л. Михайлов

Научно-методическим советом СарФТИ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ А.П. Скрыпник

Саров 2022

УДК 539.3 (075)

Речкин В.Н., Вяткин Ю.А., Пухов М.А., Медведев Е.С. Практикум по курсу «Вычислительная механика»: *Учебно-методическое пособие для студентов*. СарФТИ НИЯУ МИФИ, 2022. – 47 с.

Методическое пособие составлено в помощь студентам для выполнения практических заданий по дисциплине «Вычислительная механика».

Практические задания, представленные в учебно-методическом пособии, необходимы для подготовки студента к эффективному решению наиболее распространенных практических задач механики деформируемого твердого тела на основе метода конечного элемента в пакете программ (ПП) ЛОГОС. Полученные навыки студенты успешно применяют при прохождении производственной, преддипломной практики и после окончания учебного заведения.

В достаточном объёме рассмотрены особенности подготовки исходных данных, на которые необходимо обратить особое внимание при численном решении задач механики деформируемого твердого тела в отечественном ПП ЛОГОС.

**перечень сокращений и обозначений**

В настоящем учебно-методическом пособии для студентов применяют следующие сокращения и условные обозначения:

КЭМ – конечно-элементная модель;

НДС – напряжённо-деформированное состояние;

ПП – пакет программ;

ПКМ – правая кнопка мыши;

ЛКМ – левая кнопка мыши.

Содержание

[Введение 6](#_Toc104843592)

[1. Поперечный изгиб консольной балки 7](#_Toc104843593)

[1.1. Создание модели ЛОГОС – Прочность 7](#_Toc104843594)

[1.2. Создание геометрической модели 8](#_Toc104843595)

[1.3. Загрузка готовой геометрической модели в ПреПроцессор ЛОГОС 10](#_Toc104843596)

[1.4. Построение конечно-элементной модели 11](#_Toc104843597)

[1.5. Построение конечно-элементной модели протягиванием поверхностной сетки. 12](#_Toc104843598)

[1.6. Построение конечно-элементной модели методом блочной генерации 15](#_Toc104843599)

[1.7. Создание подобластей 16](#_Toc104843600)

[1.8. Создание наборов данных 17](#_Toc104843601)

[1.9. Выбор типа задачи 19](#_Toc104843602)

[1.10. Задание материала 19](#_Toc104843603)

[1.11. Задание параметров счётных модулей 21](#_Toc104843604)

[1.12. Создание функциональной зависимости 22](#_Toc104843605)

[1.13. Задание нагрузок 23](#_Toc104843606)

[1.14. Задание граничных условий 25](#_Toc104843607)

[1.15. Выбор дополнительных данных 26](#_Toc104843608)

[1.16. Тактика счёта 26](#_Toc104843609)

[1.17. Выполнение расчетов 27](#_Toc104843610)

[1.18. Обработка результатов 28](#_Toc104843611)

[2. Решение статических задач с тепловым воздействием 34](#_Toc104843612)

[2.1. Особенности задания материалов 34](#_Toc104843613)

[2.2. Задание параметров счётных модулей 36](#_Toc104843614)

[2.3. Функциональные зависимости 37](#_Toc104843615)

[2.4. Нагрузки 37](#_Toc104843616)

[2.5. Граничные условия 38](#_Toc104843617)

[3. Решение статических задач с давлением 39](#_Toc104843618)

[3.1. Задание наборов узлов 39](#_Toc104843619)

[3.2. Задание нагрузки 42](#_Toc104843620)

[4. Решение задач на инерционную нагрузку 42](#_Toc104843621)

[4.1. Создание набора данных 43](#_Toc104843622)

[4.2. Задание материала 44](#_Toc104843623)

[4.3. Задание инерционной нагрузки 44](#_Toc104843624)

[4.4. Задание граничных условий 45](#_Toc104843625)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 46](#_Toc104843626)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 47](#_Toc104843627)

# Введение

Курс «Вычислительная механика» является составной частью цикла специальной подготовки студентов по специальностям 15.03.03 – “Прикладная механика” и 15.03.05 “Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств”. Целью изучения данного курса является подготовка студентов к самостоятельной деятельности по численному решению задач механики деформируемого твердого тела. Основными задачами курса являются изучение студентами подходов к решению задач на основе функциональных возможностей ПП ЛОГОС. Практические занятия являются формой индивидуально-группового обучения и предназначены для закрепления теоретического материала на основе решения соответствующих практических задач.

1. Поперечный изгиб консольной балки

**Постановка задачи:** стальная консольная балка квадратного сечения изгибается под действием силы 50 Н, приложенной на свободном конце в поперечном направлении (рисунок 1.1). Модуль Юнга материала балки – 2×105 МПа, коэффициент Пуассона – 0,3. Ребро сечения составляет 10 мм, длина балки – 200 мм.

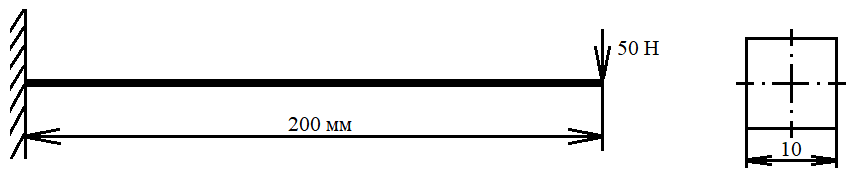
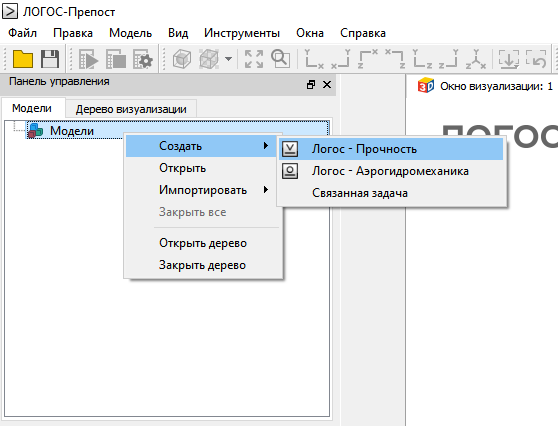


Рисунок 1.1 – Расчетная схема

## Создание модели ЛОГОС – Прочность

Для создания проекта ЛОГОС – Прочность необходимо выполнить следующие действия, показанные на рисунках 1.1.1 и 1.1.2:

* в дереве модели ПКМ нажать на «Модели»;

Рисунок 1.1.1 – Создание модели

* нажать ЛКМ «Создать»;
* ЛКМ нажать «ЛОГОС – Прочность»;
* в окне «параметры расчетной задачи» нажать ЛКМ на ;
* выбрать или создать рабочую папку, в ней будет сохранен проект задачи;
* нажать ЛКМ «Сохранить».

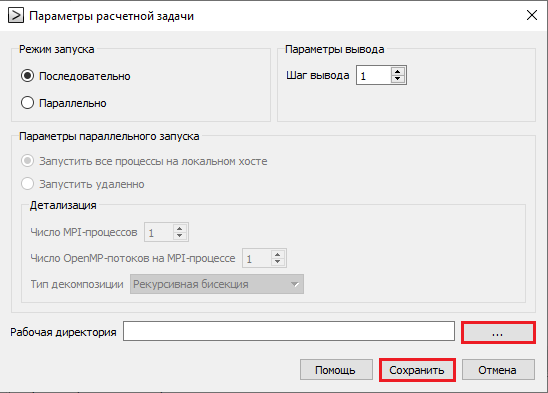
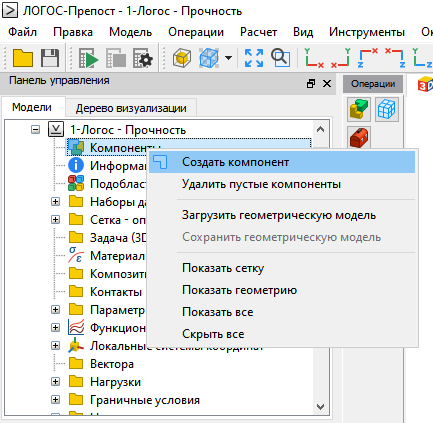


Рисунок 1.1.2 – Параметры расчетной задачи

## Создание геометрической модели

Для построения геометрической модели необходимо выполнить операцию «Создать компонент». Для этого необходимо выполнить действия, показанные на рисунках 1.2.1 и 1.2.2:

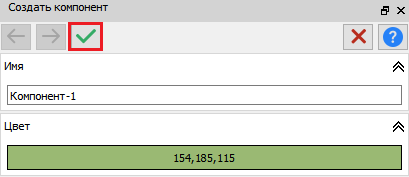
* в дереве модели нажать ПКМ «Компоненты»;
* ЛКМ «Создать компонент»;
* в окне «Создать компонент», нажать на .

Рисунок 1.2.2 – Создание компонента

Рисунок 1.2.1 – Создание компонента

После создания компонента создаётся геометрическая модель. Для этого необходимо выполнить действия, показанные на рисунке 1.2.3:

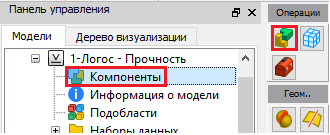
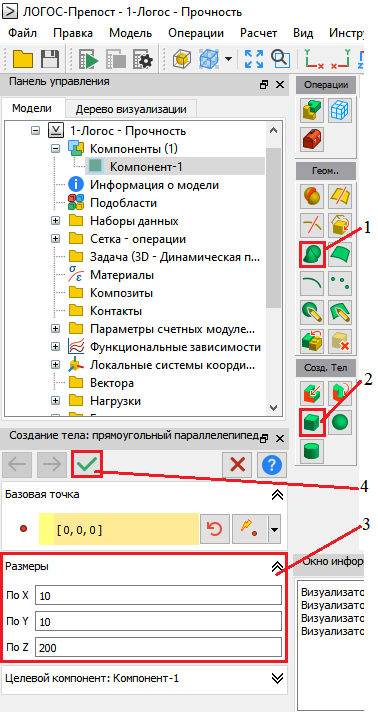
* ЛКМ нажать на «Компонент-1», чтобы в дальнейшем геометрические тела, ребра и грани сохранялись в этом компоненте;

Рисунок 1.2.3 – Создание геометрии

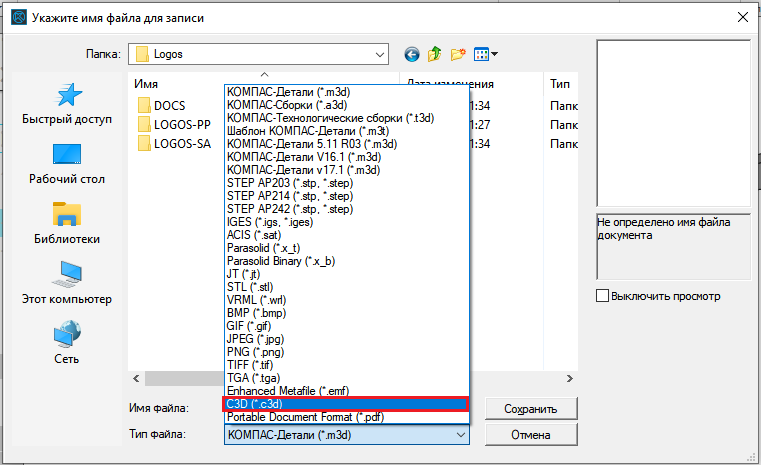
* перейти в операции с геометрией, нажав .

Для построения геометрической модели консольной балки квадратного сечения с длиной 200 мм и стороной 10 мм необходимо выполнить следующие действия, показанные на рисунке 1.2.4:

* выбрать «Создание тел»;
* выбрать «Создание тел: прямоугольный параллелепипед»;
* задать размеры балки по осям X, Y, Z;
* нажать .

Рисунок 1.2.4 – Создание геометрической модели

## Загрузка готовой геометрической модели в ПреПроцессор ЛОГОС

В ПреПроцессоре ЛОГОС имеется функционал для загрузки готовых геометрических моделей, которые были созданы в CAD программах, например, в КОМПАС-3D. При этом рекомендуется, чтобы файл имел формат «c3d» или «x\_t».

Геометрическая модель балки, создана в КОМПАС-3D и сохранена в формате «c3d», как показано рисунке 1.3.1.

Рисунок 1.3.1 – Формат CAD файла

Для загрузки геометрии в ПреПроцессор, необходимо выполнить следующие действия, показанные на рисунках 1.3.2 и 1.3.3:

* в дереве модели ПКМ нажать на «Компонент-1;
* ЛКМ выбрать «Загрузить геометрическую модель»;
* нажать .

