



FIDESYS

система прочностного анализа

Версия 1.6

Руководство пользователя

Содержание

Введение	9
О программе	9
Приступая к работе	10
Системные требования	10
Аппаратные требования.....	10
Операционная система.....	10
Установка	11
Microsoft Windows.....	11
Linux	12
Активация и пробный период	13
Пробный период.....	13
Активация	14
Информация о приобретённой лицензии	14
Удаление.....	14
Общие сведения о программе	16
Структура пакета	16
Запуск программного обеспечения.....	16
Главное окно программы.....	16
История версий.....	18
Версия 1.6 R2.....	18
Версия 1.6.....	18
Версия 1.5 R2.....	19
Версия 1.5.....	19
Версия 1.4.....	20
Версия 1.3.....	20
Версия 1.2.....	20
Версия 1.1.....	20
Работа с программой.....	22
Геометрия.....	22
Импорт геометрии.....	22
Создание геометрии	23
Построение сетки.....	24
Построение объёмной сетки	24



Построение поверхностной сетки	25
Задание материала и типа элементов	26
Типы элементов.....	26
Группы материалов.....	27
Работа с блоками.....	29
Изменение типа элемента, выбранного для блока	33
Изменение свойств материала.....	34
Импорт/Экспорт материала.....	35
Задание свойств оболочек.....	36
Задание свойств балок.....	36
Задание граничных условий.....	37
Типы граничных условий.....	37
Зависимость от времени или координат.....	38
Задание контактного взаимодействия.....	41
Регион контакта.....	41
Контактная пара.....	42
Контактный алгоритм.....	45
Типы элементов.....	45
Статус Kontakта	46
Задание модели пластического течения.....	47
Критерий пластичности Мизеса.....	47
Критерий пластичности Друкера- Прагера.....	49
Типы элементов.....	49
Запуск расчёта	51
Типы анализа.....	51
Модели задач.....	52
Менеджер расчётов.....	53
Метод спектральных элементов.....	55
Краткое описание и преимущества МСЭ.....	55
Использование МСЭ	57
Параллельный расчёт на нескольких компьютерах с использованием технологии MPI	58
Краткое описание и преимущества MPI	58
Реализация MPI в Fidesys	58
Установка MPI	58
Локальное использование MPI.....	59

Использование MPI на нескольких узлах	59
Требования для корректной работы	59
Настройка MPI на нескольких узлах	59
Регистрация перед первым использованием	61
Просмотр результатов расчета	62
Пример расчёта с использованием MPI	62
Расчёт эффективных свойств неоднородных материалов	63
Геометрия модели для расчёта эффективных свойств	63
Запуск на расчёт	64
Типы элементов	65
Расчёт эффективных свойств и его результаты	65
Визуализация результатов и постпроцессинг	68
О программе Fidesys Viewer	68
Главное окно программы	68
Основные принципы работы	69
Отображение на модели полей данных и легенды	69
Выделение	69
Отображение информации	69
Просмотр деформированной модели	69
Сферические/цилиндрические системы координат	69
Построение графиков вдоль прямой линии	70
Построение графиков вдоль кривых	70
Построение графиков в зависимости от времени	70
Напряжения (Мизес)	70
Оценка качества сетки	70
Срез	70
Сечение	70
3D-отображение балок и оболочек	70
Запас прочности	71
Сглаженные результаты	71
Сохранение данных	71
Пошаговое руководство пользователя	72
Статическое нагружение (объёмная модель)	72
Построение модели	73
Построение сетки	76



Задание граничных условий	80
Задание материала и типа элемента	83
Запуск расчёта	86
Анализ результатов.....	87
Использование консольного интерфейса	89
Статическое нагружение (сила тяжести)	91
Построение модели	92
Построение сетки	94
Задание граничных условий	96
Задание материала и типа элемента	97
Запуск расчёта	100
Анализ результатов.....	100
Использование консольного интерфейса	103
Статическое нагружение (балочная модель, силы реакции).....	104
Построение модели	104
Построение сетки	105
Задание граничных условий	105
Задание материала и типа элемента	107
Задание профиля сечения балки.....	109
Запуск расчёта	110
Анализ результатов.....	110
Использование консольного интерфейса	113
Статическое нагружение (оболочки)	114
Построение модели	114
Построение сетки	115
Задание граничных условий	116
Задание материала и типа элемента	118
Задание толщины оболочки	120
Запуск расчёта	120
Анализ результатов.....	120
Использование консольного интерфейса	123
Гидростатическое давление на цилиндр (задание ГУ от координат)	125
Построение модели	125
Построение сетки	130
Задание материала и типа элемента	132

Задание граничных условий	134
Запуск расчёта	137
Анализ результатов.....	137
Использование консольного интерфейса	141
Статическое нагружение (2D, задача Кирша)	143
Построение модели	143
Построение сетки	146
Задание граничных условий	148
Задание материала и типа элемента	149
Запуск расчёта	151
Анализ результатов.....	151
Использование консольного интерфейса	154
Динамическое нагружение (объёмная модель)	156
Построение модели	157
Построение сетки	157
Задание материала и типа элемента	158
Задание граничных условий	161
Задание зависимости от времени.....	162
Запуск расчёта	164
Анализ результатов.....	166
Использование консольного интерфейса	168
Задача устойчивости (оболочечная модель)	170
Построение модели	170
Построение сетки	173
Задание граничных условий	175
Задание материала и типа элемента	177
Задание толщины оболочки	179
Запуск расчёта	179
Анализ результатов.....	180
Использование консольного интерфейса	184
Анализ собственных частот (объёмная модель)	186
Построение модели	186
Построение сетки	187
Задание граничных условий	188
Задание материала и типа элемента	188

Запуск расчёта	190
Анализ результатов.....	191
Использование консольного интерфейса	192
Анализ собственных частот (оболочечная модель).....	194
Построение модели	194
Построение сетки	194
Задание граничных условий	195
Задание материала и типа элемента	196
Задание толщины оболочки.....	198
Запуск расчёта	199
Анализ результатов.....	199
Использование консольного интерфейса	200
Задача теплопроводности (объёмная модель, работа с двумя блоками)	201
Построение модели	201
Построение сетки	204
Задание материала и типа элемента	205
Задание граничных условий	209
Запуск расчёта	212
Анализ результатов.....	212
Использование консольного интерфейса	214
Задача теплопроводности (плоская модель).....	215
Построение модели	215
Построение сетки	217
Задание материала и типа элемента	218
Задание граничных условий	221
Запуск расчёта	223
Анализ результатов.....	223
Использование консольного интерфейса	226
Задача термоупругости (плоская задача)	227
Построение модели	227
Построение сетки	230
Задание граничных условий	231
Задание материала и типа элемента	234
Запуск расчёта	236
Анализ результатов.....	236

Использование консольного интерфейса	238
Устойчивость при температурной нагрузке (балочная модель)	239
Построение модели	240
Построение сетки	240
Задание граничных условий	241
Задание материала и типа элемента	242
Задание профиля сечения балки.....	244
Запуск расчёта	245
Анализ результатов.....	246
Использование консольного интерфейса	247
Динамическое нагружение: Нестационарная теплопередача (объёмная модель, неявная схема).....	249
Построение модели	249
Построение сетки	250
Задание материала и типа элемента	251
Задание граничных условий	253
Задание зависимости ГУ от времени	254
Запуск расчёта	255
Анализ результатов.....	256
Использование консольного интерфейса	260
Статическое нагружение с учетом пластичности (объёмная модель)	261
Построение модели	262
Построение сетки	265
Задание граничных условий	266
Задание материала и типа элемента	269
Запуск расчёта	272
Анализ результатов.....	274
Использование консольного интерфейса	278
Моделирование контактного взаимодействия (объёмная модель).....	279
Построение модели	280
Построение сетки	285
Задание граничных условий	287
Задание контактного взаимодействия	291
Задание материала и типа элемента	293
Запуск расчёта	295
Анализ результатов.....	297

Использование консольного интерфейса	302
Расчет эффективных свойств композита.....	303
Построение модели	304
Построение сетки	305
Задание материала и типа элемента	306
Задание граничных условий и запуск расчета.....	309
Анализ результатов.....	310
Использование консольного интерфейса	312
Контактная информация	314

Введение

О программе

Fidesys Bundle – программный комплекс прочностного анализа. Комплекс позволяет проводить расчёты для задач следующих типов:

- статическое нагружение;
- динамическое нагружение;
- задача устойчивости;
- анализ собственных частот.

В состав комплекса входит программа **Fidesys Viewer**, предназначенная для просмотра и анализа полученных результатов:

- визуализации скалярных и векторных полей;
- построения графиков и диаграмм;
- анализа временных зависимостей.

Приступая к работе

Системные требования

CAE Fidesys с самого начала разрабатывается таким образом, что системные требования комплекса невысоки: он может быть запущен на обыкновенном персональном компьютере. При наличии в компьютере одного и более многоядерных процессоров вычисления будут автоматически распараллелены на все ядра. Начиная с версии 1.5, в 64-битной версии программного комплекса доступно распараллеливание вычислений на несколько узлов, объединенных в локальную сеть или кластер.

Программный комплекс **Fidesys Bundle** предъявляет следующие минимальные требования к программному обеспечению и оборудованию.

Аппаратные требования

- Процессор: Dual-core 1,7 ГГц и выше.
- Оперативная память: не менее 2GB.
- Свободное место на диске: 5 GB.
- Видеокарта уровня NVIDIA GeForce GTX 460 или выше.
- Разрешение экрана: 1024×768 или выше.

Операционная система

Поддерживаются следующие 32-* и 64-битные версии Windows:

- Windows XP SP3;
- Windows Vista SP2;
- Windows 7;
- Windows 8;
- Windows Server 2008 (в том числе R2);
- Windows Server 2012 (в том числе R2).

Поддерживаются следующие версии Linux (только 64-битные):

- OpenSUSE 12.3;
- Red Hat EL 5.9, 6.4;
- Ubuntu Server 10.04;
- Ubuntu Desktop и Server 12.04;
- Debian 6.0.x;
- CentOS 6.5.

Расчёты методом спектральных элементов и параллельные расчёты на основе технологии MPI доступны только в 64-битной версии программного пакета.

Установка

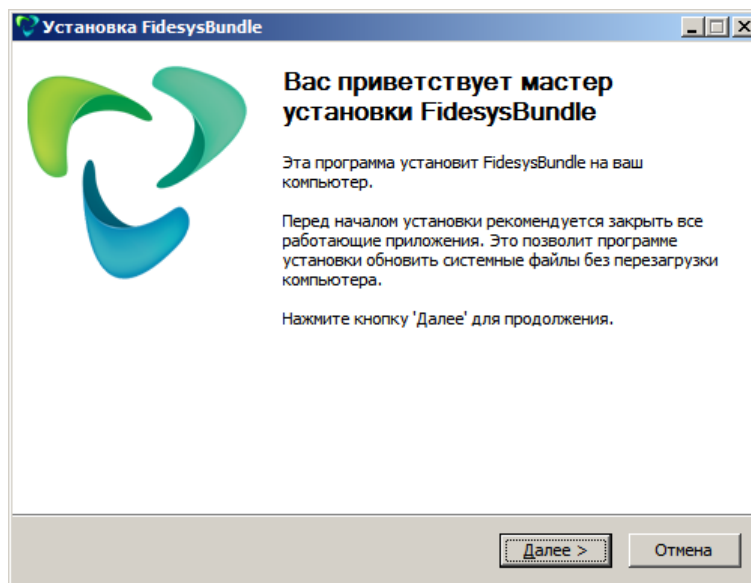
Microsoft Windows

Пользователь, устанавливающий программное обеспечение на персональный компьютер, должен обладать правами администратора на этом ПК. Если на компьютере уже установлена какая-либо версия **Fidesys Bundle**, во время установки не должно быть открыто ни одного окна **Fidesys Bundle**.

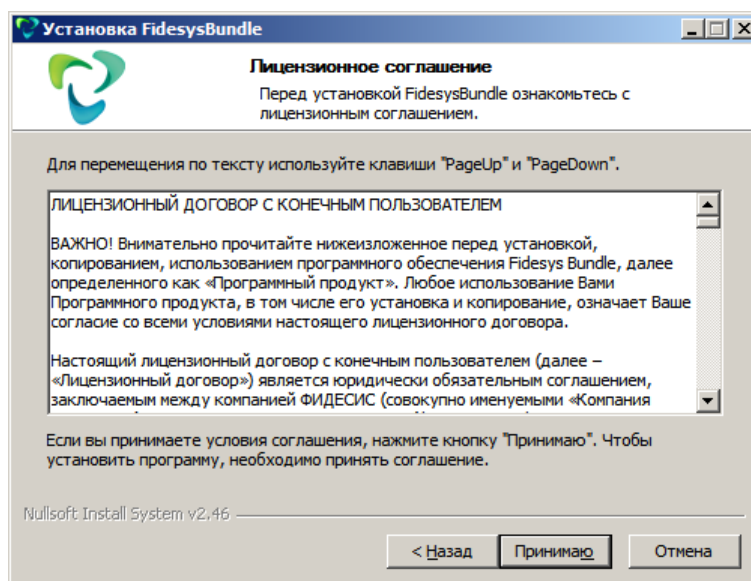
1. Скачайте с <http://www.cae-fidesys.com/ru/download/login> и запустите файл CAE Fidesys для интересующей вас архитектуры (Windows x64 или Windows x32), либо запустите установку с DVD-ROM.

Если на компьютере уже была установлена какая-либо версия Fidesys Bundle, то при запуске установщика будет предложено удалить ее или отменить установку.

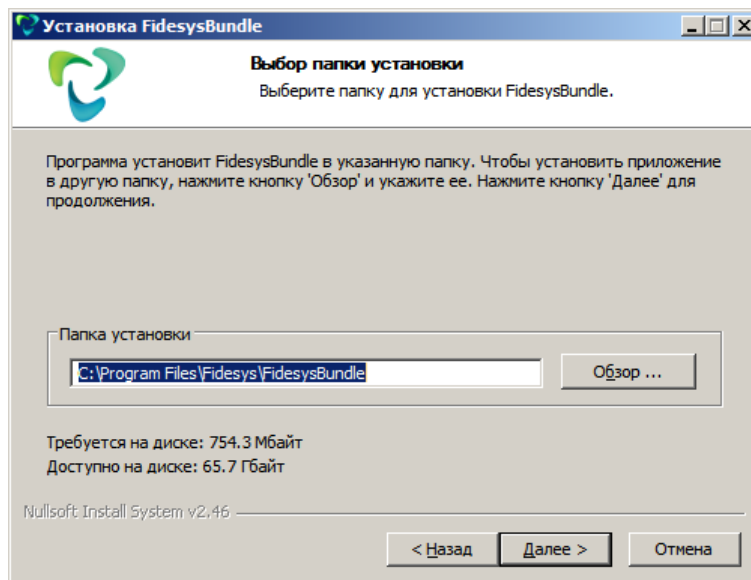
2. В появившемся окне нажмите **Далее**.



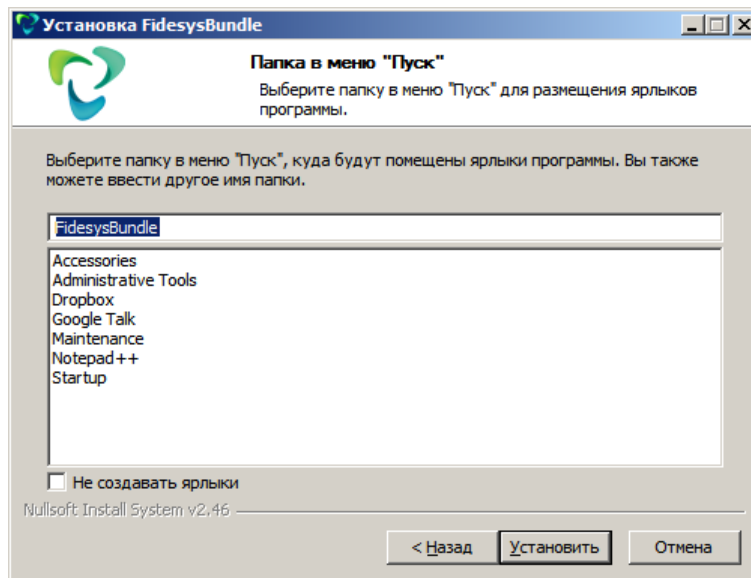
3. Внимательно ознакомьтесь с лицензионным договором. Если вы не согласны с какими-либо его пунктами, нажмите **Отмена**. Если вы полностью согласны с условиями, нажмите **Принимаю**.



4. Выберите папку для установки программы и нажмите **Далее**.



5. Введите название папки в меню «Пуск», в которой будет создан ярлык для запуска программы. Если вы не хотите создавать папку в меню «Пуск», выберите **Не создавать ярлыки**. Нажмите **Установить**.

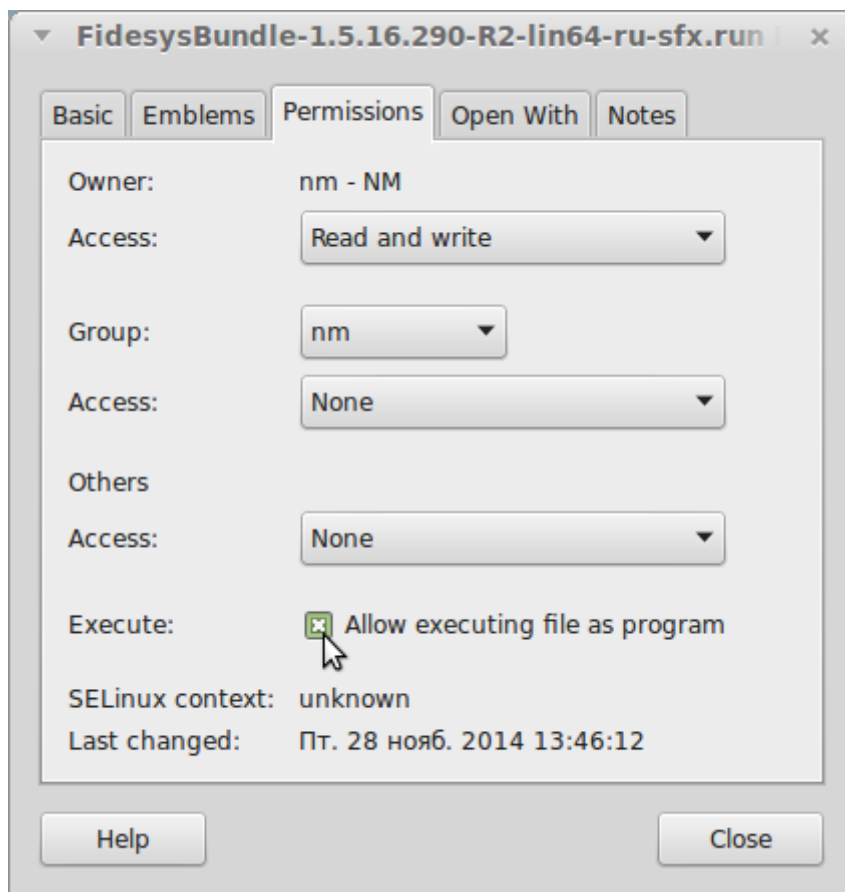


6. Процесс установки может занять некоторое время. После завершения установки нажмите **Готово**.

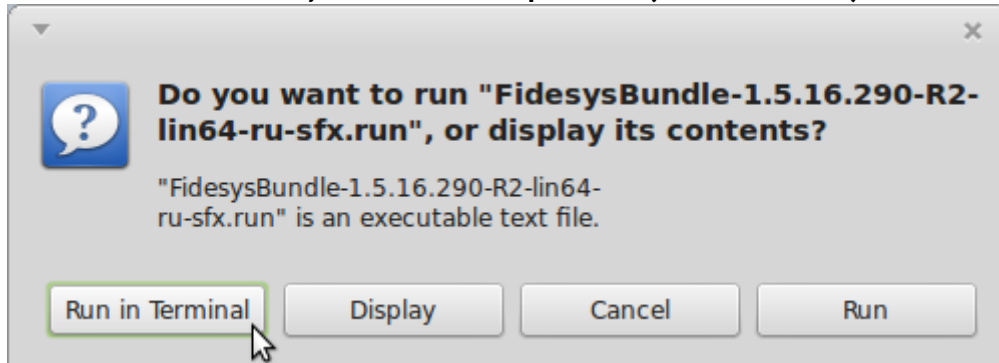
Linux

В настоящее время поддерживаются только 64-битные дистрибутивы Linux.

1. Скачайте с <http://www.cae-fidesys.com/ru/download/login> файл CAE Fidesys для Linux x64.
2. Нажмите правой кнопкой мыши на скачанном файле и выберите в открывшемся контекстном меню пункт **Свойства (Properties)**.
3. В открывшемся окне перейдите во вкладку **Права (Permissions)** и поставьте галочку **Разрешить исполнение файла как программы (Allow executing file as program)**. Нажмите **Закрыть (Close)**.



4. Запустите установку, дважды щелкнув мышью на файле установщика. При появлении диалогового окна нажмите кнопку **Выполнить в терминале (Run in terminal)**:



Активация и пробный период

При первом запуске препроцессора появляется окно **Лицензирование Fidesys** с предложением приобрести лицензию или активировать пробный период.

Пробный период

Длительность пробного периода составляет 30 дней, которые отсчитываются с момента активации пробного периода. Пробный период предназначен для ознакомления с продуктом и не предназначен для проведения любых коммерческих расчётов (связанных напрямую или косвенно с извлечением выгоды). Пробный период невозможно активировать на виртуальной машине, также пробная версия не предназначена для работы через удаленный рабочий стол.

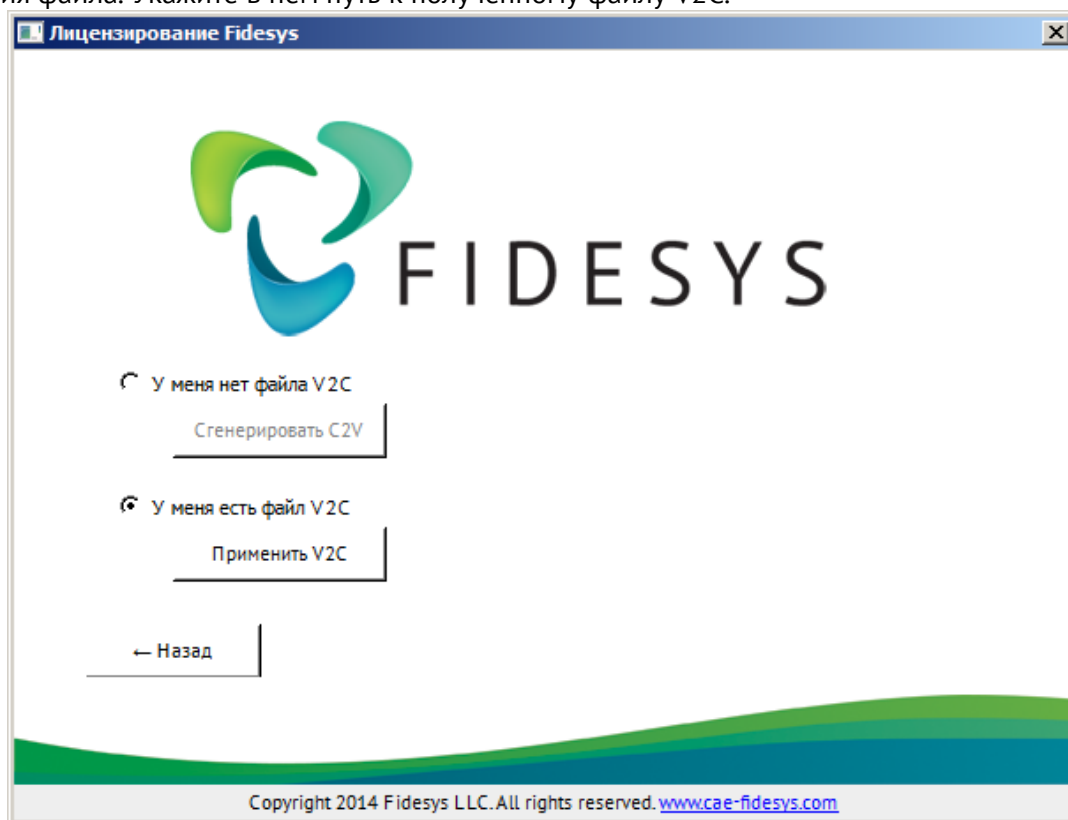
Чтобы активировать пробный период, нажмите в стартовом окне кнопку **Пробный период**.

До тех пор, пока программа работает в пробном режиме, окно **Лицензирование Fidesys** будет появляться при каждом запуске. Чтобы продолжать работать в пробном режиме, следует нажимать кнопку **Пробовать**.

Активация

Чтобы активировать продукт:

1. Нажмите в окне **Лицензирование Fidesys** кнопку **Активировать**.
2. Выберите **У меня нет файла V2C** и нажмите **Сгенерировать C2V**. Откроется системный диалог сохранения файла. Сохраните файл C2V и передайте любым удобным способом в организацию, в которой приобретался продукт.
3. В ответ на это вам будет выслан файл с ключом активации с расширением V2C. Получив файл V2C, выберите **У меня есть файл V2C** и нажмите **Применить V2C**. Вы увидите системный диалог открытия файла. Укажите в нём путь к полученному файлу V2C.



4. Ваш продукт активирован.

Информация о приобретённой лицензии

Выбрав в главном меню **Помощь** → **О программе**, вы увидите окно с информацией, в котором показываются:

- Полный номер версии программы;
- Тип лицензии и срок её окончания;
- Список возможностей, доступных в приобретённой лицензии.

Удаление

Пользователь, удаляющий программное обеспечение, должен обладать правами администратора.

Перед удалением программного обеспечения необходимо завершить работу всех запущенных копий приложения: как препроцессора (Fidesys), так и постпроцессора (Fidesys Viewer).

Для удаления программного пакета войдите в Панель управления Windows и выберите пункт **Программы и компоненты** (в старых версиях Windows **Установка и удаление программ**). В списке установленных программ выберите *Fidesys Bundle #.#.#.# xNN*, где #.#.#.# – номер версии программы, *xNN* – архитектура (x64 или x32). Нажмите на неё правой кнопкой мыши и выберите **Удалить/Изменить**. Подтвердите свои намерения, нажав в открывшемся окне кнопку **Удалить**.

Удаление программы не влечет за собой удаление данных о её активации.

Общие сведения о программе

Структура пакета

Пакет **Fidesys Bundle** состоит из двух основных компонентов:

- **Fidesys** – препроцессинг и проведение расчета;
- **Fidesys Viewer** – постпроцессинг и анализ результатов.

Запуск программного обеспечения

Программу можно запустить двумя способами:

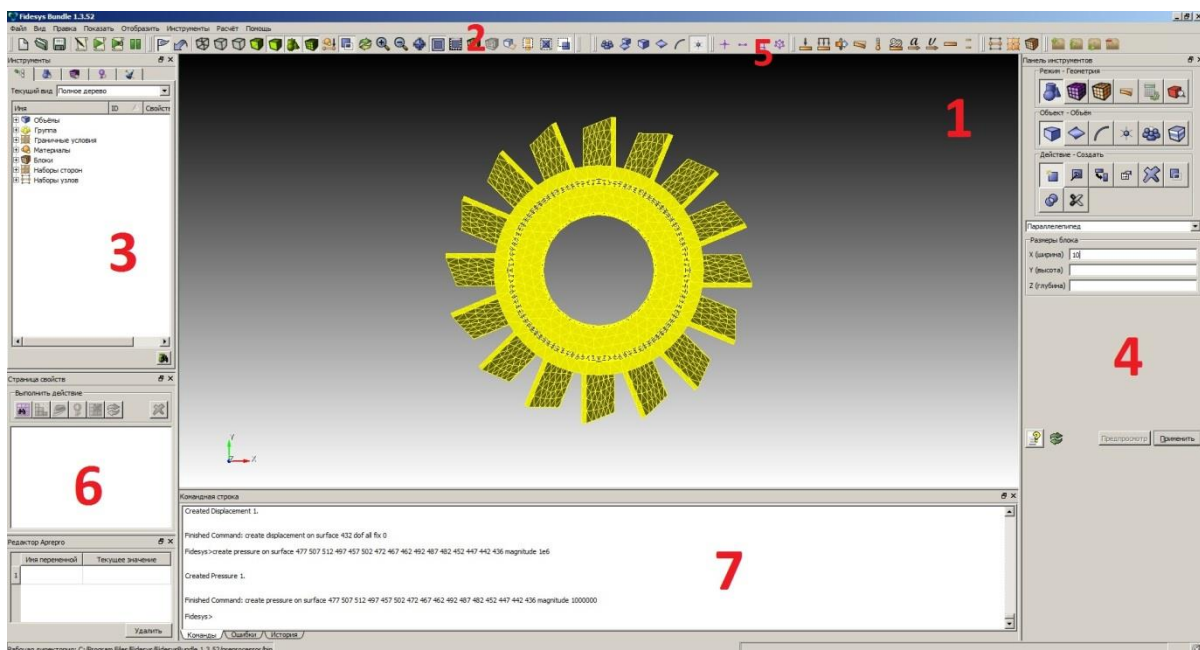
- через меню «Пуск» (если при установке было выбрано создание ярлыков в нём): выбрать **Fidesys** в папке, куда была установлена программа (по умолчанию **FidesysBundle**);
- через любой файловый менеджер для Windows из каталога, куда была установлена программа (по умолчанию **C:\Program Files\Fidesys\FidesysBundle**): запустить файл **fidesys.exe** (находится в папке **preprocessor\bin**).

На одном ПК может быть одновременно запущено несколько экземпляров программы.

Если для программы активирована платная лицензия, то после запуска программы появляется главное окно программы. Если активирован пробный период, появляется окно **Лицензирование Fidesys**, в котором следует нажать либо кнопку **Активировать**, чтобы приобрести лицензию, либо кнопку **Пробовать**, чтобы продолжить работу в пробном режиме и перейти к главному окну программы.

Главное окно программы

Fidesys Bundle имеет интуитивно понятный графический интерфейс, с помощью которого пользователь получает доступ к функционалу пакета и может поэтапно выполнять полный цикл проведения расчёта.



Рабочая область (1) представляет собой окно отображения модели и визуальных эффектов.

Главное меню (2) включает в себя стандартные операции работы с файлами и проектами, управление режимами визуализации моделей, настройки отображения панелей, справку и т.п. функционал, доступный в раскрывающихся пунктах меню.

Инструменты (3) включают в себя дерево объектов геометрии, а также инструменты для анализа геометрии и сетки.

Панель команд (4) содержит большинство команд для работы с программой. Кнопки отображения панелей расположены в логическом порядке, что позволяет поэтапно выполнять полный цикл проведения расчёта.

Панель инструментов (5) содержит кнопки для вызова команд, которые наиболее часто используются при работе с программой.

Страница свойств (6) служит для отображения свойств выделенного объекта в рабочей области экрана или в дереве объектов.

Консоль (7) используется для ввода команд *Fidesys Bundle* и вывода сообщений пользователю.

История версий

Версия 1.6 R2

Выпущена: апрель 2015

Дополнения и улучшения в препроцессоре

- Возможность автоматической обработки результатов расчёта эффективных свойств композитов.
- Повышена стабильность работы.

Дополнения и улучшения в процессоре (расчетном модуле)

- Упругопластическое деформирование по модели Друкера-Прагера
- Расчет эффективных свойств композиционных материалов
- Модули HPC и Dynamics поставляются в комплектациях Standard и Professional

Дополнения и улучшения в постпроцессоре (модуле 3D-визуализации)

- Улучшена работа программного интерфейса на основе Python Shell.

Версия 1.6

Выпущена: февраль 2015

- Добавлена поддержка импорта геометрии в следующих CAD-форматах:
 - SolidWorks;
 - Parasolid;
 - Pro/Engineer.
- Добавлена поддержка APREPRO (An Algebraic Preprocessor for Parameterizing Finite Element Analyses)
- Добавлены новые профили сечения балок:
 - Швеллер (С-сечение);
 - Уголок (L-сечение);
 - Тавр (Т-сечение);
 - Z-сечение;
 - Полый прямоугольник.
- Добавлена возможность задания граничных условий с помощью табличных и формульных зависимостей от координат и температуры для статического анализа.
- Добавлен новый генератор адаптивных тетраэдральных сеток.
- В соответствии с пожеланиями пользователей изменена панель задания настроек нелинейного решателя.
- Добавлена возможность расчета контактного взаимодействия в трехмерном случае для объемных моделей и в двумерном случае для плоских моделей.
- Добавлена возможность учета контактного связывания поверхностей в трехмерном случае для объемных моделей и контактного связывания кривых в двумерном случае для плоских моделей.
- Добавлена возможность расчета собственных частот с учетом предварительного напряженного состояния.
- Добавлено автоматическое адаптивное вычисление размера шагов нагружения.
- Для нелинейных задач добавлены вывод промежуточных результатов и лог расчета (текстовая информация о статусе расчета по стадиям).

- Добавлена возможность расчета термоупругих задач с использованием оболочечных элементов второго порядка: TRISHELL6, SHELL8, SHELL9.
- Добавлена поддержка многопроцессорных вычислений на основе технологии MPI для следующих расчетов:
 - Метод спектральных элементов;
 - Пластичность при малых и конечных деформациях;
 - Динамический анализ для явной и неявной схем по времени.
- Модифицирован учет пластических деформаций при использовании метода конечных элементов и метода спектральных элементов с учетом:
 - Конечных деформаций;
 - Термоупругости.
- Повышена скорость проведения динамического анализа с учетом конечных деформаций.
- Улучшена работа метода спектральных элементов на сетках из смешанных элементов при анализе устойчивости конструкции.
- Повышена точность решения статической задачи со сдвиговым нагружением при использовании 4-узловых плоских и 8-узловых объемных элементов.
- Fidesys Viewer 1.6: добавлена фокусировка элементов модели в текущем положении указателя мыши.
- Fidesys Viewer 1.6: улучшена работа фильтра по анализу прочности.
- Fidesys Viewer 1.6: улучшена работа фильтра “Согласованные результаты” для оболочечных конструкций.
- Улучшена совместимость с Windows 8 и Windows 8.1.
- Улучшена работа строки состояния (Progress Bar).
- Добавлена система лицензирования Fidesys Bundle.

Версия 1.5 R2

Выпущена: июль 2014

- Добавлена возможность задать аналитическую зависимость граничных условий от пространственных координат.
- Добавлена возможность построения графиков зависимости граничных условий от пространственных координат и времени.
- Добавлено генерирование консольных команд для настроек и запуска расчёта виджетами графического интерфейса.
- Добавлены импорт/экспорт материалов из графического интерфейса.
- В пакет включена новая версия Fidesys Viewer с рядом улучшений.

Версия 1.5

Выпущена: июнь 2014

- Добавлен расчёт упругопластических задач статического анализа.
- Добавлены ортотропные материалы.
- Добавлены физически нелинейные материалы: Муни-Ривлина и Мурнагана.
- Добавлены расчёты методом спектральных элементов для смешанных сеток.
- Добавлена возможность параллельных расчётов на одном или нескольких компьютерах с помощью технологии MPI (линейная статика, собственные частоты, устойчивость).
- Добавлено вычисление запаса прочности в соответствии с различными теориями разрушения в постпроцессоре.

- Добавлены 8-узловые оболочки SHELL8.
- Консольные команды для задания параметров анализа и запуска расчёта.
- Добавлена возможность задавать в динамических задачах зависимость от времени отдельно для каждого граничного условия.
- Исправлены проблемы совместимости с Windows XP.

Версия 1.4

Выпущена: декабрь 2013

- Добавлен расчёт задач потери устойчивости конструкции в линейном случае.
- Добавлен расчёт температурных и термоупругих задач.
- Добавлены криволинейные элементы.
- Добавлен расчёт геометрически нелинейных задач.
- Добавлен метод спектральных элементов для расчёта линейных и нелинейных двух- и трехмерных статических задач и задач анализа собственных частот и форм конструкции.
- Добавлена возможность расчёта на гибридных сетках.
- Добавлены новые возможности постпроцессинга.
- Исправлен ряд ошибок.

Версия 1.3

Выпущена: июль 2013

- Добавлен расчёт балочных конструкций.
- Добавлен расчёт оболочечных конструкций.
- Добавлено моделирование быстропротекающих процессов методом спектральных элементов.
- Добавлен расчёт статических и динамических нелинейных задач.
- Добавлена возможность работы с элементами высокого порядка.
- Добавлены новые возможности постпроцессинга.
- Исправлен ряд ошибок.

Версия 1.2

Выпущена: февраль 2013

- Улучшена производительность вычислительной части.
- В расчёте плоских задач добавлены плоско-напряжённое и плоско-деформированное состояния.
- В постпроцессор добавлен пересчёт в цилиндрические и сферические системы.
- В постпроцессор добавлен расчёт инвариантов тензоров.
- В постпроцессор добавлена визуализация результатов расчёта в виде изолиний.

Версия 1.1

Выпущена: ноябрь 2012

- Добавлены задание параметров и запуск расчёта из общего меню препроцессора.
- Добавлен расчёт динамических задач.
- Добавлен расчёт задач на собственные значения.
- Добавлена работа с гексаэдральными сетками.
- Добавлены работа с проектами и система управления расчётами.
- Русифицирован постпроцессор.
- Улучшена производительность постпроцессора.



Работа с программой

Проведение расчёта с использованием **Fidesys Bundle** подразумевает поэтапное выполнение следующих операций:

- задание геометрии;
- построение сетки;
- задание граничных условий;
- задание материала;
- запуск расчёта;
- просмотр и анализ результатов.

Все пункты, за исключением последнего, выполняются в препроцессоре. Последний пункт выполняется в постпроцессоре.

Геометрия

Fidesys Bundle позволяет пользователю самостоятельно создавать объёмную геометрию с помощью встроенного функционала, а также импортировать трёхмерные модели, созданные в различных CAD-системах.

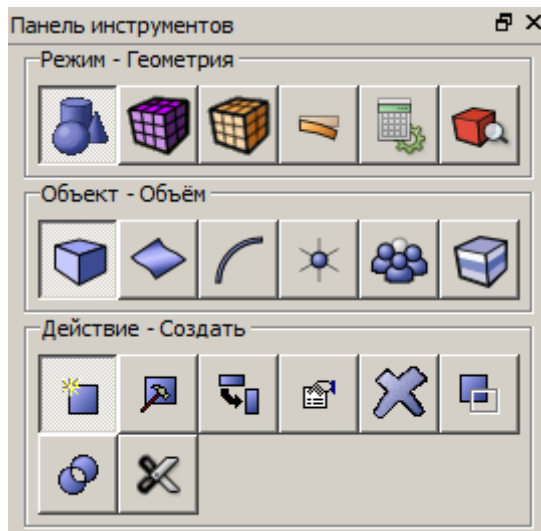
Импорт геометрии

Для импорта геометрии выберите в главном меню **Файл – Импорт**. **Fidesys Bundle** поддерживает импорт следующих форматов:

- ACIS (*.sat, *.sab);
- IGES (*.igs, *.iges);
- STEP (*.stp, *.step);
- AVS (*.avs);
- Genesis/Exodus (*.g, *.gen, *.e, *.exo);
- Facets (*.fac);
- STL Files (*.stl);
- Patran (*.pat, *.neu, *.out);
- Ideas (*.unv);
- Abaqus (*.inp);
- Fluent (*.msh);
- Nastran (*.bdf);
- Cubit (*.cub);
- Catia (*.CATPart, *.CATProduct, *.ncgm).

Создание геометрии

В качестве средств для создания геометрии **Fidesys Bundle** предоставляет большое количество объёмных геометрических примитивов (параллелепипед, цилиндр, призма, конус, пирамида, шар, тор), а также возможность объединять поверхности в замкнутые объёмные тела. Для создания сложной геометрии используются булевы операции (пересечение, вычитание, объединение объёмов) и различные трансформации объектов (вращение, перемещение, масштабирование, отражение). Весь описанный функционал доступен на панели команд в разделе **Геометрия**.