## Построение конечно-элементной модели

Рисунок 1.3.3 – Загрузка геометрической модели

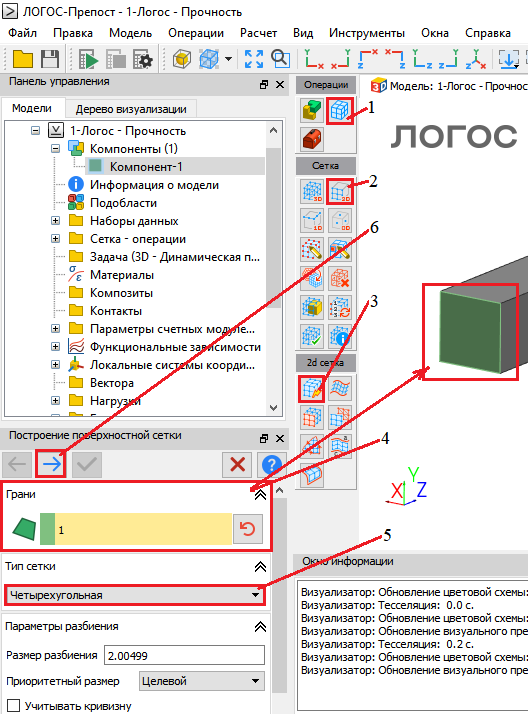
Рисунок 1.3.2 – Загрузка геометрической модели

При построении КЭМ следует руководствоваться следующим подходам:

* При построении регулярной сетки необходимо, чтобы углы между ребрами элементов стремились к 90о, а отношение ширины элемента к его длине, было не более 1/7. Известно, что более мелкая сетка даст более точный результат. Тем не менее, большое количество элементов в мелкой сетке потребует больших затрат в плане оперативной памяти ПЭВМ и расчетного времени.
* Минимальное количество разбиений толстостенных и тонкостенных оболочек не должно быть меньше трех элементов. Такое разбиение позволяет выполнить достаточно точный и менее затратный по времени расчет.

Для построения регулярной сетки чаще всего используют два метода: метод блочной генерации и метод «протягивания» поверхностной сетки.

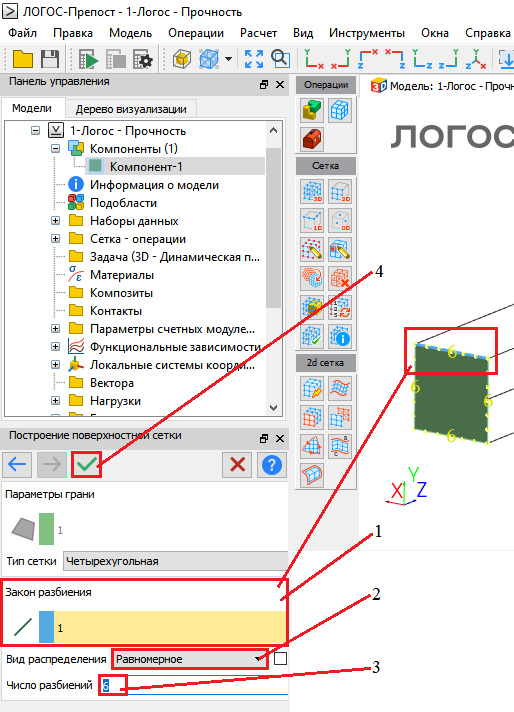
## Построение конечно-элементной модели протягиванием поверхностной сетки.

Для построения поверхностной сетки, необходимо выполнить следующие действия, показанные на рисунке 1.5.1:

* нажать на «Операции с сеткой»;
* выбрать «Генерация поверхностной сетки»;
* затем «Построение поверхностной сетки»;
* выбрать грань на торце балки;
* в «Тип сетки» выбрать «Четырехугольная»;

Рисунок 1.5.1 – Построение поверхностной сетки

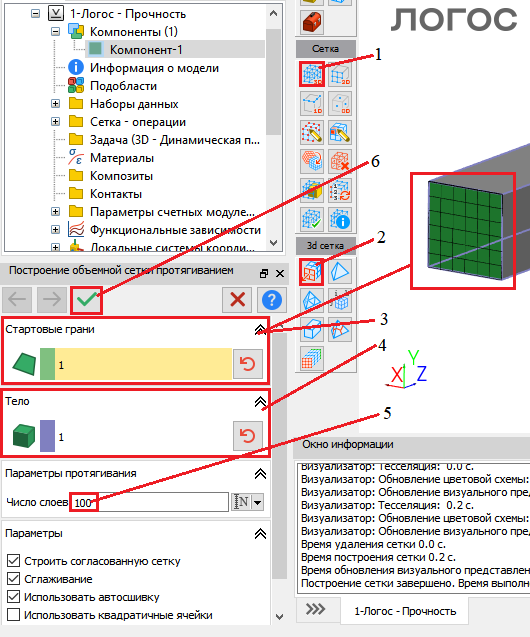
* нажать .



Далее необходимо задать параметры разбиения рёбер, как показано на рисунке 1.5.2:

* выбрать ребро;
* задать вид распределения «Равномерное»;
* задать число разбиений;
* нажать .

Рисунок 1.5.2 – Построение поверхностной сетки

Построение продолжается протягиванием поверхностной сетки вдоль тела, для этого необходимо, как показано на рисунке 1.5.3, выполнить следующие действия:

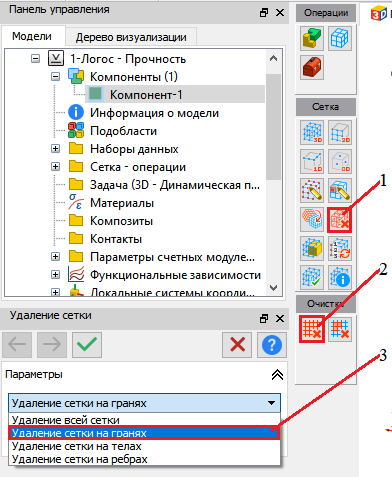
* выбрать «Генерация объёмной сетки»;
* «построение объёмной сетки протягиванием»;
* выбрать грань с поверхностной сеткой;
* выбрать тело;
* задать число слоёв;
* нажать .

Рисунок 1.5.3 – Протягивание поверхностной сетки

Для того, чтобы элементы поверхностной сетки не участвовали в расчетах, поверхностная сетка удаляется, так как иначе, расчеты будут выполнены некорректно. Для удаления необходимо выполнить действия, показанные на рисунке 1.5.4:

* выбрать «удаление сетки»;
* в следующем модуле «очистка» так же выбрать «удаление сетки»;
* затем в параметрах выбрать «удаление сетки на гранях».

Рисунок 1.5.4 – Удаление поверхностной сетки

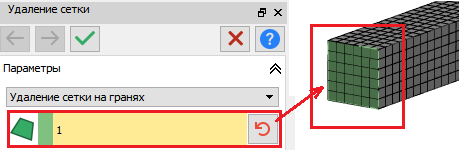
В окне «параметры» также необходимо выбрать грань на торце балки, с созданной ранее поверхностной сеткой, как показано на рисунке 1.5.5. Далее нажимаем .

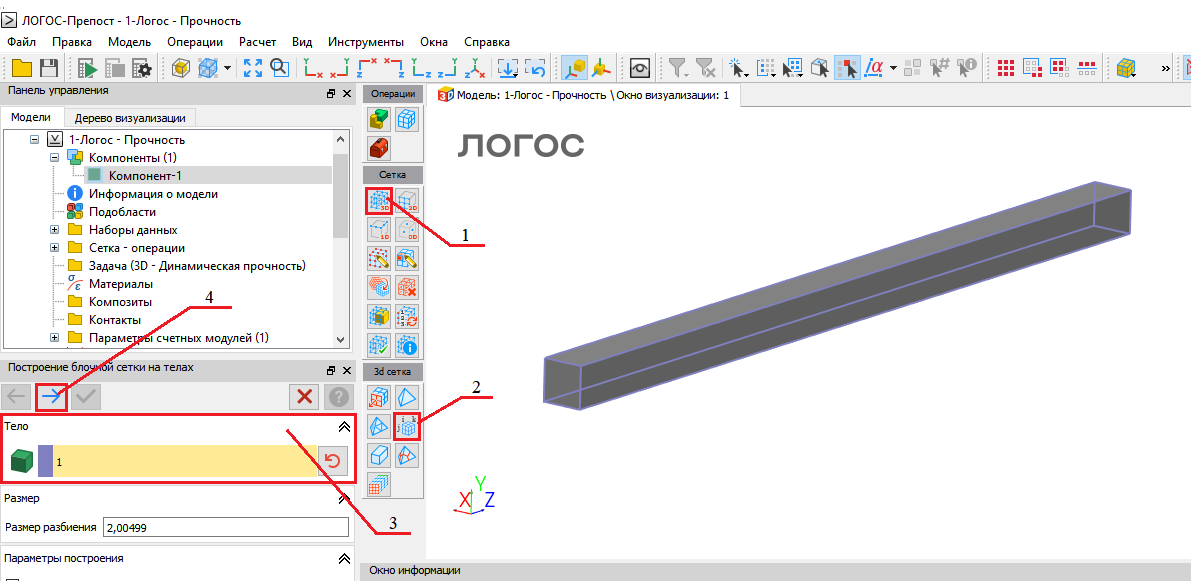
Рисунок 1.5.5 – Удаление поверхностной сетки

Чтобы убедиться в том, что поверхностная сетка удалена, в окне информации должно появиться сообщение «Удалена сетка на грани id = …», как показано на рисунке 1.5.6.



Рисунок 1.5.6 – Окно информации

## Построение конечно-элементной модели методом блочной генерации

Метод блочной генерации применим для простых геометрических объектов, имеющих форму параллелепипеда или близкую к ней.

Для построения необходимо выполнить следующие действия, показанные на рисунке 1.6.1:

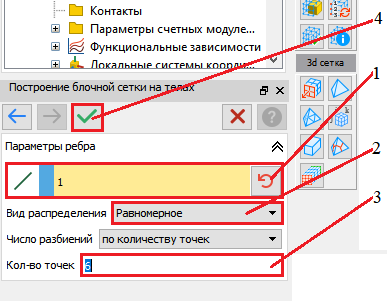
1. выбрать «Генерация объёмной сетки»;
2. «построение блочной сетки на телах»;
3. выбрать балку, нажав на неё;
4. нажать .

Рисунок 1.6.1 – Генерация сетки

В параметрах блочной сетки на телах необходимо выполнить следующие действия, показанные на рисунках 1.6.2 и 1.6.3:

1. выбрать ребро, на котором нам нужно изменить количество точек;



1. задать вид распределения «равномерное»;

Рисунок 1.6.2 – Параметры генерации

1. задать необходимое количество точек;
2. нажать.

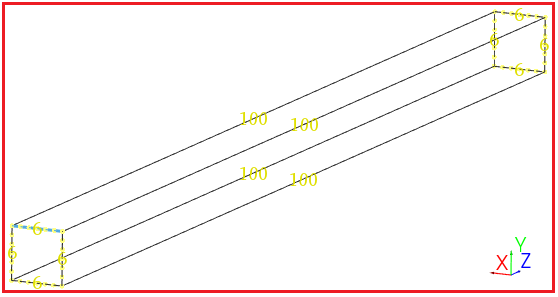


Рисунок 1.6.3 – Задание количеста разбиений

## Создание подобластей

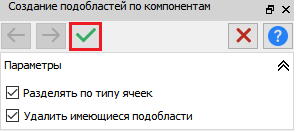
Для создания подобласти необходимо нажать ПКМ в дереве модели на «Подобласти» и выбрать «Создать по компонентам», далее нажать , как показано на рисунках 1.7.1 и 1.7.2.

Рисунок 1.7.2 – Создание подобластей

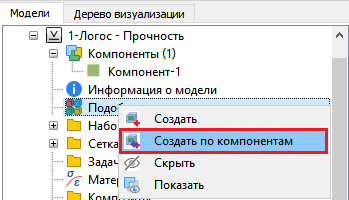
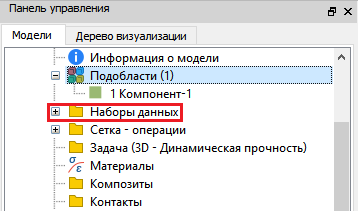


Рисунок 1.7.1 – Создание подобластей

## Создание наборов данных

Для подготовки модели к расчёту необходимо определить два набора узлов для задания условий закрепления и нагрузки. В дереве модели рядом с наборами данных нужно нажать , ПКМ на «Наборы узлов» и выбрать добавить, как показано рисунке 1.8.1.



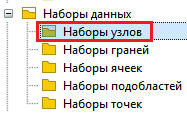
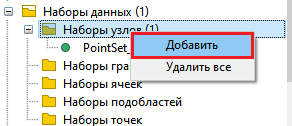


Рисунок 1.8.1 – Создание наборов узлов

Далее нужно выбрать узлы. Для этого нажимаем , чтобы не выбирать каждый узел отдельно, а выделить сразу все узлы на грани. Когда нужные узлы выбраны, нажимаем , как показано на рисунке 1.8.2. Первый набор узлов «PointSet\_1» будет использован в дальнейшем для задания граничных условий.

Для удобства при дальнейшем задании условий закрепления в расчетной модели, наборы узлов можно переименовывать по желанию пользователя.

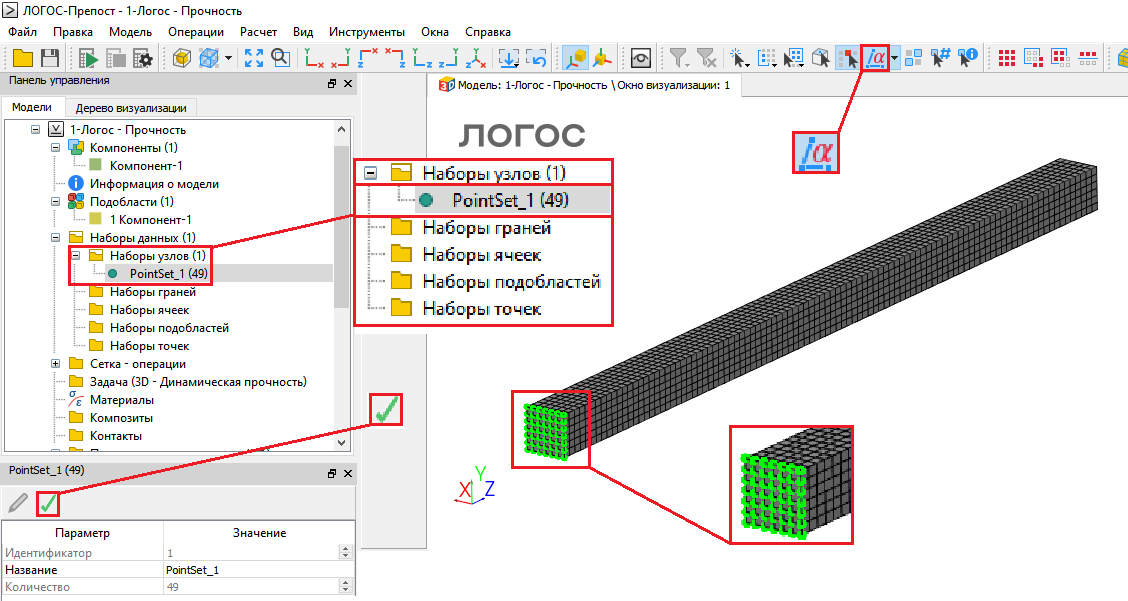


Рисунок 1.8.2 – Создание набора узлов

Аналогичным образом, как показано на рисунке 1.8.3, создаётся второй набор узлов с другого торца. Этот набор будет использован для задания параметров нагрузки.

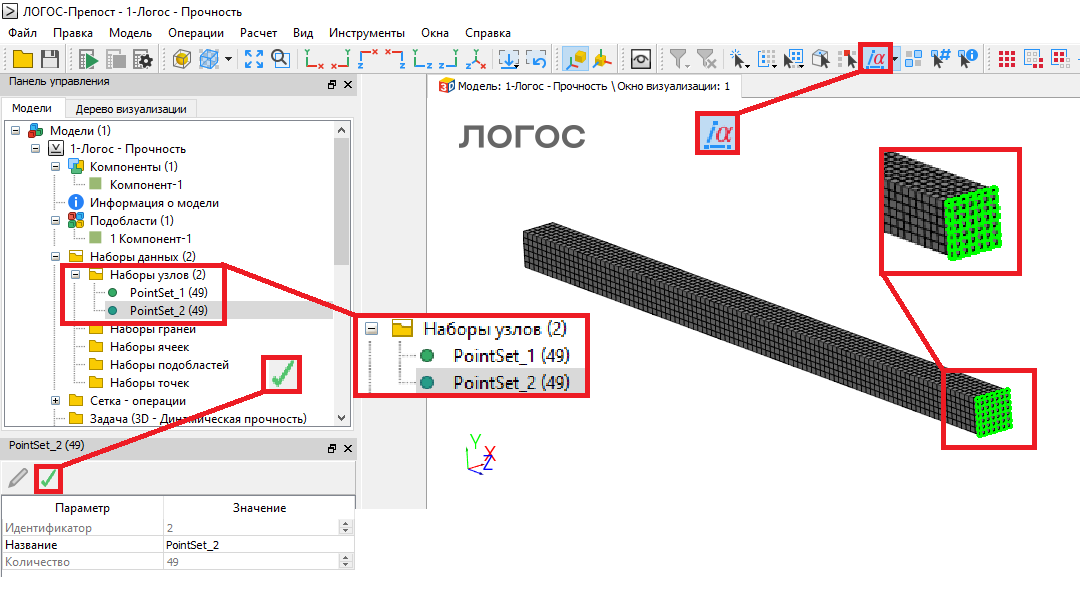


Рисунок 1.8.3 – Создание набора узлов

## Выбор типа задачи

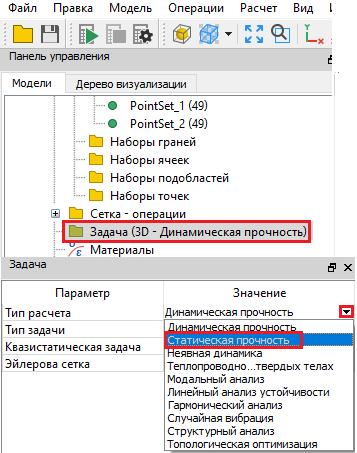
В дереве модели нужно найти вкладку «Задача (3D – Динамическая прочность)» и нажать ЛКМ. В значении нужно изменить тип задачи, с «Динамическая прочность» на «Статическая прочность», как показано на рисунке 1.9.1.

Рисунок 1.9.1 – Выбор типа задачи

## Задание материала

Как показано на рисунке 1.10.1, в дереве модели необходимо найти вкладку «Материалы», нажать на нее ПКМ и выбрать «Добавить».

Как показано на рисунке 1.10.2. нужно ПКМ нажать на «1 Материал\_1» и выбрать «Свойства».

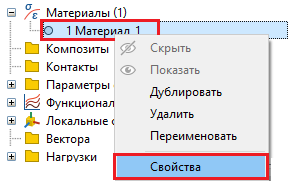
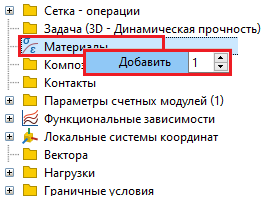


Рисунок 1.10.1 – Задание материала

Рисунок 1.10.2 – Задание материала

В свойствах материала необходимо выполнить следующее, как показано на рисунке 1.10.3:

* выбрать «Модель деформирования»;
* так как задача упругая, нужно открыть вкладку «Упругие»;
* так как балка стальная, нужно выбирать тип модели «Изотропная»;
* в параметрах модели задать модуль Юнга и коэффициент Пуассона;
* нажать .

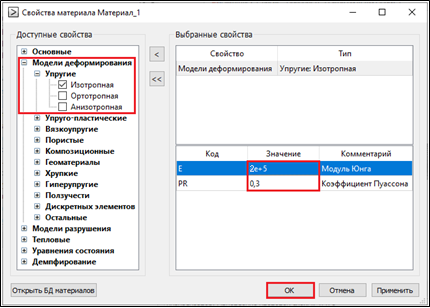
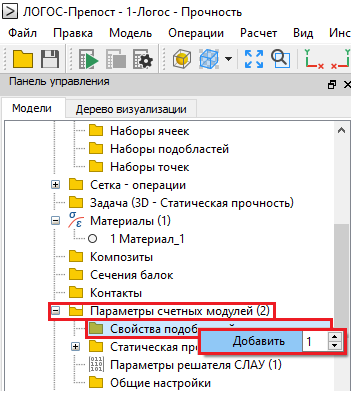
****

Рисунок 1.10.3 – Задание материала

## Задание параметров счётных модулей

Для задания параметров счетных модулей необходимо найти соответствующую вкладку в дереве модели, ПКМ нажать на «Свойства подобластей», выбрать «Добавить». На созданный набор нужно нажать ПКМ и выбирать «Свойства», как показано на рисунке 1.11.1.

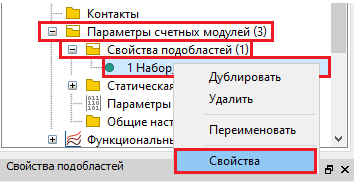


Рисунок 1.11.1 – Создание набора подобластей

Далее, как показано на рисунке 1.11.2, выбирается «1 Компонент\_1» и переносится в соседнюю колонку, нажатием на . Во вкладке «Материал» выбирается «1(Материал\_1)». В функциях формы нужно выбрать «Несовместные (EAS)».

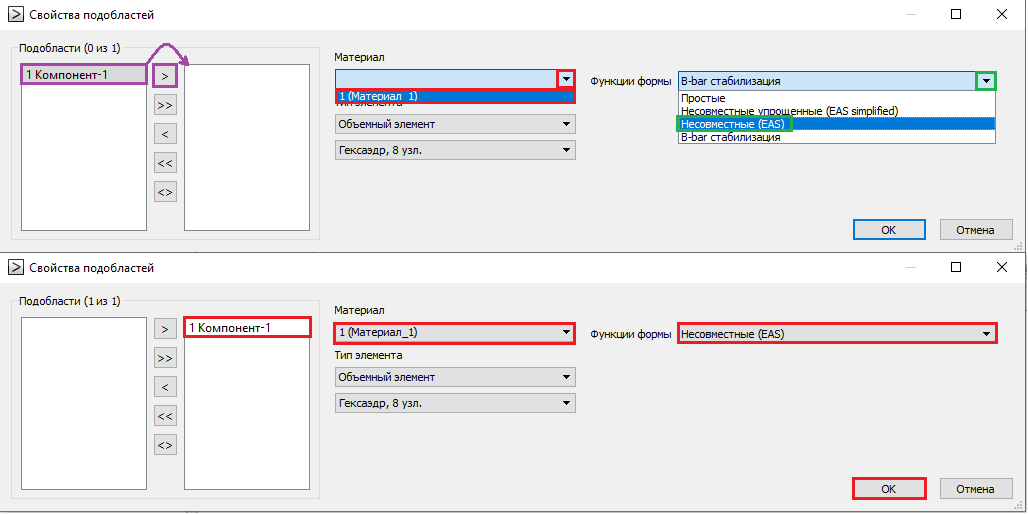


Рисунок 1.11.2 – Задание свойств подобластей

После проверки параметров нажать , как показано на рисунке 1.11.3.

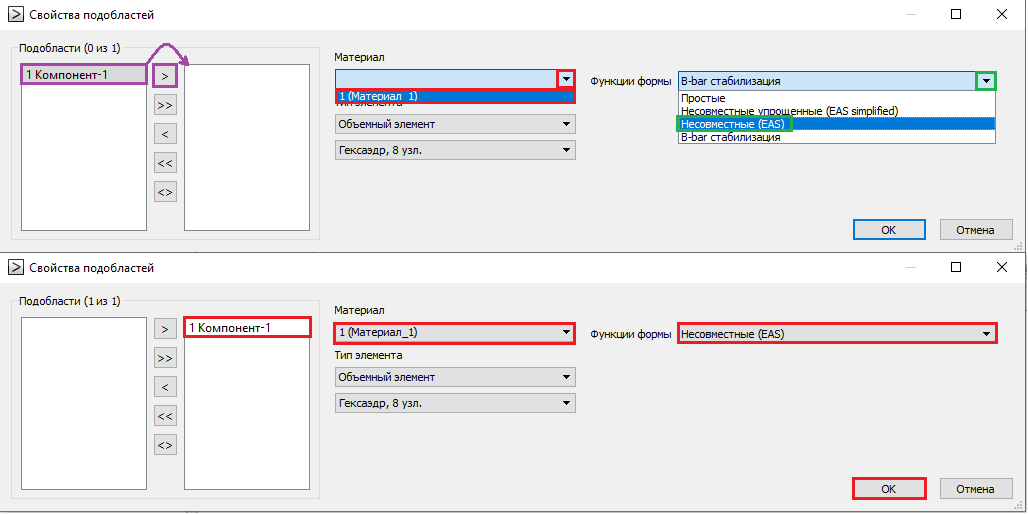


Рисунок 1.11.3 – Проверка

## Создание функциональной зависимости

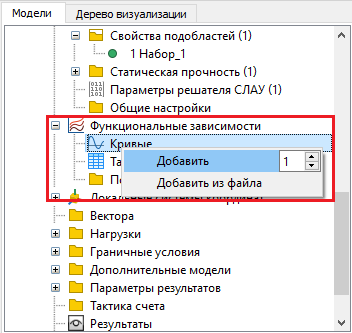
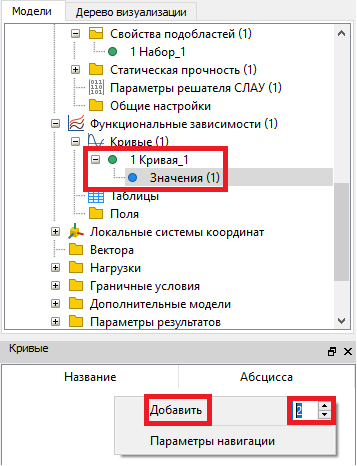
В дереве модели нужно (рисунок 1.12.1):

Рисунок 1.12.1 – Создание функциональной зависимости

* найти «Функциональные зависимости»;
* раскрыть вкладку;
* ПКМ нажать на «Кривые» и выбрать «Добавить».

Как показано на рисунке 1.12.2, раскрывается вкладка «1 Кривая\_1» и выбирается «Значения». В пустом месте под столбцом «Название» необходимо нажать ПКМ, в появившемся окне справа задать «2» и нажать «Добавить».

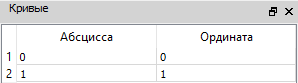
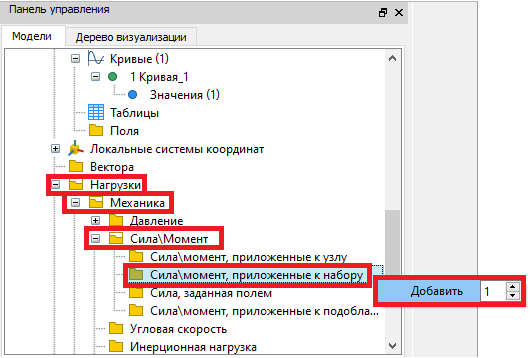
Задаются точки (0,0) и (1,1), как показано на рисунке 1.12.3.