Построение сетки

Fidesys Bundle поддерживает следующие виды конечных элементов для сеток:

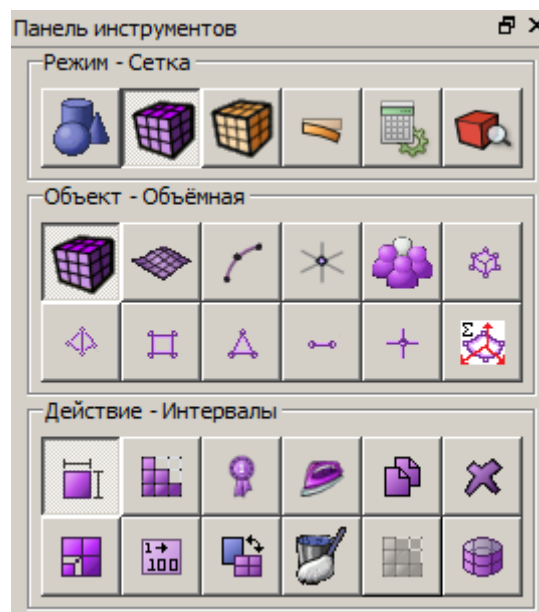
- объёмные: 4-узловые тетраэдры (TETRA/TETRA4), 10-узловые тетраэдры (TETRA10), 8-узловые гексаэдры (HEX/HEX8), 20-узловые гексаэдры (HEX20), 27-узловые гексаэдры (HEX27), 5-узловые пирамиды (PYRAMID/PYRAMID5), 13-узловые пирамиды (PYRAMID13), 6-узловые призмы (WEDGE/WEDGE6), 15-узловые призмы (WEDGE15);
- плоские: 3-узловые треугольники (TRI/TRI3), 6-узловые треугольники (TRI6), 4-узловые четырёхугольники (QUAD/QUAD4), 8-узловые четырёхугольники (QUAD8), 9-узловые четырёхугольники (QUAD9);
- оболочечные: 3-узловые треугольники (TRISHELL/TRISHELL3), 4-узловые четырёхугольники (SHELL/SHELL4), 6-узловые треугольники (TRISHELL6), 8-узловые четырёхугольники (SHELL8), 9-узловые четырёхугольники (SHELL9);
- балочные: 2-узловые балки (BEAM/BEAM2).

Fidesys Bundle поддерживает следующие виды спектральных элементов для сеток (см раздел **Метод спектральных элементов**):

- объёмные: 4-узловые тетраэдры (TETRA/TETRA4), 10-узловые тетраэдры (TETRA10), 8-узловые гексаэдры (HEX/HEX8), 20-узловые гексаэдры (HEX20), 27-узловые гексаэдры (HEX27), 5-узловые пирамиды (PYRAMID/PYRAMID5), 13-узловые пирамиды (PYRAMID13), 6-узловые призмы (WEDGE/WEDGE6), 15-узловые призмы (WEDGE15);
- плоские: 3-узловые треугольники (TRI/TRI3), 6-узловые треугольники (TRI6), 4-узловые четырёхугольники (QUAD/QUAD4), 8-узловые четырёхугольники (QUAD8), 9-узловые четырёхугольники (QUAD9);

Построение объёмной сетки

На панели команд выберите модуль построения объёмной сетки (Режим – **Сетка**, Объект – **Объёмная**).



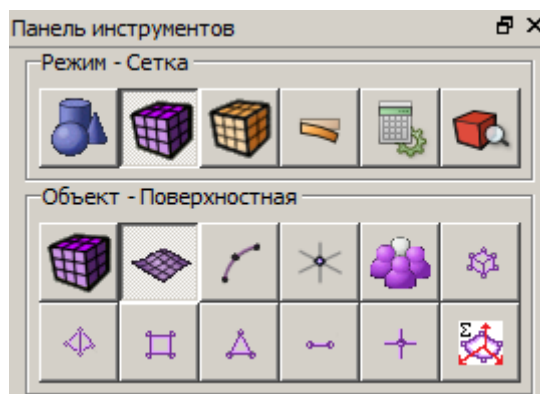
1. Укажите степень измельчения сетки (Действие – **Интервалы**) каждого объёма:
 - выберите объёмы (укажите их ID). Несколько объёмов можно перечислить через пробел, все объёмы можно задать командой **all**;
 - выберите способ построения сетки (автоматический, задание примерного размера элементов, адаптивно под геометрию, указание интервалов разбиения или с помощью функции размера);
 - нажмите **Применить схему**.
2. Укажите тип элементов для каждого объёма:
 - выберите объекты для построения сетки (укажите их ID). Несколько объёмов можно перечислить через пробел, все объёмы можно задать командой **all**;
 - выберите схему построения сетки (тетраэдральные (тип Тетраэдральная) или гексаэдральные элементы (тип Автоматическое разбиение));
 - в случае построения тетраэдральной сетки выберите уровень оптимизации (экстремальный, сильный, выше среднего, стандартный, средний, лёгкий или без оптимизации), а также установите флажки напротив соответствующих пунктов, если требуется минимизировать переопределённые и/или вытянутые тетраэдры;
 - нажмите **Применить схему**;
 - нажмите **Построить сетку**.

В случае сложной геометрии рекомендуется сначала задать схему построения поверхностной сетки (треугольные или четырёхугольные элементы).

Построение поверхностной сетки

Для построения поверхностной сетки выполните следующие действия.

1. На панели команд выберите модуль построения поверхностной сетки (Режим – **Сетка**, Объект – **Поверхностная**).



2. Укажите степень измельчения сетки (Действие – **Интервалы**) каждой поверхности:
 - выберите объёмы (укажите их ID). Несколько поверхностей можно перечислить через пробел, все поверхности можно задать командой **all**;
 - выберите способ построения сетки (автоматический, задание примерного размера элементов, адаптивно под геометрию, указание интервалов разбиения или с помощью функции размера);
 - нажмите **Применить схему**.
3. Укажите тип элементов для каждой поверхности:

- выберите объекты для построения сетки (укажите их ID). Несколько поверхностей можно перечислить через пробел, все поверхности можно задать командой **all**;
- выберите схему построения сетки (треугольные элементы (тип Треугольная сетка или Треугольная сетка методом Делоне) или четырёхугольные элементы (тип Автоматическое разбиение));
- нажмите **Применить схему**.

Чтобы построить неравномерную сетку (например, сгущающуюся вблизи концентраторов напряжения), можно добавлять отдельные узлы на границах особенностей и разбивать отдельные кривые, поверхности или объёмы вблизи особенностей.

С помощью функционала, доступного через панель команд, можно также:

- проверить качество построенной сетки (включая проверку качества сетки отдельных элементов: объёмов, поверхностей, кривых);
- модифицировать уже построенную сетку (улучшить, сгладить, зачистить);
- перенумеровать элементы и удалить построенную сетку.

Задание материала и типа элементов

Типы элементов

Fidesys Bundle осуществляет анализ с использованием модели линейного изотропного материала, подчиняющегося закону Гука.

Fidesys Bundle поддерживает следующие виды конечных и спектральных элементов для сеток:

- объёмные первого порядка: 4-узловые тетраэдры (TETRA/TETRA4), 8-узловые гексаэдры (HEX/HEX8), 5-узловые пирамиды PYRAMID5, 6-узловые призмы WEDGE6;
- объёмные второго порядка: 10-узловые тетраэдры (TETRA10), 20-узловые гексаэдры (HEX20), 27-узловые гексаэдры (HEX27), 13-узловые пирамиды PYRAMID13, 15-узловые призмы WEDGE15;
- плоские первого порядка: 3-узловые треугольники (TRI/TRI3), 4-узловые четырёхугольники (QUAD/QUAD4);
- плоские второго порядка: 8-узловые четырёхугольники (QUAD8), 9-узловые четырёхугольники (QUAD9), 6-узловые треугольники (TRI6).

Fidesys Bundle поддерживает следующие виды только конечных элементов для сеток:

- оболочечные элементы первого порядка: 3-узловые треугольники (TRISHELL/TRISHELL3), 4-узловые четырёхугольники (SHELL/SHELL4);
- оболочечные элементы второго порядка: 6-узловые треугольники (TRISHELL6), 8-узловые четырёхугольники (SHELL8), 9-узловые четырёхугольники (SHELL9);
- балочные элементы: 2-узловые балки (BEAM/BEAM2).

Fidesys Bundle поддерживает следующие допустимые сочетания элементов в одной модели:

- HEX/HEX8, TETRA/TETRA4, PYRAMID/PYRAMID5, WEDGE/WEDGE6, SHELL/SHELL4, TRISHELL/TRISHELL3, BEAM/BEAM2;

- HEX20, TETRA10, PYRAMID13, WEDGE15, SHELL8, TRISHELL6;
- HEX27, SHELL9;
- QUAD/QUAD4, TRI/TRI3;
- QUAD8/QUAD9, TRI6.

По умолчанию поверхностные элементы являются оболочечными (SHELL4 или TRISHELL3). Поэтому для расчёта 2D задач необходимо поменять тип элементов на QUAD4 или TRI3.

В 3D задачах элементам по умолчанию присваивается тип HEX8 или TETRA4.

Балочные модели по умолчанию имеют тип BAR2, который не поддерживается в текущей версии **Fidesys Bundle**. Поэтому для расчёта балочных моделей необходимо поменять тип элемента на BEAM/BEAM2.

Важно: вы можете узнать тип элемента и статистику по конкретной модели. Для этого кликните по модели правой кнопкой мыши и выберите в выпадающем списке **Данные о сетке**. Нужная информация выведется в консоль.

Группы материалов

Fidesys Bundle поддерживает следующие материалы:

- Материал Гука;
- Ортотропный материал;
- Материал Муни-Ривлина;
- Материал Мурнагана.

Для материалов Муни-Ривлина и Мурнагана используются определяющие соотношения, указанные ниже.

Потенциал Муни-Ривлина:

$$W = C_1(\bar{I}_1 - 3) + C_2(\bar{I}_2 - 3) - D(J - 1)^2,$$

где D , C_1 , C_2 - константы материала Муни-Ривлина.

Связь D , C_1 , C_2 и коэффициента Пуассона ν :

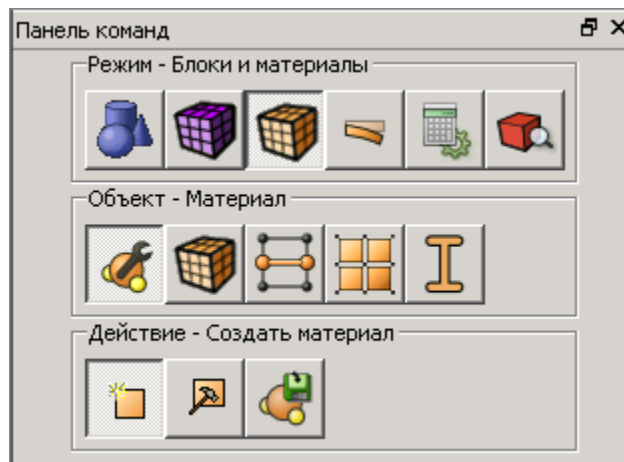
$$D = \frac{C_1 + C_2}{1 - 2\nu}.$$

Потенциал Мурнагана:

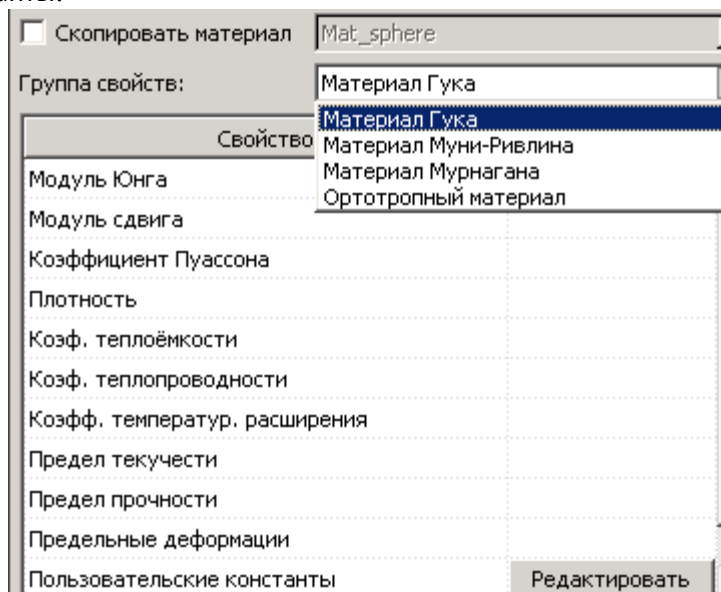
$$\Sigma_{0,n} = \lambda(\varepsilon \cdot I)I + 2G\varepsilon + 3C_3(\varepsilon \cdot I)^2I + C_4(\varepsilon \cdot I)^2I + 2C_4(\varepsilon \cdot I)I + 2C_4(\varepsilon \cdot I)I + 3C_5\varepsilon$$

где λ , G , C_3 , C_4 , C_5 - константы материала Мурнагана.

Чтобы создать новый материал, выберите на панели команд модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Материал**, Действие – **Создать материал**).



Выберите группу свойств материала из выпадающего списка, укажите название материала и соответствующие константы:



Важно: Для того, чтобы связать материал и модель, используется **Блок**.

Работа с блоками

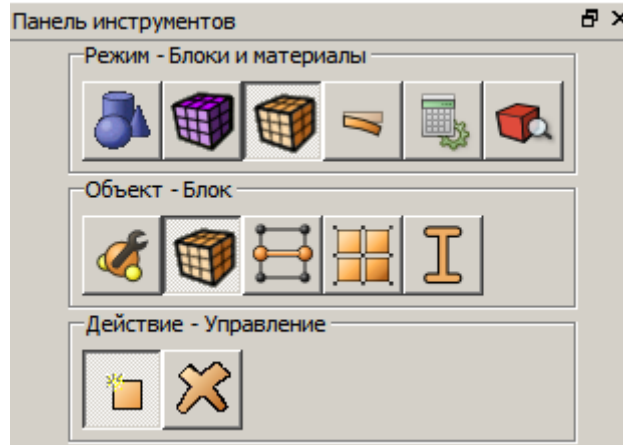
Блок должен содержать тип элемента, ID геометрической модели и название материала.

Последовательность работы с блоками можно схематично представить следующим образом:

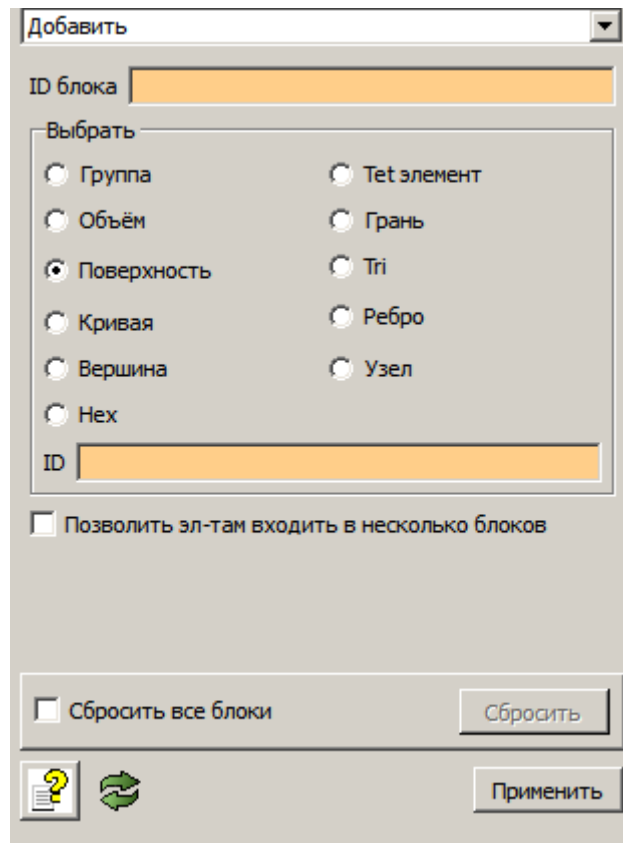
- создать блок с указанием ID геометрического объекта;
- присвоить блоку материал;
- присвоить блоку тип элемента.

Рассмотрим эти пункты подробнее.

1. Чтобы создать новый блок, перейдите в Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Создать**.

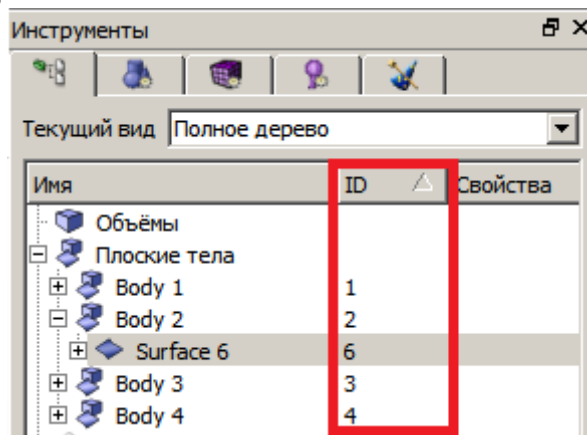


На панели ниже выберите Действие – **Добавить**, выберите тип геометрических объектов, которые войдут в блок.



ID геометрических объектов, которые войдут в блок, можно узнать следующим образом:

- в дереве объектов слева;

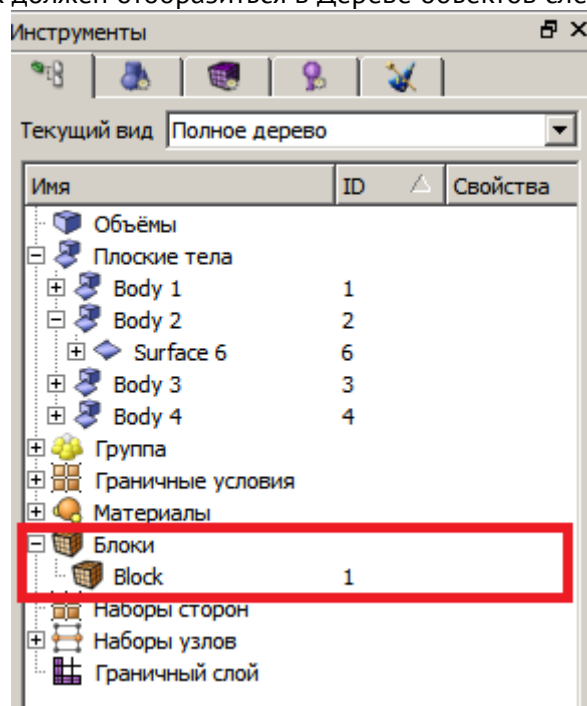


- кликнув мышью по интересующим геометрическим объектам – их ID автоматически появится в соответствующем поле.

Поле ID блока заполняется автоматически.

Нажмите **Применить**.

Важно: Созданный блок должен отобразиться в Дереве объектов слева в разделе **Блоки**.

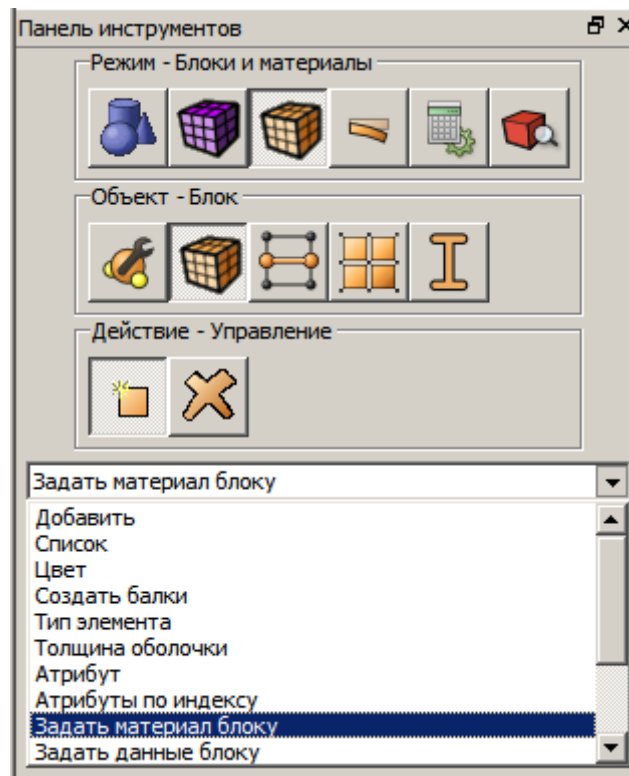


Чтобы посмотреть список геометрических объектов, которые вошли в блок, в командной строке введите

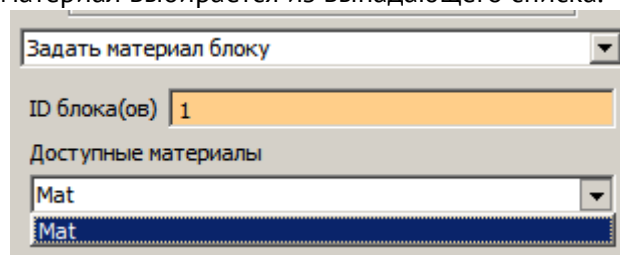
```
List block 1
```

В консоли вы увидите список объектов, вошедших в блок.

2. Чтобы задать материал блока, здесь же в выпадающем меню выберите **Задать материал блоку**.

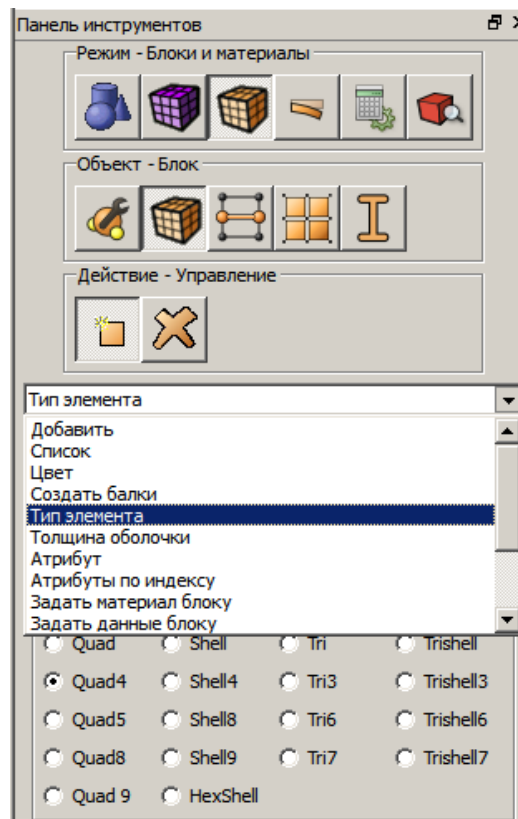


ID блока можно ввести вручную, либо щелкнуть мышью по соответствующему геометрическому объекту. Доступный материал выбирается из выпадающего списка.



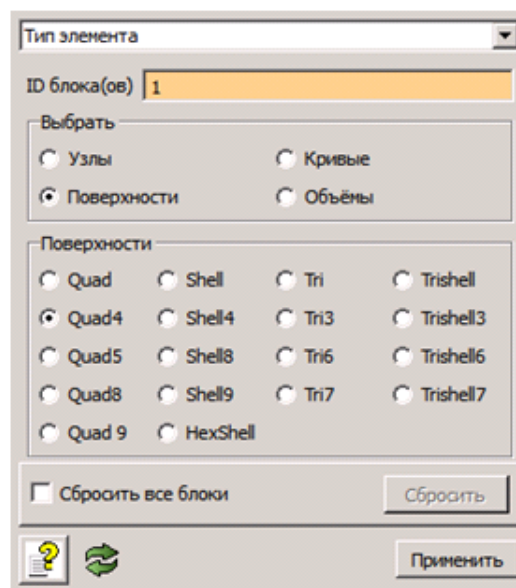
Нажмите **Применить**.

3. Чтобы задать блоку тип элемента, здесь же в выпадающем меню выберите **Тип Элемента**.



ID блока можно ввести вручную, либо щелкнуть мышью по соответствующему геометрическому объекту. Доступные типы элементов появятся на панели ниже.

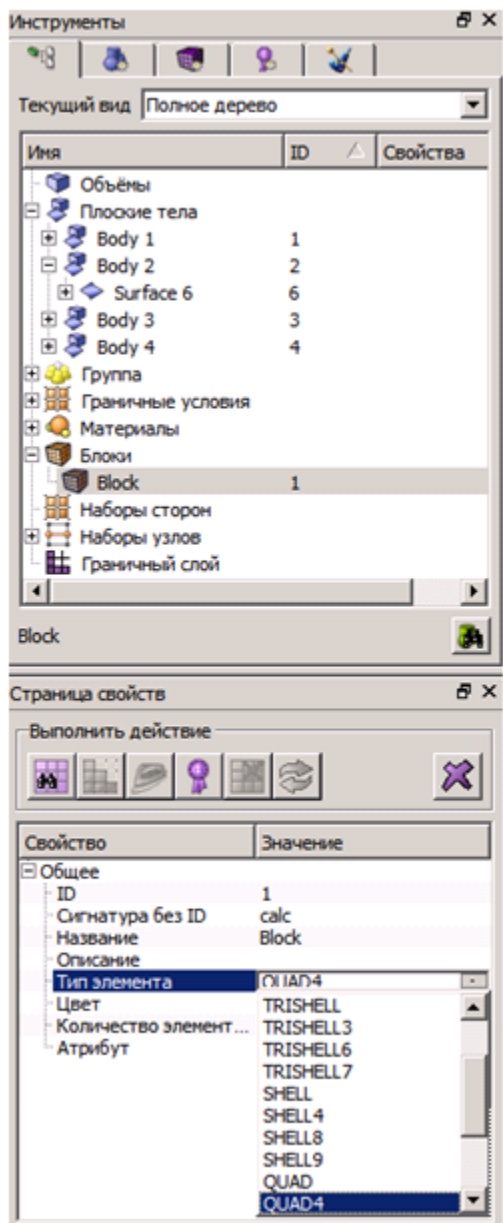
Нажмите **Применить**.



Изменение типа элемента, выбранного для блока

Тип элемента, ранее присвоенный блоку, можно изменить на **Странице свойств** слева.

Для этого выберите в дереве объектов необходимый блок и на странице свойств ниже в выпадающем списке укажите новый тип элемента.

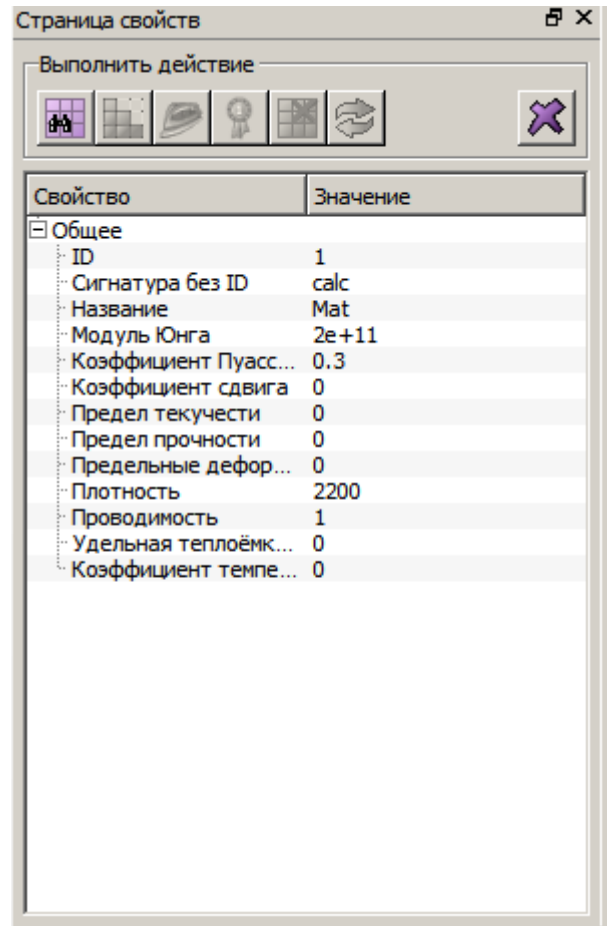
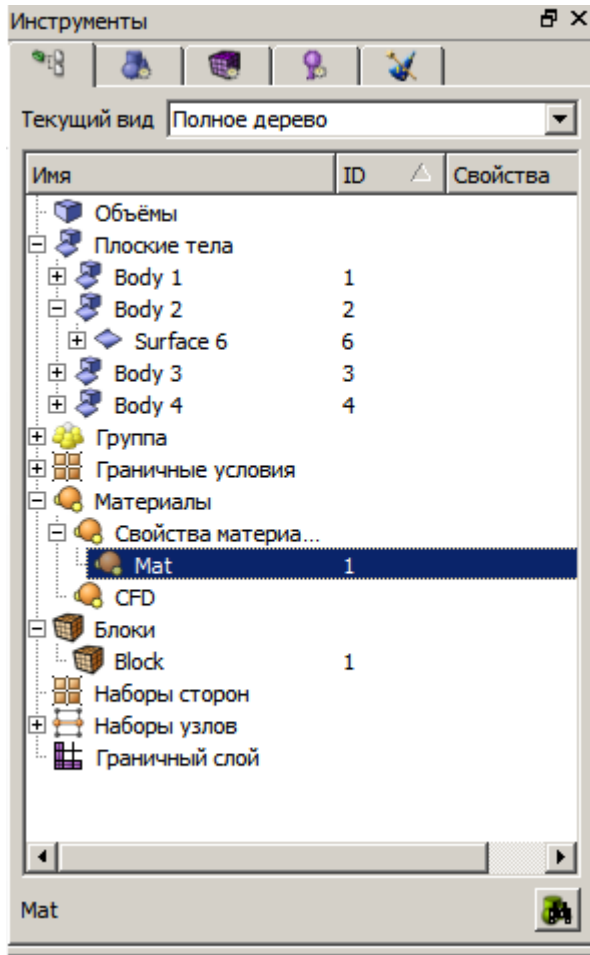


Изменение свойств материала

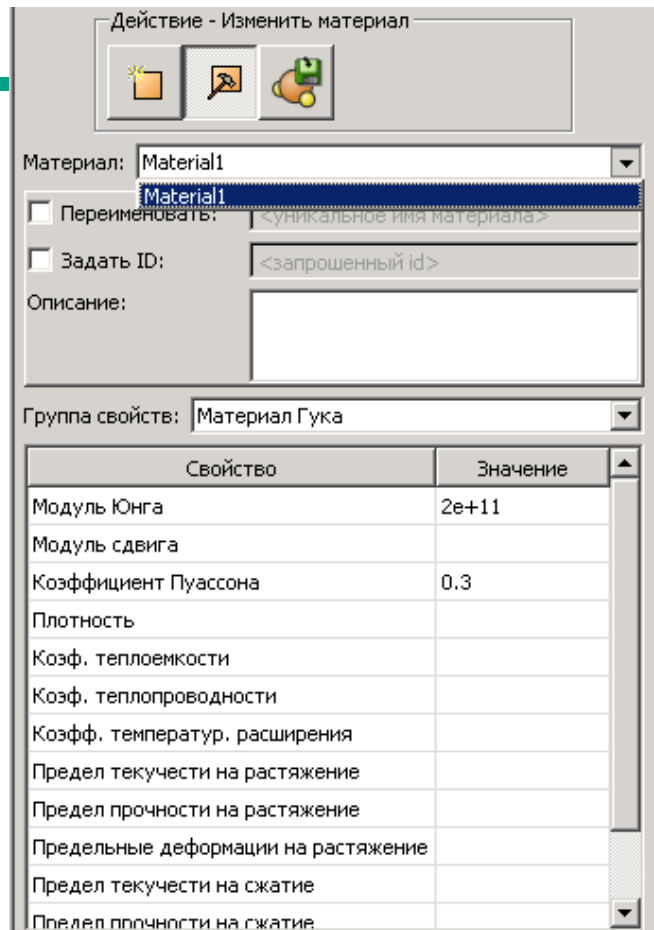
Свойства материала, ранее присвоенного блоку, можно изменить на **Странице свойств** слева.

Для этого выберите в дереве объектов необходимый материал и на странице свойств ниже измените константы материала. После изменения в командной строке должно появиться сообщение о редактировании материала. Например,

modify material 1 density 7800

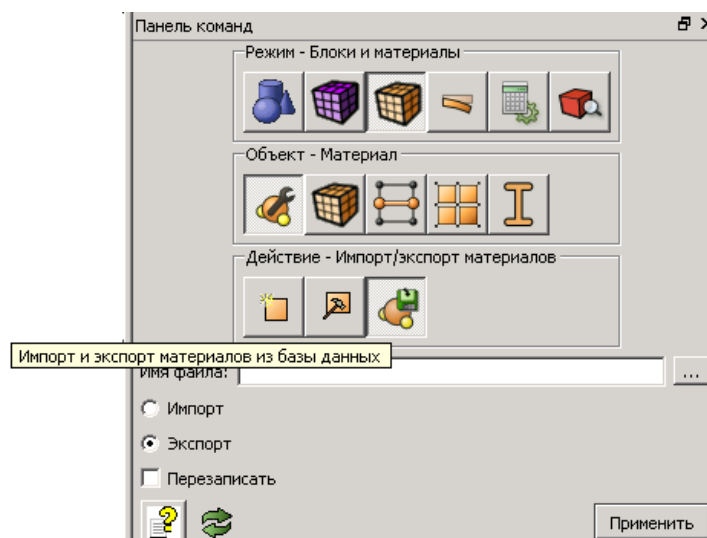


Также свойства материала можно изменить, используя Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Материал**, Действие – **Изменить материал**.



Импорт/Экспорт материала

Чтобы импортировать или экспортировать материал, выберите на панели команд модуль Импорта/Экспорта материалов (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Материал**, Действие – **Импорт/Экспорт материалов**).



Кроме того, **Fidesys Bundle** поддерживает импорт материала в формате XML.

Задание свойств оболочек

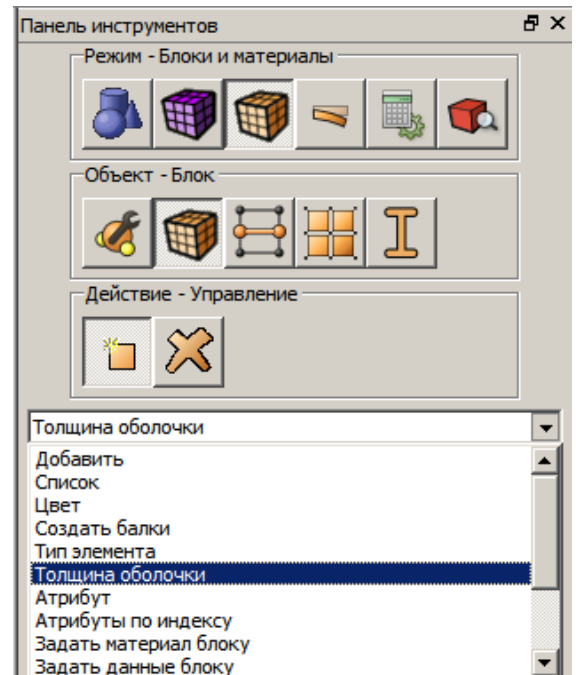
Fidesys Bundle поддерживает оболочечные элементы SHELL/SHELL4/SHELL8/SHELL9/TRISHELL/TRISHELL3/TRISHELL6.

Чтобы задать свойства оболочек – толщину и коэффициент лффта – перейдите в Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**. Далее в выпадающем списке выберите **Толщина оболочки**.

На появившейся панели укажите:

- ID блока(ов)
- Толщину оболочки
- Коэффициент лффта

Важно: Коэффициент лффта по умолчанию должен быть равен 0.5.



Просмотр сечения оболочки в 3D-виде возможен в постпроцессоре **Fidesys Viewer** при нажатии кнопки 3D-вид в стандартной строке.

Задание свойств балок

Fidesys Bundle поддерживает балочные элементы BEAM/BEAM2.

Чтобы задать сечения балок с помощью геометрических характеристик или моментов инерции, перейдите в Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Параметры балок**.

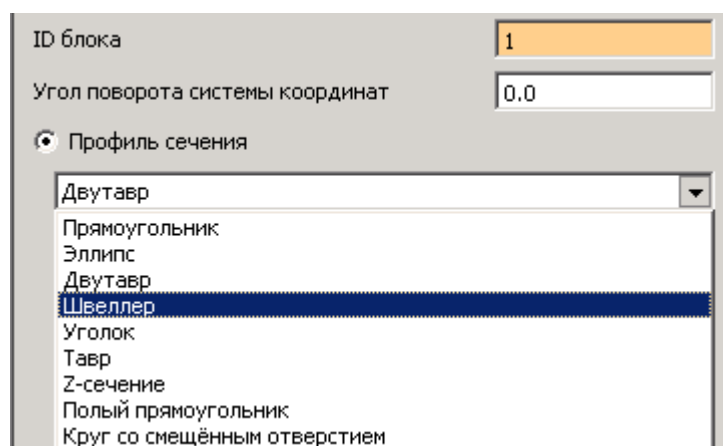
На появившейся панели укажите:

- ID блока;
- угол поворота система координат;
- профиль сечения и соответствующие размеры к нему.

Нажмите **Применить**.

Fidesys Bundle поддерживает сечения балок следующих типов:

- прямоугольник;
- эллипс;
- двутавр;
- швеллер;
- тавр;
- Z-сечение;
- полый прямоугольник;
- круг со смещенным отверстием.





Просмотр сечения балки в 3D-виде возможен в постпроцессоре **Fidesys Viewer** при нажатии кнопки 3D-вид в стандартной строке после выполнения расчета.

Для задания свойств балок с помощью моментов инерции измените флаг с **Профиль сечения** на **Установить параметры**. Тогда поля для моментов инерции станут доступны для редактирования.

Установить параметры

Момент инерции Iy	4.90874e-06
Момент инерции Iz	4.90874e-06
Момент инерции Ix	9.81748e-06
Момент инерции Iyz	0
Момент инерции на кручение	9.81748e-06
Площадь	0.00785398
Максимальная координата по Y	0.05
Максимальная координата по Z	0.05
Эксцентриситет по Y	0.0
Эксцентриситет по Z	0.0

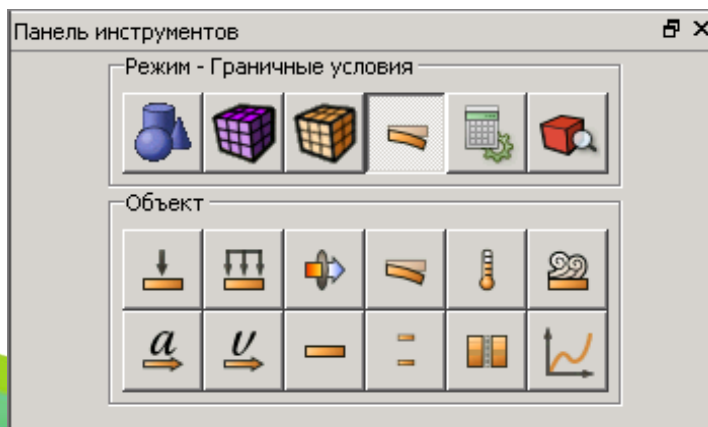
Применить

Задание граничных условий

Типы граничных условий

Fidesys Bundle поддерживает граничные условия следующих типов:

- точечная сила;
- давление;
- перемещение
- тепловой поток,
- конвекция,
- температура,
- ускорение,
- скорость,
- регионы контакта,
- контактные пары,



Чтобы задать граничные условия:

1. На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**.
2. Выберите тип граничного условия в блоке **Объект**.
3. Выберите Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:
 - ID/Имя (присвойте новый ID, введите имя с использованием букв и/или цифр или оставьте автоматически присвоенный номер ID);
 - объект, к которому прикладывается граничное условие (объём, поверхность, кривая, ребро, вершина, узел, набор узлов, элемент, грань, набор сторон);
 - ID объектов (поставьте указатель в поле ID объектов и выберите мышкой требуемые объекты, их номера будут занесены в это поле автоматически. Если требуется указать несколько объектов, выделяйте их, удерживая клавишу Ctrl);
 - прочие параметры (значение, степени свободы и т.д.).
4. Нажмите **Применить**.