Рисунок 1.12.2 – Задание кривой

Рисунок 1.12.3 – Кривые

Эта кривая характеризует действие силы, т.е. в начальный момент времени сила равна нулю, а в момент времени 1 сила будет равна 100%.

## Задание нагрузок



В дереве модели находится вкладка «Нагрузки» и, как показано на рисунке 1.13.1, последовательно раскрываются вкладки:

* «Нагрузки»;
* «Механика»;
* «Сила\Момент».

Рисунок 1.13.1 – Задание нагрузки

ПКМ нужно нажать на «Сила\момент, приложенные к набору» и выбрать «Добавить».

Выбрав первый набор, как показано на рисунке 1.13.2, в параметрах задаются следующие значения, как показано на рисунке 1.13.3:

Рисунок 1.13.2 – Задание силы

* в наборе узлов – «2 (PointSet\_2)»;
* в степенях свободы – «Нагрузка в направлении оси y»;
* в типе задания «Константа» меняется на «Кривая»;
* нагрузка распределяется по узлам, поэтому в множителе задаём -50/49 Н (длина делится на количество узлов), т.е. -1,02 Н. Минус ставится, чтобы нагрузка действовала против оси Y, т.е. вниз.

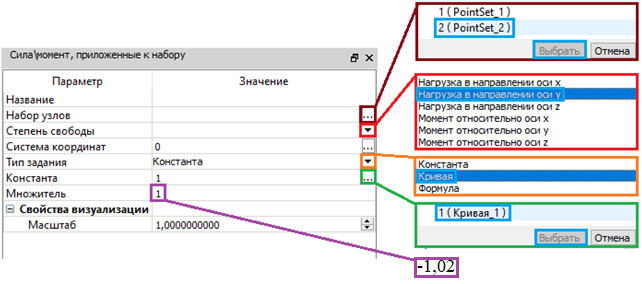
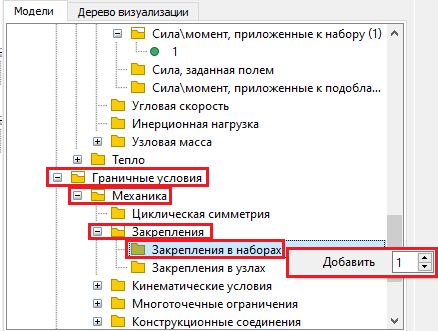


Рисунок 1.13.3 – Задание параметров силы

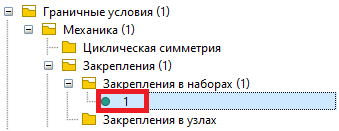
## Задание граничных условий

Для задания граничных условий в дереве модели нужно найти вкладку «Граничные условия». Дальше как показано на рисунке 1.14.1, необходимо:

* раскрыть вкладку «Механика»;
* «Закрепления»;
* ПКМ нажать на «Закрепления в наборах»;

Рисунок 1.14.1 – Задание закрепления

* выбрать «Добавить».

Выбрав первое закрепление, как показано на рисунке 1.14.2, необходимо выполнить действия, показанные на рисунке 1.14.3:

* в наборах узлов выбрать «1 (PointSet\_1)»;

Рисунок 1.14.2 – Задание условий закрепления

* задать условия ограничения перемещений по осям x, y, z.

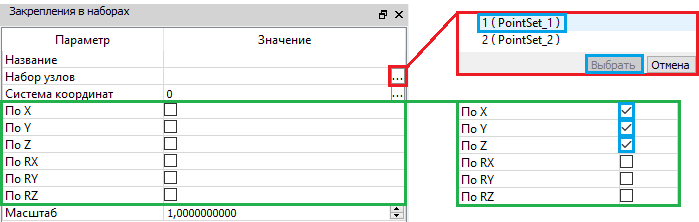
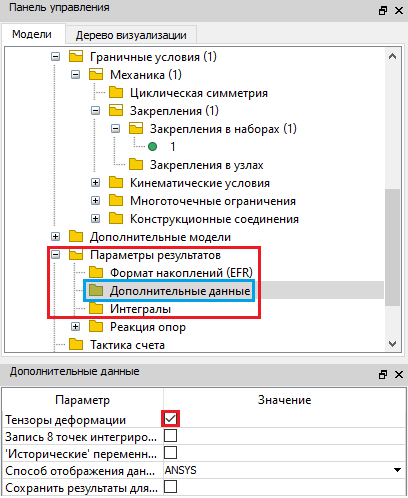


Рисунок 1.14.3 – Задание условий закрепления

## Выбор дополнительных данных

Как показано на рисунке 1.15.1, нужно найти в дереве модели «Параметры результатов» и добавить «Тензоры деформации». При обработке результатов это позволит отобразить величины тензора деформаций в каждой точке материала балки.

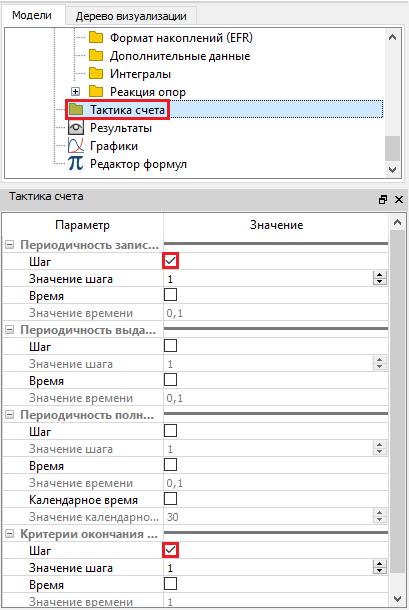


Рисунок 1.15.1 – Выбор дополнительных данных

## Тактика счёта

Как показано на рисунке 1.16.1 необходимо в дереве модели найти «Тактика счета». В периодичности записи для визуализации и критериях окончания счёта должны быть выбраны «шаг», а значение шага – 1.

Рисунок 1.16.1 – Задание тактики счета

## Выполнение расчетов

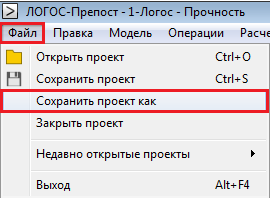
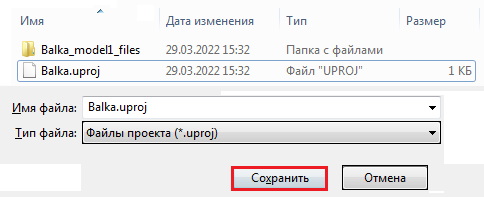
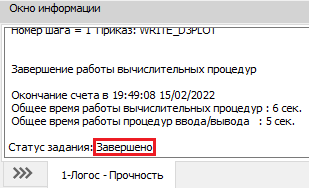
Сохранив проект в рабочей директории, как показано на рисунках 1.17.1 и 1.17.2, необходимо запустить задачу на счёт, нажав на .

Рисунок 1.17.1 – Сохранение проекта

Рисунок 1.17.2 – Сохранение проекта – «Balka»

Дождавшись завершения вычислений, в информационном окне появится сообщение «Статус задания: завершено», как показано на рисунке 1.17.3.

Чтобы перейти к обработке результатов в ScientificView, нужно в верхней панели управления найти функцию  и нажать на неё ЛКМ.

Рисунок 1.17.3 – Завершение вычислений

## Обработка результатов

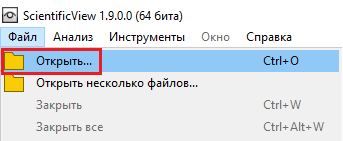
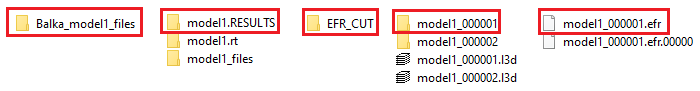
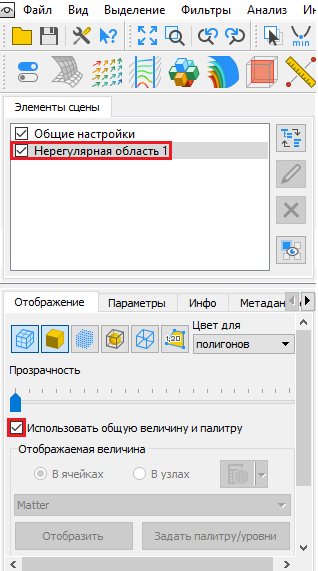
Как показано на рисунке 1.18.1, в окне программы ScientificView нужно нажать «Файл» и выбрать «Открыть».

Рисунок 1.18.1 – Завершение вычислений

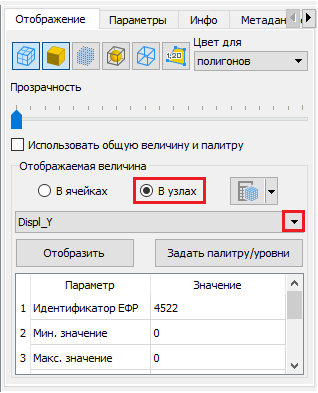
Чтобы открыть файл с результатами вычислений, необходимо перейти в рабочую директорию и открыть следующие папки, как показано на рисунке 1.18.2:

Рисунок 1.18.2 – Файл с результатами

* «Balka\_model1\_files»;
* «model1.RESULTS»;
* «EFR\_CUT»;
* «model1\_000001»;
* «model1\_000001.efr».

В элементах сцены необходимо выбрать «Нерегулярная область 1», и убрать  с «Использовать общую величину и палитру», как показано на рисунке 1.18.3.

Рисунок 1.18.3 – Параметры отображения



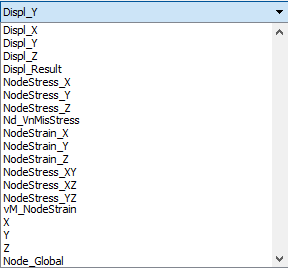
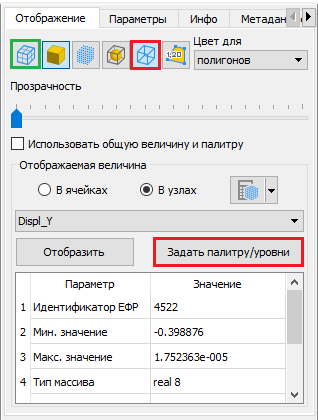
В «Отображаемая величина» необходимо выбрать отображение «В узлах», как показано на рисунке 1.18.4, нажав ЛКМ на , выбирается величина необходимая для отображения.

Рисунок 1.18.5 – Выбор отображаемой величины

Рисунок 1.18.4 – Выбор отображаемой величины

Основные значения величин, представленные на рисунке 1.18.5:

* Displ\_Y – перемещение по Y;
* Displ\_X – перемещение по X;
* Displ\_Z – перемещение по Z;
* Displ\_Result – результирующее перемещение;
* NodeStress\_X – напряжение по X;
* NodeStress\_Y – напряжение по X;
* NodeStress\_Z – напряжение по X;
* Nd\_VnMisStress – напряжение по Мизесу;
* NodeStrain\_X – деформации по X;
* NodeStrain\_Y – деформации по Y;
* NodeStrain\_Z – деформации по Z.

В ScientificView есть возможность изменить параметры отображаемой величины. Как показано на рисунках 1.18.6 и 1.18.7, чтобы изменить параметры отображения необходимо:

* нажать ЛКМ на функцию «Отображение сетки с помощью линий» – ;
* выбрать ЛКМ «Отображать каркас» – ;
* нажать «Задать палитру/уровни»;
* выбрать – «Гладкая палитра»;

Рисунок 1.18.6 – Параметры отображения

* нажать «Отобразить» и «Закрыть».

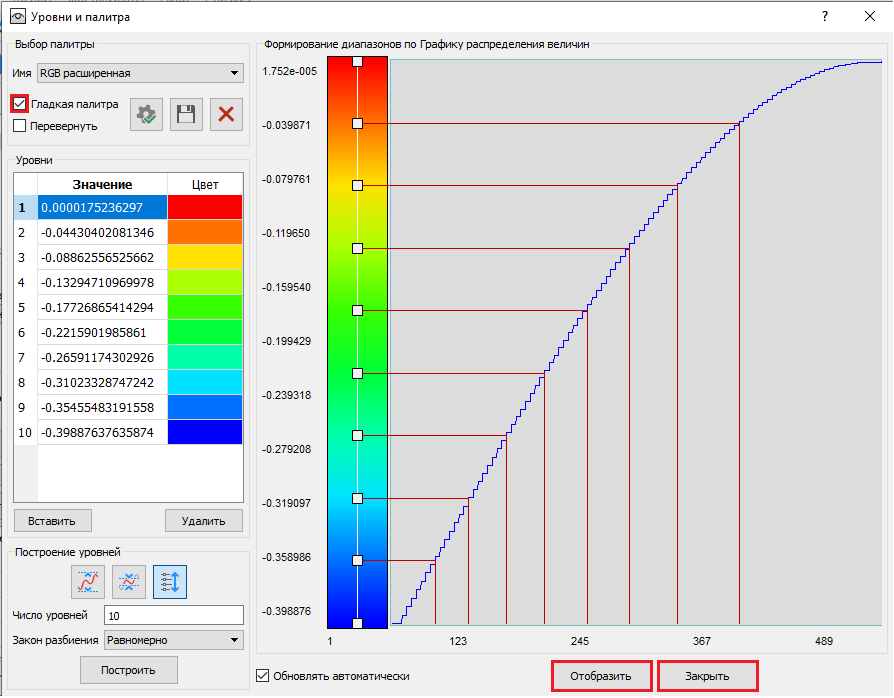


Рисунок 1.18.7 – Параметры отображения

Как показано на рисунке 1.18.8, в окне визуализации изменяется шаг задачи, нажав .

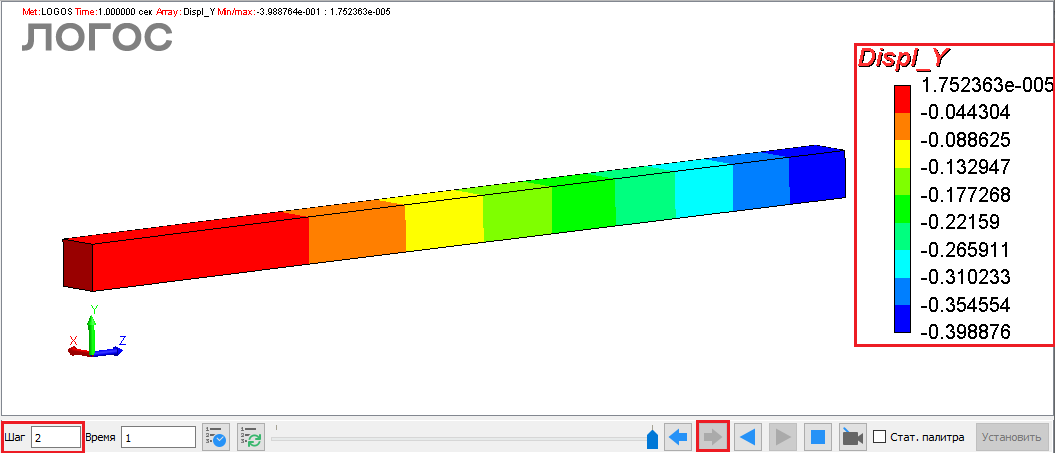
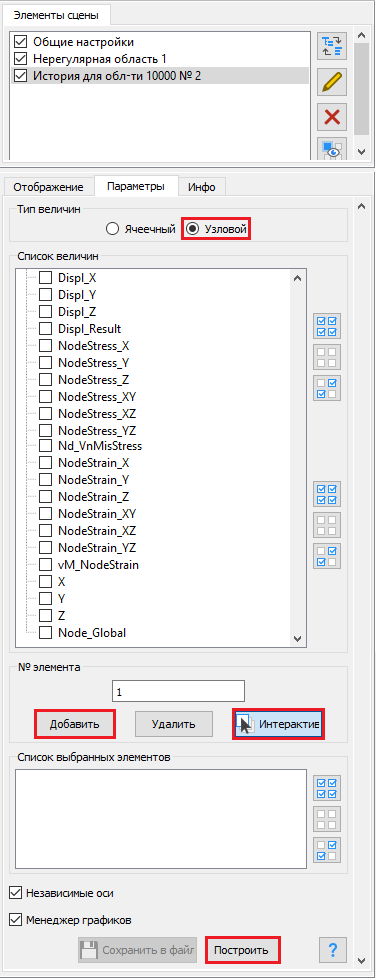


Рисунок 1.18.8 – Отображение градиента выбранной величины

В правой части окна визуализации (рисунок 1.18.8) отображается градиент выбранной величины. Он позволяет оценить распределение значений выбранной величины по балке.

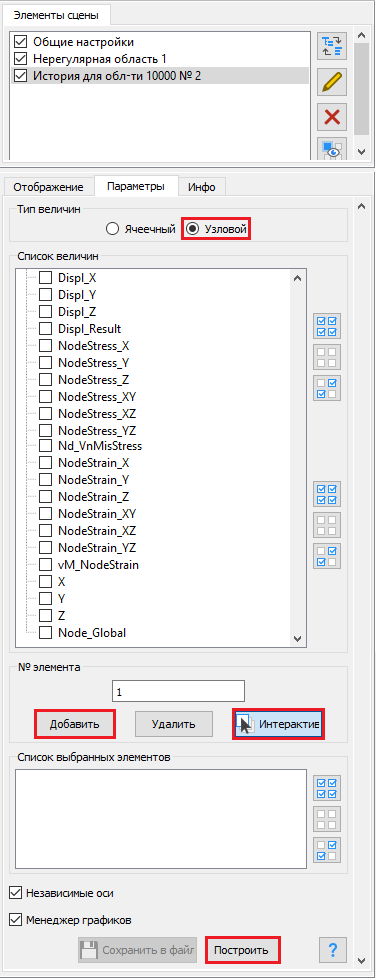
Для того, чтобы исследовать значения выбранной величины в конкретной точке нашего тела, необходимо нажать «История» – , но прежде, для удобства в «Нерегулярная область 1», вкладке «Отображение» необходимо выбрать «отображение сетки с помощью линий».

В параметрах, как показано на рисунке 1.18.9, необходимо выполнить следующее:

* выбрать «Тип величин» – «Узловой»;

Рисунок 1.18.9 – Выбор величины

* выбрать необходимую величину в списке;
* далее необходимо задать точку или точки, для этого в верхней панели управления выбрать «Отображение отдельных объектов при помощи указания мыши» – ;
* в параметрах нажать ЛКМ «Интерактив», как показано 1.18.10.

Далее курсор мыши наводится на выбранный узел и при нажатии на него ЛКМ, он автоматически добавится. Нажатием «Построить», выполняется построение графика выбранной величины.

В открывшемся окне графика, во вкладке «Сохранить», необходимо выбрать «Сохранить файл», как показано на рисунке 1.18.11.

Рисунок 1.18.10 – Выбор узла

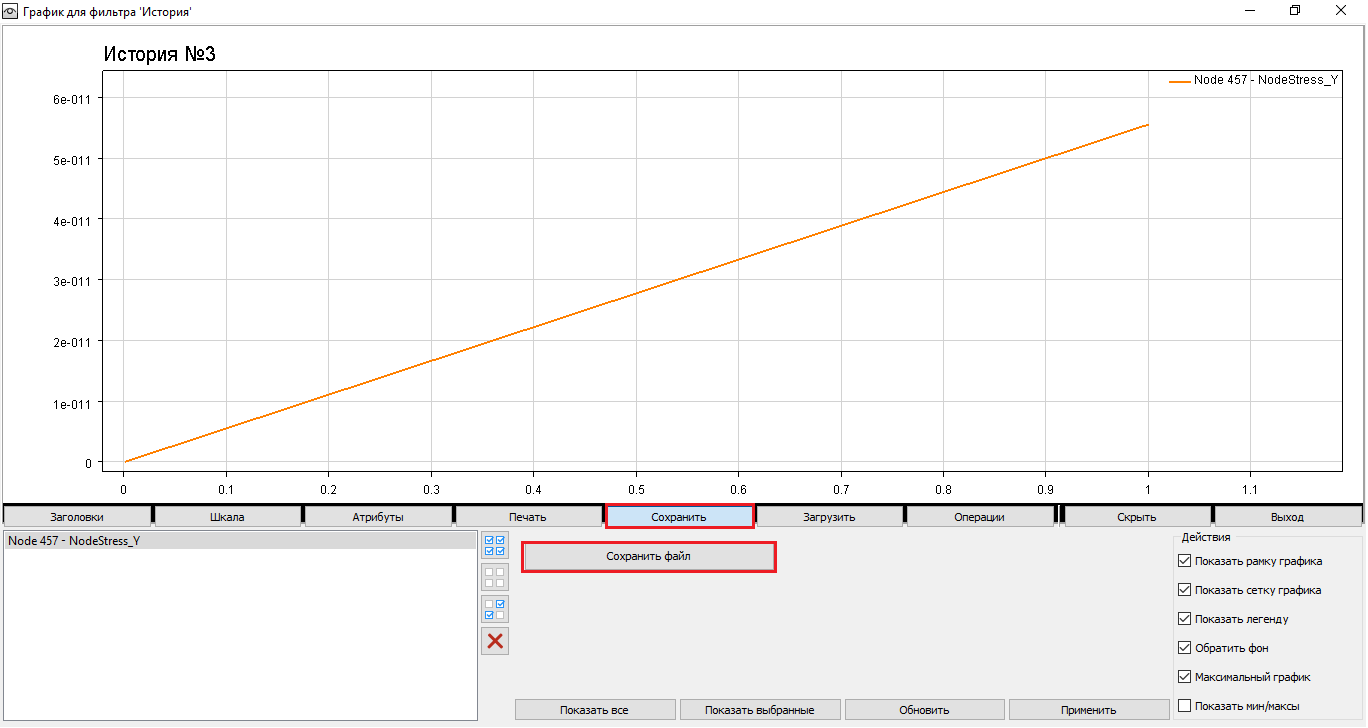
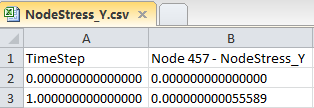


Рисунок 1.18.11 – График величины



Файл со значениями выбранной величины, как показано на рисунке 1.18.12, сохраняется в рабочую директорию или в любую удобную папку.

Рисунок 1.18.12 – Значения величины

1. Решение статических задач с тепловым воздействием

В данной главе описываются функции ПреПроцессора ЛОГОС, используемые для решения задач с тепловым воздействием.

В качестве примера взята пластина, которая состоит из двух соединенных вместе материалов. Размеры пластины указаны на рисунке 2.1. На оба материала пластины, температура которого в начальный момент времени равна 20 Сº, воздействуют температурой 800 Сº. Модуль упругости и коэффициент Пуассона для обоих материалов равен 2×105 МПа и 0,3 соответственно. Коэффициент линейного теплового расширения для первого материала равен 1.1×10\*-5 1/Сº (в направлениях X,Y,Z), а для второго 1.1×10\*-6 1/Сº (в направлениях X,Y,Z).

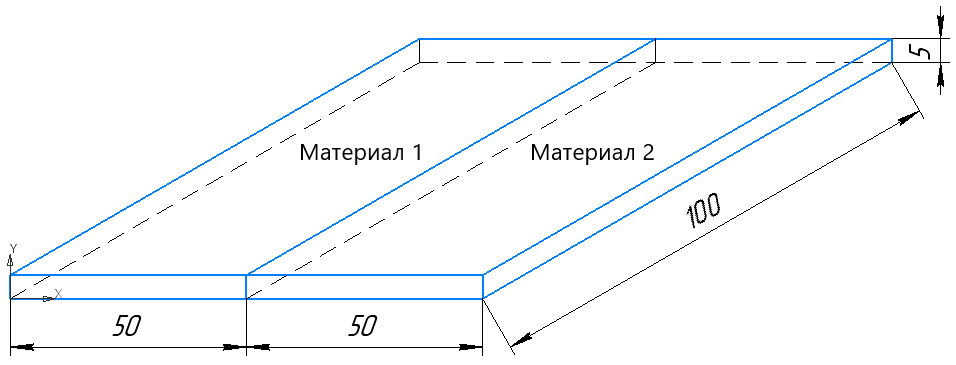


Рисунок 2.1 – Схема пластины

Построение геометрической модели и КЭМ реализуется методами, которые рассмотрены в первой главе. Далее будут описаны лишь те функциональные особенности, которые не были затронуты ранее.

## Особенности задания материалов

В данной задаче необходимо учесть характеристику теплового расширения твердых тел, для этого задается коэффициент линейного теплового расширения, как показано на рисунке 2.1.1.

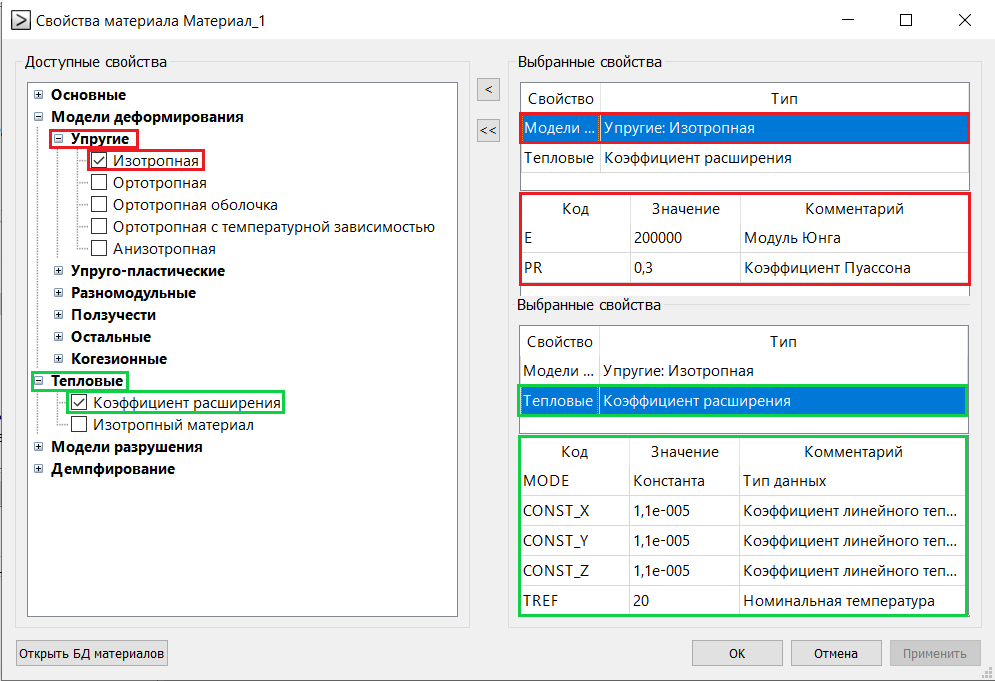


Рисунок 2.1.1 – Свойства материала 1

Для второго материала так же задаем коэффициент линейного теплового расширения, как показано на рисунке 2.1.2.