С помощью функционала, доступного через панель команд, можно также просмотреть список заданных граничных условий, изменить и удалить заданное ранее граничное условие.

Зависимость от времени или координат

Зависимость от времени или координат может быть задана отдельно для каждого типа граничных условий с помощью табличных и формульных зависимостей.

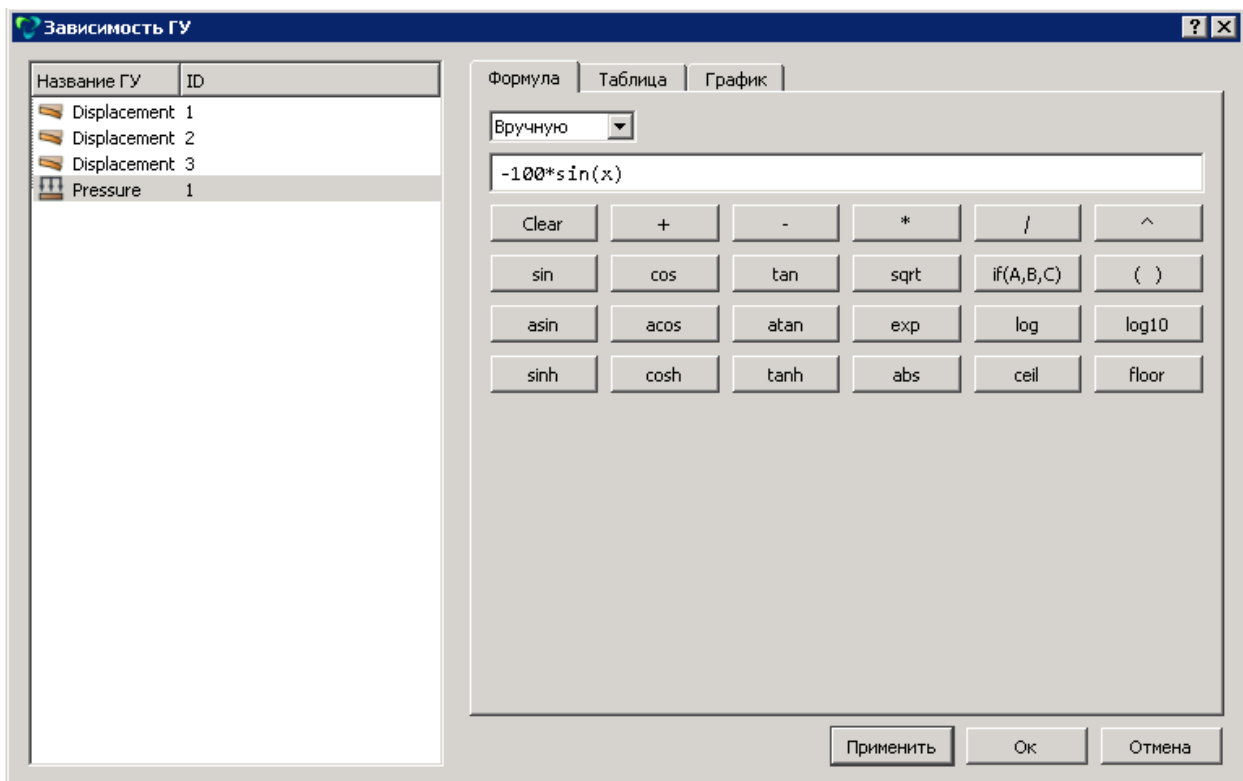
Граничные условия должны быть заранее заданы (Режим – Граничные условия).

Для задания формульной зависимости на панели команд выберите модуль задания граничных условий (Режим – **Граничные условия**, Объект – **Зависимость от времени**) и в появившейся форме:

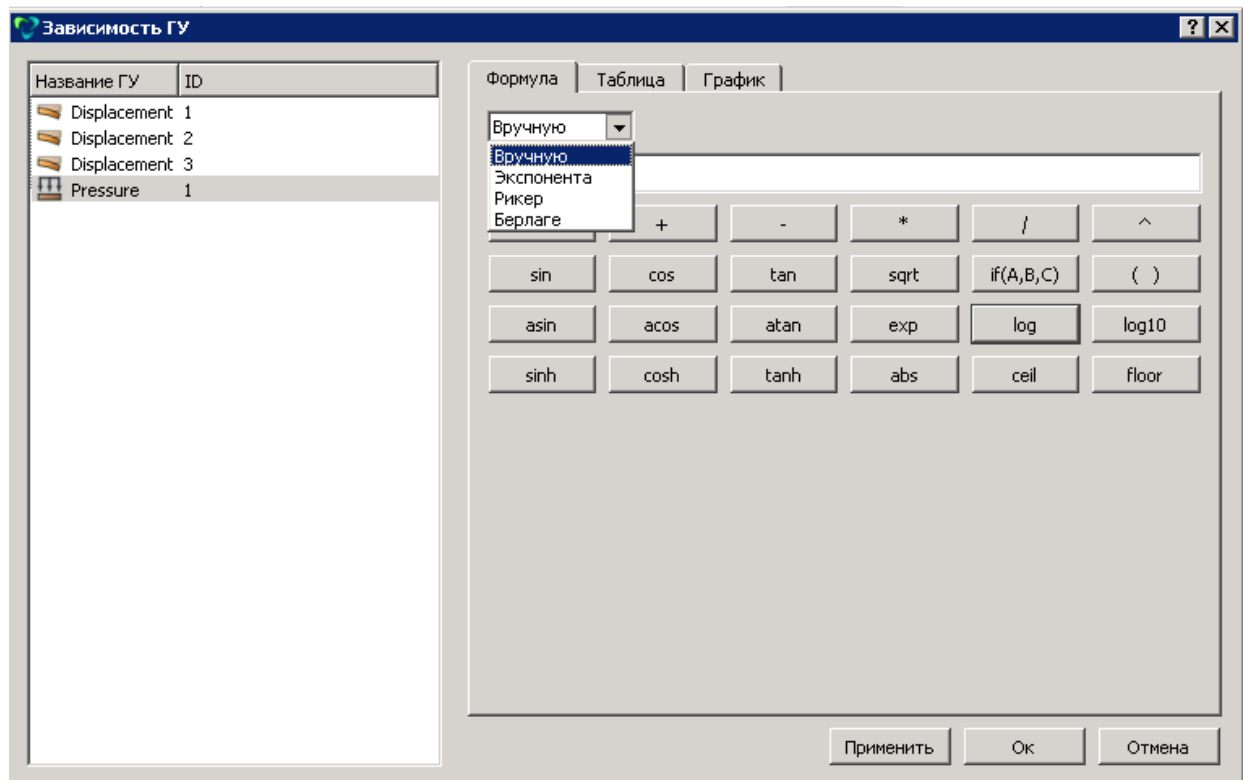
- выберите тип ГУ;
- выберите отдельную компоненту или весь вектор для приложения зависимости от времени;
- выберите тип зависимости (формулу можно ввести вручную, для зависимости от времени можно воспользоваться стандартными формулами);
- задайте параметры зависимости.

Нажмите **Применить**.

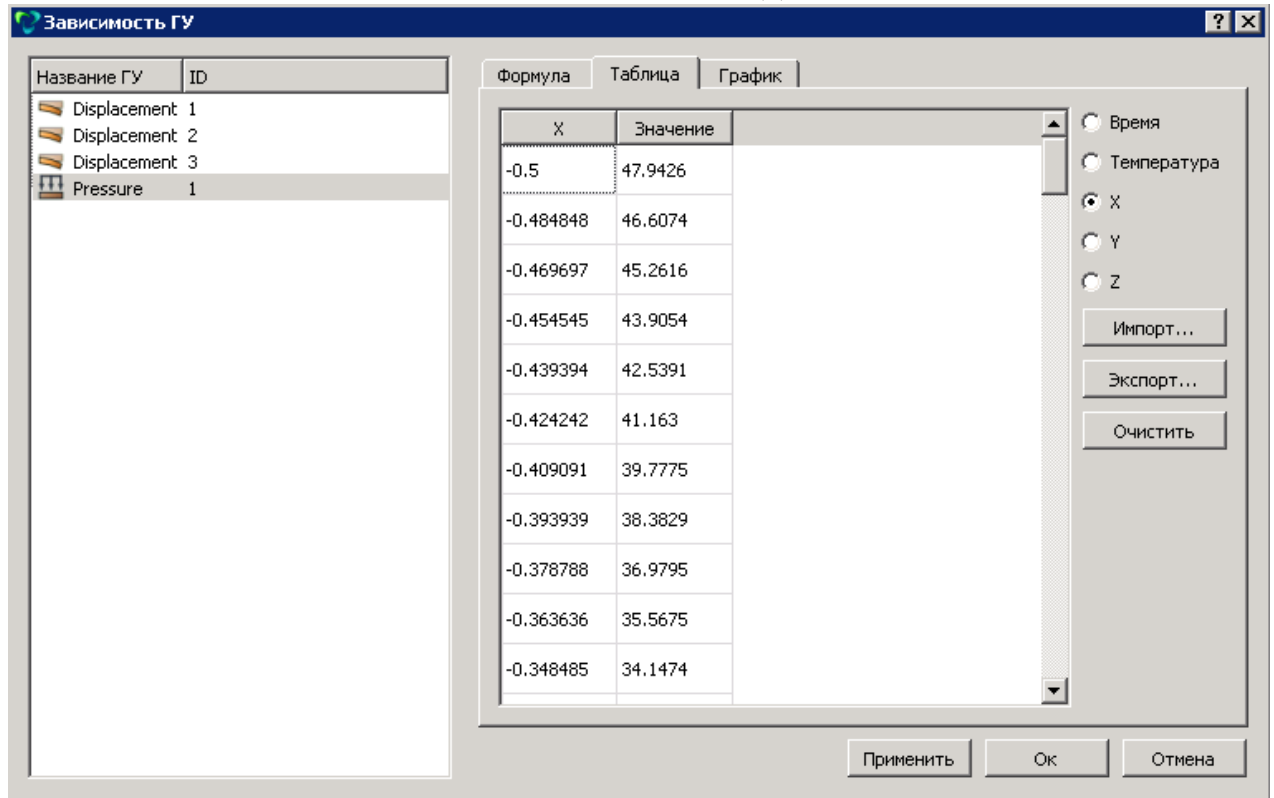
Для просмотра табличных данных или графика, построенных по заданной формуле, перейдите в соответствующие вкладки в окне Зависимость ГУ. Кроме того, есть возможность экспорта табличных данных либо импорта новых таблиц.



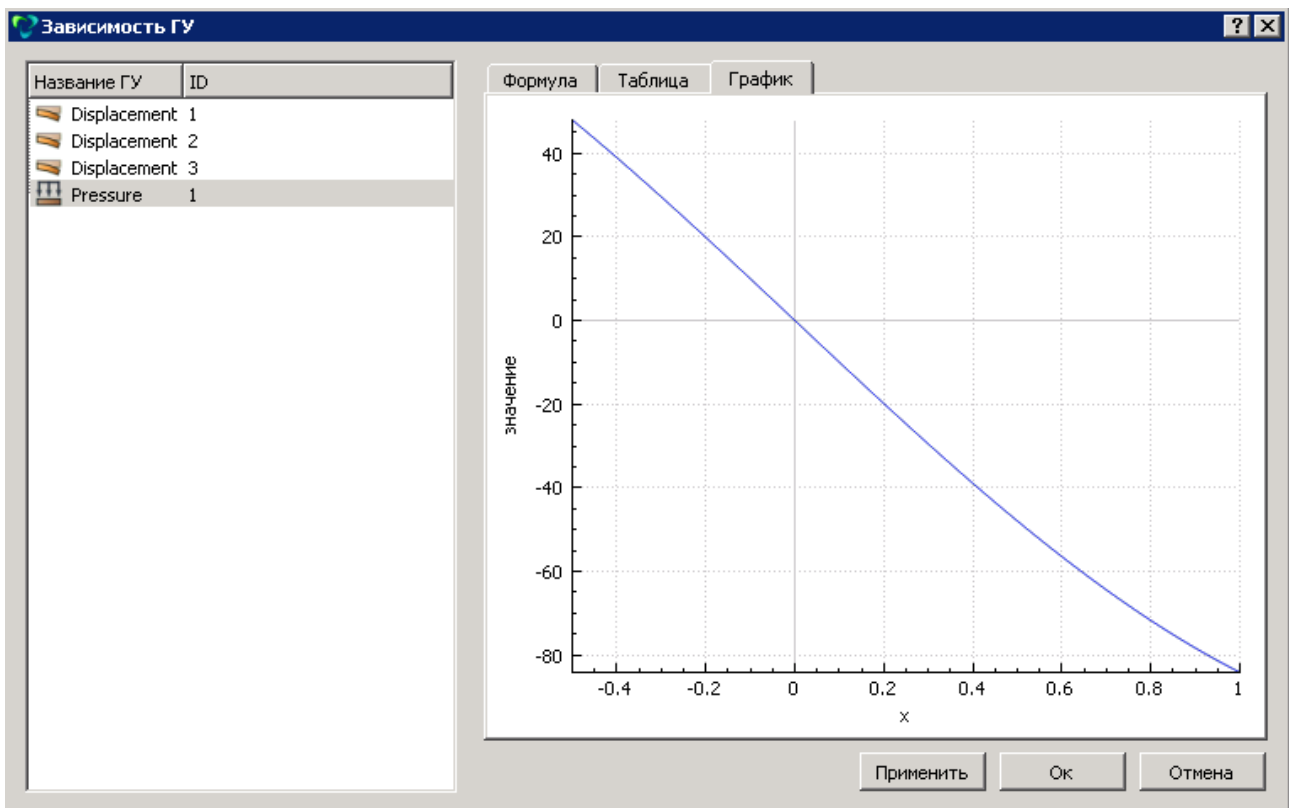
Стандартные формулы для зависимости от времени:



Просмотр табличных данных, соответствующих формуле $-100 \cdot \sin(x)$:



Просмотр графика, соответствующего формуле $-100 \cdot \sin(x)$

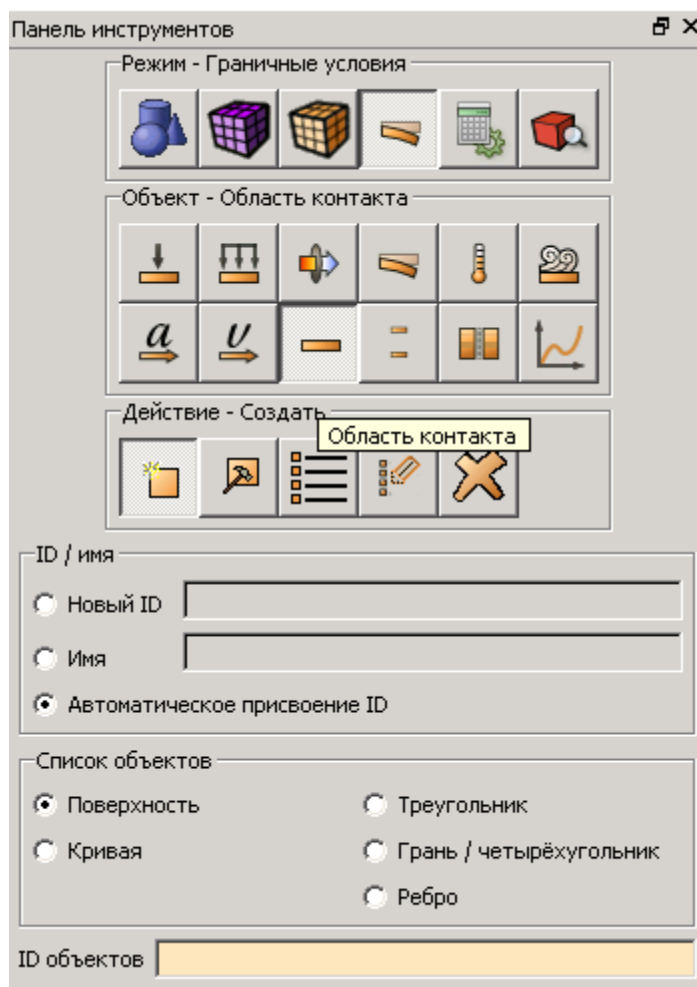


Задание контактного взаимодействия

Контактные задачи являются существенно нелинейными и требуют значительных компьютерных ресурсов для решения. При этом для выбора модели, приводящей к наиболее эффективному решению, очень важно понимать физическое содержание задачи. Нелинейность контактных задач связана с двумя моментами. Во-первых, область контакта, а, следовательно, граничные условия до получения решения являются неизвестными. Во-вторых, во многих контактных задачах необходимо учитывать трение. Эффекты, связанные с трением, могут приводить к плохо сходящимся задачам.

Регион контакта

Для задания областей контакта выберете модуль задания Области контакта (Режим – **Граничные условия**, Объект – **Регион контакта**)



В **Fidesys Bundle 1.6** реализованы контактные взаимодействия узел-поверхность и узел-кривая.

Важно: если контактные условия не заданы, то детали в сборке не взаимодействуют. Взаимодействие деталей в сборке через заданные области контакта означает препятствие взаимному проникновению деталей и передачу нагрузок.

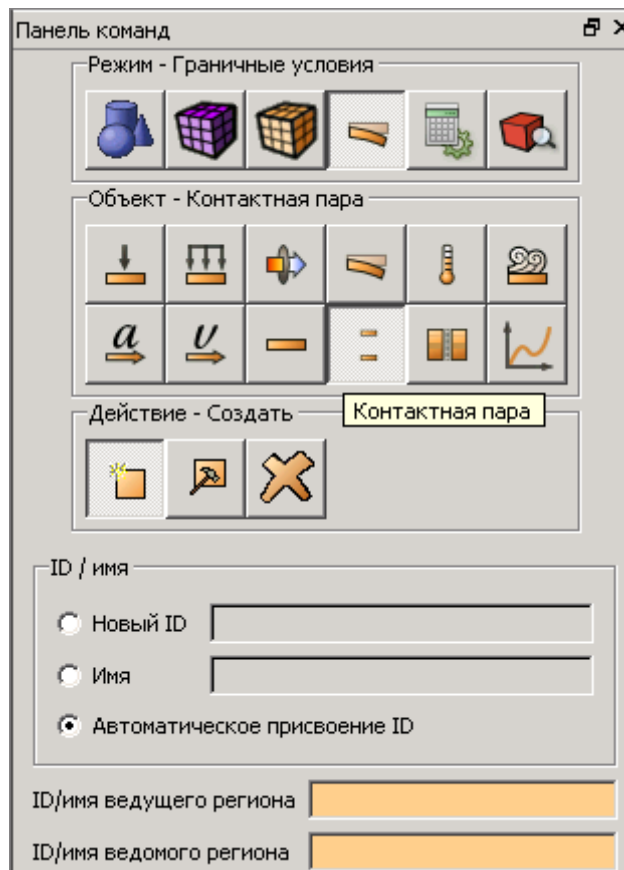
Области, для которых планируется задавать граничные условия для контакта, желательно выделить в отдельные поверхности для объемных тел или линии для двумерного случая. Регионы контактов должны быть достаточными, чтобы процесс взаимодействия тел за нее не выходил, но при этом для экономии компьютерных ресурсов эти регионы рекомендуется минимизировать.

Контактная пара

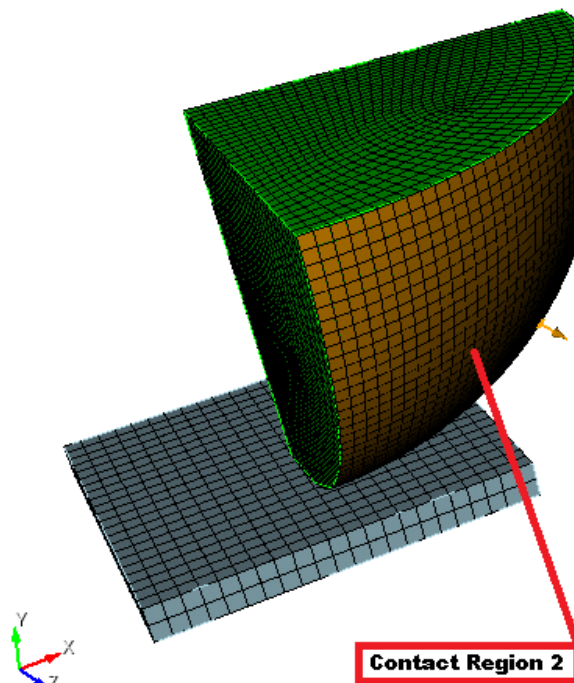
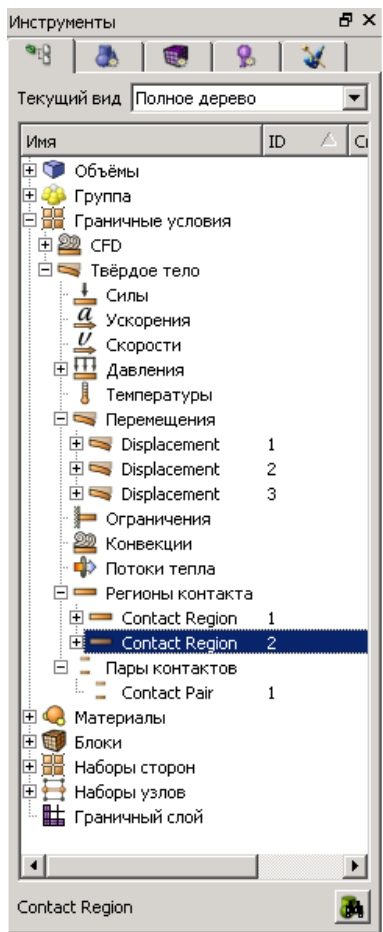
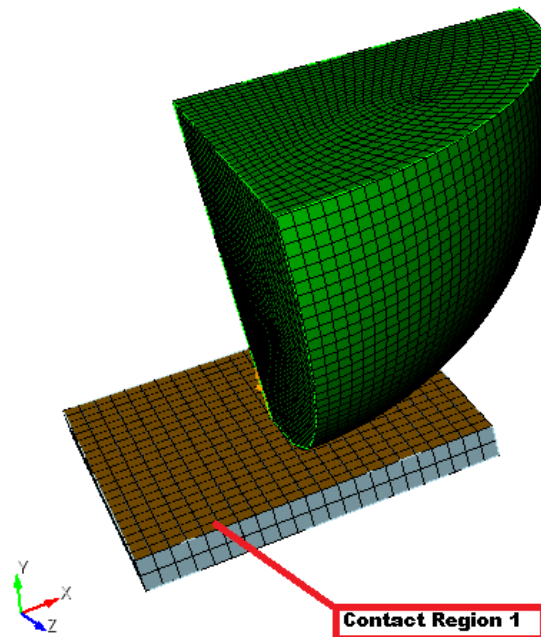
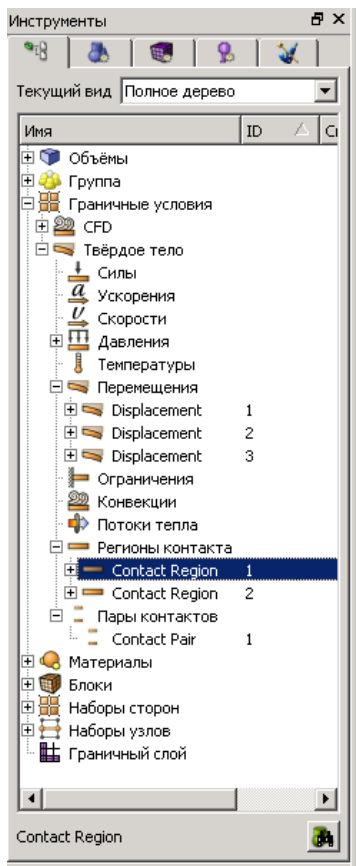
Для задания контактного взаимодействия необходимо задать Контактную пару (Режим – **Граничные условия**, Объект – **Контактная пара**).

Укажите, какой из созданных ранее регионов контакта будет Ведущим регионом (master), а какой – Ведомым регионом (slave).

При этом следует отметить, что Ведущий регион моделируется поверхностями, а Ведомый – узлами.

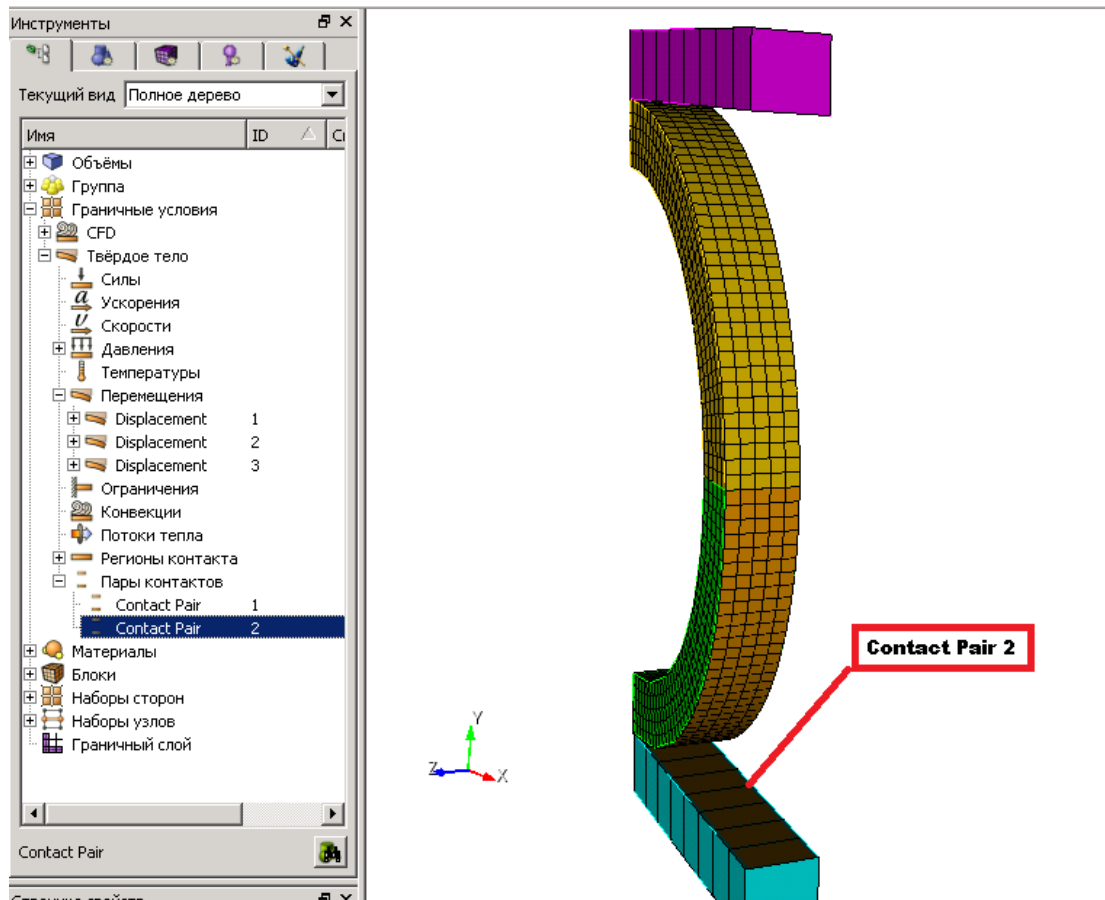


Регионы контакта и их номера отображаются в дереве объектов слева. Для визуализации кликните мышью на название необходимого региона контакта в дереве объектов, и он будет подсвечен на модели.



Каждой контактной паре присписывается индивидуальный номер (ID) и набор свойств. Число контактных пар не ограничено. Для визуализации созданной контактной пары кликните мышью на название

необходимой контактной пары в том же дереве объектов слева. Выбранная пара будет подсвечена на модели желтым.



При задании контактной пары следует иметь в виду, что выбор Ведущего и Ведомого регионов может стать причиной получения различных результатов моделирования и влиять на точность решения.

В **Fidesys Bundle 1.6** доступны следующие настройки контактной пары:

Коэффициент трения	0.1
Допустимое проникновение	0.0
Коэффициент жёсткости по нормали	1.0
Коэффициент жёсткости по касательной	0.5
Точность определения контакта	0.1
<input type="checkbox"/> Связанные поверхности	

Для моделирования неразрывной связи установите галку **Связные поверхности**, тогда Ведущий и Ведомый регионы сцепляются по всем направлениям до окончания анализа, если контакт был установлен.

В ситуации, когда движение твердого тела ограничивается лишь контактными условиями, важно обеспечить, чтобы в начальном состоянии элементы контактной пары находились во взаимодействии. Однако в ряде случаев определение взаимодействия может быть затруднительно. Это может происходить в следующих случаях:

- контуры тела могут быть достаточно сложными, и бывает трудно точно определить точку, в которой произойдет первый контакт;
- несмотря на то, что геометрическая модель построена без разрывов, ошибки округления, возникающие при построении сеточной модели, могут приводить к появлению малых разрывов между элементами.

По этим же причинам может происходить слишком большое начальное проникновение

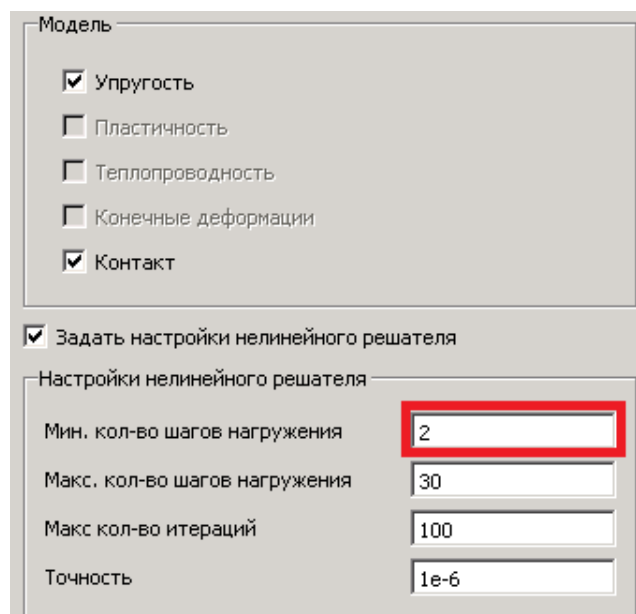
Ведущего региона в Ведомый. В этих случаях в контактных элементах возможно появление чрезмерно больших реактивных сил, а это может **привести к расходимости решения**. Поэтому определение начального контакта представляет собой, возможно, наиболее важный аспект построения модели для контактного анализа.

Контактный алгоритм

В **Fidesys Bundle 1.6** реализован контактный алгоритм Метод штрафов (penalty).

Этот метод требует настройки как для нормальной, так и для касательной жесткостей (см. Настройки контактной пары). Основным недостатком данного метода является то, что проникновение между двумя поверхностями, зависит от этих жесткостей. Более высокие значения жесткостей могут уменьшить проникновение, но могут привести к плохой обусловленности глобальной матрицы жесткости и плохой сходимости. В идеале, необходимо подобрать достаточно высокие жесткости, чтобы контактное проникновение оставалось достаточно малым. В то же время, достаточно низкие жесткости обеспечивают лучшую сходимость задачи.

Кроме того, при запуске задачи на расчет рекомендуется использовать как минимум 2 шага нагружения в Настройках нелинейного решателя.



Модель

- Упругость
- Пластичность
- Теплопроводность
- Конечные деформации
- Контакт

Задать настройки нелинейного решателя

Настройки нелинейного решателя

Мин. кол-во шагов нагружения	2
Макс. кол-во шагов нагружения	30
Макс кол-во итераций	100
Точность	1e-6

Типы элементов

Расчетные алгоритмы **Fidesys Bundle 1.6** позволяют моделировать контакт, не задавая точное совпадение узлов сетки на границе. При этом **не требуется** использование каких-либо специальных

конечных элементов в области контакта для обозначения взаимодействия деталей. Такой подход позволяет легко задавать условия для взаимодействия в контакте либо для связанных поверхностей.

В **Fidesys Bundle 1.6** решение контактных задач поддерживается для следующих типов уже существующих конечных элементов:

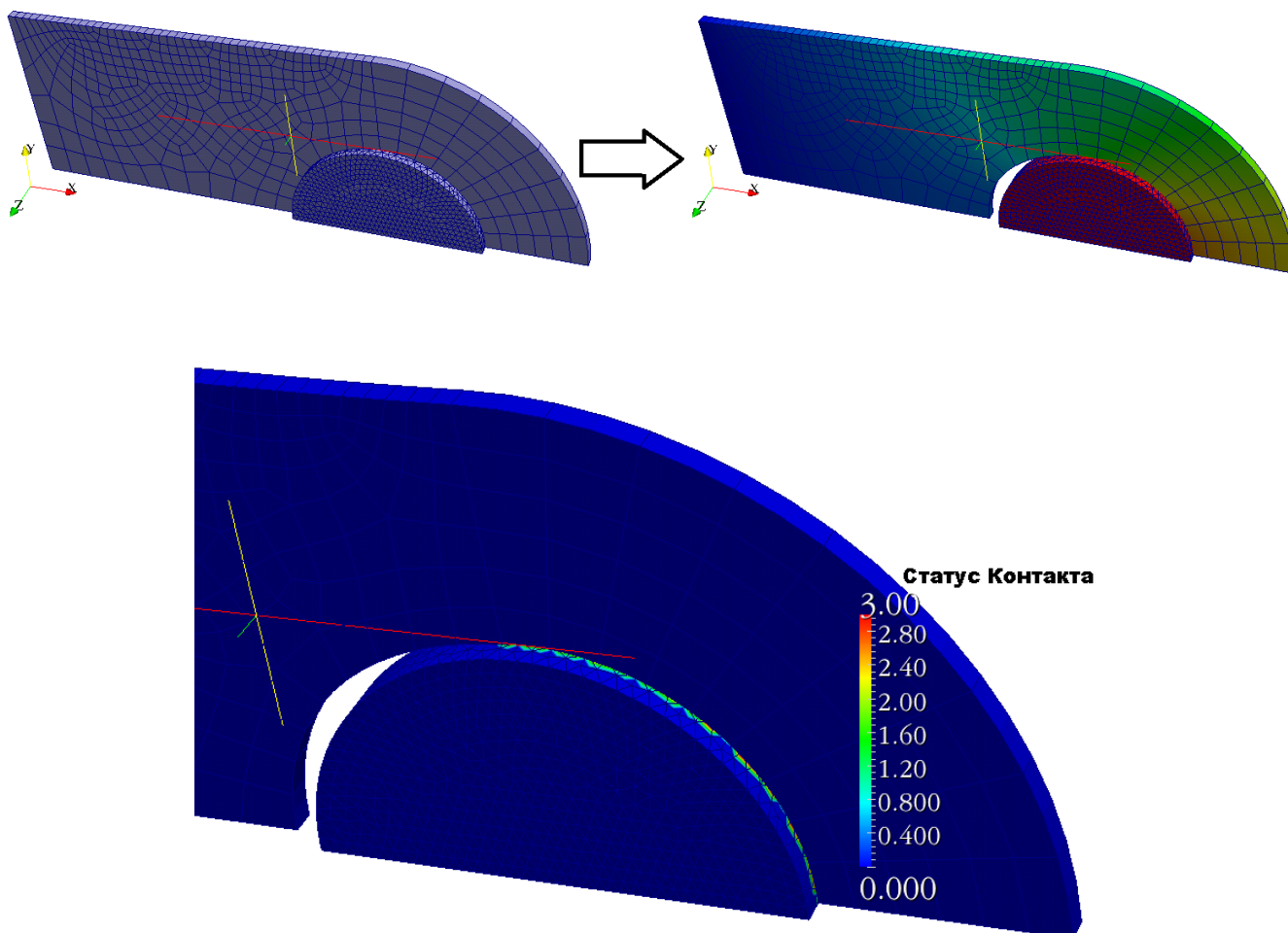
- Четырёхугольные плоские элементы первого и второго порядков QUAD/QUAD4/QUAD8/QUAD9;
- Треугольные плоские элементы первого и второго порядков TRI/TRI3/TRI6;
- Объемные гексаэдры первого и второго порядков HEX/HEX8/HEX27;
- Объемные тетраэдры первого и второго порядков TETRA/TETRA4/TETRA10;
- Объемные элементы для построения гибридных сеток первого порядка (пирамиды PYRAMID/PYRAMID5 и призмы WEDGE/WEDGE6)

Статус Kontakта

В **Fidesys Viewer** непосредственно после выполнения расчета можно оценить поведение каждого контактного элемента по присвоенному ему статусу в поле **Статус Kontakта** (Contact Status).

Данное поле имеет одну компоненту, которая может принимать следующие значения:

- STATUS = 0 – далеко;
- STATUS = 2 – контакт с проскальзыванием;
- STATUS = 3 – без проскальзывания (или без трения).

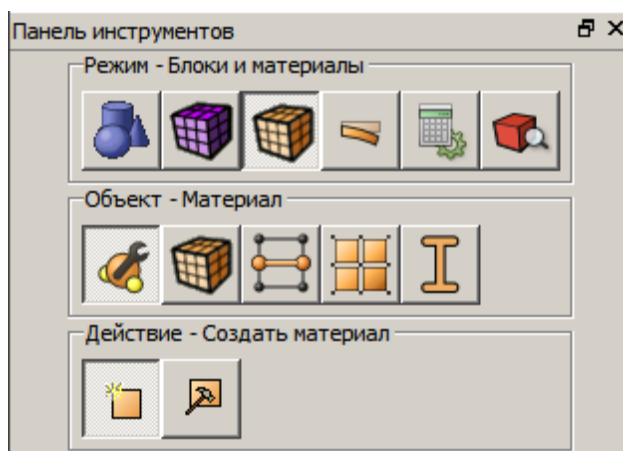


Задание модели пластического течения

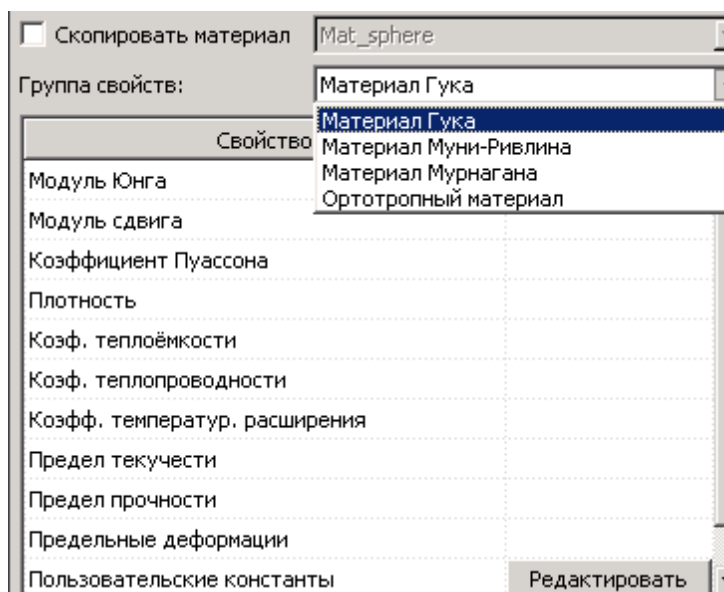
Выбор корректной модели пластического течения материала очень важен для получения правильного решения поставленной задачи. Задачи пластичности являются нелинейными, поэтому требуют значительных компьютерных ресурсов, а решение задач с большими пластическими деформациями может занимать продолжительное время. В системе прочностного анализа Fidesys для материала Гука реализованы два критерия перехода в пластичность: критерий Мизеса и критерий Друкера-Прагера. Задачи решаются как для идеально упругопластической модели, так и для модели с линейным упрочнением. На данный момент реализован подход с учётом конечных деформаций в упругой зоне, в зоне пластического течения используется линейная постановка задачи.

Критерий пластичности Мизеса

Для того, чтобы добавить в материал Гука пластичность по Мизесу, выберите на панели команд модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Материал**, Действие – **Создать материал**).