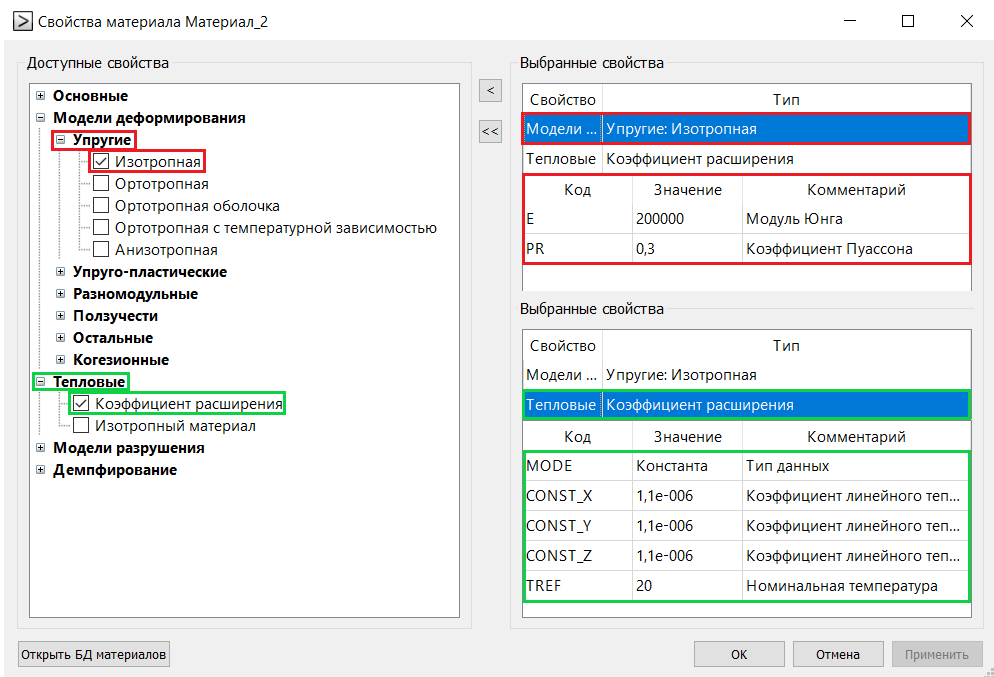


Рисунок 2.1.2 – Свойства материала 2

## Задание параметров счётных модулей

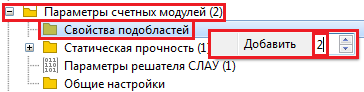
В окне параметры счетных модулей необходимо нажать ПКМ на вкладку «свойства подобластей» и выбрать «Добавить», задав значение 2, как показано на рисунке 2.2.1.

Рисунок 2.2.1 – Параметры счетных модулей

Нажав ПКМ на первый набор и ЛКМ «Свойства», свойства подобластей для «Набор\_1» задаются так, как показано на рисунке 2.2.2.

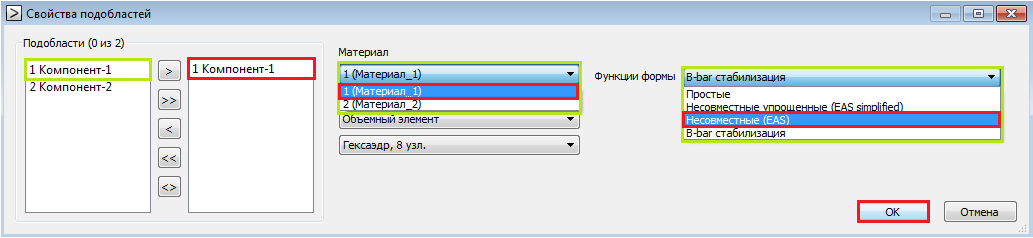


Рисунок 2.2.2 – Свойства подобластей – «1 компонент»

Для «Набор\_2» свойства подобластей задаются так, как показано на рисунке 2.2.3.

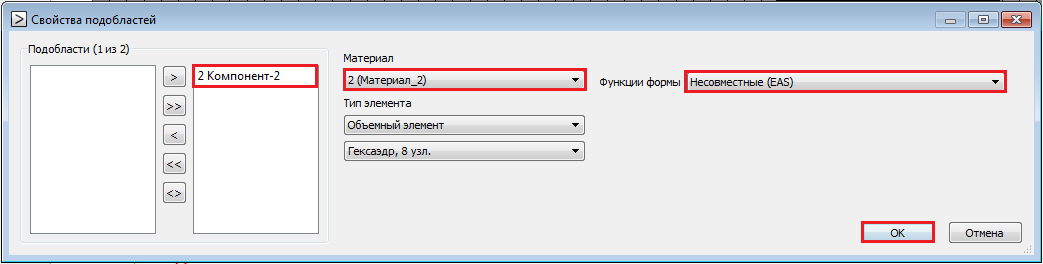


Рисунок 2.2.3 – Свойства подобластей – «2 компонент»

## Функциональные зависимости

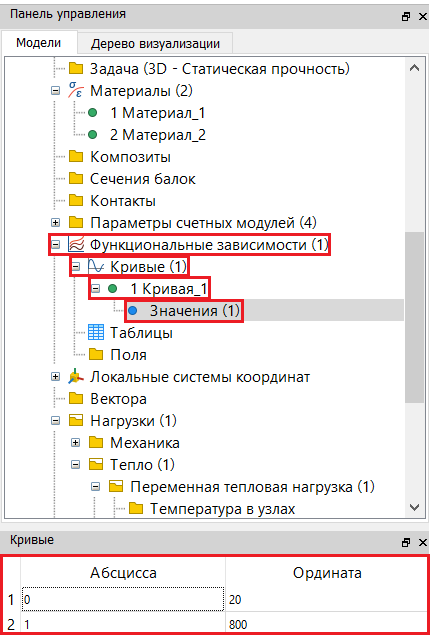
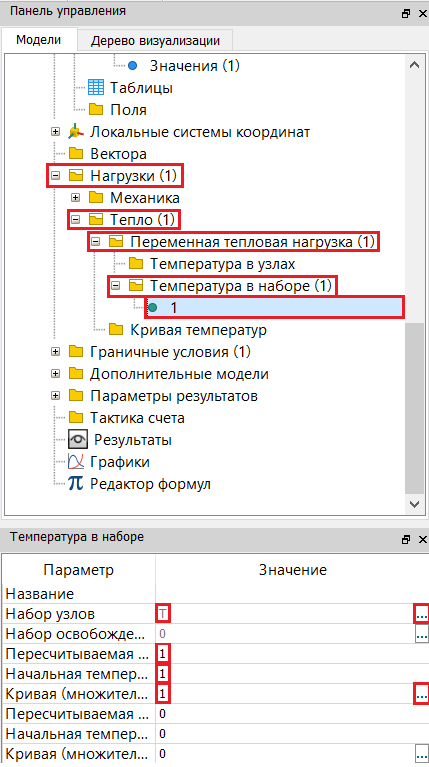
Как показано на рисунке 2.3.1, задаются значения функции температуры, по оси абсцисс – время, а ординат – величина температуры. В начальный момент времени указывается температура 20 Сº, в момент времени 1 – 800 Сº соответственно.

Рисунок 2.3.1 – Кривая нагрузки

## Нагрузки

В дереве модели, во вкладке нагрузки, задаётся переменная тепловая нагрузка. Необходимо ПКМ добавить набор во вкладке «Температура в наборе».

Рисунок 2.4.1 – Кривая нагрузки

Температура действует на всю пластину целиком, поэтому необходимо создать соответствующий набор, включающий в себя все узлы модели.

Далее задаем параметры, как показано на рисунке 2.4.1.

## Граничные условия

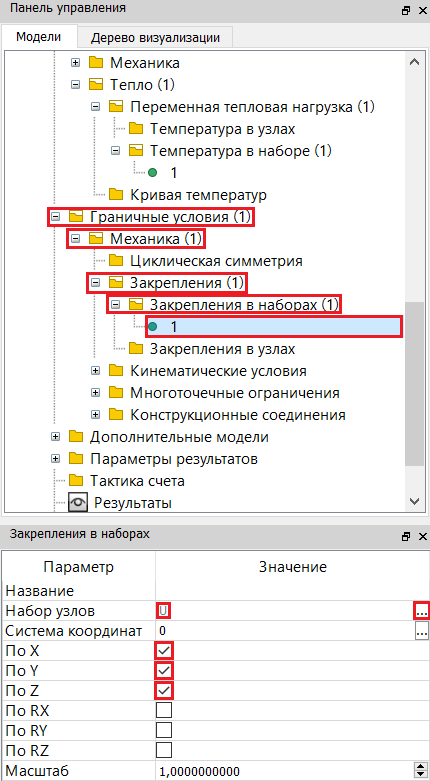
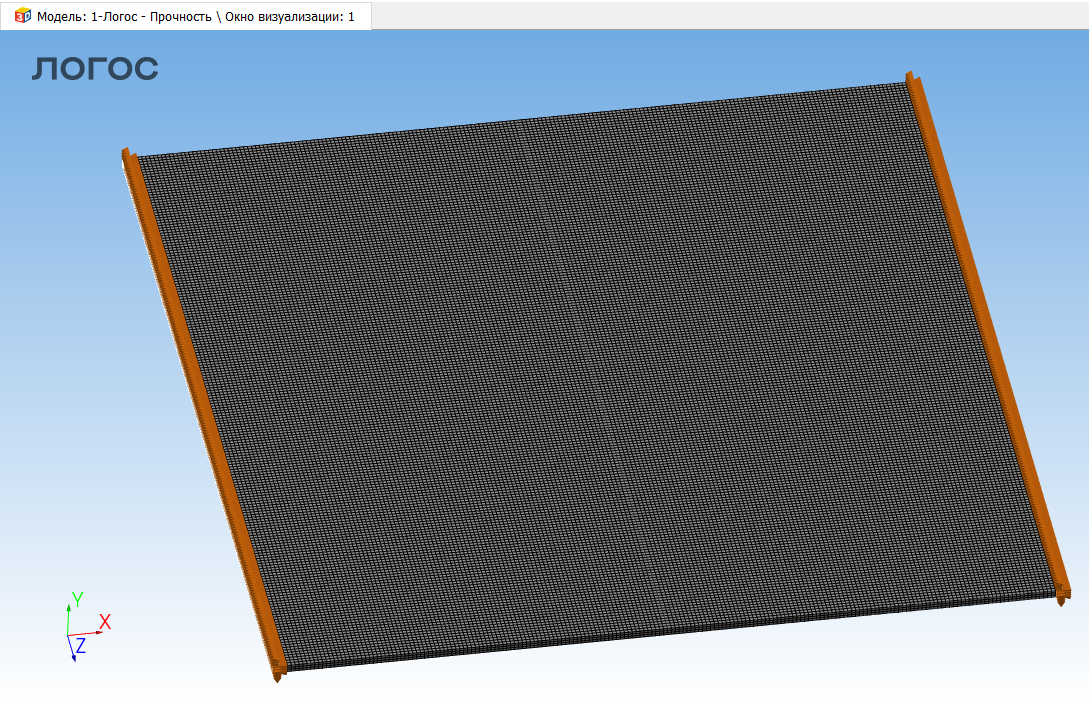
Пластинка закрепляется с двух торцов, ортогональных оси X, как показано на рисунках 2.5.1 и 2.5.2.

Рисунок 2.5.2 – Задание граничных условий

Рисунок 2.5.1 – Задание граничных условий

1. Решение статических задач с давлением

Рассмотрим задачу по определению напряженно-деформированного состояния толстостенного цилиндра при действии внутреннего давления.

Постановка задачи схематично изображена на рисунке 3.1. Длинный полый толстостенный цилиндр, внутренний радиус которого r1=50 мм, а наружный r2= 100 мм, нагружается внутренним давлением P=50 МПа.

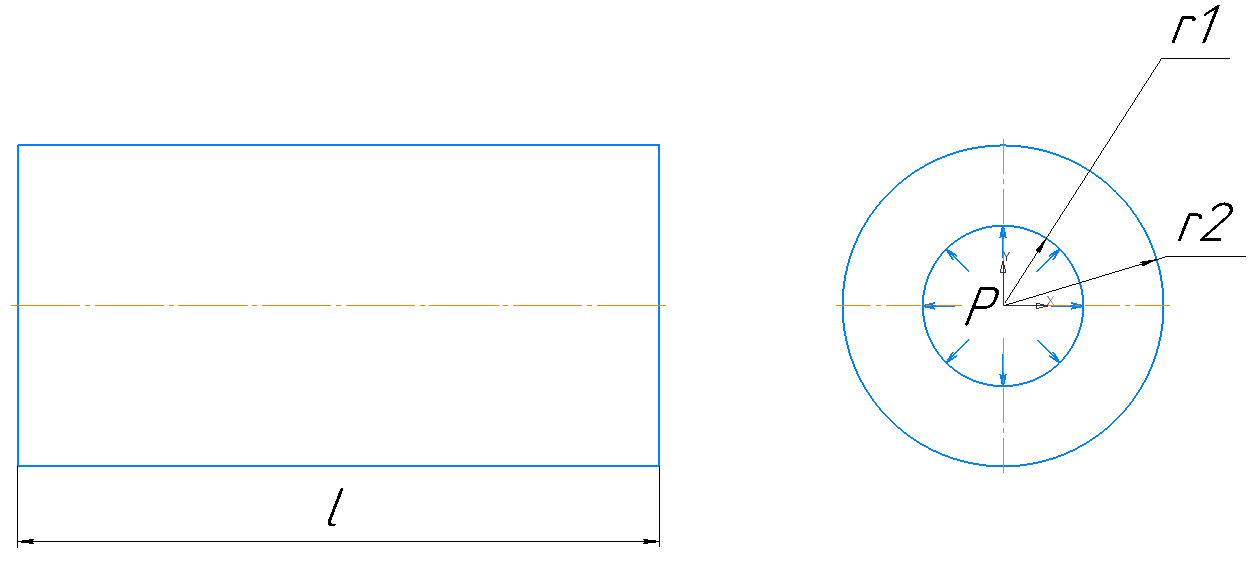
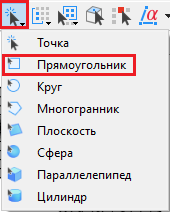


Рисунок 3.1 – постановка задачи

## Задание наборов узлов

Для закрепления трубы нужно задать три набора узлов, для этого расположим цилиндр одним из торцов, нажав ЛКМ на . Задаётся выбор области выделением прямоугольником в верхней панели инструментов, как показано на рисунке 3.1.1.

Необходимо создать наборы узлов ортоганальныx осям X, Y, Z, как показано на рисунках 3.1.2, 3.1.3, 3.1.4.

Рисунок 3.1.1 – Выбор области выделения

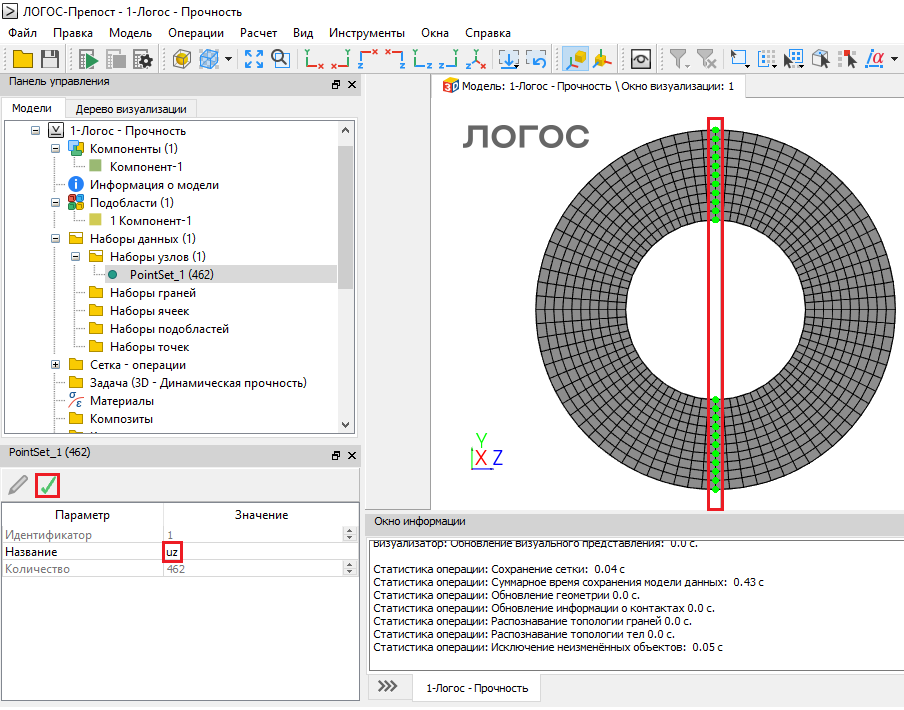


Рисунок 3.1.2 – Набор узлов ортогональных оси Z

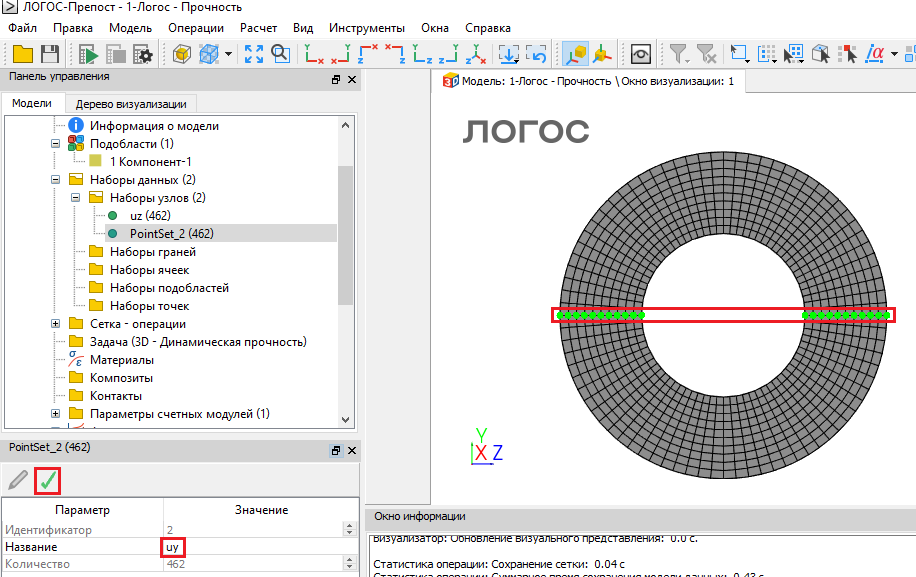


Рисунок 3.1.3 – Набор узлов ортогональных оси Y

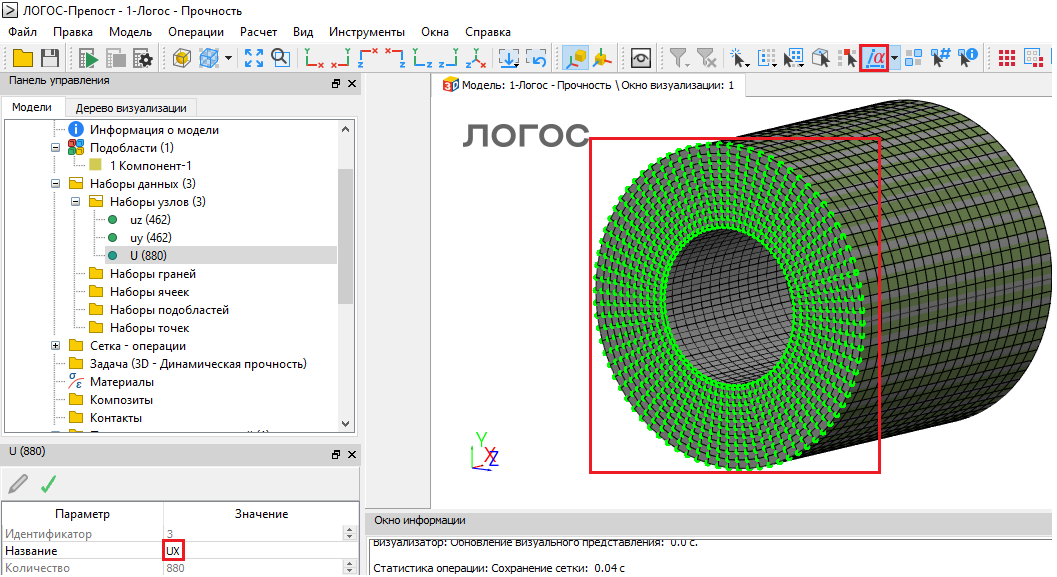


Рисунок 3.1.4 – Набор узлов ортогональных оси X

Для задания давления создается набор граней на внутренней поверхности трубы, как показано на рисунке 3.1.5.



Рисунок 3.1.5 – Набор граней

## Задание нагрузки

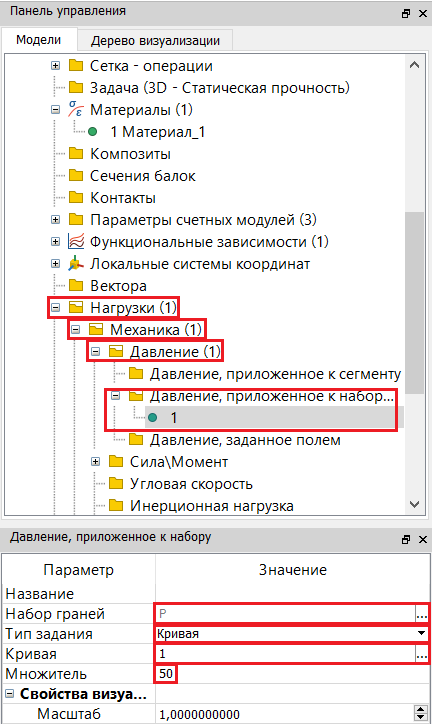
Как показано на рисунке 3.2.1, во вкладке нагрузки необходимо перейти по вкладкам «Механика» и «Давление». В «Давление, приложенное к набору» создаётся набор 1. В «Набор граней» выбирается ранее созданный набор P. Выбирается тип задания – «кривая», и задаётся кривая – 1. В множителе нагрузка в 50 МПа.

Рисунок 3.2.1 – Задание нагрузки

1. Решение задач на инерционную нагрузку

Принципы решения задач с инерционной нагрузкой рассмотрены на примере диска, радиус которого 50 мм, а толщина 1 мм, рисунок 4.1. Физико-механические свойства материала: модуль упругости равен 2e+5, коэффициент Пуассона равен 0,3. Плотность диска соответствует плотности стали 0,0077 г/мм3.

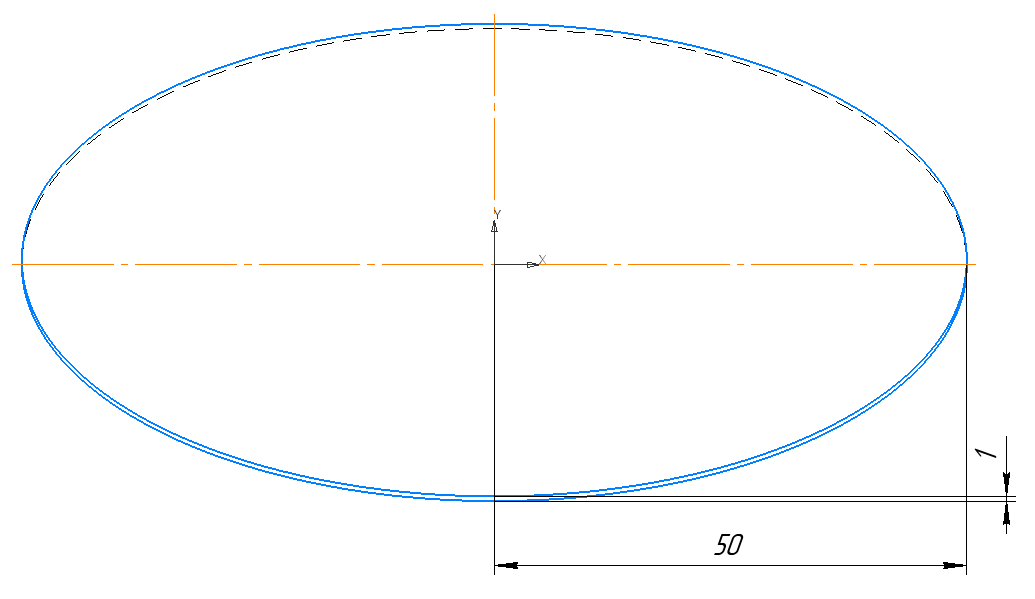


Рисунок 4.1 – Постановка задачи

## Создание набора данных

В задаче, инерционная нагрузка действует на всё тело, поэтому в наборах данных задаётся «набор подобластей» в который входит вся КЭМ, как показано на рисунке 4.1.1.