Выберите группу свойств материала из выпадающего списка, укажите название материала и соответствующие константы:



Чтобы получить модель с пластичностью по Мизесу без упрочнения, задайте для материала Гука упругие свойства, а также предел текучести на растяжение:

Группа свойств: Материал Гука



Свойство	Значение
Модуль Юнга	2e11
Модуль сдвига	
Коэффициент Пуассона	0.3
Плотность	
Козф. теплоемкости	
Козф. теплопроводности	
Козфф. температур. расширения	
Предел текучести на растяжение	250e6
Предел прочности на растяжение	
Предельные деформации на растяжен...	
Предел текучести на сжатие	
Предел прочности на сжатие	



Применить

Для получения модели с пластичностью Мизеса с линейным упрочнением, необходимо также ввести предел прочности на растяжение и предельные пластические деформации на растяжение.

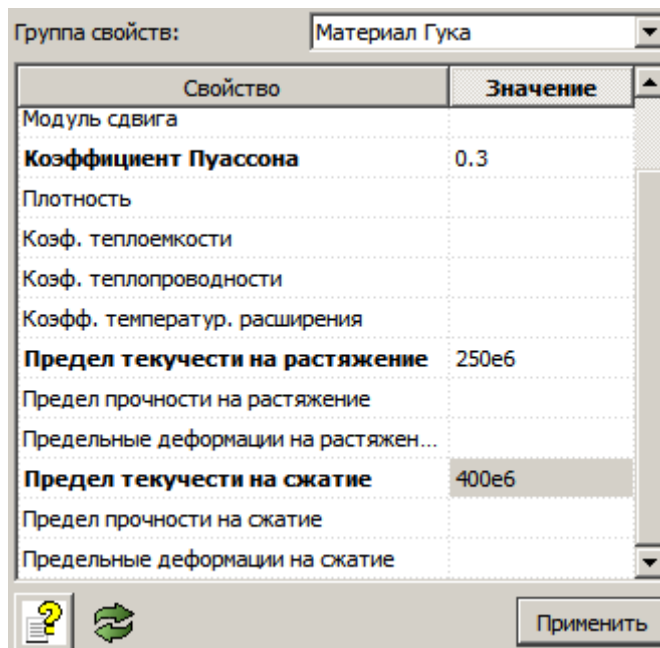
Группа свойств: Материал Гука

Свойство	Значение
Модуль Юнга	2e11
Модуль сдвига	
Коэффициент Пуассона	0.3
Плотность	
Козф. теплоемкости	
Козф. теплопроводности	
Козфф. температур. расширения	
Предел текучести на растяжение	250e6
Предел прочности на растяжение	460e6
Предельные деформации на рас...	0.17
Предел текучести на сжатие	
Предел прочности на сжатие	

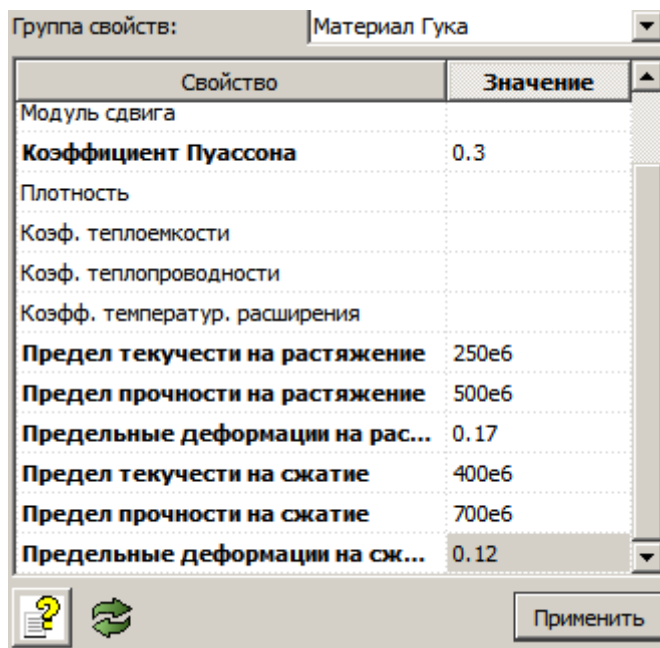


Применить

Критерий пластичности Друкера-Прагера

Для задания пластической модели Друкера-Прагера без упрочнения необходимо помимо упругих свойств материала определить предел текучести на растяжение и на сжатие.



Чтобы получить модель пластичности Друкера-Прагера с упрочнением задайте также предел прочности и предельные пластические деформации на растяжение и на сжатие.



Для работы с моделью пластичности Друкера-Прагера обязательно включение опции конечных деформаций при запуске на расчет.

Типы элементов

В *Fidesys Bundle 1.6* решение упругопластических задач поддерживается для следующих типов уже существующих конечных элементов:



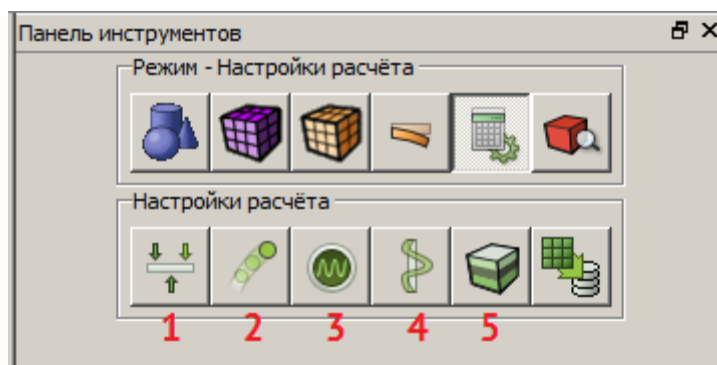
- Четырёхугольные плоские элементы первого и второго порядков QUAD/QUAD4/QUAD8/QUAD9;
- Треугольные плоские элементы первого и второго порядков TRI/TRI3/TRI6;
- Объемные гексаэдры первого и второго порядков HEX/HEX8/HEX27;
- Объемные тетраэдры первого и второго порядков TETRA/TETRA4/TETRA10;
- Объемные элементы для построения гибридных сеток первого порядка (пирамиды PYRAMID/PYRAMID5 и призмы WEDGE/WEDGE6)

Запуск расчёта

Типы анализа

Fidesys Bundle включает в себя следующие типы анализа:

- статическое нагружение (1);
- динамическое нагружение (2);
- анализ собственных частот (3);
- расчет на устойчивость (4);
- расчёт эффективных характеристик композитных материалов (5).



Последовательность действий для запуска расчёта следующая.

1. На панели команд выберите Режим – **Параметры расчёта**.
2. Выберите необходимый тип анализа: Статический, Динамический, Собственные частоты или Расчёт эффективных свойств.
3. Задайте метод численного анализа: Метод конечных элементов (по умолчанию) или Метод спектральных элементов (см раздел **Метод спектральных элементов**).
4. Задайте настройки выбранного типа анализа: тип решателя, систему координат, поля вычислений, тип схемы, временные параметры (для динамического анализа) и т.д.
5. Нажмите **Применить**.
6. Нажмите **Начать расчёт**.

После запуска расчёта в консоли будет отображаться его ход. Туда же будут выводиться сообщения пользователю, в том числе сообщения об ошибках в случае неуспешного или некорректного завершения расчётов. В случае успешного завершения расчёта в консоли появится сообщение: *“Calculation finished successfully at <date> <time>”*.

По умолчанию все вычисления производятся в декартовой системе координат. При необходимости после завершения расчёта можно дополнительно произвести пересчёт результатов в цилиндрическую и сферическую системы координат с помощью фильтров в постпроцессоре **Fidesys Viewer**.

Размерность решаемой модели: 2D – двумерная (плоская) или 3D - трехмерная. Для двумерного случая реализованы следующие типы плоской задачи:

- плоское напряженное состояние;
- плоское деформированное состояние.

По умолчанию вычисляются поля напряжений, деформаций и перемещений. При необходимости можно дополнительно вычислить главные напряжения, главные деформации и интенсивность напряжений по Мизесу (с помощью фильтров в **Fidesys Viewer**).

Доступны следующие типы решателей систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), возникающих в процессе дискретизации задачи:

- прямой (LU);
- итерационный.

Доступны следующие решатели для задач нахождения собственных значений у систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ):

- Крылова-Шура;
- Арнольди.

Для динамического нагружения может использоваться одна из двух схем расчета:

- явная;
- неявная.

Модели задач

Для расчёта доступны следующие модели задач:

- упругость;
- пластичность (только для статического расчета);
- теплопроводность;
- конечные деформации (для статического и динамического расчётов);
- контакт.

Чтобы выбрать модель, пользователь включает соответствующие флаги. Выбор нескольких флагов одновременно позволяет задать различные сочетания моделей. К примеру, выбор флагов Упругость и Пластичность даст модель упругопластичность, а выбор флагов Упругость и Теплопроводность даст термоупругость.

Для улучшения сходимости нелинейных задач доступны следующие настройки:

Для нелинейных задач сходимость итераций на каждом шаге по нагружению можно проверить в файле Convergence.txt. Файл выгружается в папку, которая создается рядом с файлом *.pvd, в котором сохраняется расчёт.


Для удобства проведения нескольких расчётов используется менеджер расчётов (см. раздел **Менеджер расчётов**).

Для просмотра и анализа полученных результатов используется встроенная программа **Fidesys Viewer**.

Менеджер расчётов

Fidesys Bundle позволяет проводить как отдельные расчёты (см. раздел **Запуск программы и просмотр результатов**), так и серию расчётов в рамках одного проекта.

Для проведения серии расчётов создайте новый проект. Это можно сделать тремя способами:

- выбрать в меню **Файл** → **Новый проект**;
- нажать кнопку создания нового проекта  в панели инструментов менеджера расчётов;
- нажать комбинацию клавиш **Ctrl+Shift+N**.

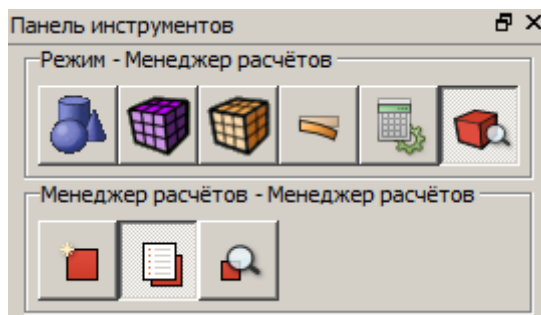
В появившемся диалоговом окне задайте имя проекта и его расположение, выберите способ создания геометрии модели, на основе которой будет проводиться серия расчётов:

- если модель импортируется (см. раздел **Создание геометрии**), выберите её в этом же диалоговом окне;
- если модель будет создана внутри программы с использованием геометрических примитивов, выберите *Использовать текущую модель*.

Создав модель, постройте сетку, задайте граничные условия и материалы, установите требуемые параметры расчёта (см. разделы **Построение сетки**, **Задание граничных условий**, **Задание материала**, **Запуск расчёта** соответственно) и запустите расчёт. В появившемся диалоговом окне введите название расчёта (или оставьте предложенное по умолчанию), комментарий и параметры запуска расчёта и просмотра результатов. (*Поле **Имя** обязательно для заполнения. Остальные параметры заполняются опционально.*) Нажмите **Добавить**. Созданный расчёт будет автоматически добавлен в список расчётов открытого проекта (независимо от того, успешно ли он был проведён).


Чтобы провести другой расчёт, измените нужные параметры предыдущего расчёта (например, граничные условия) и запустите расчёт. Он снова автоматически добавится в список расчётов открытого проекта (независимо от того, успешно ли он был проведён).

Чтобы просмотреть список проведённых расчётов, выберите кнопку **Менеджер расчётов** на панели команд в режиме **Менеджера расчётов** и нажмите **Открыть менеджер расчётов**.




В появившемся окне будет отображён список расчётов с указанием параметров для каждого расчёта (тип анализа, тип решателя, поля для вывода и т.п.) и результатом его проведения (успешное или неуспешное завершение).

Сохранить все расчёты можно тремя способами:

- выбрать в меню **Файл** → **Сохранить проект**;
- нажать кнопку сохранения проекта  в панели инструментов менеджера расчётов;
- нажать комбинацию клавиш **Ctrl+Shift+S**.


Открыть ранее сохранённый проект можно также тремя способами:

- выбрать в меню **Файл** → **Открыть проект**;
- нажать кнопку открытия проекта  в панели инструментов менеджера расчётов;
- нажать комбинацию клавиш **Ctrl+Shift+O**.

При повторном открытии сохранённого проекта для задачи будут использованы параметры расчёта, проведённого последним перед сохранением проекта.

Одновременно может быть открыт только один проект.

Закрыть проект можно также тремя способами:

- выбрать в меню **Файл** → **Закрыть проект**;
- нажать кнопку закрытия проекта  в панели инструментов менеджера расчётов;
- нажать комбинацию клавиш **Ctrl+Shift+C**.

Перед закрытием система предложит пользователю сохранить проект, чтобы не потерять несохраненные данные.

Метод спектральных элементов

Уникальная особенность **Fidesys Bundle** заключается в том, что помимо используемого по умолчанию метода конечных элементов (МКЭ), он позволяет проводить расчёты методом спектральных элементов (МСЭ).

Краткое описание и преимущества МСЭ

Метод спектральных элементов – модификация метода конечных элементов (МКЭ), в которой в качестве базисных функций используются кусочные функции, состоящие из многочленов высоких степеней.

Основные преимущества МСЭ по сравнению с МКЭ таковы:

1) Высокая скорость работы алгоритма. В силу специального выбора квадратурной формулы для интегрирования по расчетной области матрица масс имеет диагональную структуру. Благодаря этому пропадает необходимость решать систему линейных алгебраических уравнений на каждой итерации.

2) Высокая точность аппроксимации решения на более крупной сетке. Погрешность численного решения оценивается как

$$\|[u]_h - u_h\| \leq C(N).$$

При этом для МКЭ

$$C(N) = C_2 h^N,$$

в то время как для МСЭ

$$C(N) = C_1 h^N e^{-N}.$$

Здесь C_1 и C_2 – константы, h – характерный размер сетки, N – порядок элемента, u_h – численное решение, $[u]_h$ – проекция точного решения на сетку.

3) Возможность эффективного распараллеливания алгоритма на OpenMP, MPI и CUDA.

МСЭ наиболее эффективен для динамического анализа с использованием явной схемы по времени.

В качестве иллюстрации приведём классическую задачу о распространении волн в двумерной пластине размера 1×1 .

Для достижения погрешности решения менее 2% необходимое число КЭ типа TRI3 составляет 6390197 с характерным размером $4e-4$. При числе КЭ типа QUAD4 1640961 с характерным размером $3e-3$ и использовании МСЭ с 4-ым порядком элементов погрешность решения становится менее 2%.

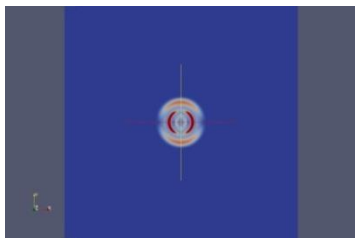


Рис.1. Распределение поля модуля перемещений U по пластине на момент времени t_1

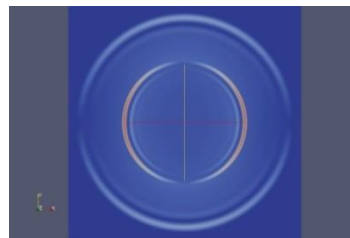
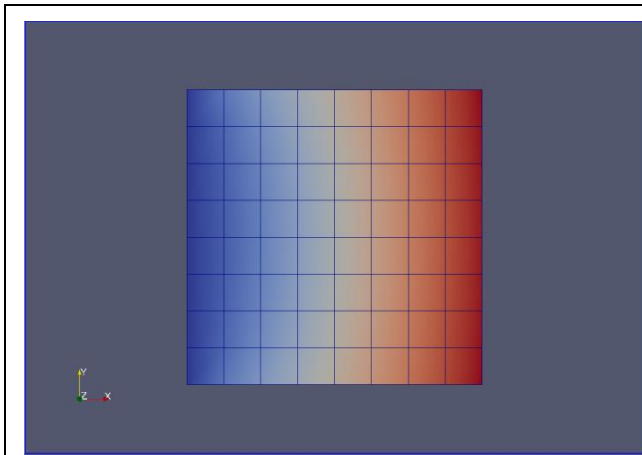
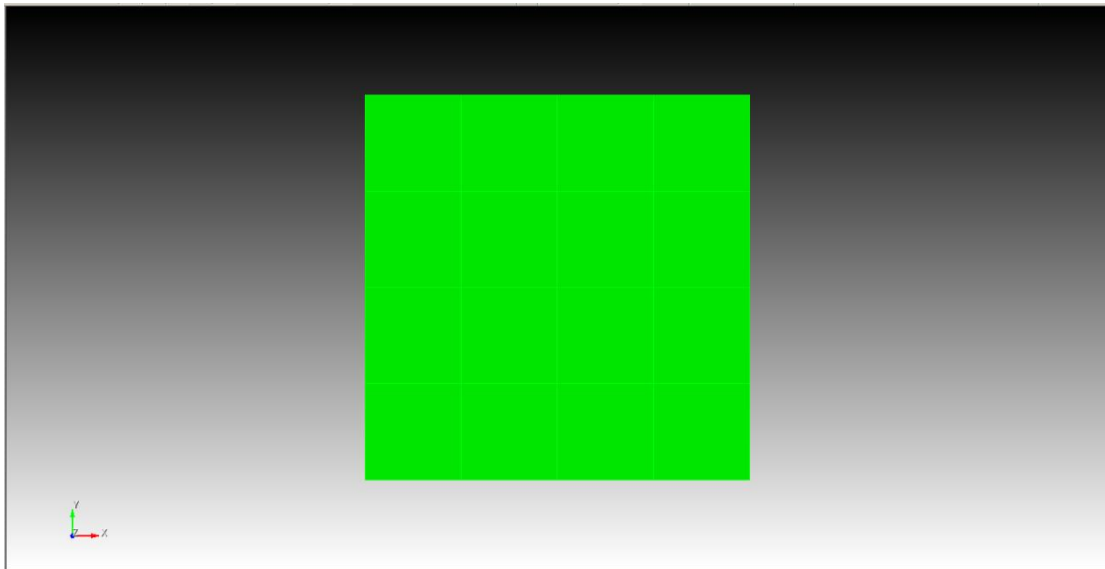
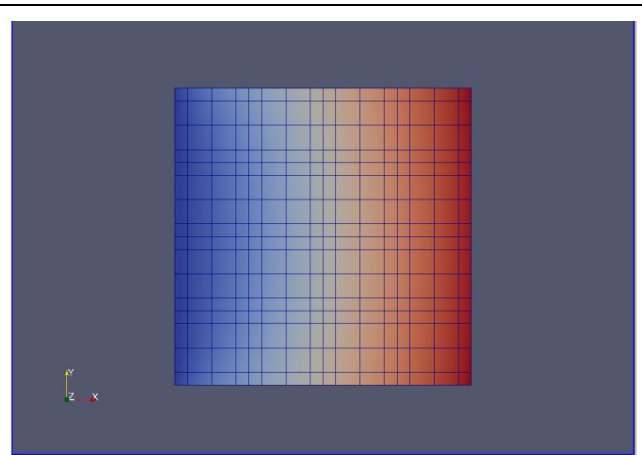


Рис.2. Распределение поля модуля перемещений U по пластине на момент времени t_2

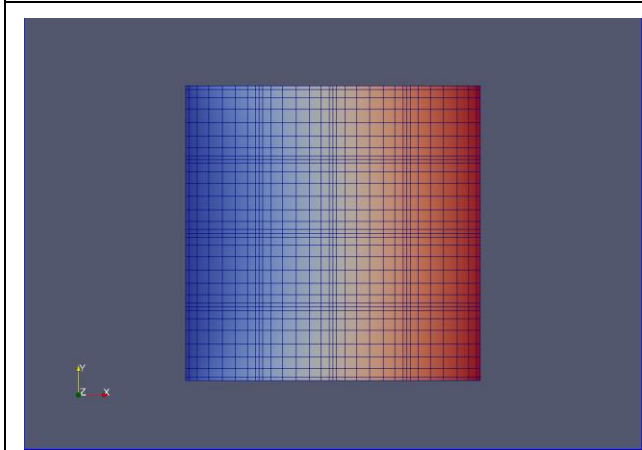
Примеры сетки в файле с результатом расчета методом спектральных элементов с использованием различного порядка элементов:



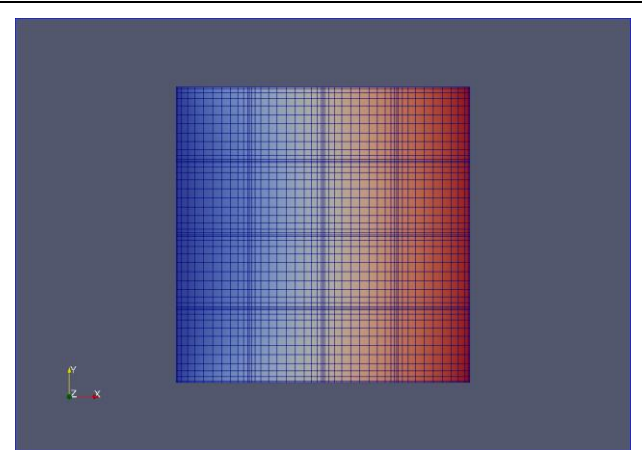
МСЭ с элементами порядка 2



МСЭ с элементами порядка 4



МСЭ с элементами порядка 8



МСЭ с элементами порядка 12

Использование МСЭ

Чтобы при решении задачи вместо метода конечных элементов воспользоваться методом спектральных элементов, поставьте в общих настройках расчёта галочку **Метод спектральных элементов**:

Размерность: 3D

Метод спектральных элементов

Порядок спектральных элементов: 2

Использовать MPI

Модель

- Упругость
- Пластичность
- Теплопроводность
- Конечные деформации
- Контакт

Параллельный расчёт на нескольких компьютерах с использованием технологии MPI

При наличии в локальной сети нескольких компьютеров с установленной **CAE Fidesys** технология MPI позволяет объединить их вычислительные мощности для параллельного решения одной общей задачи.

Краткое описание и преимущества MPI

Технология MPI в настоящее время фактически представляет собой стандарт для параллельных вычислений в системах с распределенной памятью, т.е. таких, где каждый процессор имеет своё независимое адресное пространство и обменивается данными с другими процессорами посредством сообщений. Технология MPI наиболее эффективна при решении задач с большим числом степеней свободы, поскольку с одной стороны это позволяет решать задачи, не помещающиеся в память одного компьютера, а с другой – крупные задачи МКЭ или МСЭ требуют относительно небольшой интенсивности обмена сообщениями между процессорами и таким образом меньше нагружают сетевое соединение. Последнее особенно важно для систем с распределенной памятью, в которых процессоры соединены обыкновенной сетью с пропускной способностью 100 Mbit/s, как например, несколько компьютеров в офисе.

Реализация MPI в Fidesys

Fidesys предоставляет возможность использовать MPI при следующих типах расчётов:

- Статика;
- Динамика;
- Собственные частоты;
- Устойчивость.

Поддерживаемые модели для расчета с помощью MPI:

- Упругость;
- Упругопластичность;
- Теплопроводность;
- Термоупругость;
- Расчет с учетом конечных деформаций.

Установка MPI

Intel MPI устанавливается и запускается вместе с установкой программного пакета **Fidesys Bundle**. Если на вашем компьютере уже стоит версия Intel MPI и вы не хотите заменять её, обратитесь в службу поддержки **Fidesys** за инструкциями по установке и настройке.

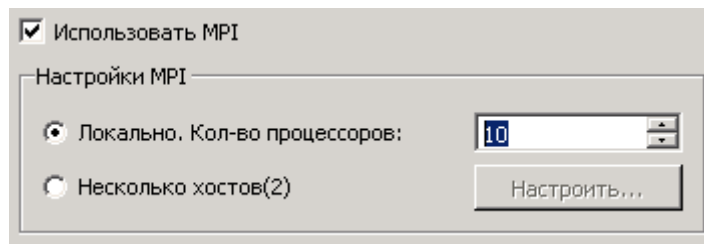
Для того, чтобы использовать MPI при расчёте, необходимо в панели инструментов в Общих настройках выбранного типа расчёта необходимо поставить галочку **Использовать MPI**. После этого появится специальное меню **Настройки MPI** для задания необходимых параметров.

В появившихся настройках MPI выберите режим распараллеливания:

- а. Локально – расчёт будет проведён на локальной машине с использованием указанного количества процессоров. Этот режим даёт выигрыш по сравнению с расчётами без MPI только для локальной конфигурации с большим количеством ядер.
- б. Несколько хостов. В этом режиме расчёт будет запущен сразу на нескольких компьютерах

Локальное использование MPI

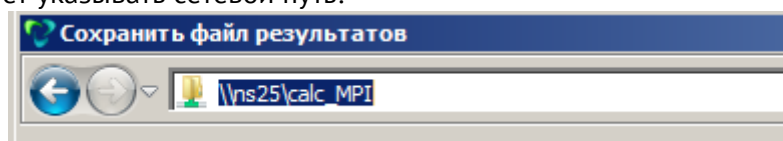
Для того, чтобы использовать MPI локально на одном компьютере, предварительно проведите регистрацию (см. ниже). Затем зайдите в панель настроек MPI, установите флажок напротив пункта **Локально** и выберите количество процессоров в специальном окне. После этого можно начинать расчёт, никаких дополнительных настроек для локального использования MPI не требуется.



Использование MPI на нескольких узлах

Требования для корректной работы

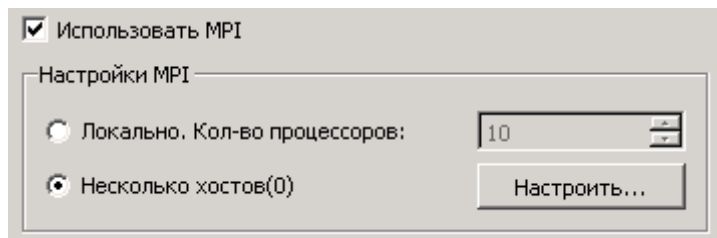
1. Убедитесь в том, что настройки брандмауэра на всех компьютерах допускают корректную работу MPI.
2. На всех компьютерах, задействованных в параллельных расчётах, рекомендуется отключить фаервол;
3. Fidesys должен быть установлен по одинаковому пути на всех используемых компьютерах. Этот путь **не может** являться сетевым.
4. На всех компьютерах, задействованных в параллельных расчётах, должны совпадать пути до FidesysCalc;
5. Рабочая директория (директория, в которую записывается файл .pvd и папка с файлами результатов расчёта) должна быть доступна на всех узлах по одному и тому же пути, который **может** являться сетевым. Также на всех узлах у пользователя, от имени которого проводится расчёт, должны быть права на запись в рабочую директорию. Узнать, по какому пути находится рабочая директория, можно в меню **Инструменты** → **Настройки** → **Пути**, строка **Рабочая директория**. Другими словами, расчёт должен сохраняться в сетевую папку, при этом в диалоге сохранения следует указывать сетевой путь:



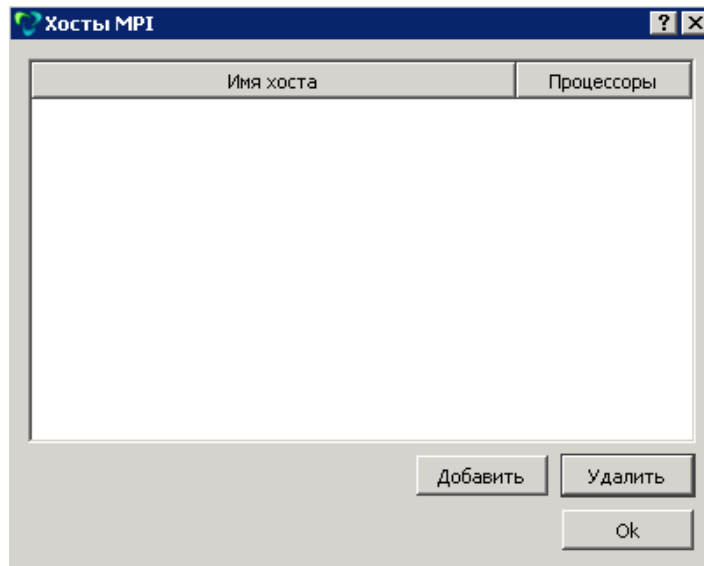
6. Специальных ограничений на скорость соединения между узлами нет, но учтите, что при очень медленной скорости соединения расчёт с использованием MPI может занять столько же или даже больше времени, чем расчёт без MPI, т.к. всё сэкономленное время уйдёт на обмен данными между узлами.
7. Ограничений на количество используемых узлов в настоящей версии программы не предусмотрено.

Настройка MPI на нескольких узлах

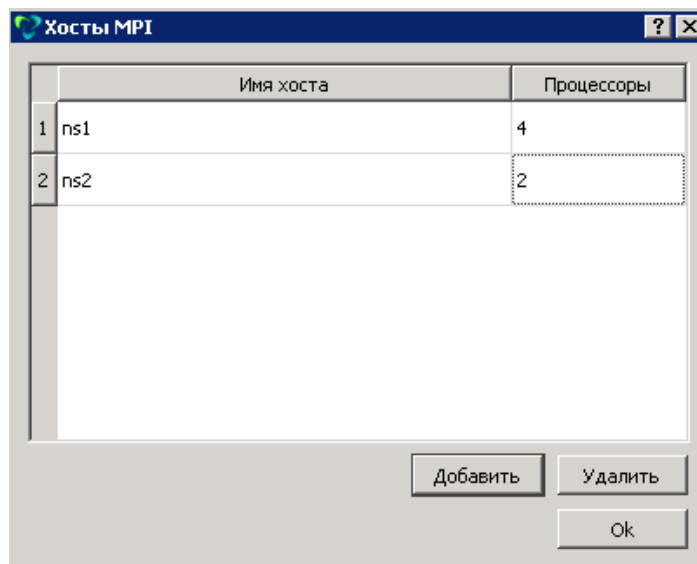
Убедившись, что все вышеперечисленные требования соблюдены, зайдите в панель настроек MPI (**Настройки Расчёта – Статический – Общие – Использовать MPI**). Поставьте флажок напротив пункта **Несколько хостов** и нажмите кнопку **Настроить...**:



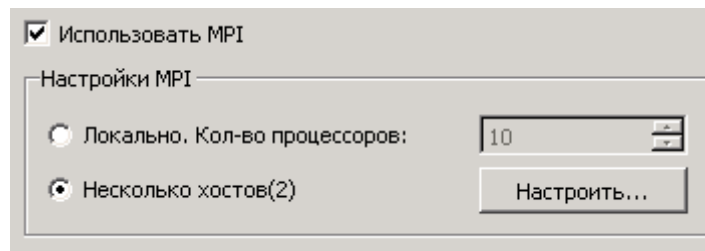
Появится следующее окно:



При помощи кнопок **Добавить** и **Удалить** добавьте в список все используемые хосты, в поле Имя напишите имя хоста в сети, в поле Процессоры укажите количество используемых на нём процессоров. После окончания составления списка нажмите **Ok**.



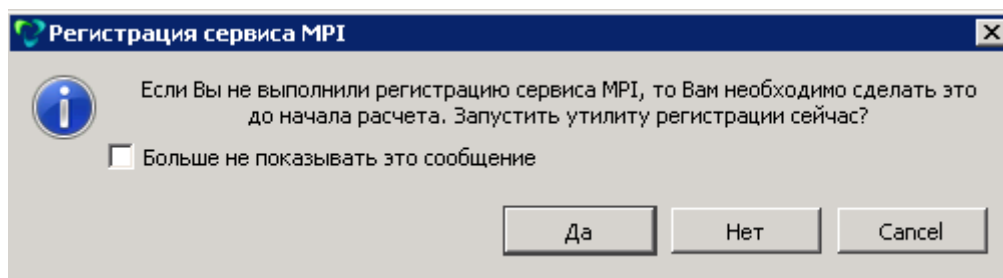
После этого количество хостов, указанное в скобках после слов Несколько хостов на панели настроек MPI, должно измениться:



Теперь можете задавать расчёту остальные настройки и запускать его как обычно, и он будет проведён с использованием MPI на нескольких узлах.

Регистрация перед первым использованием

При попытке впервые провести расчёт с использованием MPI должно появиться следующее окно:



Чтобы провести регистрацию (без которой проведение расчёта будет невозможно), нажмите **Да**. Появится окно терминала Windows, в котором нужно будет ввести логин и пароль пользователя Windows, от имени которого вы проводите расчёт с использованием MPI.

Также регистрацию можно провести, запустив окно терминала Windows из панели «Пуск» (для этого наберите в окошко Поиска «cmd») и введя в это окно команду **mpiexec –register**. После этого нужно будет ввести логин и пароль, точно так же, как и при регистрации с использованием всплывающего окна Fidesys.

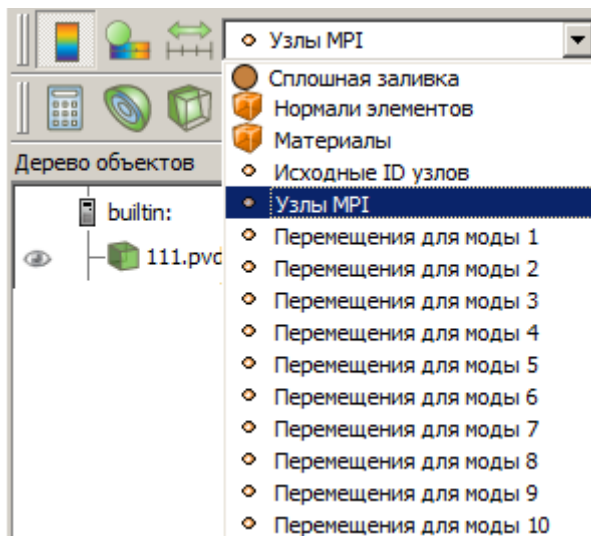
Если вы уже зарегистрировали сервис, поставьте галочку **Больше не показывать это сообщение**.



Для получения более подробной информации см. документацию **Intel MPI**.

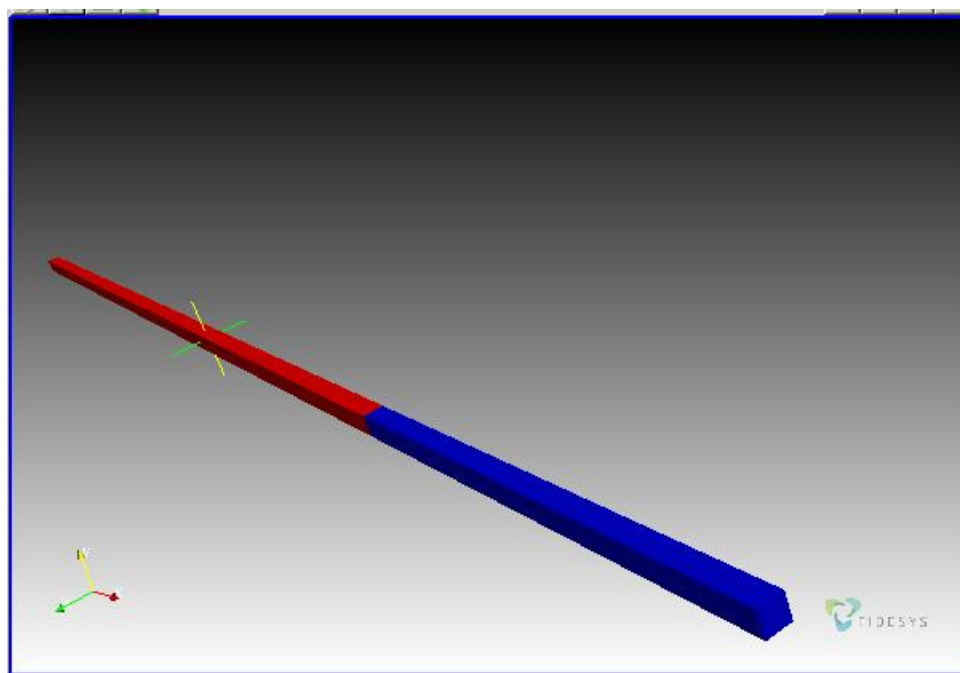
Просмотр результатов расчета

В построителе *Fidesys Viewer* после выполнения расчета с помощью MPI должно появиться новое поле **Узлы MPI**, которое характеризует разбиение на указанные ранее процессоры:



Пример расчёта с использованием MPI

Пример результата расчёта на двух компьютерах представлен на картинке ниже. Части, которые считались на разных компьютерах, отмечены разными цветами.



Расчёт эффективных свойств неоднородных материалов

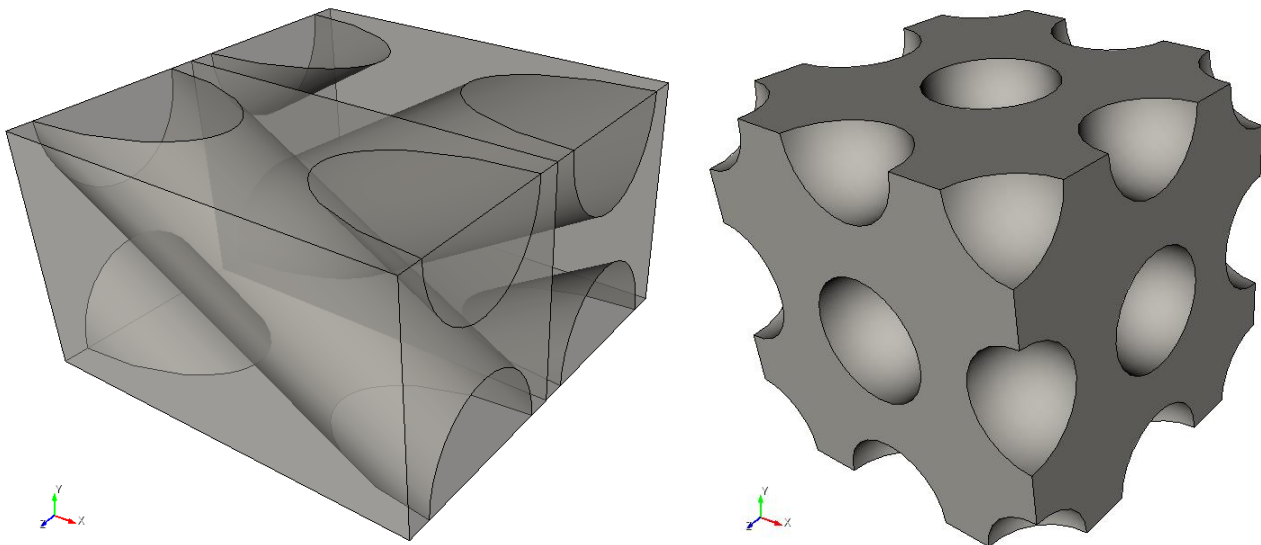
В *Fidesys Bundle* существует возможность расчёта эффективных свойств неоднородного материала – например, композита или пористого материала. Расчёт проводится **только в трёхмерном случае**.

Геометрия модели для расчёта эффективных свойств

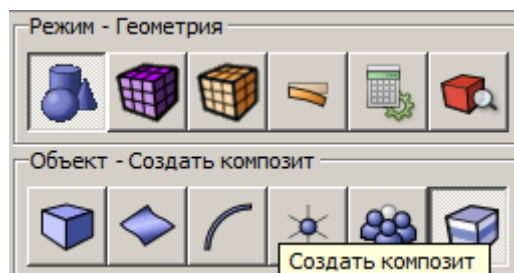
Геометрической моделью для расчёта эффективных свойств материала непериодической структуры является представительный объём – т.е. объём, по поведению которого при деформации можно судить о поведении материала в целом. Обычно это означает, что размер представительного объёма должен быть примерно на порядок больше характерного размера пор или включений в материале. Геометрической моделью для расчёта эффективных свойств материала периодической структуры может являться ячейка периодичности.