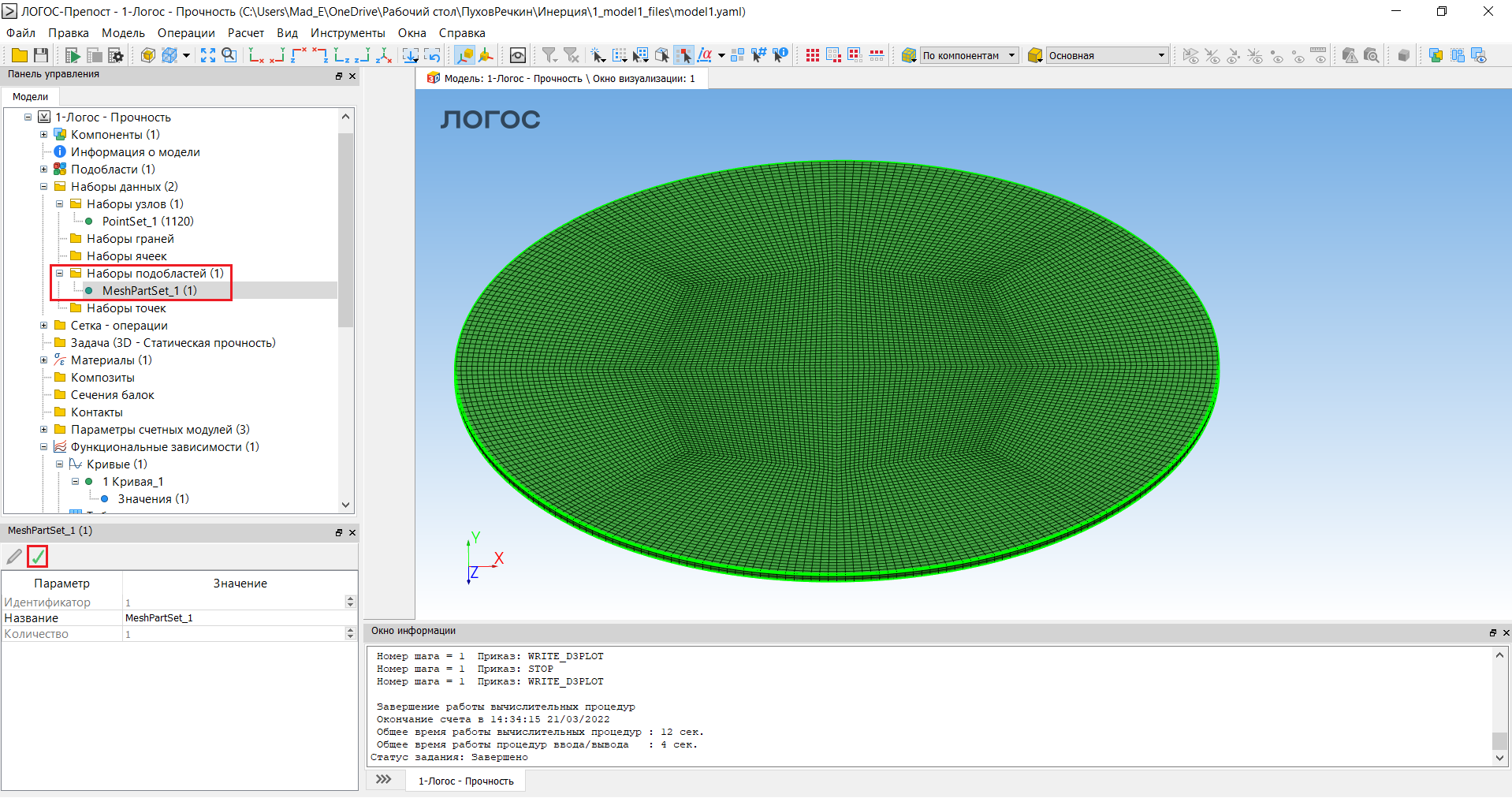


Рисунок 4.1.1 – Создание набора подобластей

## Задание материала

Так как инерционные нагрузки действуют на массу диска, в свойствах материала задаётся плотность, как показано на рисунке 4.2.1.

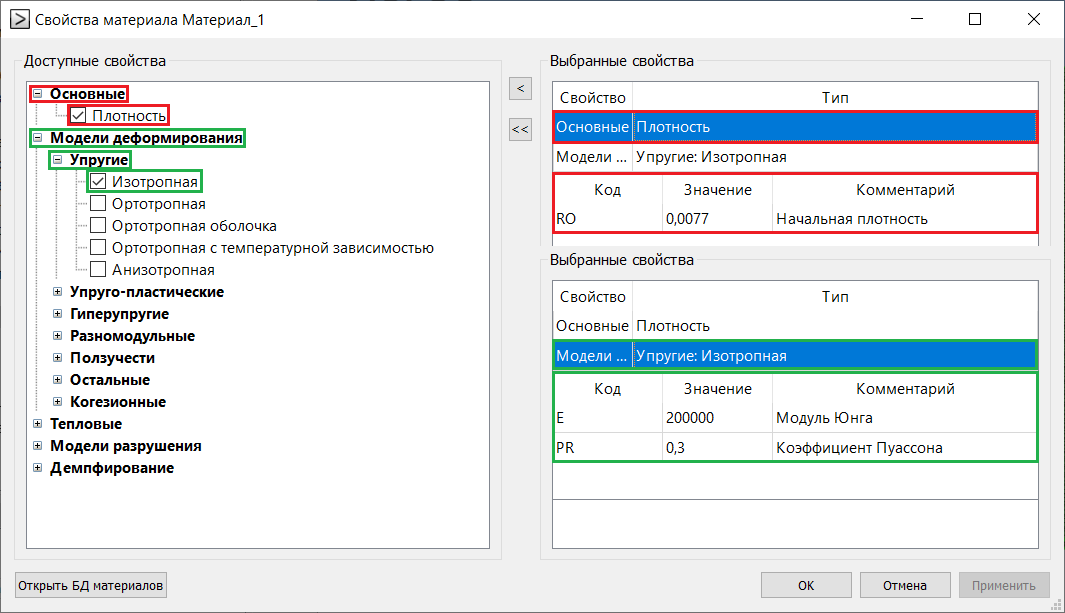
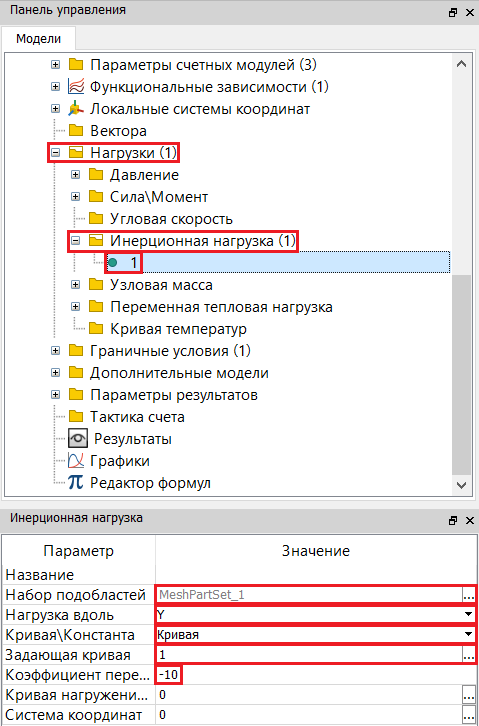


Рисунок 4.2.1 – Задание материала

## Задание инерционной нагрузки



Как показано на рисунке 4.3.1, во вкладке «Нагрузки» добавляется инерционная нагрузка. В параметрах задаётся:

* набор подобластей «MeshPartSet\_1»;
* нагрузка вдоль «Y»;
* в параметре «Кривая\Константа» задаётся «Кривая»;
* задающая кривая – 1;
* коэффициент пересчета -10, предполагается, что на диск действует ускорение, направленное вдоль оси Y. Инерционные нагрузки возникают от приращения перегрузки и направлены противоположно ускорению.

Рисунок 4.3.1 – Задание нагрузки

## Задание граничных условий

Далее для диска задаются условия ограничения перемещений по контуру, как показано на рисунке 4.4.1.

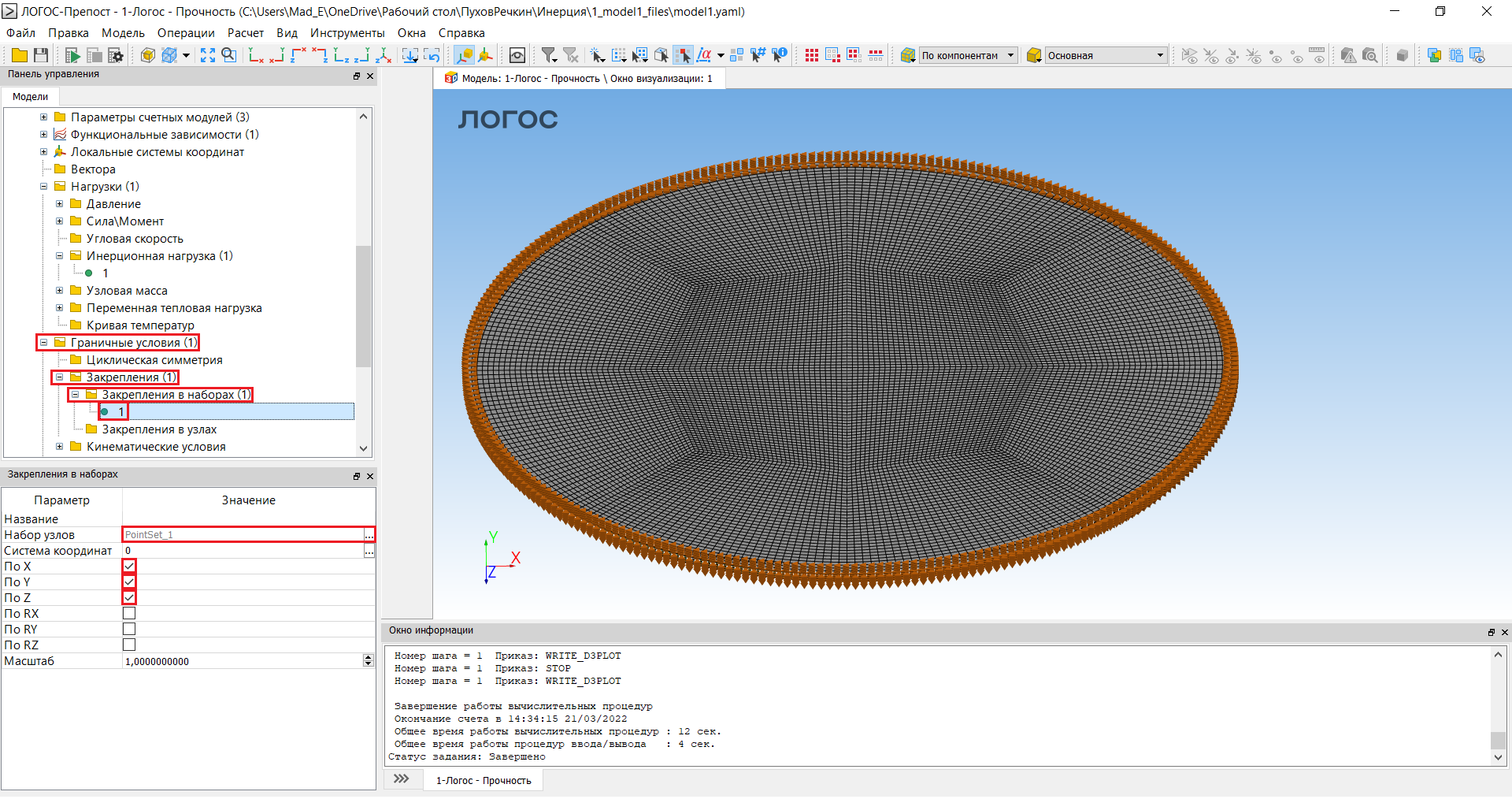


Рисунок 4.4.1 – Закрепление диска

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебно-методическом пособии рассмотрено пошаговое выполнение численного решения нескольких типовых задач, по курсу «вычислительная механика», на конечно-элементных сетках, состоящих из 8-узловых элементов сплошной среды с улучшенными функциями формы, в отечественном пакете программ ЛОГОС-ПРОЧНОСТЬ на основе метода конечных элементов.

Для каждой представленной задачи подробно описаны особенности и методы:

* создания геометрической и конечно-элементной моделей,
* задания параметров вычислительной модели,
* обработки результатов расчетов в ПостПроцессоре ScientificView.

Данное учебно-методическое пособие составлено в помощь студентам для выполнения практических работ по дисциплине «Вычислительная механика». Документ может быть также полезен преподавателям, аспирантам и инженерам, занимающимся расчетами прочности различных конструкций.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Г.С.Писаренко, Н.С.Можаровский. Уравнения и краевые задачи теории пластичности и ползучести. - Киев, "Наукова думка", 1981.
2. Н.Н.Малинин. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М., «Машиностроение»,1968.
3. Аттестационный паспорт программы для электронных вычислительных машин. Пакет программ «ЛОГОС», версия 5 (ЛОГОС ПРОЧНОСТЬ), ЭВМ рег. № 489 от 19.12.2019.

Сопротивление материалов: Учебник / Г.Д. Межецкий, Г.Г. Загребин, Н.Н. Решетник; под общ. Ред. Г.Д. Межецкого, Г.Г. Загребина. 5-е изд., – М. 2016. – 432с.

Макаров Е.Г. Сопротивление материалов с использованием вычислительных комплексов 2018 г.

1. Миляев А.С. Сопротивление материалов, энергетические методы расчёта стержневых систем, Санкт-Петербург 2011 г.
2. Митчелл Э., Уэйт Р. Метод конечных элементов для уравнений с частными производными. М.: Мир, 1981. – 216 с.
3. Денисов П.А., Петров В.Ф. Д 33 Численные методы: учебно-методическое пособие для подготовки к лекционным и лабораторным занятиям / П.А. Денисов, В.Ф. Петров; Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ). – 2017. – 64 с.