Важно, что геометрической моделью для расчёта эффективных свойств всегда должен являться фрагмент материала, «вырезанный» из него по форме **прямоугольного параллелепипеда**. При расчёте этот фрагмент следует располагать так, чтобы грани параллелепипеда были строго параллельны координатным плоскостям. Автоматическая проверка формы и расположения модели для расчёта эффективных свойств не предусмотрена, это следует контролировать самому пользователю – иначе расчёт может пройти и корректно завершиться, а полученные результаты будут ошибочными.

Примеры правильных моделей для расчёта эффективных свойств показаны на рисунках ниже. Если исследуемый материал – сплошной (рисунок слева), то и модель для расчёта его эффективных свойств должна быть сплошным прямоугольным параллелепипедом с гранями, параллельными координатными плоскостями. Если же материал содержит полости или поры, то и модель для расчёта должна содержать эти полости, которые могут и выходить на поверхность (как показано на рисунке справа).



Генерация геометрии ячеек периодичности некоторых композиционных материалов периодической структуры в *Fidesys Bundle* может быть осуществлена автоматически. В режиме управления геометрией присутствует кнопка «Создать композит», как показано на рисунке ниже.



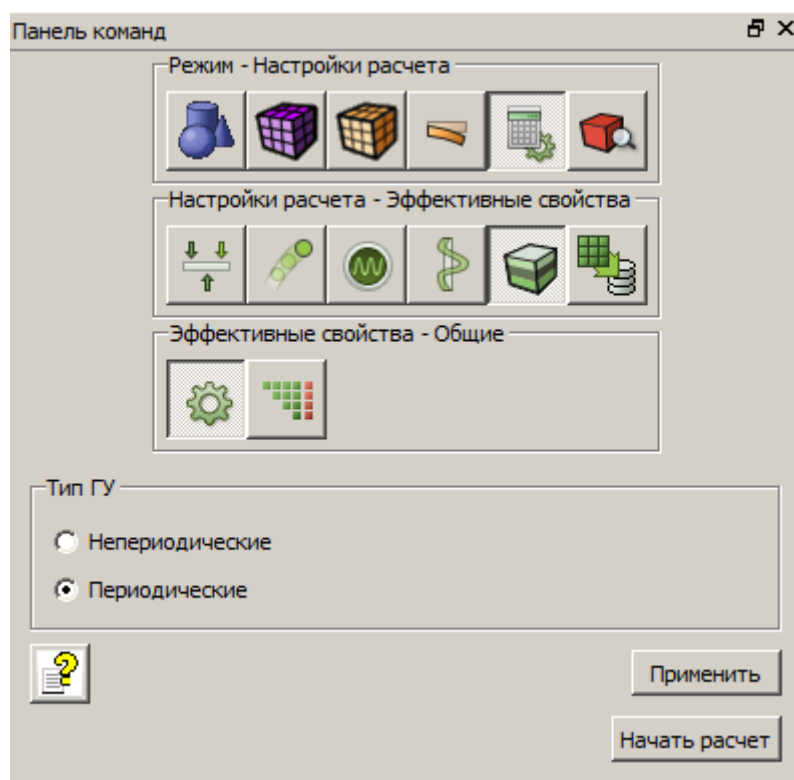
Доступно создание ячеек периодичности следующих видов композитов:

- слоисто-волоконистый (двуслойный) композит;
- однослойный волоконистый;
- однослойный волоконистый с оболочками;
- дисперсно армированный (сферическими включениями);
- дисперсно армированный с оболочками.

Пользователю необходимо только задать параметры материалов и нажать кнопку «Создать» – геометрия будет сгенерирована автоматически, средствами интерфейса **Fidesys Bundle**. Разумеется, пользователь может также создать геометрию для расчёта вручную с помощью средств интерфейса или же импортировать – главное, чтобы геометрическая модель для расчёта эффективных свойств была «вырезана» из материала формой прямоугольного параллелепипеда с гранями, параллельными системе координат в интерфейсе **Fidesys Bundle**.

Запуск на расчёт

После создания геометрии необходимо провести те же действия, что и при расчёте на статическое нагружение: создание блоков, генерация конечноэлементной сетки, задание свойств материалов и т.д. – за исключением приложения граничных условий. Для расчёта эффективных свойств граничные условия к модели прикладываются не нужно: при расчёте к модели автоматически последовательно прикладывается ряд типов граничных условий, для каждого типа решается задача статического нагружения, результаты всех задач осредняются – в результате осреднения и вычисляются эффективные свойства материала. Пользователю необходимо только выбрать тип граничных условий: периодические или непериодические.



Периодические граничные условия предпочтительны в случае, если рассчитываются эффективные свойства материала периодической структуры, а моделью для расчёта служит ячейка периодичности. Если материал, к примеру, является композитом с матрицей и включениями, причём жёсткость включений намного выше жёсткости матрицы, а включения выходят на поверхность модели для расчёта – в этом случае нужно обязательно применять периодические условия. Если же исследуются

эффективные свойства материала нерегулярной структуры, а моделью для расчёта является представительный объём – тогда предпочтительны неперiodические граничные условия.

В **Fidesys Bundle 1.6** для расчёта эффективных свойств доступен только прямой решатель СЛАУ.

Типы элементов

В **Fidesys Bundle 1.6** расчёт эффективных свойств поддерживается для следующих типов уже существующих конечных элементов:

- Объёмные гексаэдры первого порядка HEX/HEX8;
- Объёмные тетраэдры первого порядка TETRA/TETRA4.

Расчёт эффективных свойств и его результаты

Как уже было сказано, для расчёта эффективных свойств модель подвергается ряду деформаций. Используются следующие виды деформаций:

- растяжения (вдоль каждой из координатных осей);
- сдвиги (в каждой из координатных плоскостей).

Величина деформации составляет 0,2% для всех типов.

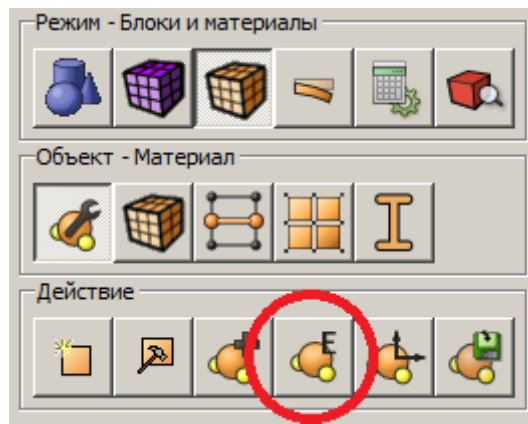
Эффективные свойства оцениваются в виде обобщённого закона Гука:

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl}$$

Результатом расчёта являются эффективные упругие модули C_{ijkl} , выводимые в командную строку и в файл с названием Cijkl.txt, находящийся в рабочей директории. Модули вычисляются в той системе координат, в которой проводился расчёт (координатным плоскостям которой параллельны грани расчётной модели).

Модули C_{ijkl} содержат 21 независимую константу – зачастую это больше, чем достаточно для описания эффективных свойств исследуемого неоднородного материала. Поэтому предусмотрена возможность автоматического пересчёта полученных эффективных упругих модулей в константы ортотропного, трансверсально-изотропного или изотропного материала. После завершения расчёта эффективных свойств появляется окно «Обработать данные по эффективным свойствам». В этом окне полученные эффективные упругие модули C_{ijkl} показаны внизу справа в виде симметричной матрицы размером 6x6 (часть матрицы ниже главной диагонали не отображается в силу симметричности).

Окно по завершению расчёта появляется автоматически. Если пользоавтель его закрыл, заново можно открыть в режиме **Блоки и материалы** -> **Управление материалами** -> **Создать материал по рассчитанным эффективным свойствам**:



Пользователь может оценить, соответствует ли матрица с полученными C_{ijkl} ортотропному материалу, с удовлетворяющей его точностью. Для точного ортотропного материала эта матрица должна выглядеть следующим образом (здесь буквами X обозначены те компоненты, которые могут быть ненулевыми).

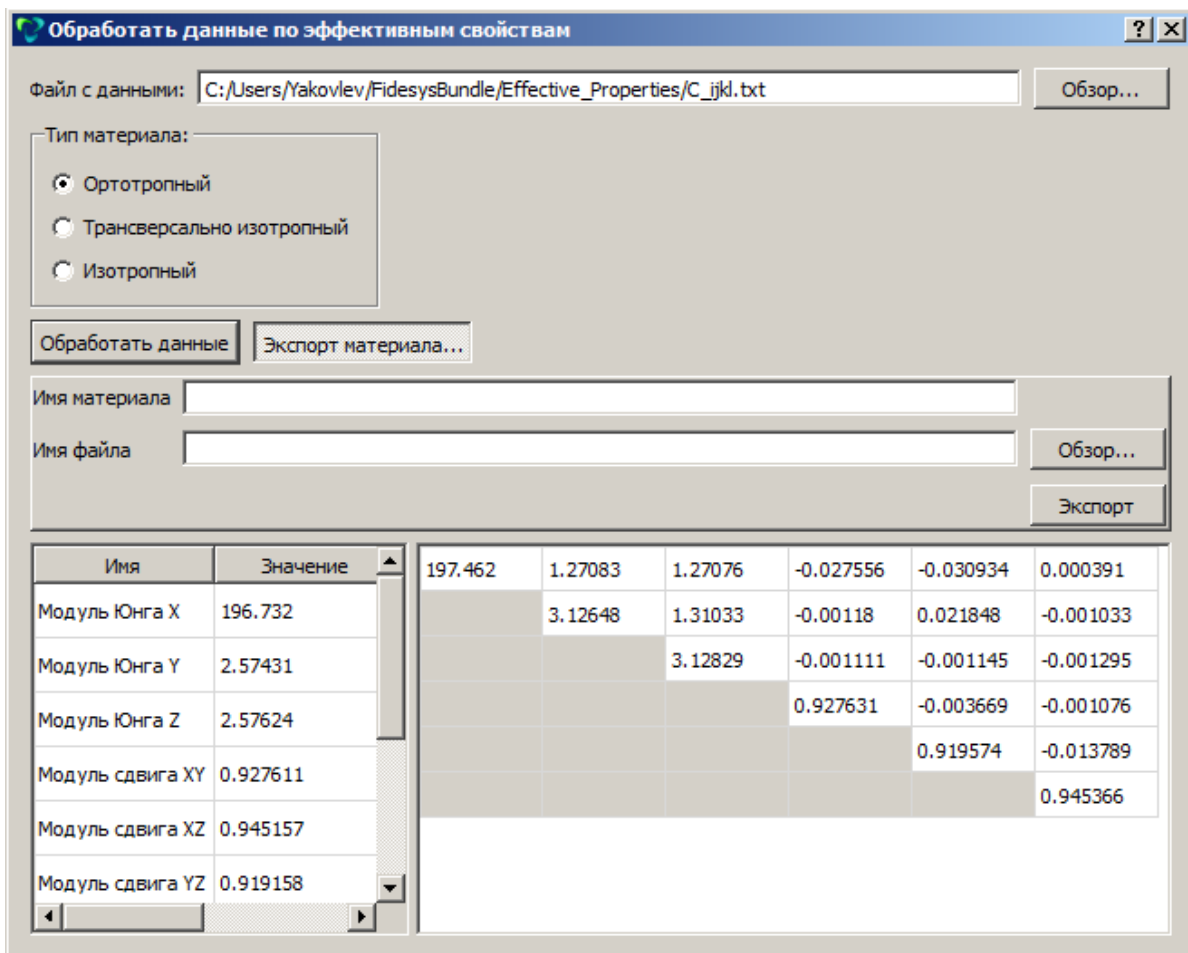
$$\begin{pmatrix} X & X & X & 0 & 0 & 0 \\ & X & X & 0 & 0 & 0 \\ & & X & 0 & 0 & 0 \\ & & & X & 0 & 0 \\ & & & & X & 0 \\ & & & & & X \end{pmatrix}$$

Но, поскольку компоненты матрицы представляют собой результат численного расчёта эффективных свойств – они, как правило, содержат некоторую ошибку. Если с точки зрения пользователя матрица соответствует ортотропному материалу с приемлемой точностью, можно выбрать тип материала «Ортотропный» и нажать кнопку «Обработать данные», в результате чего будут посчитаны девять констант ортотропного материала.

Если ортотропные константы в направлениях X и Y будут совпадать с приемлемой для пользователя точностью, можно выбрать тип материала «Трансверсально-изотропный» и нажать кнопку «Обработать данные». Будут посчитаны пять констант трансверсально-изотропного материала.

Если же ортотропные константы не зависят от направления – тогда можно выбрать тип материала «Изотропный» и снова нажать кнопку «Обработать данные». Будут посчитаны две константы изотропного материала – модуль Юнга и коэффициент Пуассона.

Внешний вид окна «Обработать данные по эффективным свойствам» показан на рисунке ниже.



Если обработанные константы материала устраивают пользователя, в этом же окне доступна возможность экспорта материала в файл XML. Необходимо выбрать имя для эффективного материала и имя файла XML, в который будет осуществляться экспорт. При нажатии кнопки «Экспорт» сначала создаётся материал с введённым именем и с полученными эффективными свойствами, после чего все созданные при расчёте материалы экспортируются в файл XML с введённым названием. Впоследствии можно импортировать данные материалы из созданного файла.

Если неоднородный материал, эффективные свойства которого исследуются, является ортотропным, трансверсально-изотропным или изотропным из эмпирических соображений; а результаты расчёта не соответствуют таковому – следует попробовать измельчить сетку или по-другому выбрать модель для расчёта.

Визуализация результатов и постпроцессинг

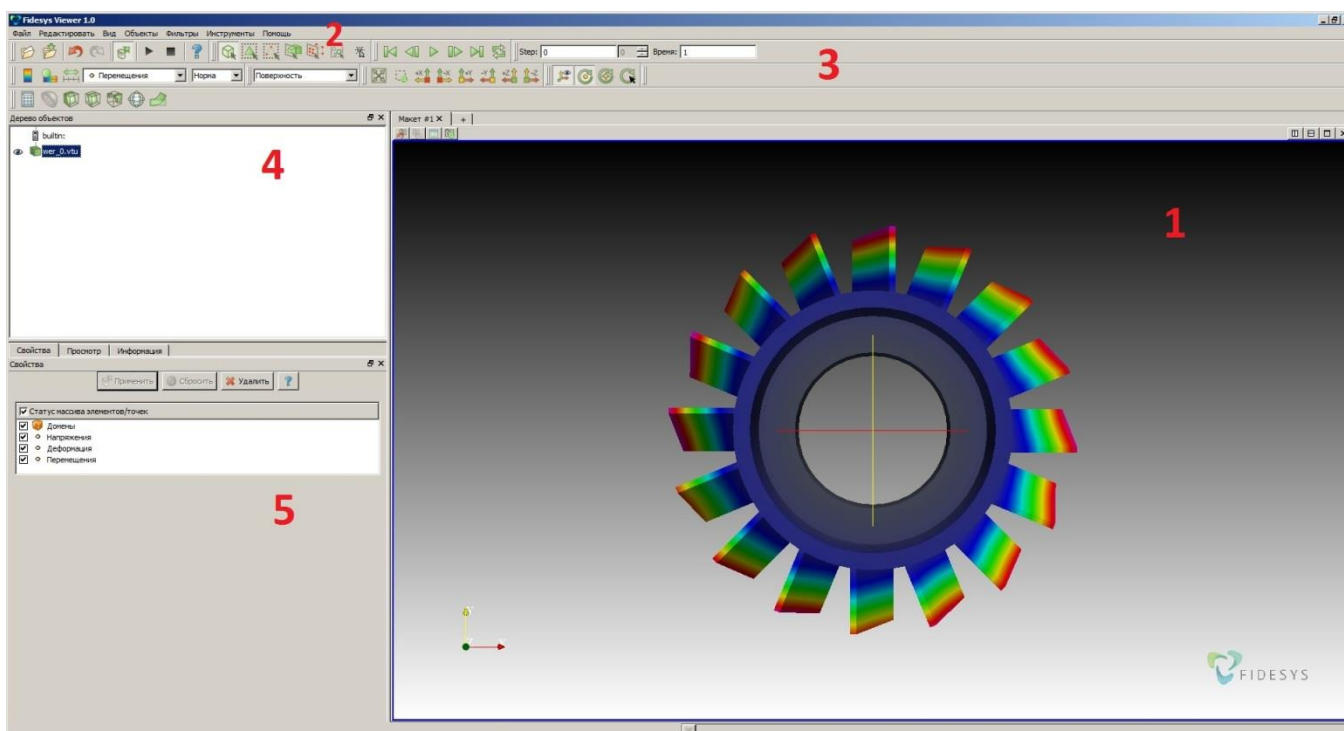
О программе Fidesys Viewer

Программа **Fidesys Viewer** предназначена для просмотра и анализа полученных результатов:

- визуализации векторных и тензорных полей;
- построения графиков и диаграмм;
- анализа временных зависимостей.

Fidesys Viewer включена в пакет **Fidesys Bundle** и устанавливается вместе с препроцессором. Для использования **Fidesys Viewer** не требуется лицензия: результаты расчётов, полученные с помощью препроцессора **Fidesys Bundle** доступны для просмотра в **Fidesys Viewer** даже после истечения лицензии.

Главное окно программы



Рабочая область (1) представляет собой окно отображения модели и визуальных эффектов.

Главное меню (2) включает в себя стандартные операции для работы с файлами, управление режимами визуализации моделей, настройки отображения панелей, фильтры, инструменты и справку. Всё вышеперечисленное доступно из раскрывающихся пунктов меню.

Панель инструментов (3) содержит кнопки для вызова команд, используемых в работе с программой наиболее часто.

Дерево объектов (4) включает в себя открытые модели и применённые к ним фильтры.

Страница свойств (5) служит для отображения свойств выделенного объекта в рабочей области экрана или в дереве объектов.

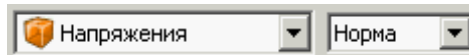
Дополнительные панели можно показать или скрыть в пункте меню **Вид**.

Основные принципы работы

Fidesys Viewer позволяет просматривать и анализировать полученные результаты. Просмотр и анализ осуществляется при помощи многочисленных фильтров, которые можно выбрать в пункте меню **Вид**. Ниже представлено описание некоторых из них.

Отображение на модели полей данных и легенды

Поля и компоненты отображения можно выбрать на панели инструментов:



Также можно отобразить легенду раскраски, нажав  на панели инструментов.

Выделение

Для того, чтобы выделить точки или ячейки, используйте следующие кнопки на панели инструментов:



Отображение информации

Численные результаты для полей данных можно посмотреть во вкладке **Информация**. Если в фокусе находится вся модель, то поля во вкладке **Информация** содержат диапазон данных – от минимального до максимального значения.

Значения в точках можно узнать при помощи фильтра Проверить местоположение (**Фильтры** → **Алфавитный указатель** → **Проверить местоположение**). Далее необходимо указать координаты просматриваемой точки. После применения фильтра во вкладке **Информация** отобразятся значения полей данных только для указанной точки.



Посмотреть численные результаты для выбранных точек также можно, нажав кнопку **Информация о точке** на панели инструментов.

Значения в точках/узлах/элементах можно выделить и просмотреть при помощи **Инспектора выделения** (**Вид** → **Инспектор выделения**).

Просмотр деформированной модели

Для просмотра модели в деформированном виде выберите **Фильтры** → **Алфавитный указатель** → **Деформировать по вектору**. Во вкладке Свойства можно выбрать масштаб отображения.



Для быстрого доступа к фильтру нажмите кнопку **Деформировать по вектору** на верхней панели.

Сферические/цилиндрические системы координат

Для того, чтобы получить данные в сферических или цилиндрических системах координат, выберите **Фильтры** → **Алфавитный указатель** → **Системы координат**. Далее, выберите поле данных, которое необходимо представить в новых координатах. После применения фильтра во вкладке **Информация** появится новое поле данных – например, Напряжения (сфер.).

Построение графиков вдоль прямой линии

Чтобы построить график вдоль прямой линии, выберите **Фильтры** → **Алфавитный указатель** → **Построить график вдоль линии**.

Укажите координаты начала и конца линии. Во вкладке **Просмотр** выберите соответствующее поле данных для отображения на графике.

Построение графиков вдоль кривых

Чтобы построить график вдоль кривой линии, выберите узлы (см. п.Выделение), для которых и будет построен график. Далее, используйте **Фильтры** → **Алфавитный указатель** → **Извлечь выделенное** и затем **Фильтры** → **Алфавитный указатель** → **Изобразить данные**.

Построение графиков в зависимости от времени

Чтобы построить график в зависимости от времени, необходимо выделить интересующие точки через Инспектор выделения или по кнопке **Выбрать точки** в стандартной строке, а затем применить фильтр **Фильтры** → **Алфавитный указатель** → **Построить выделенное в зависимости от времени**.

Напряжения (Мизес)

Для получения интенсивности напряжений по Мизесу выберите выберите **Фильтры** → **Алфавитный указатель** → **Инварианты**. После применения фильтра во вкладке Информация появится поле данных **Напряжения (Мизес)**. Кнопка быстрого доступа находится в стандартной строке **Fidesys Viewer**:



Оценка качества сетки

Для оценки качества сетки выберите **Вид** → **Фильтры** → **Алфавитный указатель** → **Качество сетки**. Укажите необходимые настройки во вкладке **Свойства**. После применения фильтра во вкладке **Информация** появятся новые поля, на основе анализа которых можно сделать выводы о качестве полученной сетки.

Срез

Для просмотра среза модели выберите **Фильтры** → **Алфавитный указатель** → **Срез**. Укажите нормаль либо направление, в котором следует сделать срез.

Сечение

Для просмотра сечения модели выберите **Фильтры** → **Алфавитный указатель** → **Сечение**. Укажите нормаль либо направление, в котором следует сделать срез.

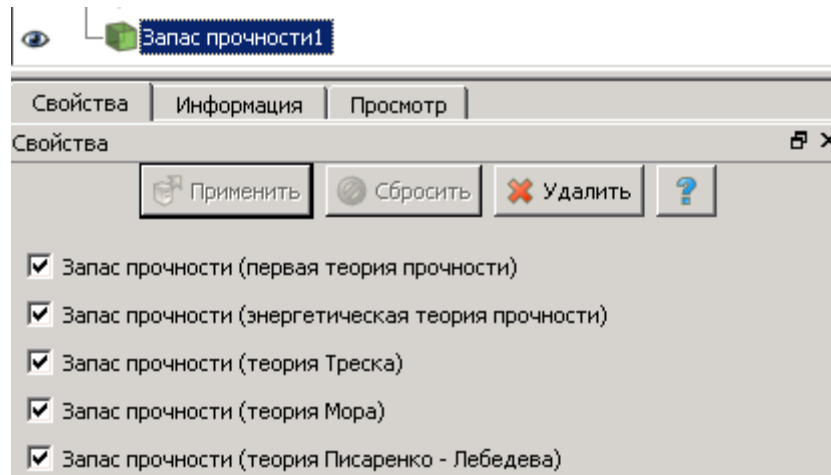
3D-отображение балок и оболочек



Просмотр сечения балок или оболочек в 3D-виде возможен в постпроцессоре **Fidesys Viewer** при нажатии кнопки **3D-вид** в стандартной строке.

Запас прочности

Для просмотра сечения модели выберите **Фильтры** → **Алфавитный указатель** → **Запас прочности**. Если предел прочности и предел текучести не были заданы при препроцессинге, их следует задать во вкладке **Свойства**. Запас прочности вычисляется по первой теории прочности, энергетической теории прочности, теории Треска, теории Мора, теории Писаренко-Лебедева. Полученные значения можно просмотреть во вкладке **Информация** в новом поле **Запас прочности**. Первая компонента поля – запас прочности по первой теории прочности, вторая – запас прочности по энергетической теории прочности и т.д.



Сглаженные результаты

Чтобы сгладить полученные результаты, выберите **Фильтры** → **Алфавитный указатель** → **Согласованные результаты**. Выберите поле, численные данные в котором необходимо преобразовать. После применения фильтра во вкладке **Информация** появится соответствующее поле данных, например, **Напряжения (сглаж.)**.

Сохранение данных

Чтобы получить числовые значения полученных результатов, сохраните данные в формате .csv. Для этого нажмите **Ctrl+S**, либо выберите **Файл** → **Сохранить**. Сохранённый файл представляет собой обычную таблицу числовых данных, которую можно открыть любым текстовым редактором.

Для динамических задач доступна запись изменения модели в процессе деформации. Для этого выберите **Файл** → **Сохранить анимацию**.

Пошаговое руководство пользователя

Выполнение любой задачи с использованием пакета FIDESYS можно разделить на 6 основных этапов:

- построение модели;
- построение сетки;
- задание граничных условий;
- задание материала;
- запуск расчёта;
- анализ результатов.

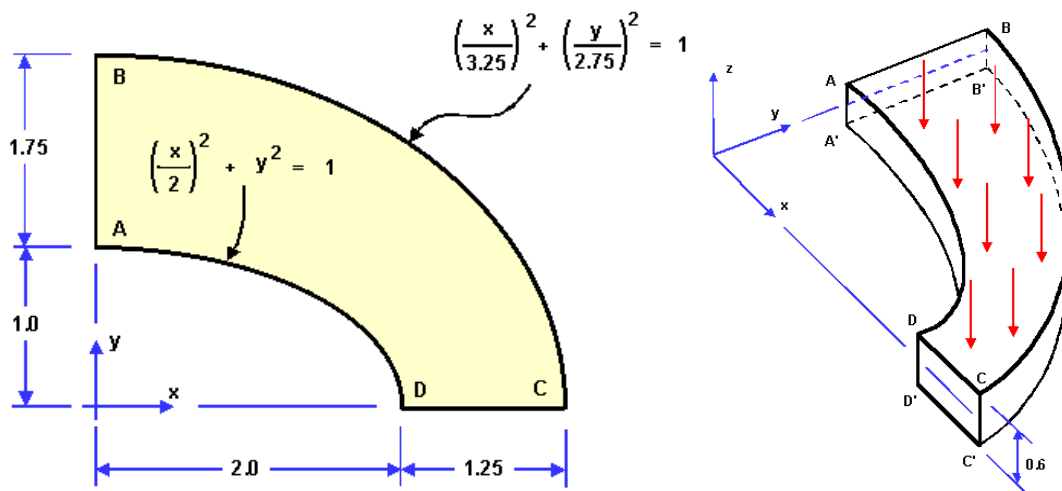
Ниже приведено несколько примеров с пошаговой инструкцией каждого этапа.

Статическое нагружение (объёмная модель)

NAFEMS test “Thick Plate Pressure”, Test No LE10, Date/Issue 1990-06-15/2.

Решается задача о статическом нагружении эллипсоидальной пластинки.

Геометрическая модель задачи представлена на рисунках ниже:



На боковых срезах пластинки запрещены перемещения по направлению нормали к этим граням, все точки внешней криволинейной поверхности закреплены в плоскости XY, внешняя криволинейная поверхность зафиксирована вдоль средней линии от перемещений вдоль оси Z. Модуль величины давления на верхнюю грань равен 1 МПа. Параметры материала $E = 210$ ГПа, $\nu = 0.3$.

Критерий прохождения теста: напряжение σ_{yy} в точке D равно -5.38МПа с точностью 3%.

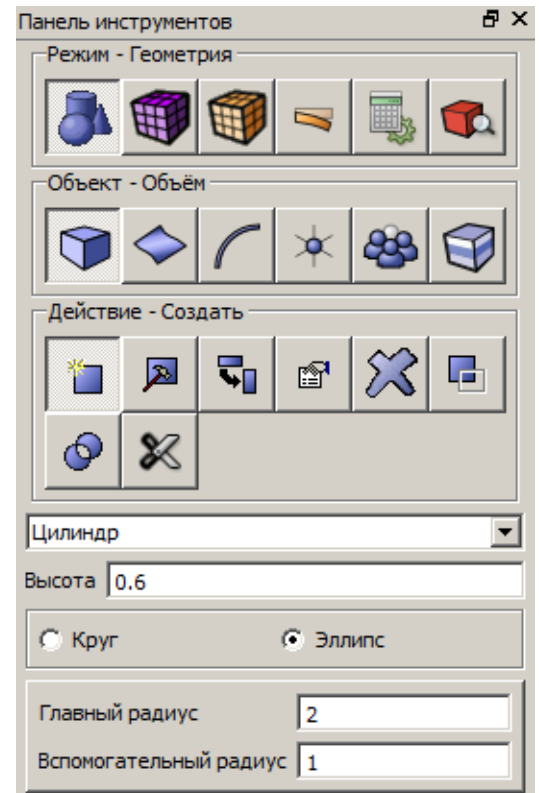
Построение модели

1. Создайте первый эллиптический цилиндр.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Цилиндр**. Задайте размеры цилиндра:

- Высота: 0.6;
- Сечение: Эллипс;
- Главный радиус: 2;
- Вспомогательный радиус: 1.

Нажмите **Применить**.



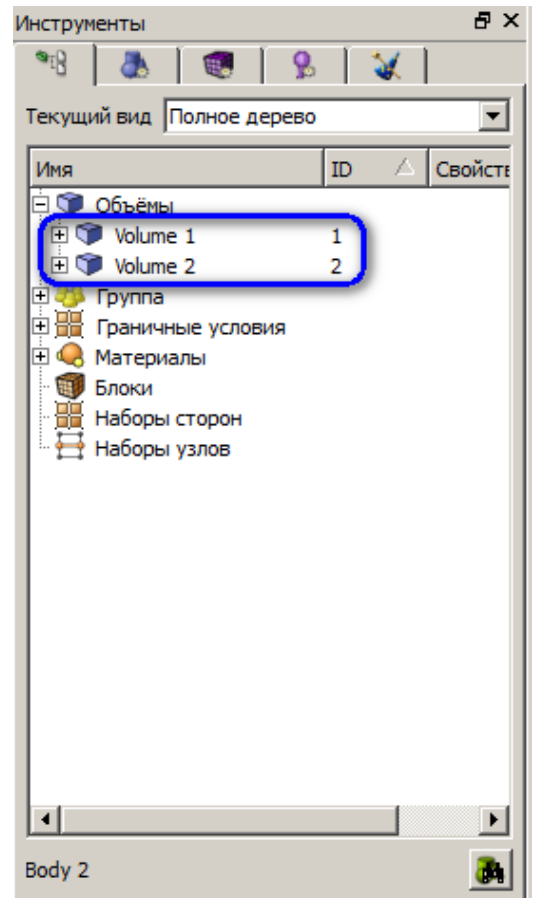
2. Создайте второй эллиптический цилиндр.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Цилиндр**. Задайте размеры цилиндра:

- Высота: 0.6;
- Сечение: Эллипс;
- Главный радиус: 3.25;
- Вспомогательный радиус: 2.75.

Нажмите **Применить**.

В результате в дереве объектов отобразятся два только что созданных объекта (Volume 1 и Volume 2).



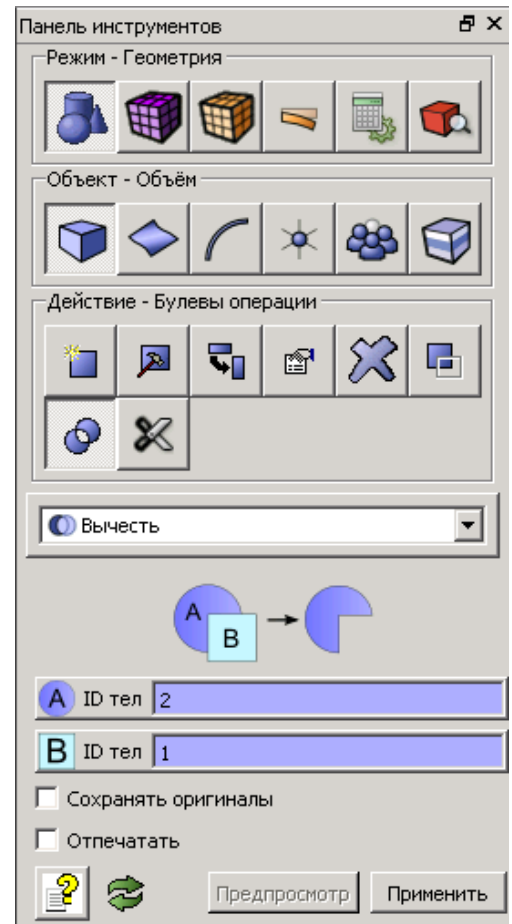
3. Вычтите первый цилиндр из второго.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Булевы операции**). Из списка операций выберите **Вычесть**. Задайте следующие параметры:

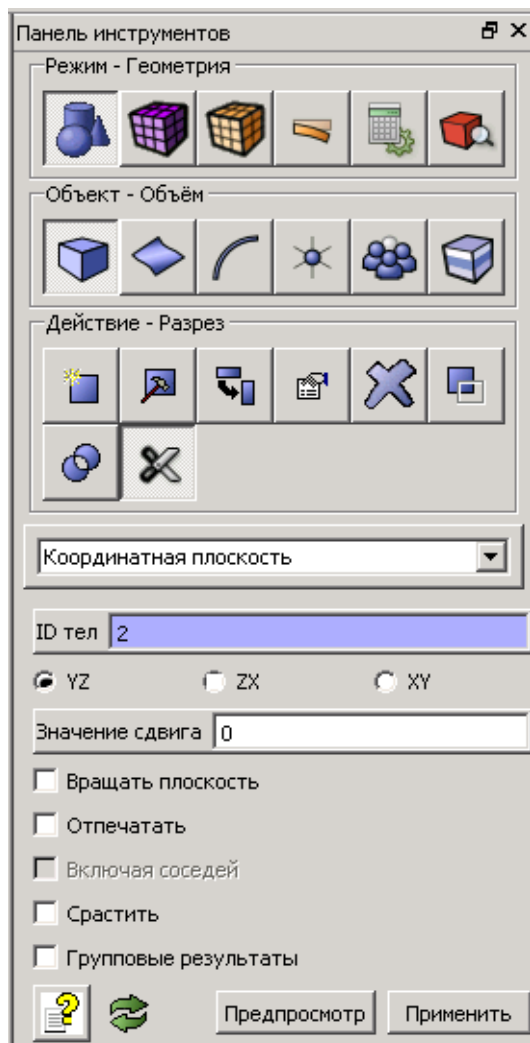
- ID тел: 2 (*объёмы, из которых будут вычтены другие объёмы*);
- Вычесть тела (ID): 1 (*объёмы, которые будут вычтены*);
- Отпечатать.

Нажмите **Применить**.

В результате в дереве объектов останется только один объём (Volume 2).



4. Оставьте четверть объёма (симметрия задачи).



На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Разрез**). Из списка возможных видов разрезов выберите **Плоскость**. Задайте следующие параметры:

- ID объёмов: 2 (*объём, который будет разрезан*);
- Разрезать: Плоскость YZ;
- Значение сдвига: 0;
- Отпечатать.

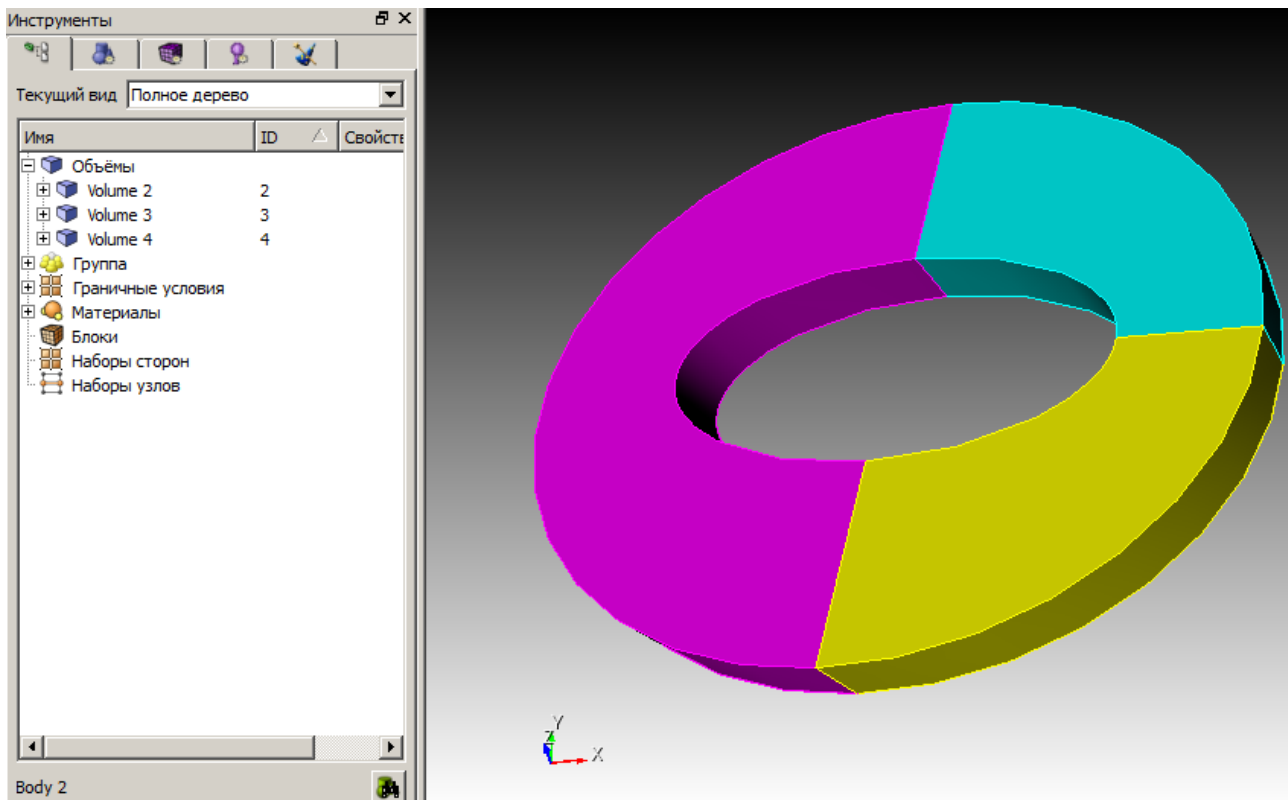
Нажмите **Применить**.

Проделайте то же самое, но в плоскости XZ:

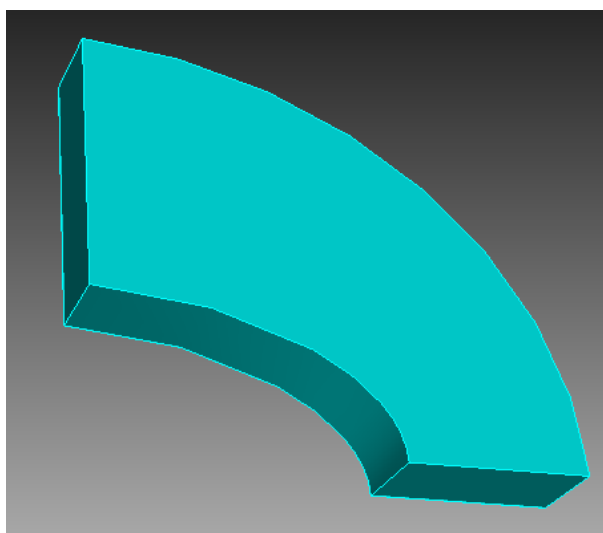
- ID объёмов: 2 (*объём, который будет разрезан*);
- Разрезать: Плоскость ZX;
- Значение сдвига: 0;
- Отпечатать.

Нажмите **Применить**.

В результате исходный объём в дереве объектов будет поделён на четыре (Volume 2, Volume 3 и Volume 4).



Удалите объёмы 2 и 3. Для этого, удерживая клавишу Ctrl, выберите в дереве объектов эти объёмы и в контекстном меню нажмите **Удалить**. В результате останется четверть первоначального объёма (Volume 4):



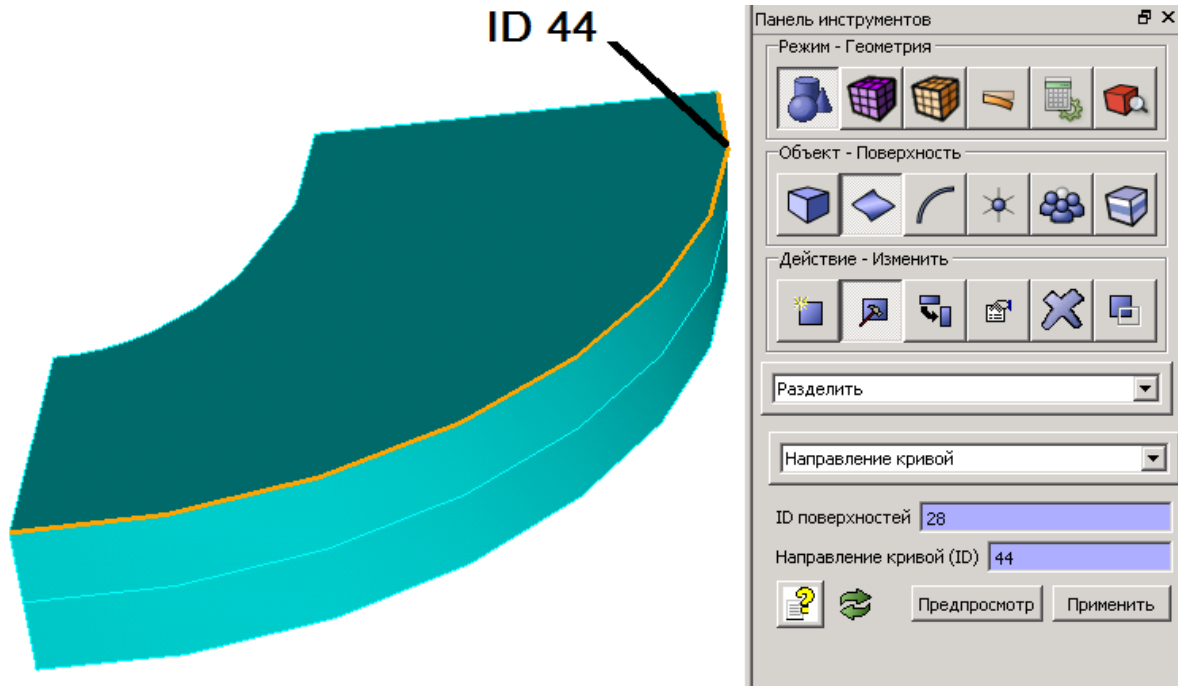
5. Разделите внешнюю криволинейную поверхность на две (необходимо для закрепления этой поверхности от перемещений вдоль средней линии).

На панели команд выберите модуль изменения поверхностной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Поверхность**, Действие – **Изменить**). Из списка возможных операций выберите **Разделить**. Задайте следующие параметры:

- ID поверхностей: 28 (поверхность, которая будет поделена вдоль средней линии);
- Разделительный метод: Направление кривой;
- Направление кривой (ID): 44 .

Нажмите **Применить**.

В результате внешняя криволинейная поверхность будет поделена пополам, а в дереве объектов вместо поверхности 28 появятся две новые поверхности (Surface 32 и Surface 33).



Построение сетки

Требуется вычислить значение в точке D, поэтому построенная сетка будет измельчена вблизи этой точки.

1. На панели команд выберите модуль построения сетки на кривых (Режим – **Сетка**, Объект – **На кривых**, Действие – **Построение сетки**). Укажите степень измельчения сетки:
 - Выбор кривых: 46 44 45 43 (через пробелы);
 - Выберите способ построения сетки: Равномерно;
 - Установите флаг Интервал;
 - Укажите количество интервалов: 6

Нажмите **Применить**.

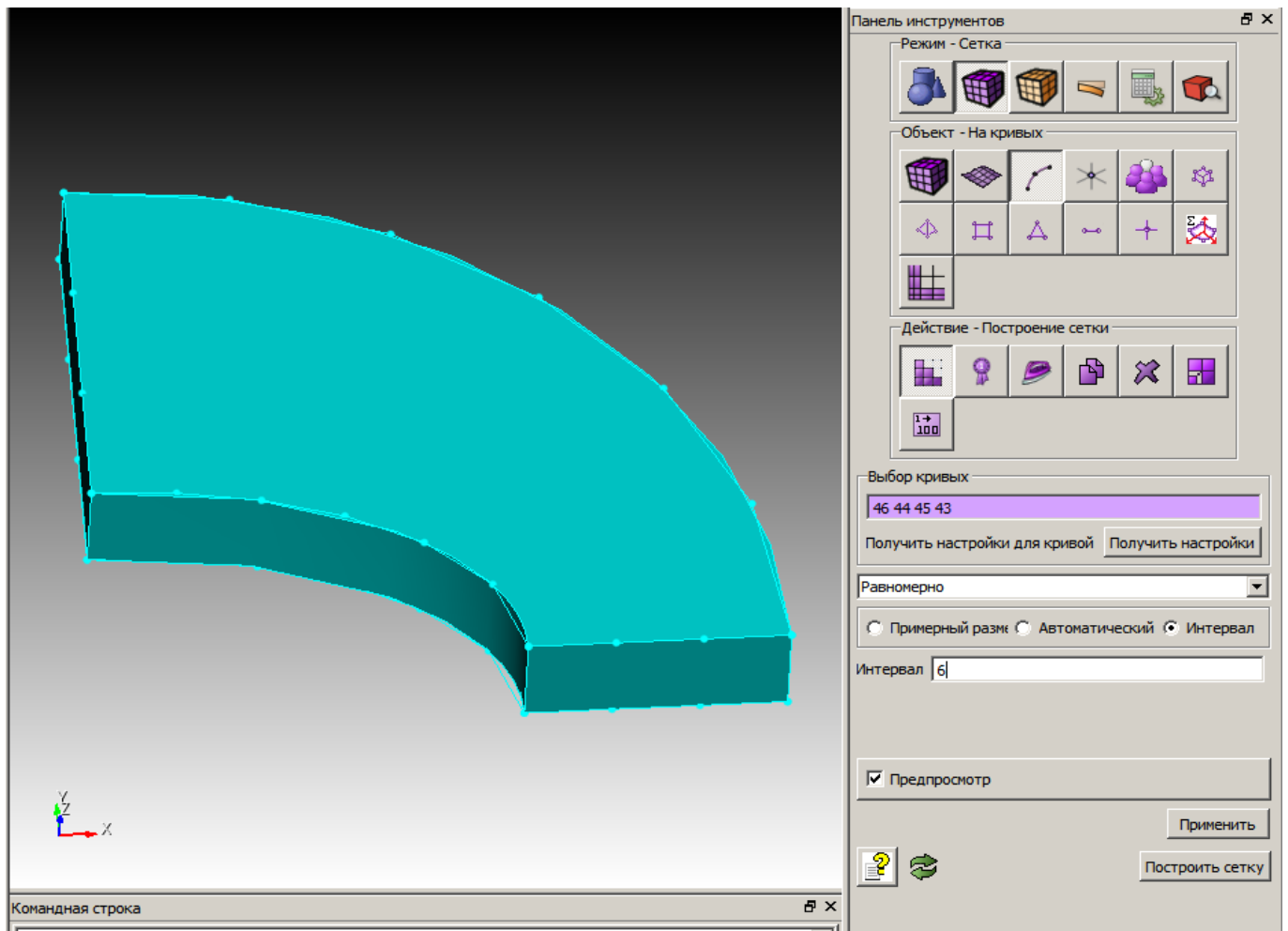
Нажмите **Построить сетку**.

На панели команд выберите модуль построения сетки на кривых (Режим – **Сетка**, Объект – **На кривых**, Действие – **Построение сетки**).

- Выбор кривых: 14 41 39 12 (через пробелы);
- Выберите способ построения сетки: Равномерно;
- Установите флаг Интервал;
- Укажите количество интервалов: 3;

Нажмите **Применить**.

Нажмите **Построить сетку**.

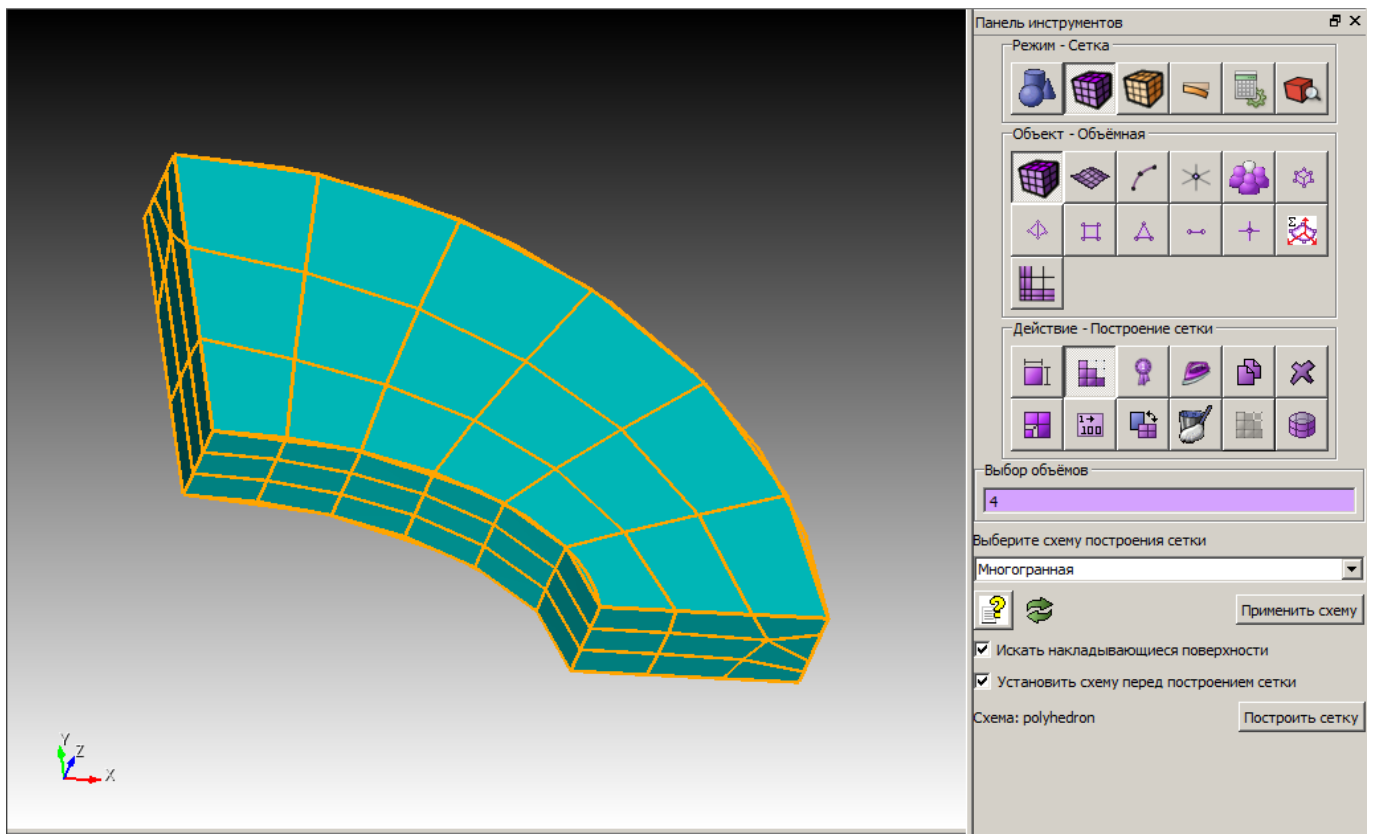


2. На панели команд выберите модуль построения объёмной сетки (Режим – **Сетка**, Объект – **Объёмная**, Действие – **Построение сетки**).

- Выберите объёмы (укажите их ID): 4 (или командой **all**);
- Выберите схему построения сетки: Многогранная;

Нажмите **Применить схему**.

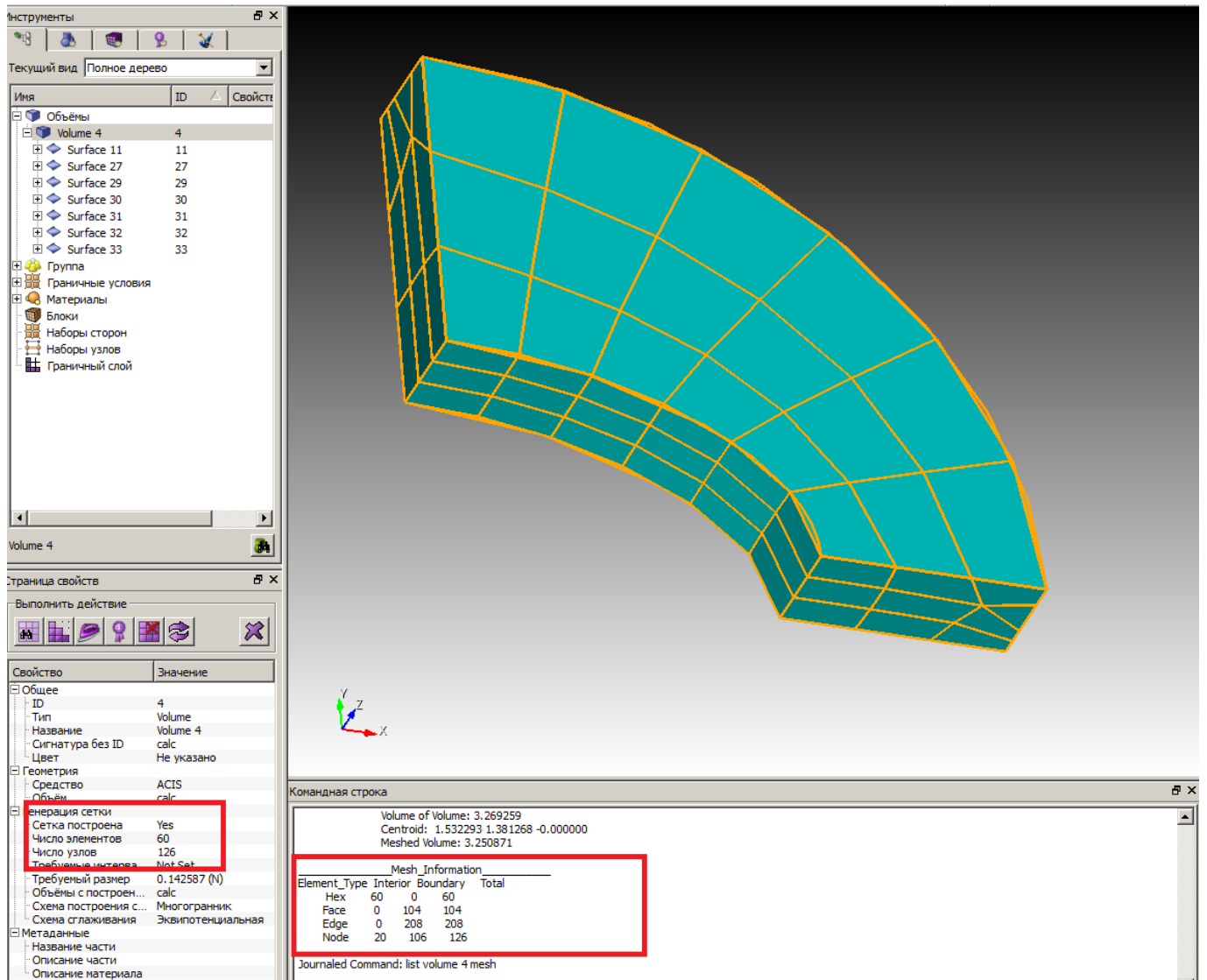
Нажмите **Построить сетку**.



Полученное количество элементов можно посмотреть на странице свойств, кликнув на надпись Volume 4 в дереве объектов слева.

Также для просмотра свойств сетки можно выполнить следующие действия:

- Выделите всю модель
- Кликните правой кнопкой мыши по модели
- В появившемся меню выберите Отобразить информацию – Данные о сетке
- В командной строке появится информация о сетке



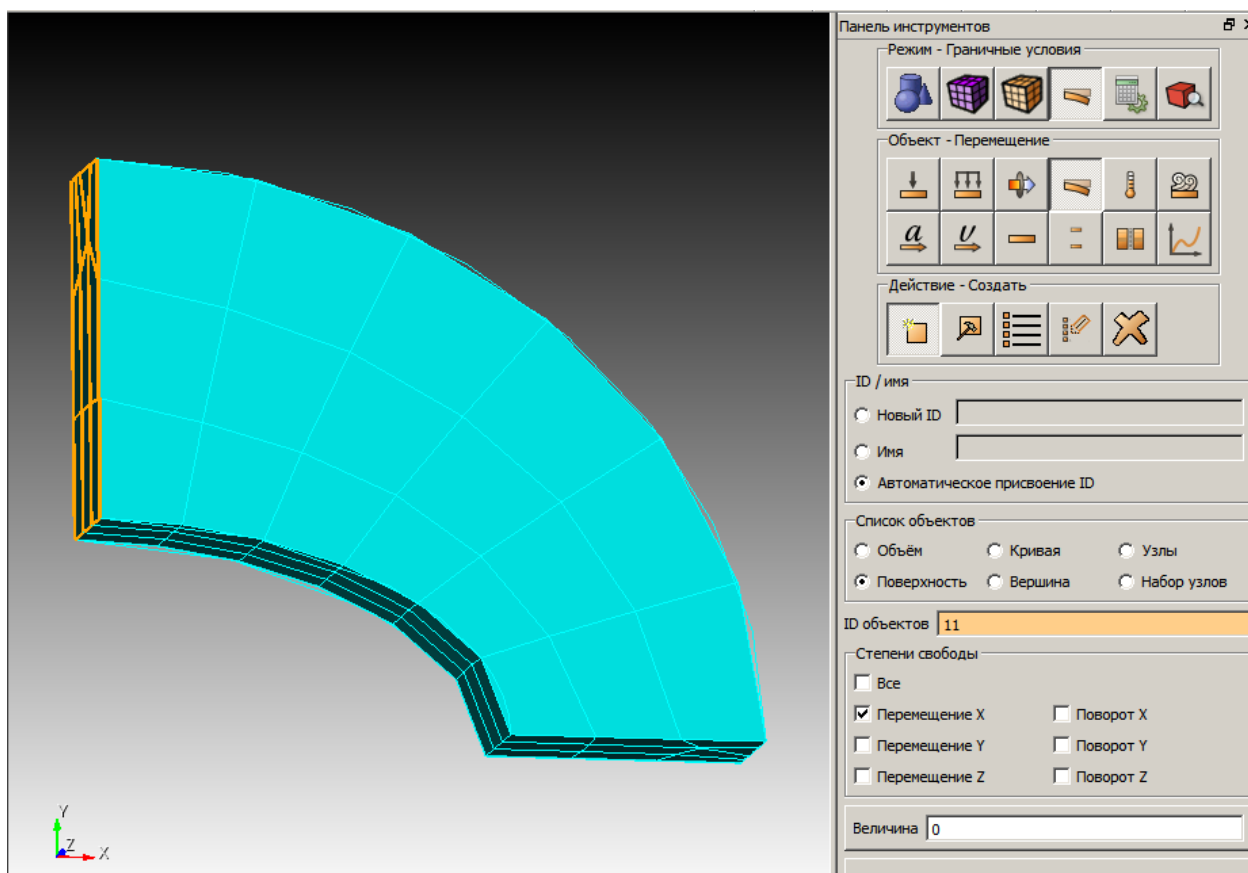
Задание граничных условий

1. Закрепите одну боковую грань (срез) в направлении X.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 11;
- Степени свободы: Компонента X;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.



2. Аналогично закрепите одну боковую грань (срез) в направлении Y.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 27;
- Степени свободы: Компонента Y;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

3. Закрепите внешнюю криволинейную поверхность в направлении X и Y.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 32 33;
- Степени свободы: Компонента X и Y;
- Величина: 0.

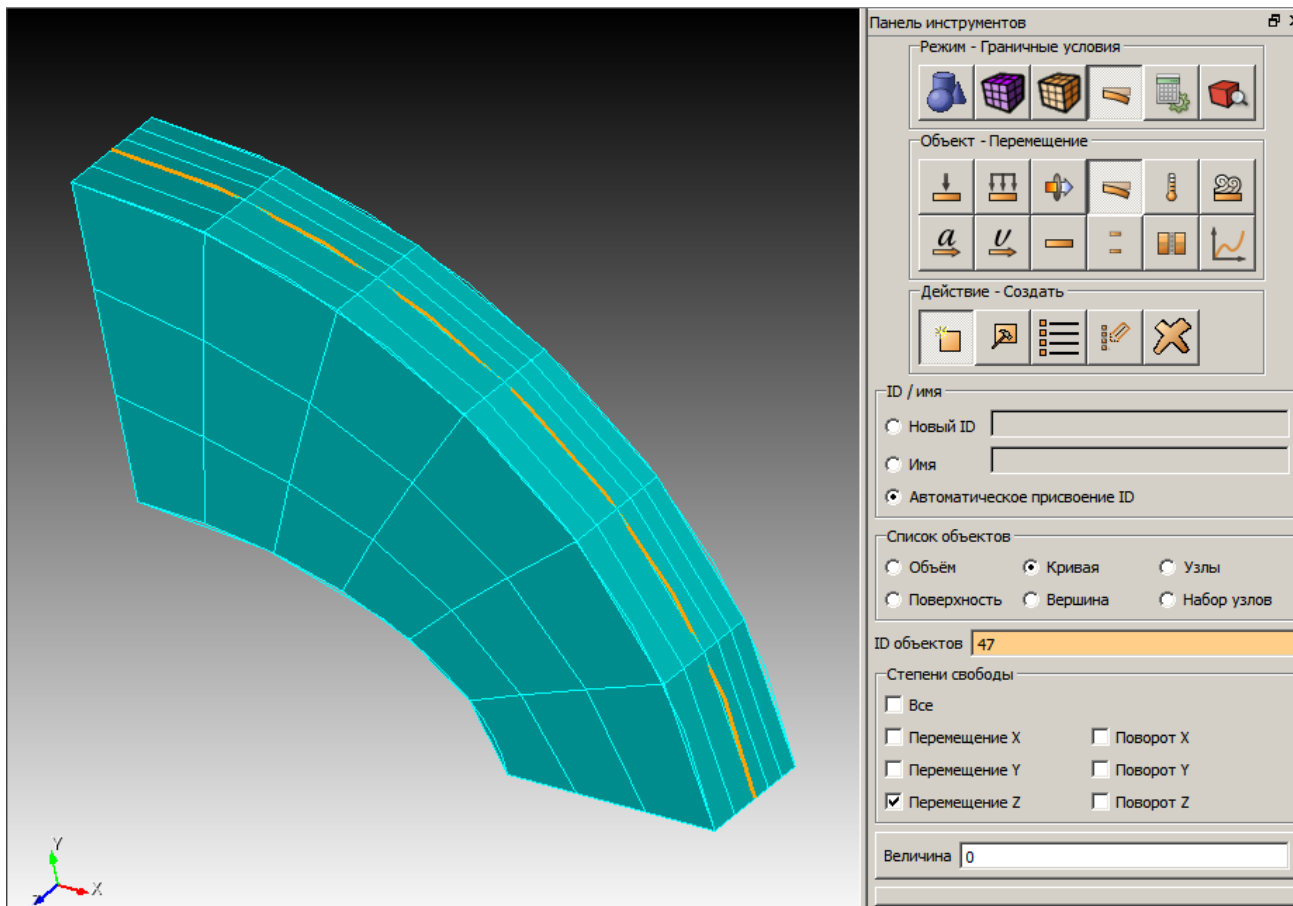
Нажмите **Применить**.

4. Закрепите среднюю линию внешней криволинейной грани в направлении Z.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объектов: 47;
- Степени свободы: Компонента Z;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

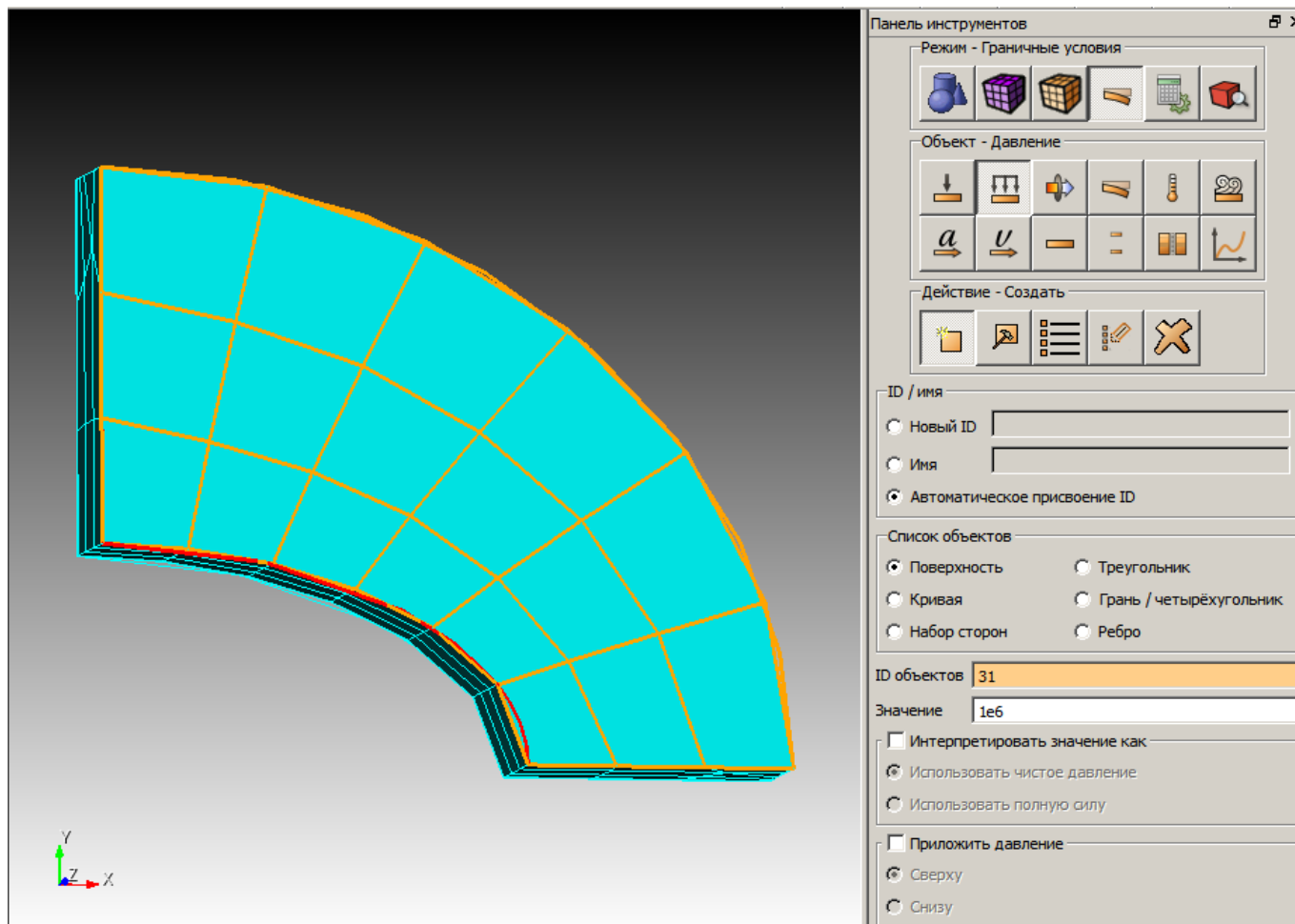


5. Приложите давление к верхней грани.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Давление**, Действие – **Создать**.
 Задайте следующие параметры:

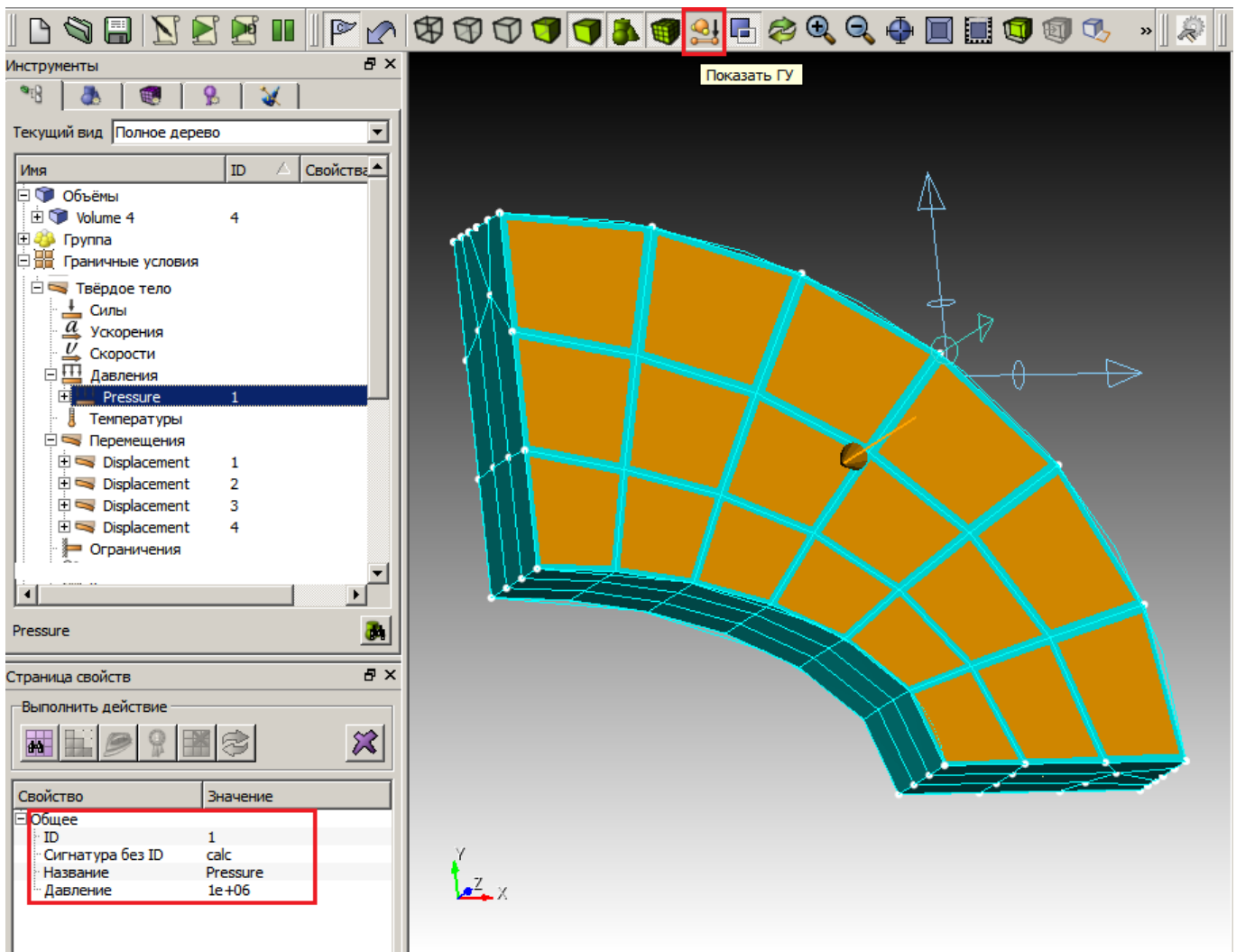
- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 31;
- Значение: 1e6 (*поддерживается экспоненциальный вид числа с использованием латинской буквы "e"*).

Нажмите **Применить**.



Все приложенные граничные условия должны отобразиться в дереве объектов слева. Кроме того, граничные условия доступны для редактирования из дерева объектов.

Для просмотра всех приложенных граничных условий также нажмите кнопку Показать ГУ на верхней панели.



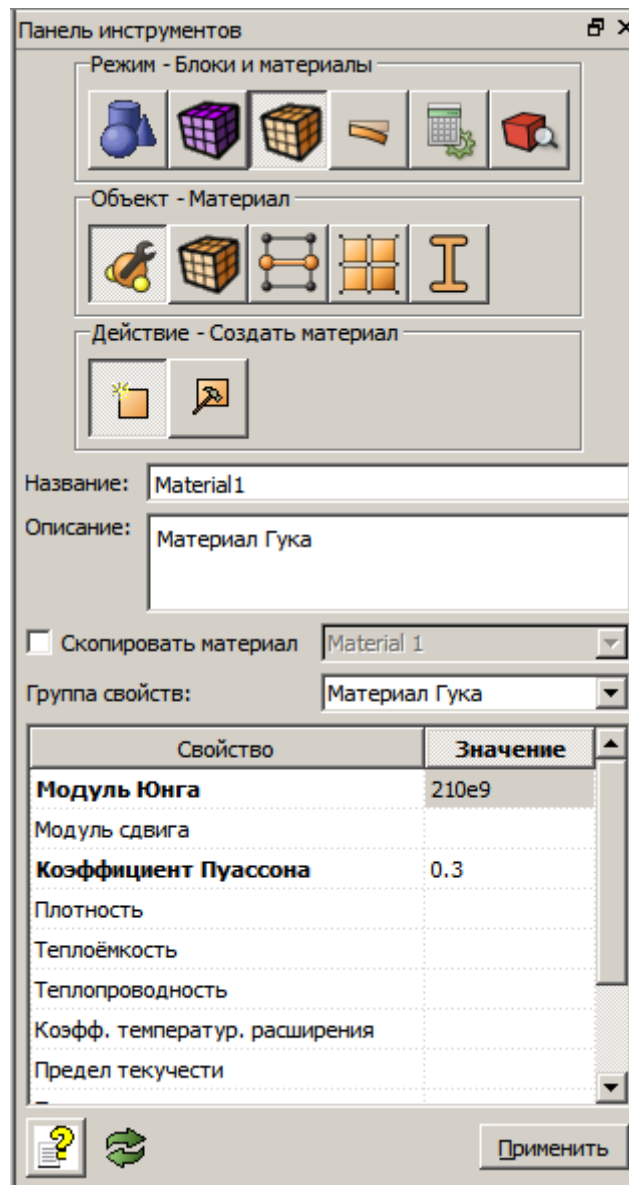
Задание материала и типа элемента

1. Создайте материал.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Материал**, Действие – **Создать материал**). Задайте следующие параметры:

- Название: Material1;
- Описание: Материал Гука
- Группа свойств: Материал Гука;
- Модуль Юнга: 210e9;
- Коэффициент Пуассона: 0.3.

Нажмите **Применить**.

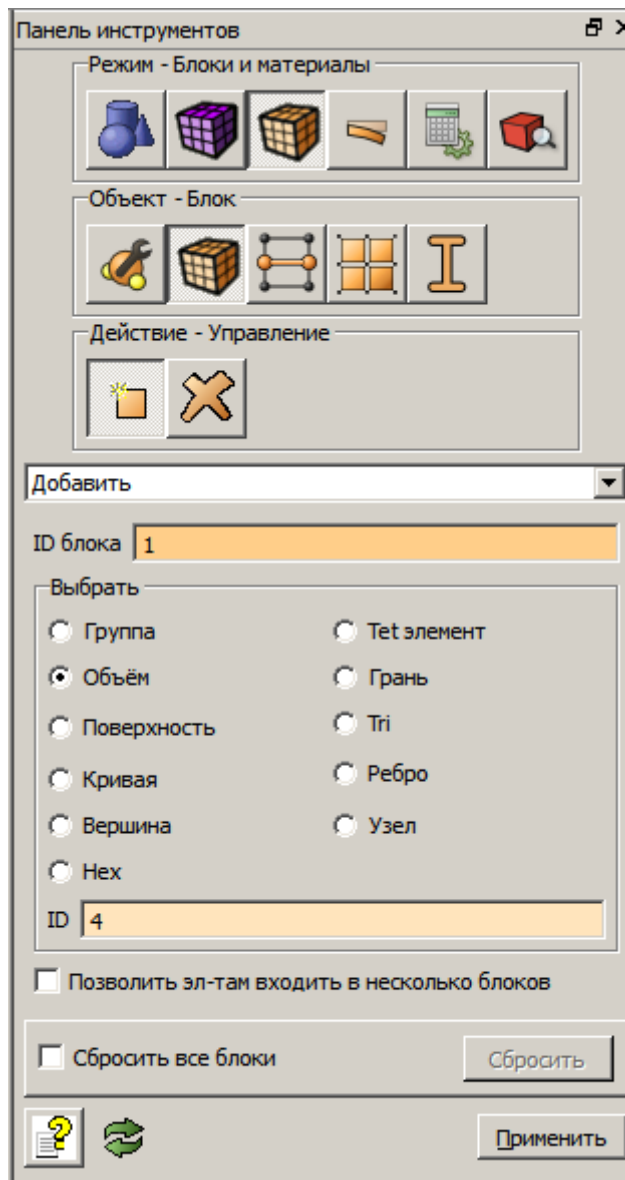


2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Добавить**. Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Выберите объекты, которые будут объединены в блок: Объём;
- ID: 4 (или командой *all*).

Нажмите **Применить**.

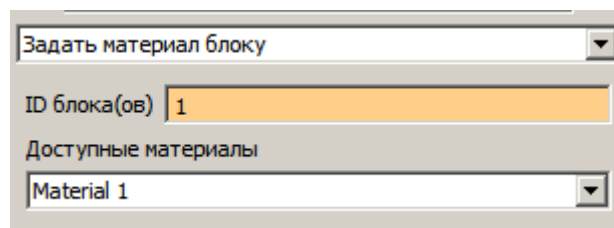


3. Присвойте материал блоку.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Задать материал блоку**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выберите из списка ранее созданный материал: Material 1.

Нажмите **Применить**.

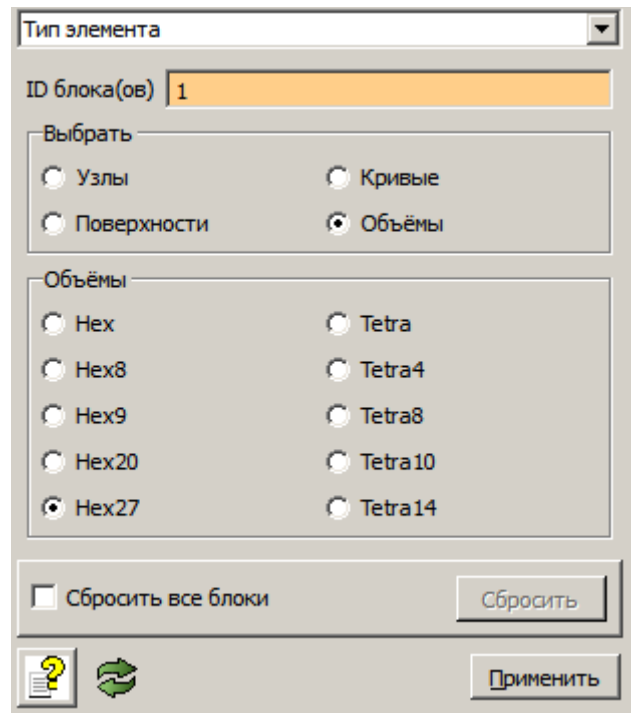


4. Присвойте тип элемента.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Тип элемента**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выбрать: Объёмы;
- Объёмы: HEX27.

Нажмите **Применить**.



Запуск расчёта

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Статический**, Статика – **Общие**). Выберите:

- Размерность: 3D;
- Модель: Упругость.

Нажмите **Применить**.

2. Задайте параметры решателя.

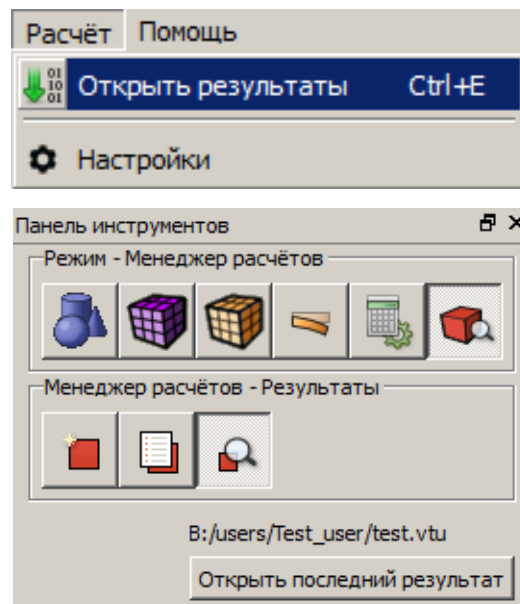
На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Статический**, Статика – **Решатель**). Выберите тип решателя (прямой или итерационный) и задайте параметры сходимости в случае выбора последнего. Либо оставьте все параметры по умолчанию. Нажмите **Применить**.

Нажмите **Начать расчёт**.

3. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат, и введите название файла.
4. В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: *“Calculation finished successfully at <date> <time>”*.

Анализ результатов

1. Откройте файл с результатами. Это можно сделать тремя способами.
 - Нажмите Ctrl+E.
 - В главном меню выберите **Расчёт** → **Результаты**. Нажмите **Открыть последний результат**.
 - На панели команд выберите менеджер расчётов (Режим – **Менеджер расчётов**, Менеджер расчётов – **Результаты**). Нажмите **Открыть результаты**.



Для автоматического применения изменений всех фильтров нажмите на соответствующую кнопку **Автоматически применять изменения** на панели команд.

2. Отобразите компоненту σ_{yy} поля напряжений и сетку на модели.

В появившемся окне **Fidesys Viewer** на панели инструментов установите следующие параметры:

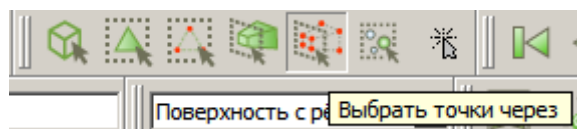
- Тип отображения: Поверхность;
- Поле отображения: Напряжения;
- Компонента отображения: 22.
- Поверхность с ребрами.



3. Выберите точку, в которой необходимо проверить напряжение.

В главном меню выберите Вид – Инспектор выделения.

Выберите точку на модели, используя кнопку **Выбрать кнопки через**.

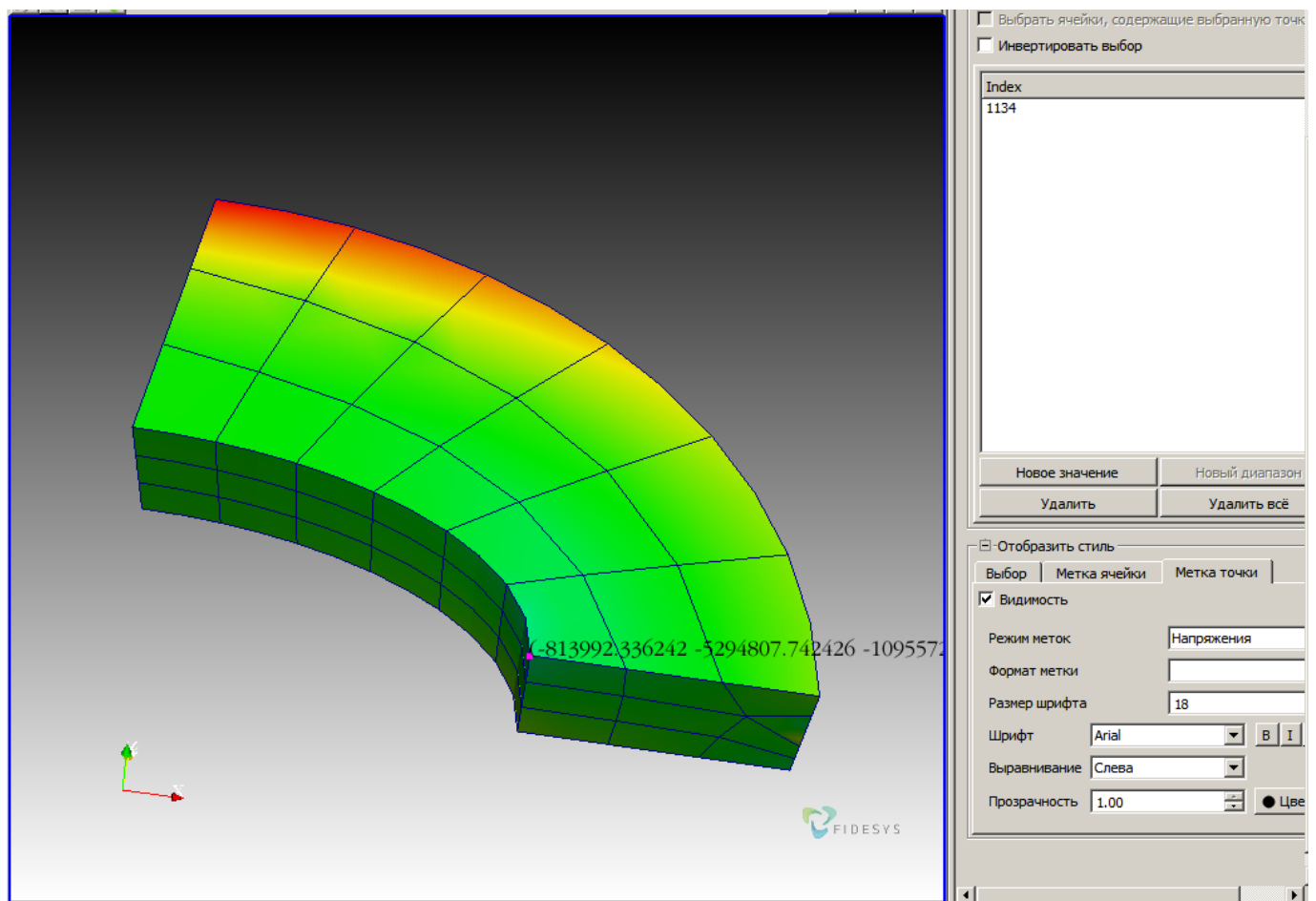


Выделите точку D на верхней грани. В **Инспекторе выделения** справа должен отображаться номер узла – 243.

В инспекторе выделения перейдите во вкладку **Метка точки** и выберите следующие настройки:

- Включите Видимость;
- Режим меток: Напряжения;

В результате на рисунке отобразятся компоненты Напряжений в выделенной точке D.



4. Проверьте численное значение σ_{yy} в выбранной точке D.

Полученное значение $-5.294807e+06$ отличается от требуемого $-5.380e+06$ на 1.61%.


5. Выгрузите числовые данные.

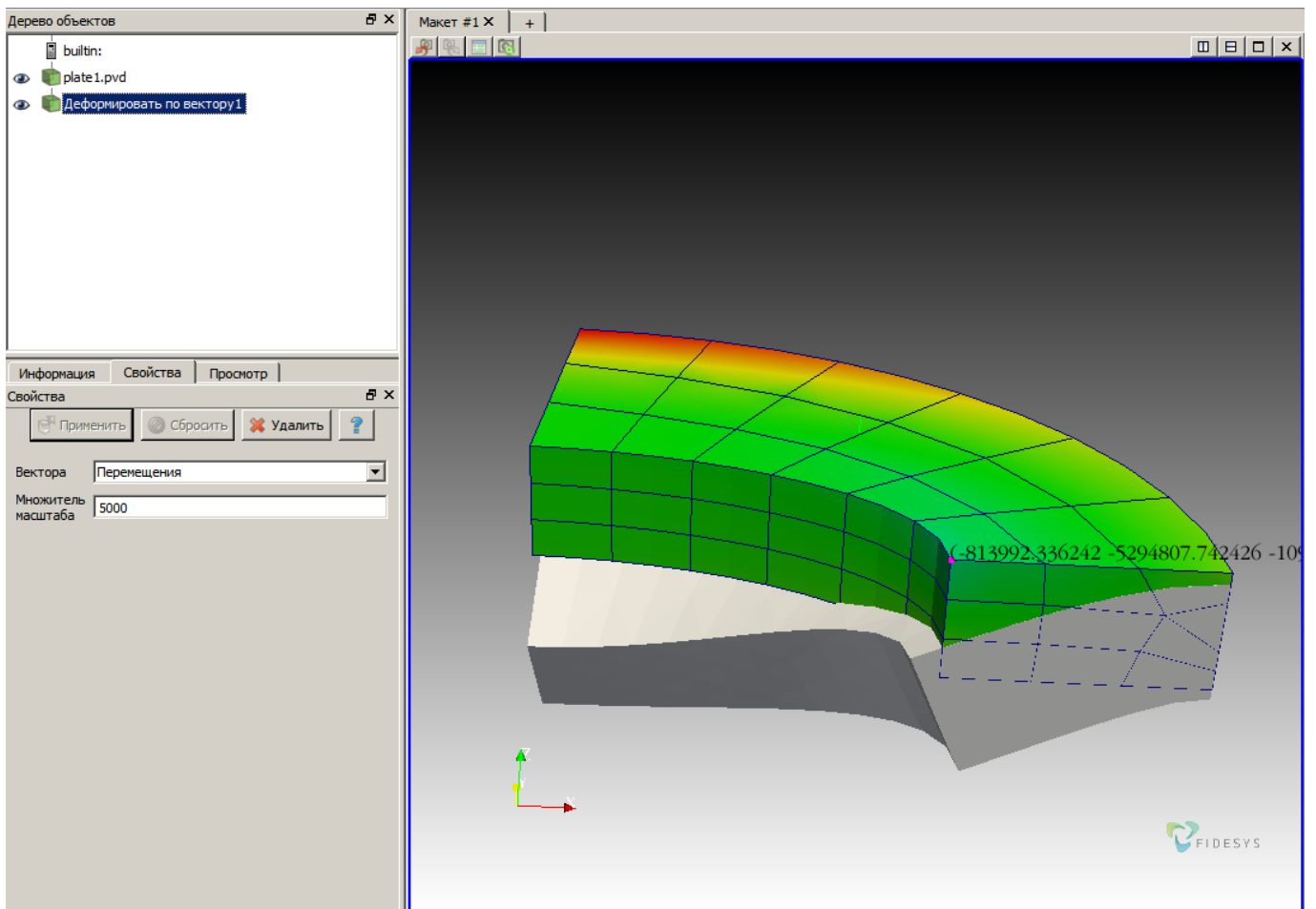
В главном меню выберите **Файл** → **Сохранить данные** либо нажмите **Ctrl+S**. Введите имя файла (формат *.csv), оставьте по умолчанию. Нажмите **OK**. Сохранённый файл представляет собой обычную таблицу числовых данных, которую можно открыть любым текстовым редактором.

6. Можно посмотреть, как деформируется тело под приложенным давлением.

Для этого выберите фильтр **Деформировать по вектору**. Во вкладке **Свойства** установите следующие параметры:

- Вектора: Перемещения;
- Множитель масштаба: 5000.

В результате отобразится деформированное тело. Для того чтобы посмотреть начальную модель, можно нажать на значок  рядом с этой моделью в дереве объектов. На картинке ниже представлена деформированная (сплошная серая заливка) и исходная модель (с полем распределения напряжений по оси Y).



Использование консольного интерфейса

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса. Ниже приведён код программы, позволяющий выполнить шаги описанного выше руководства, необходимо только самостоятельно указать полный путь и название сохраняемого файла.

Пример рабочего скрипта (файл сохраняется в D:/FidesysBundle/calc/example.pvd)

```

reset
set node constraint on
create Cylinder height 0.6 major radius 2 minor radius 1
create Cylinder height 0.6 major radius 3.25 minor radius 2.75
subtract body 1 from body 2 imprint
webcut body 2 with plane xplane offset 0 imprint
webcut body 2 with plane yplane offset 0 imprint
delete Body 3
delete Body 2
split surface 28 direction curve 44
curve 46 44 45 43 interval 6
curve 46 44 45 43 scheme equal
curve 46 44 45 43 interval 6
curve 46 44 45 43 scheme equal
mesh curve 46 44 45 43
curve 14 41 39 12 interval 3
curve 14 41 39 12 scheme equal
curve 14 41 39 12 interval 3
curve 14 41 39 12 scheme equal
mesh curve 14 41 39 12
    
```

```

volume 4 scheme Polyhedron
volume 4 scheme Polyhedron
mesh volume 4
create displacement on surface 11 dof 1 fix 0
create displacement on surface 27 dof 2 fix 0
create displacement on surface 32 33 dof 1 dof 2 fix 0
create displacement on curve 47 dof 3 fix 0
create pressure on surface 31 magnitude 1e6
undo group begin
create material "material 1" property_group "CUBIT-FEA" description "Материал Гука"
modify material "material 1" scalar_properties "MODULUS" 2.1e+11 "POISSON" 0.3
undo group end
set duplicate block elements off
block 1 volume 4
block 1 material 'material 1'
block 1 element type hex27
analysis type static elasticity dim3
spectralelement off
usempi off
solver method auto try_other off
solver method auto try_other off
calculation start path "D:/FidesysBundle/calc/example.pvd"

```

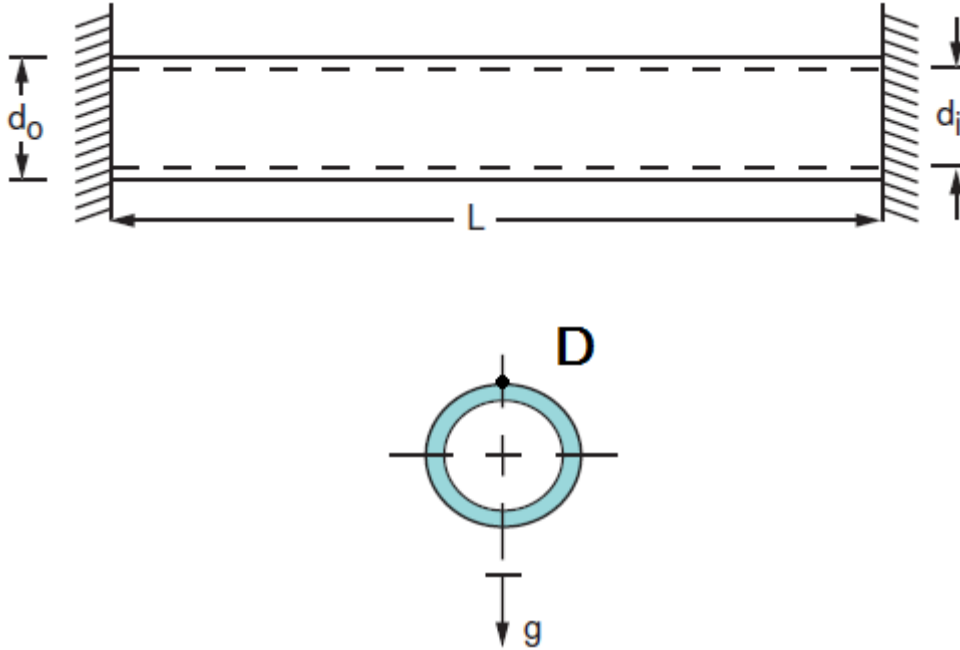


Также можно запустить файл *Example_1_Static_3D.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

Статическое нагружение (сила тяжести)

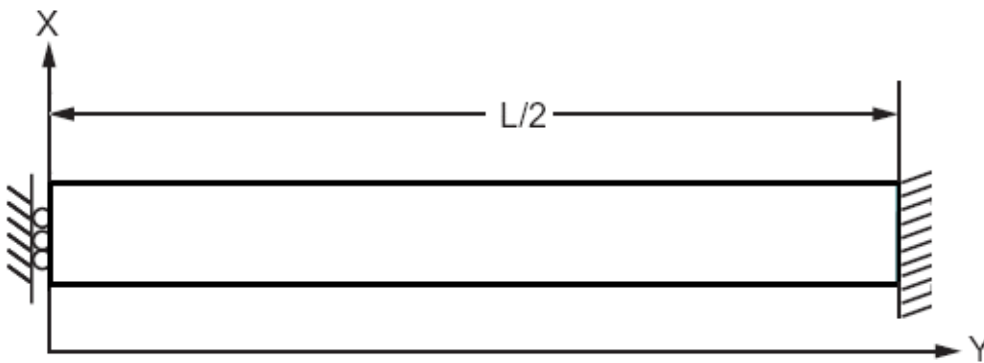
R.J. Roark, *Formulas for Stress and Strain, 4th Edition*? McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, NY, 1965, pg 112, no. 33

Решается задача об изгибе трубы под действием силы тяжести. Геометрическая модель задачи представлена на рисунках ниже:



Боковые грани жестко закреплены по всем перемещениям и поворотам. Параметры материала $E = 30 \times 10^6$ psi, $\nu = 0.0$, $\rho = 0.00073$ lb-sec²/in⁴. Сила тяжести задается через ускорение $g = 386$ in/sec². Геометрические размеры модели: $L = 200$ in, $d_o = 2$ in, $d_i = 1$ in.

В силу симметрии задачи, далее будет рассматриваться половина трубы ($L/2$).



Критерий прохождения теста: перемещение в центре трубы u_{yy} в точке $D(0, d_o/2, 0)$ равно -0.12529 in с точностью 3%.

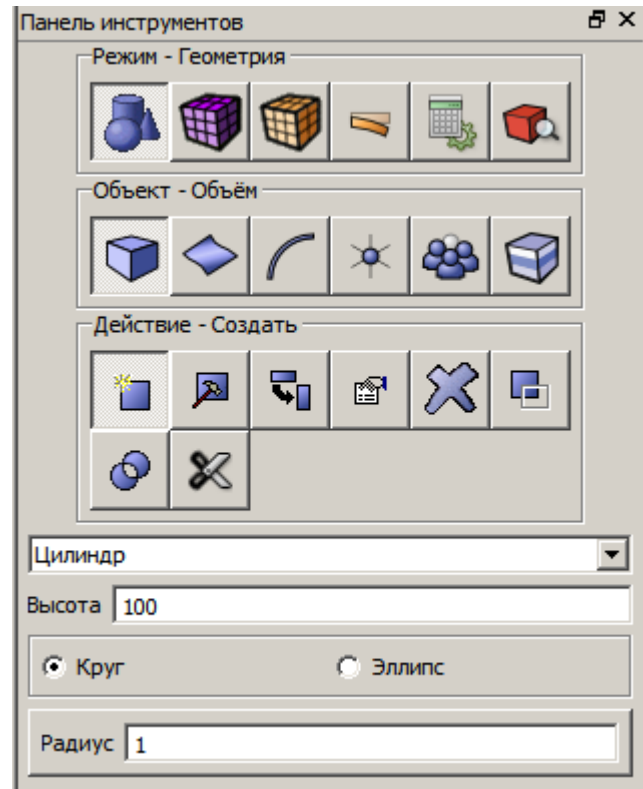
Построение модели

1. Создайте первый круглый цилиндр.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Цилиндр**. Задайте размеры цилиндра:

- Высота: 100;
- Сечение: Круг;
- Радиус: 1;

Нажмите **Применить**.



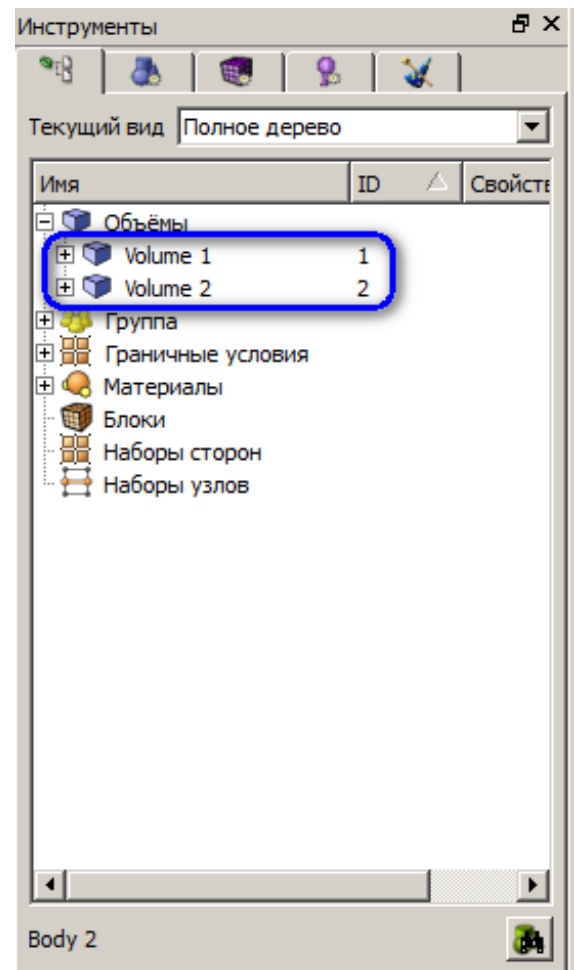
2. Создайте второй цилиндр.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Цилиндр**. Задайте размеры цилиндра:

- Высота: 100;
- Сечение: Круг;
- Главный радиус: 0.5;

Нажмите **Применить**.

В результате в дереве объектов отобразятся два только что созданных объекта (Volume 1 и Volume 2).



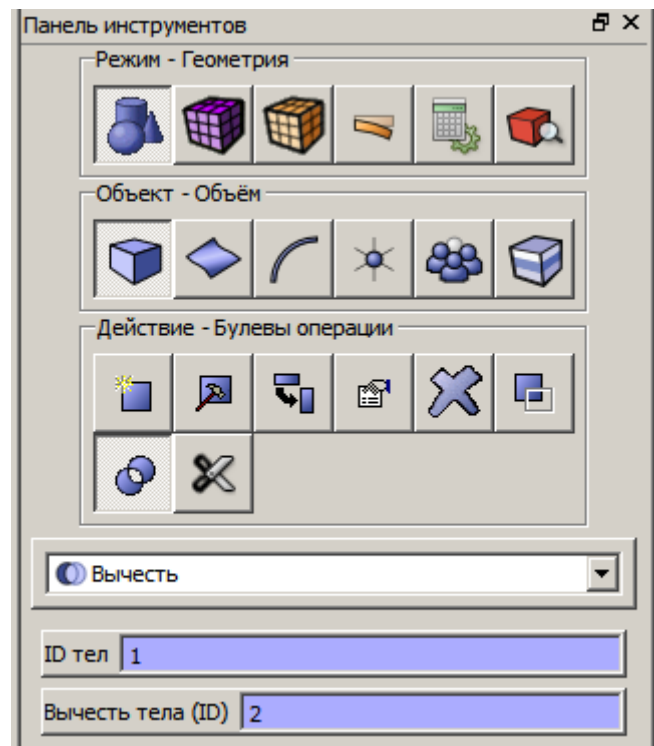
3. Вычтите первый цилиндр из второго.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Булевы операции**). Из списка операций выберите **Вычесть**. Задайте следующие параметры:

- ID тел: 1 (*объёмы, из которых будут вычтены другие объёмы*);
- Вычесть тела (ID): 2 (*объёмы, которые будут вычтены*);
- Отпечатать.

Нажмите **Применить**.

В результате в дереве объектов останется только один объём (Volume 1).



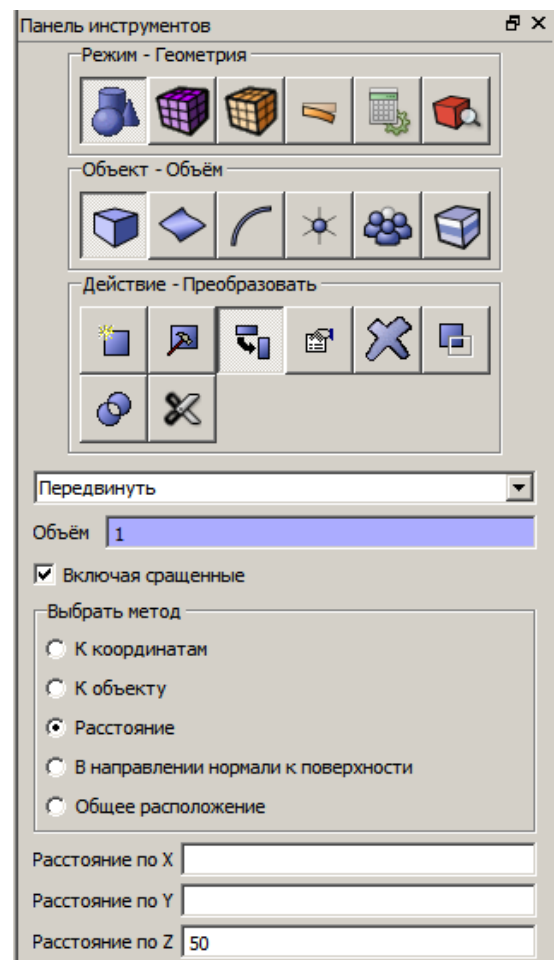
4. Поместите объем к началу координат.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Преобразовать**). Из списка возможных видов разрезов выберите **Передвинуть**. Задайте следующие параметры:

- ID объёмов: 1 (*объём, который будет разрезан*);
- Флаг Расстояние;
- Расстояние по Z: 50;

Нажмите **Применить**.

Таким образом, центр левого конца трубы помещен в начало координат.



Построение сетки

1. Установите примерный размер элементов.

На панели команд выберите модуль построения объемной сетки (Режим – **Сетка**, Объект – **Объемная**, Действие – **Интервалы**). Укажите примерный размер элементов:

- Выберите объемы: 1;
- Выберите из выпадающего списка Примерный размер;
- Примерный размер: 0.25;

Нажмите **Применить**.

2. Выберите способ построения сетки.

На панели команд выберите модуль построения объемной сетки (Режим – **Сетка**, Объект – **Объемная**, Действие – **Построение сетки**).

- Выберите объемы: 1;
- Выберите схему построения сетки: Многогранная;

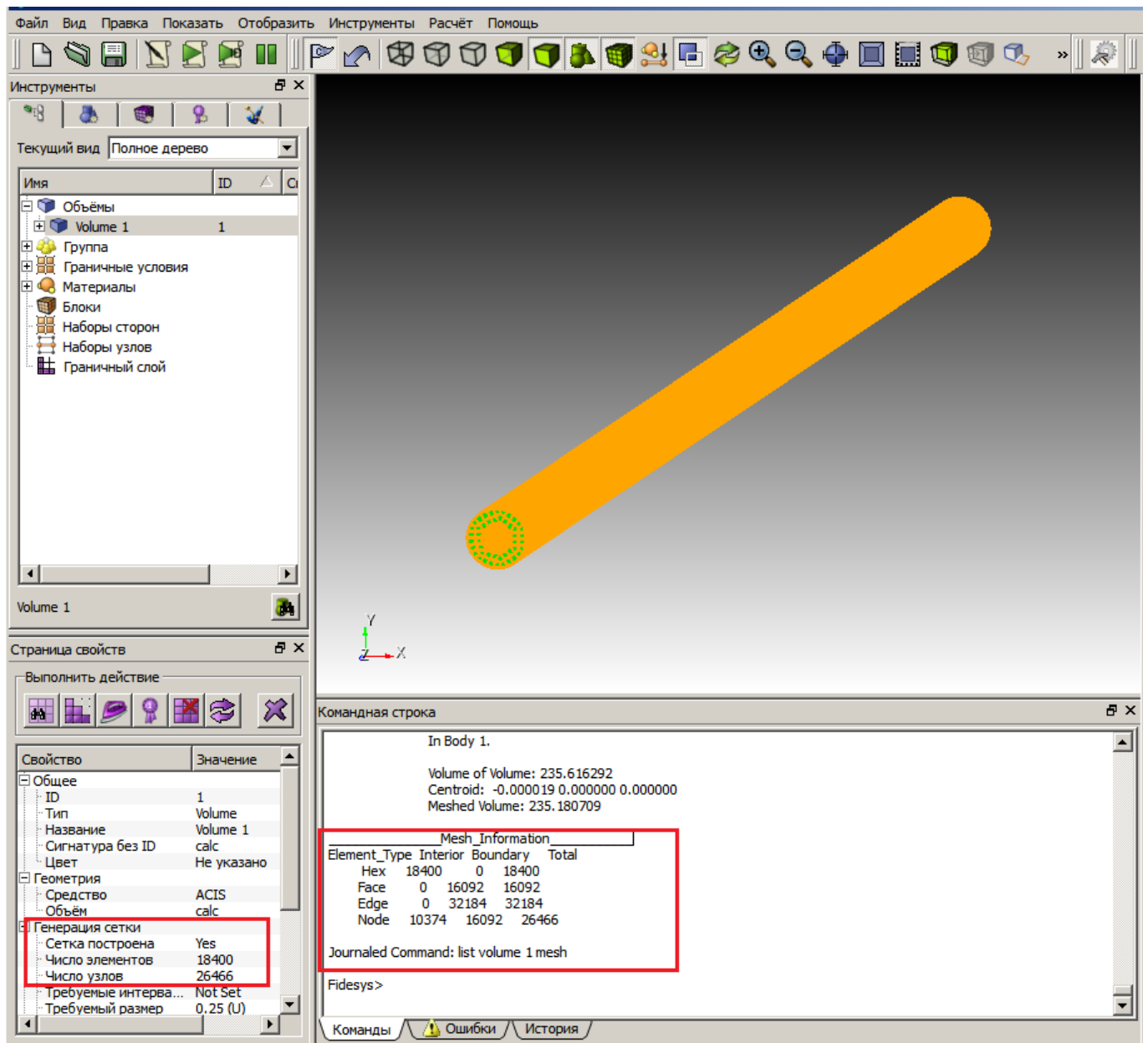
Нажмите **Применить**.

Нажмите **Построить сетку**.

Полученное количество элементов можно посмотреть на странице свойств, кликнув на надпись Volume 1 в дереве объектов слева.

Также для просмотра свойств сетки можно выполнить следующие действия:

- Выделите всю модель
- Кликните правой кнопкой мыши по модели
- В появившемся меню выберите Отобразить информацию – Данные о сетке
- В командной строке появится информация о сетке



Задание граничных условий

1. Закрепите правую боковую грань по всем перемещениям.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 8;
- Степени свободы: Все;
- Величина: 0.

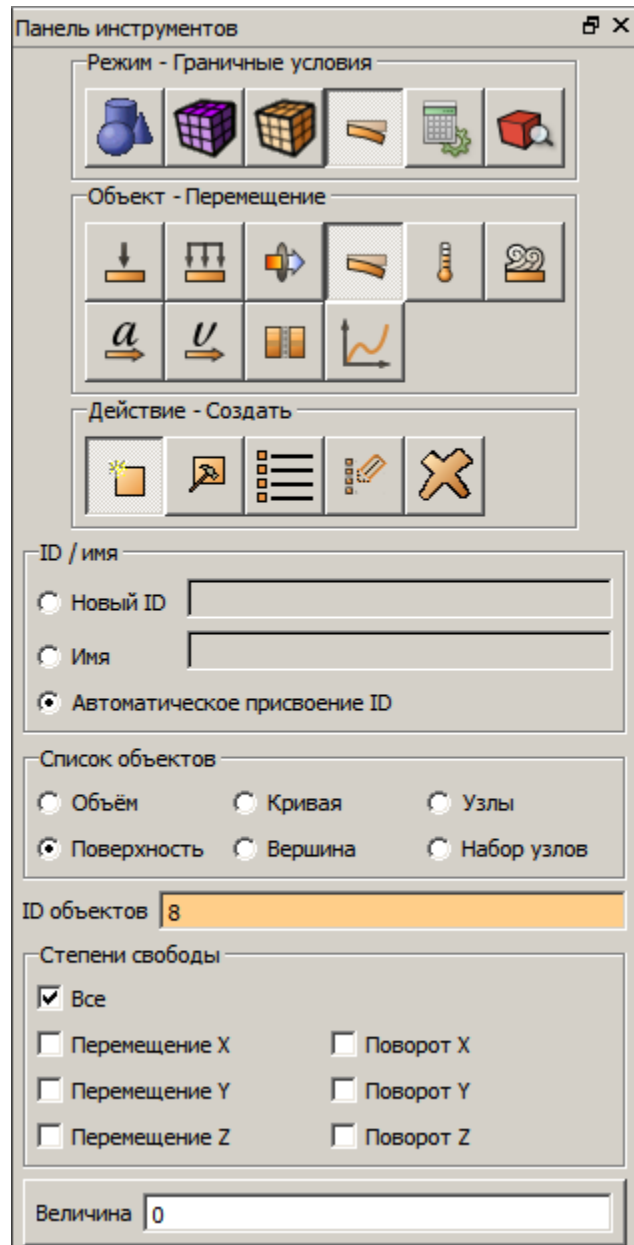
Нажмите **Применить**.

2. Аналогично закрепите левую боковую грань в направлениях X и Z.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 9;
- Степени свободы: Компонента X, Компонента Z;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.



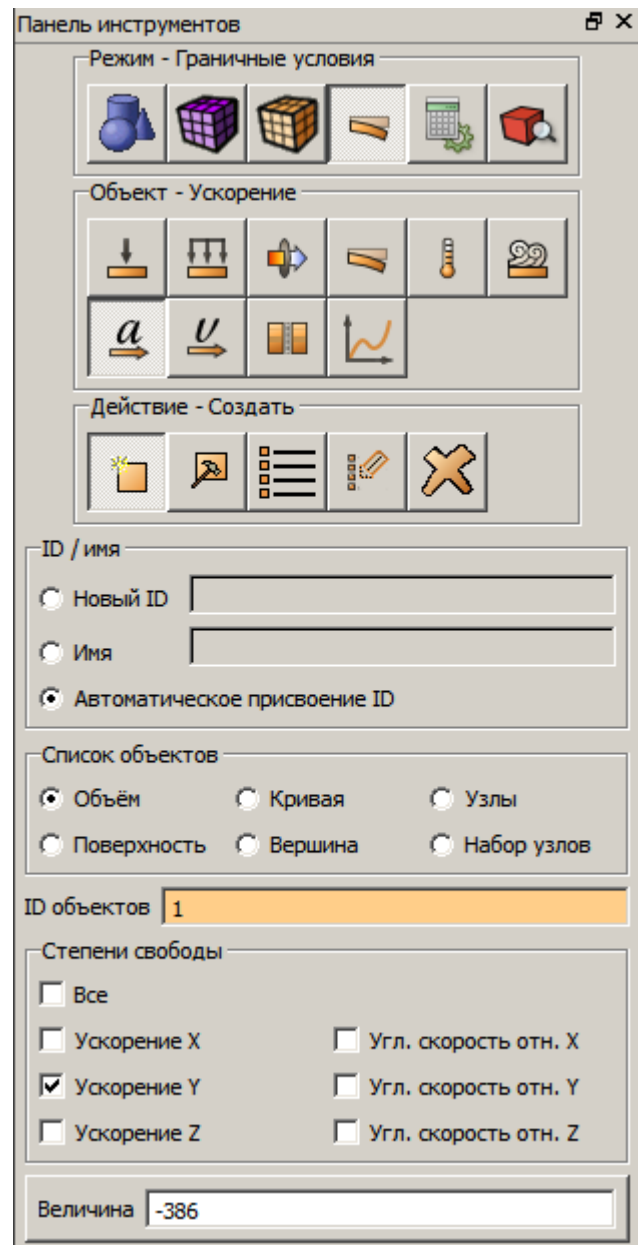
3. Задайте силу тяжести с помощью ускорения.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Ускорение**, Действие – **Создать**.
Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Объем;
- ID объектов: 1;
- Степени свободы: Ускорение Y;
- Величина: -386.

Нажмите **Применить**.

Важно: Ускорение для массовых сил задается с учетом знака. В данном случае ускорение g действует в отрицательном направлении оси Y.



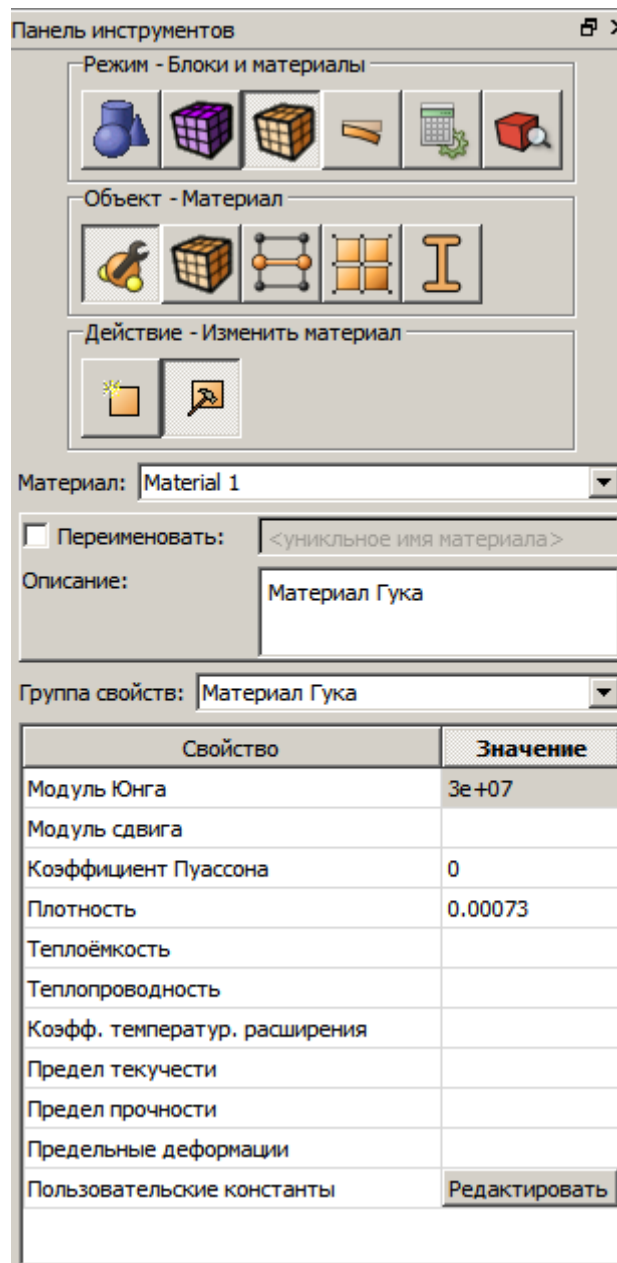
Задание материала и типа элемента

1. Создайте материал.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Материал**, Действие – **Создать материал**). Задайте следующие параметры:

- Название: Material 1;
- Описание: Материал Гука
- Группа свойств: Материал Гука;
- Модуль Юнга: 30e6;
- Коэффициент Пуассона: 0;
- Плотность: 0.00073.

Нажмите **Применить**.

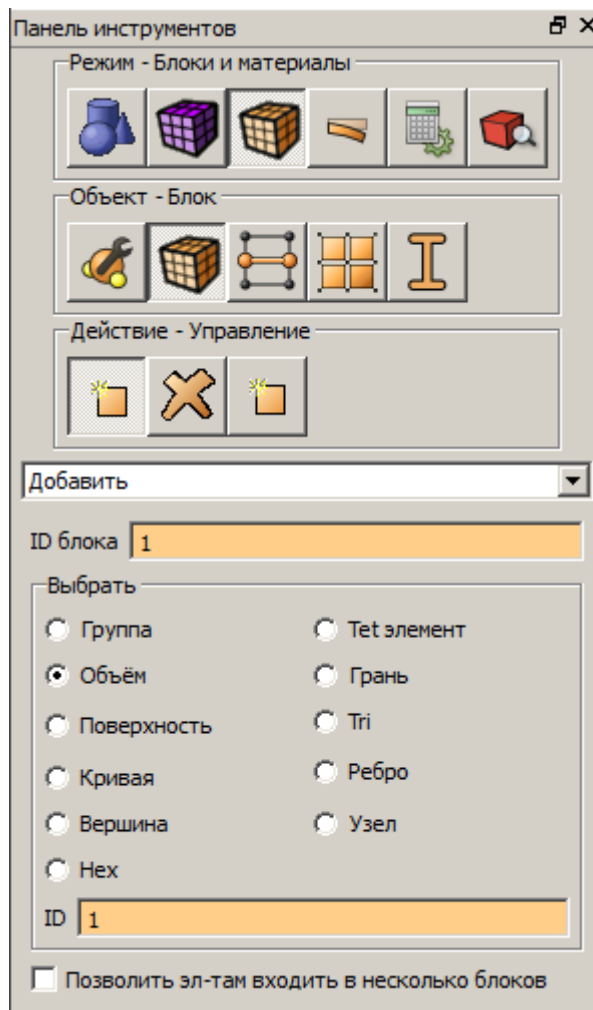


2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Добавить**. Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Выберите объекты, которые будут объединены в блок: Объём;
- ID: 1 (или командой **all**).

Нажмите **Применить**.

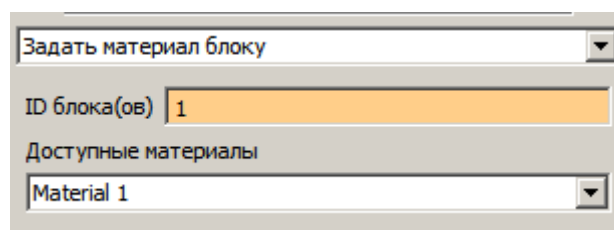


3. Присвойте материал блоку.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Задать материал блоку**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выберите из списка ранее созданный материал: Material 1.

Нажмите **Применить**.



4. Присвойте тип элемента.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Тип элемента**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выбрать: Объёмы;
- Объёмы: HEX8.

Нажмите **Применить**.

Запуск расчёта

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Статический**, Статика – **Общие**). Выберите:

- Размерность: 3D;
- Модель: Упругость.

Нажмите **Применить**.

2. Задайте параметры решателя.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Статический**, Статика – **Решатель**). Выберите тип решателя (прямой или итерационный) и задайте параметры сходимости в случае выбора последнего. Либо оставьте все параметры по умолчанию.

Нажмите **Применить**.

Нажмите **Начать расчёт**.

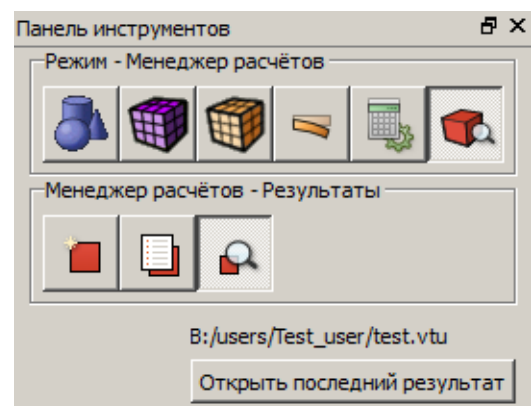
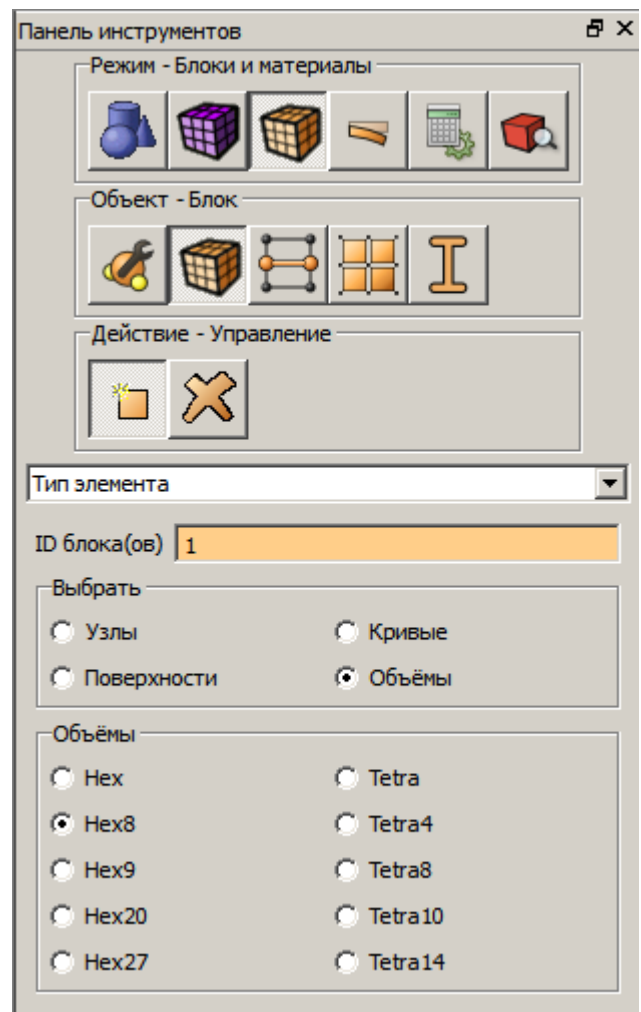
3. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат, и введите название файла.

4. В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: *“Calculation finished successfully at <date> <time>”*.

Анализ результатов

1. Откройте файл с результатами. Это можно сделать тремя способами.

- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите **Расчёт** → **Результаты**. Нажмите **Открыть последний результат**.



- На панели команд выберите менеджер расчётов (Режим – **Менеджер расчётов**, Менеджер расчётов – **Результаты**). Нажмите **Открыть результаты**.



Для автоматического применения изменений всех фильтров нажмите на соответствующую кнопку **Автоматически применять изменения** на панели команд.

2. Отобразите компоненту U_{yy} поля перемещений на модели.

В появившемся окне **Fidesys Viewer** на панели инструментов установите следующие параметры:

- Тип отображения: Поверхность;
- Поле отображения: Перемещения;
- Компонента отображения: 2.
- Поверхность.



3. Отобразите максимальное перемещение U_{yy} .

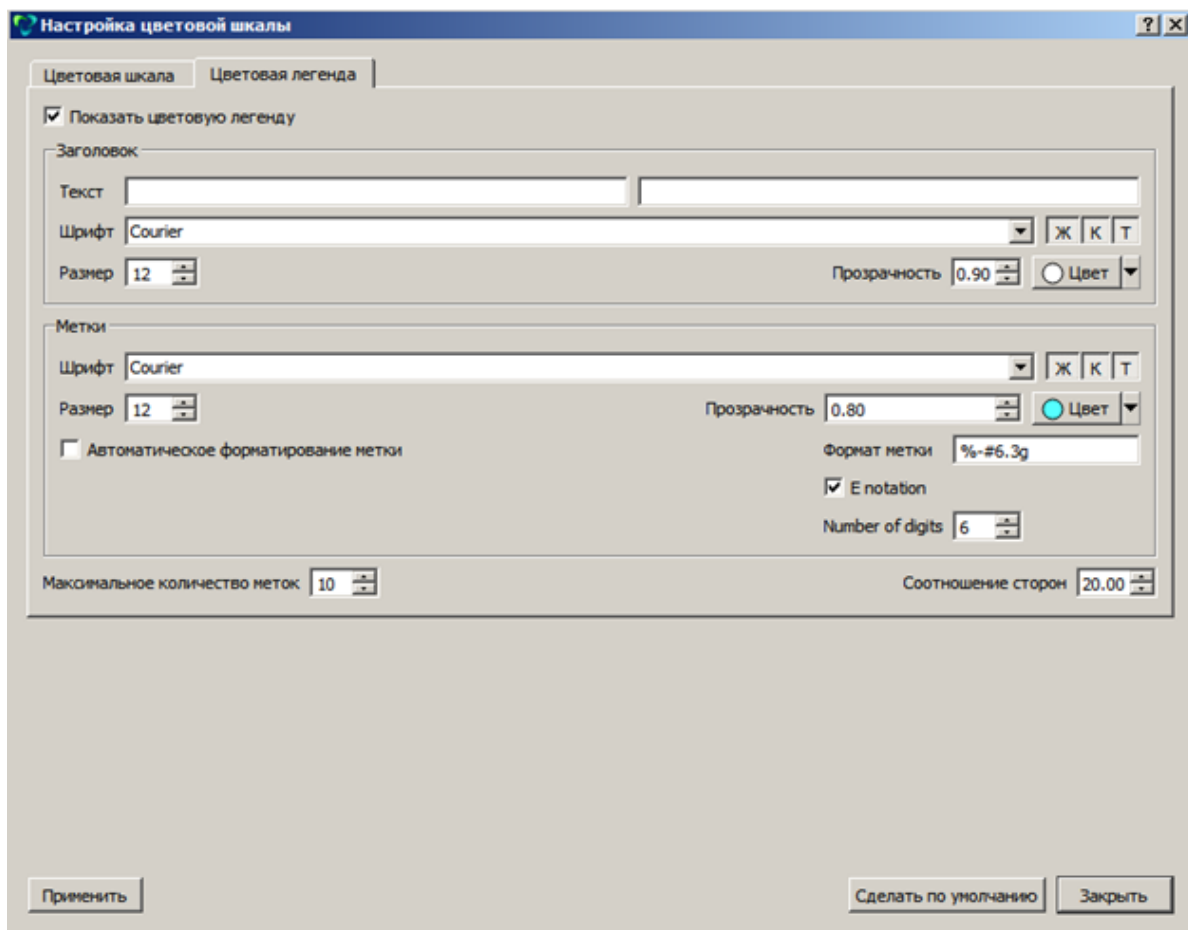


Отобразите легенду.

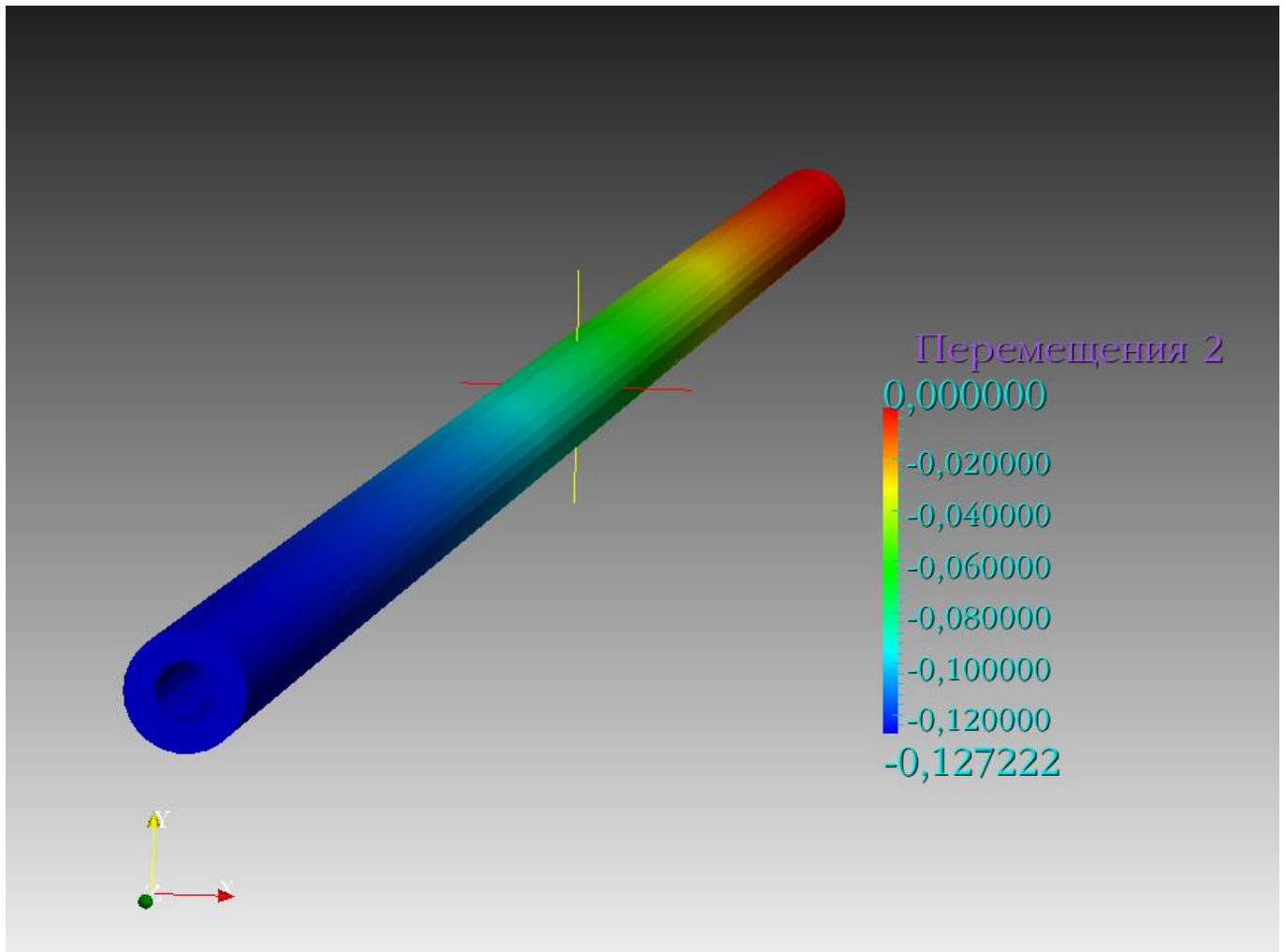


Далее, зайдите в настройки цветовой шкалы, нажав соответствующую кнопку рядом.

В появившейся форме установите следующие настройки:



После применения настроек должна отобразиться следующая картина:



4. Проверьте максимальное значение U_{yy} в выбранной точке D.

На картинке это максимальное по модулю перемещение (синим). На цветовой легенде это соответствует значению -0.127222.

Полученное значение -0.127222.отличается от требуемого -0.12524 на 1.56%.


5. Выгрузите числовые данные.

В главном меню выберите **Файл** → **Сохранить данные** либо нажмите **Ctrl+S**. Введите имя файла (формат *.csv), оставьте по умолчанию. Нажмите **ОК**. Сохранённый файл представляет собой обычную таблицу числовых данных, которую можно открыть любым текстовым редактором.

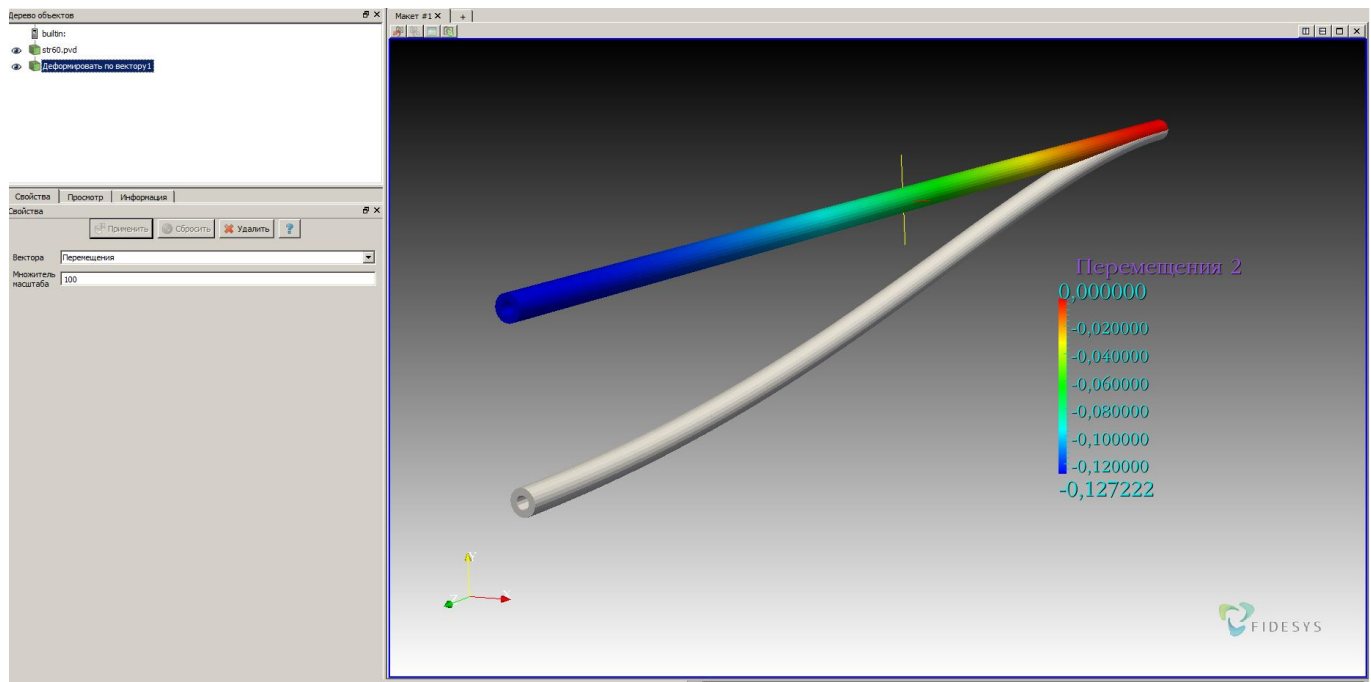
6. Можно посмотреть, как деформируется тело под приложенным давлением.

Для этого выберите **Фильтр** → **Алфавитный указатель** → **Деформировать по вектору**. Во вкладке **Свойства** установите следующие параметры:

- Вектора: Перемещения;
- Множитель масштаба: 100.

В результате отобразится деформированное тело. Для того чтобы посмотреть начальную модель, можно нажать на значок  рядом с этой моделью в дереве объектов. На картинке ниже представлена

деформированная (сплошная серая заливка) и исходная модель (с полем распределения перемещений по оси Y).



Использование консольного интерфейса

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса. Ниже приведён код программы, позволяющий выполнить шаги описанного выше руководства, необходимо только **самостоятельно указать полный путь и название сохраняемого файла**.

Пример рабочего скрипта (файл сохраняется в D:/FidesysBundle/calc/example.pvd)

```

reset
create Cylinder height 100 radius 1
create Cylinder height 100 radius 0.5
subtract body 2 from body 1
move Volume 1 preview z 50 include_merged
move Volume 1 z 50 include_merged
volume 1 size 0.25
volume 1 scheme Polyhedron
volume 1 scheme Polyhedron
mesh volume 1
create displacement on surface 8 dof all fix 0
create displacement on surface 9 dof 1 dof 3 fix 0
create acceleration on volume 1 dof 2 fix -386
undo group begin
create material "material 1" property_group "CUBIT-FEA" description "Материал Гука"
modify material "material 1" scalar_properties "MODULUS" 3e+07 "POISSON" 0 "DENSITY"
0.00073
undo group end
set duplicate block elements off
block 1 volume 1
block 1 material 'material 1'
block 1 element type hex8
analysis type static elasticity dim3
spectralelement off
usempi off
    
```



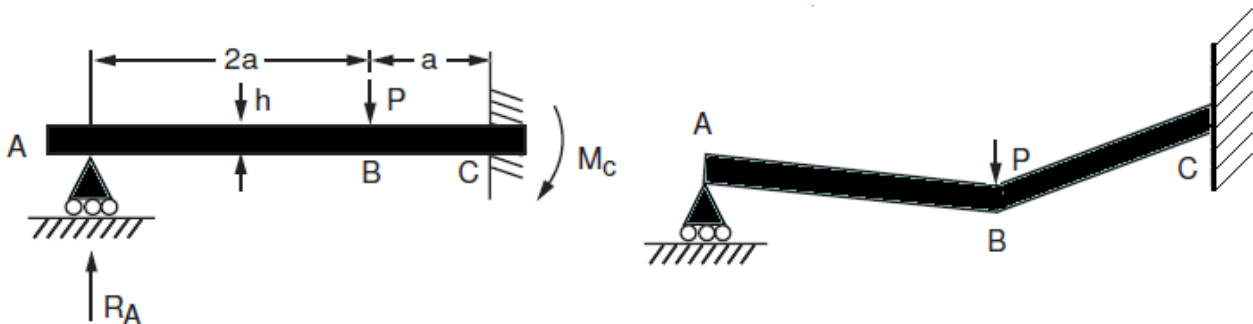
```
solver method auto try_other off
solver method auto try_other off
calculation start path " D:/FidesysBundle/calc/example.pvd"
```



Также можно запустить файл *Example_2_Static_3D.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

Статическое нагружение (балочная модель, силы реакции)

S.H. Crandall, N.C. Dahl, An Introduction to the Mechanics of Solids, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, NY, 1959, pg. 389, ex. 8.9



Решается задача о статическом нагружении балки квадратного сечения. Геометрическая модель задачи представлена на рисунке: $a = 50 \text{ in}$, сечение балки $1 \times 1 \text{ in}$. Граничные условия представлены на картинке, в точке B приложена сила $F_y = -1000 \text{ lb}$. Параметры материала $E = 30e6 \text{ psi}$, $\nu = 0.3$.

Критерий прохождения теста: сила реакции R_A в точке A (0,0,0) равно 148.15 lb, момент реакции в точке C равен 27778 in-lb с точностью 1.5%.

Построение модели

1. Создайте прямую линию длиной 100 (отрезок AB).

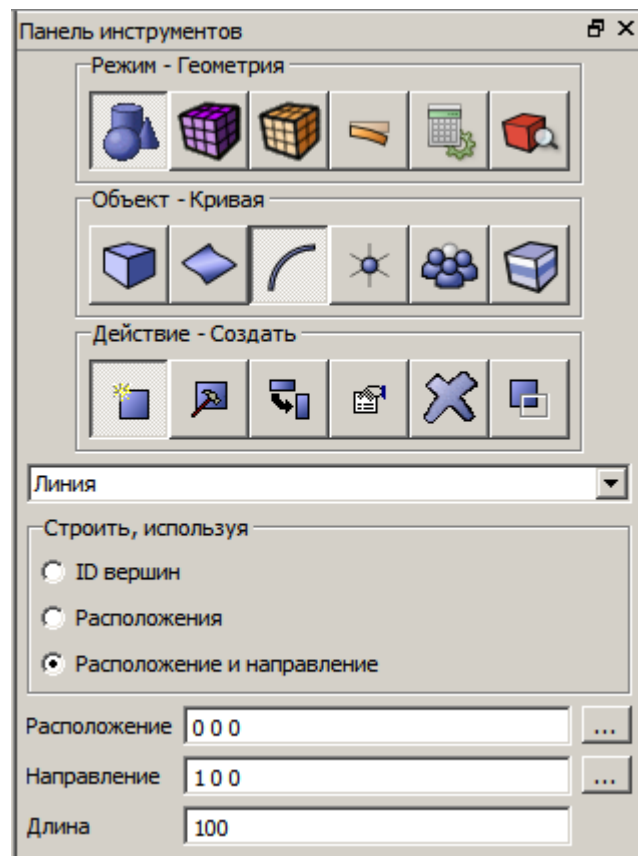
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Кривая**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Линия**. Постройте, используя **Расположение и направление**. Задайте параметры:

- Расположение: 0 0 0 (начало линии);
- Направление: 1 0 0 (вдоль оси X);
- Длина: 100;

Нажмите **Применить**.

2. Создайте прямую линию длиной 50 (отрезок BC).

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Кривая**, Действие – **Создать**). Из списка

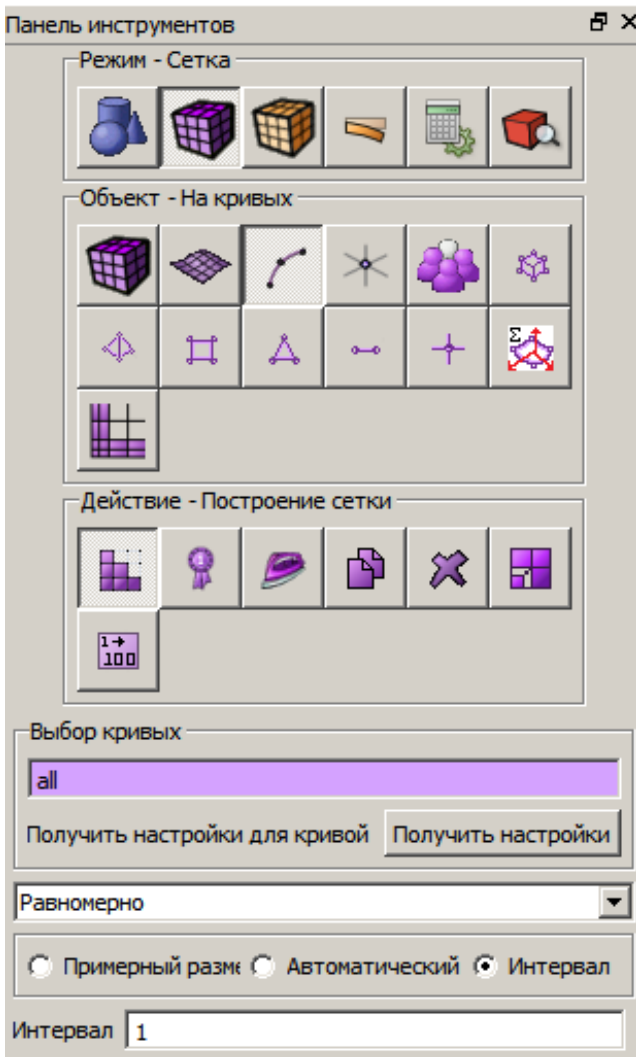
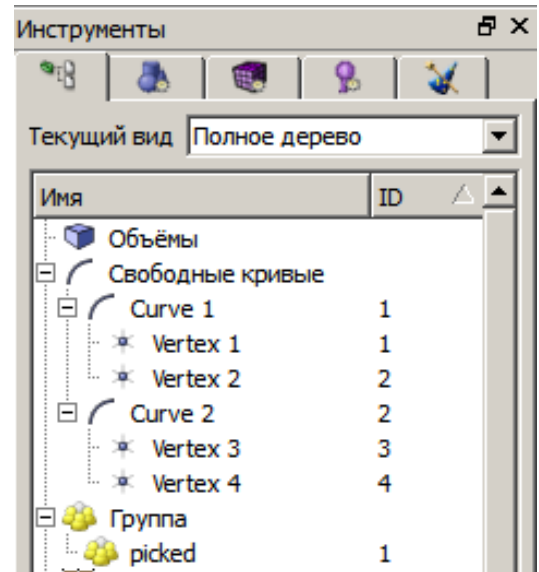


геометрических примитивов выберите **Линия**. Постройте, используя **Расположение и направление**. Задайте параметры:

- Расположение: 100 0 0 (*начало линии*);
- Направление: 1 0 0 (*вдоль оси X*);
- Длина: 50;

Нажмите **Применить**.

В результате в дереве объектов слева появились две свободные кривые, у которых нет общих вершин



3. Срастите две вершины.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Вершина**, Действие – **Срастить**). Задайте параметры:

- ID вершин: 2 3 (через пробел);

Нажмите **Применить**.

Построение сетки

1. На панели команд выберите модуль построения сетки на кривых (Режим – **Сетка**, Объект – **На кривых**, Действие – **Построение сетки**). Укажите степень измельчения сетки:

- Выбор кривых: all;
- Выберите способ построения сетки: **Равномерно**;
- Выберите параметры построения: **Интервал**;
- Интервал: 1.

Нажмите **Применить**.

Нажмите **Построить сетку**.

Задание граничных условий

1. Закрепите точку C по всем направлениям.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Вершина;
- ID объектов: 4;
- Степени свободы: Все;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

2. Закрепите точку A по перемещению Y и Z.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Вершина;
- ID объектов: 1;
- Степени свободы: Перемещение Y, Перемещение Z;
- Величина: 0.

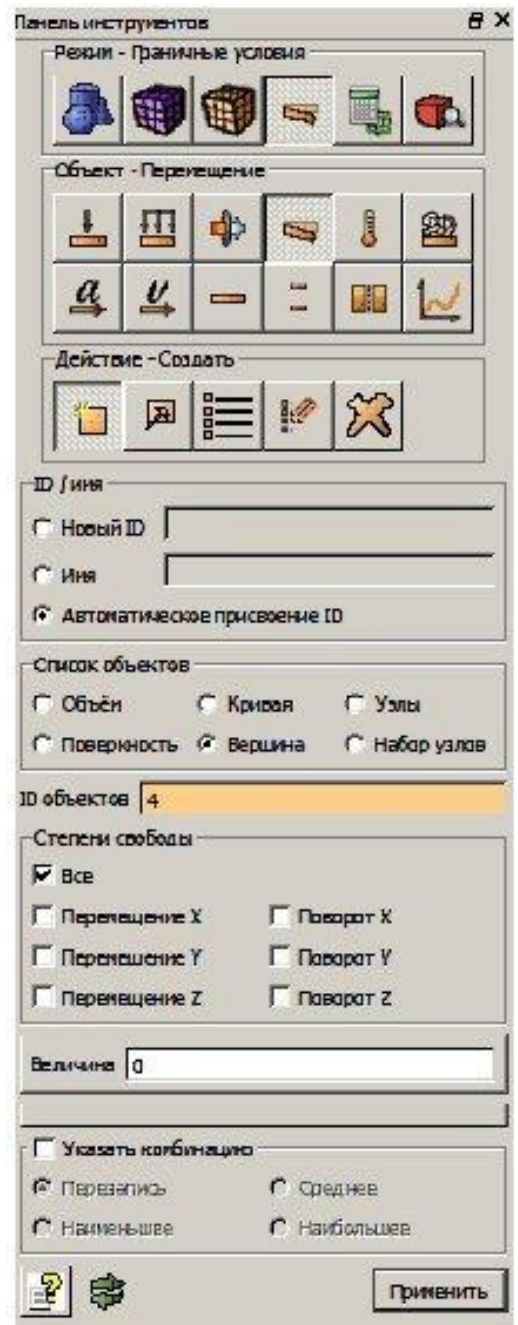
Нажмите **Применить**.

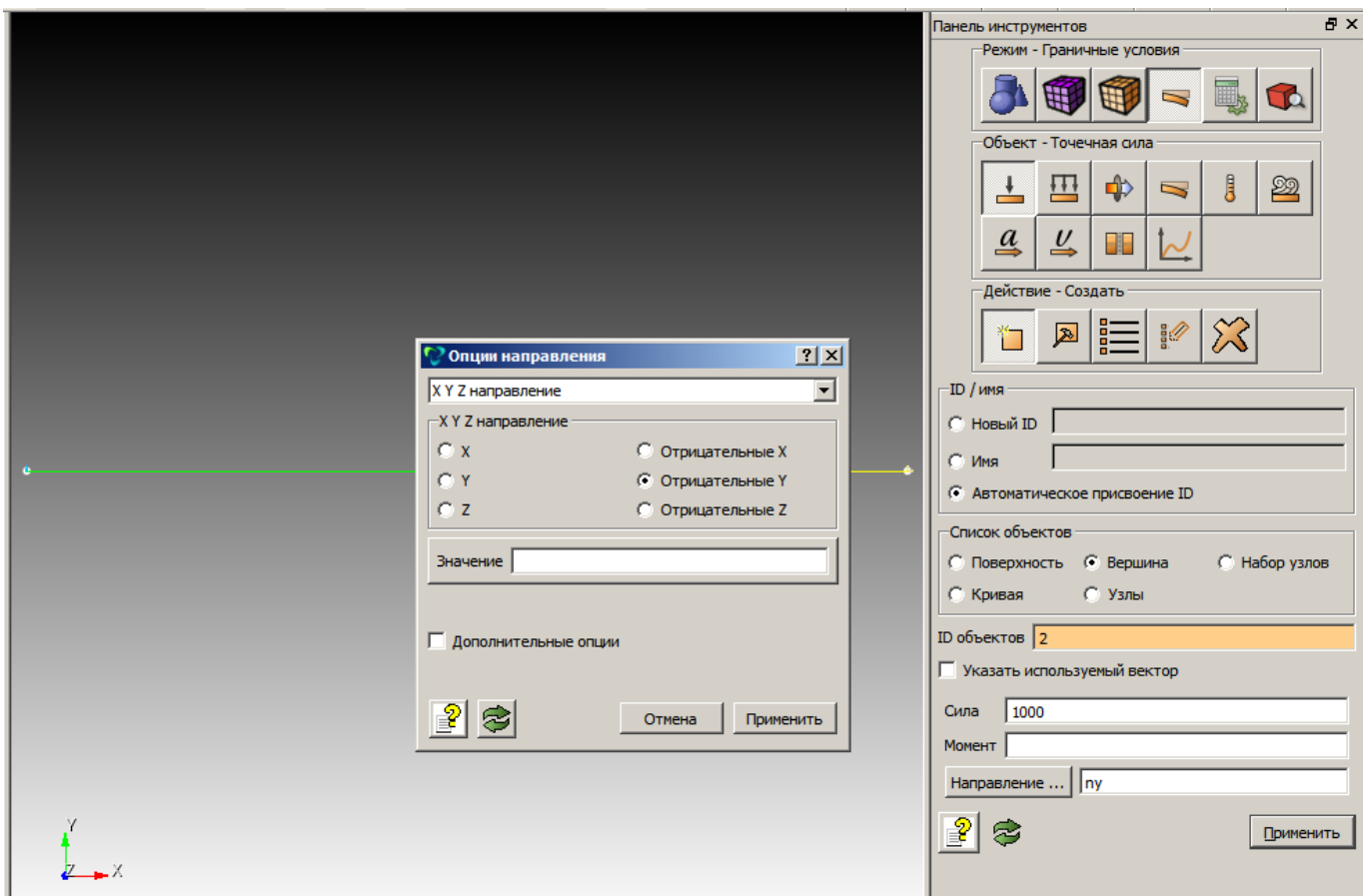
3. Приложите силу в точку B.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Точечная сила**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Вершина;
- ID объектов: 2;
- Сила: 1000;
- Нажмите Направление...;
- В появившемся окне выберите: Отрицательные Y.

Нажмите **Применить**.





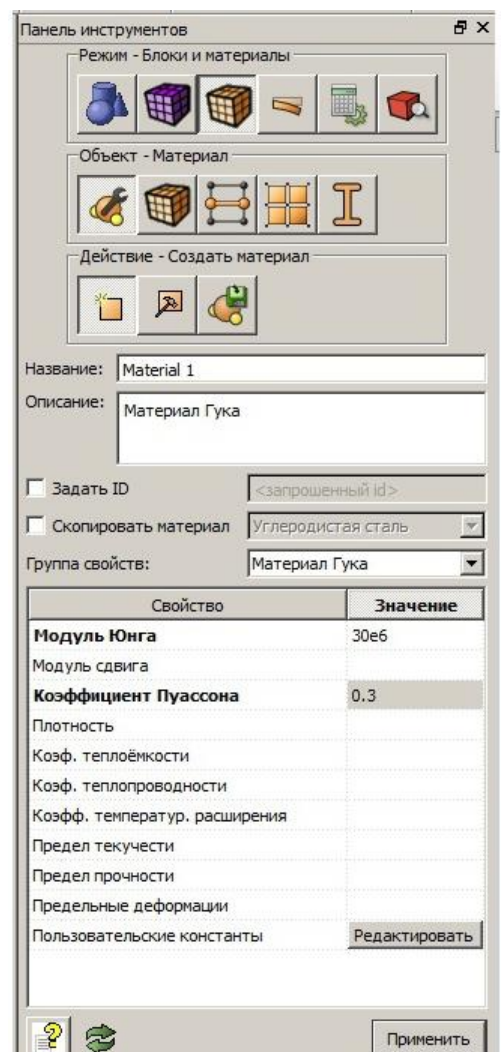
Задание материала и типа элемента

1. Создайте материал.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Материал**, Действие – **Создать материал**). Задайте следующие параметры:

- Название: Material 1;
- Описание: Материал Гука
- Группа свойств: Материал Гука;
- Модуль Юнга: 30е6;
- Коэффициент Пуассона: 0.3

Нажмите **Применить**.

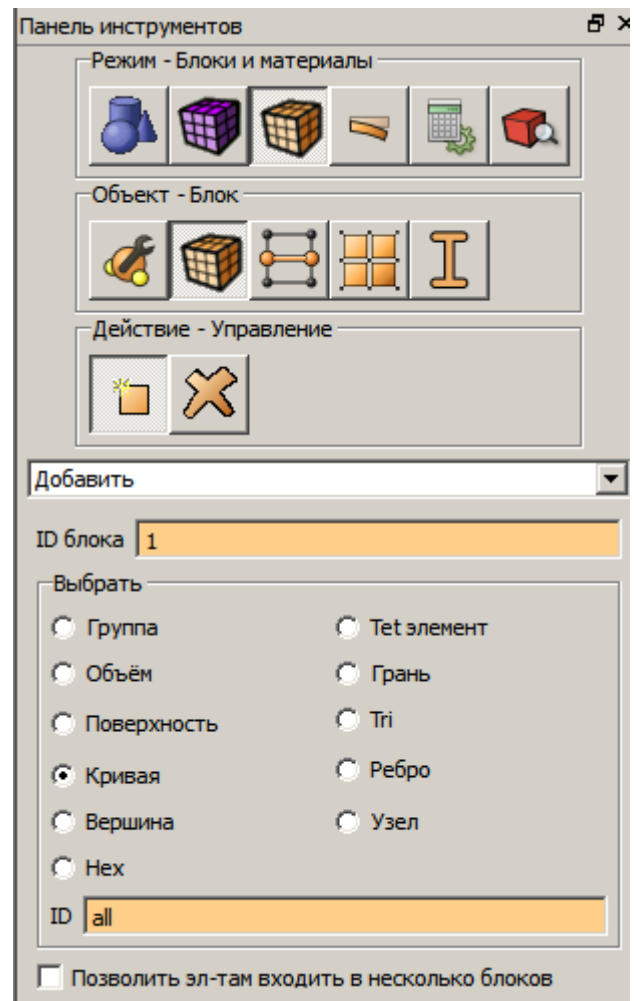


2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Добавить**. Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Выберите объекты, которые будут объединены в блок: Кривые;
- ID: 1 2 (или командой *all*).

Нажмите **Применить**.

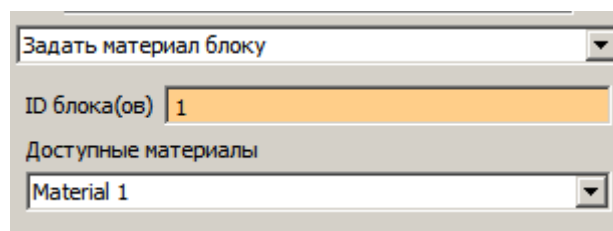


3. Присвойте материал блоку.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Задать материал блоку**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выберите из списка ранее созданный материал: Material 1.

Нажмите **Применить**.

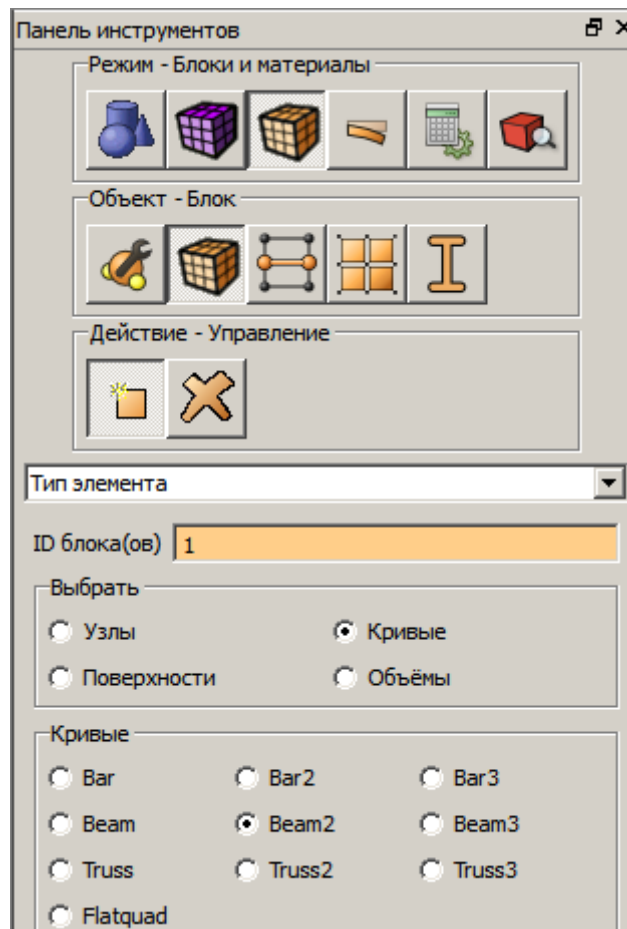


4. Присвойте тип элемента.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Тип элемента**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выбрать: Кривые;
- Тип элемента: Beam2.

Нажмите **Применить**.



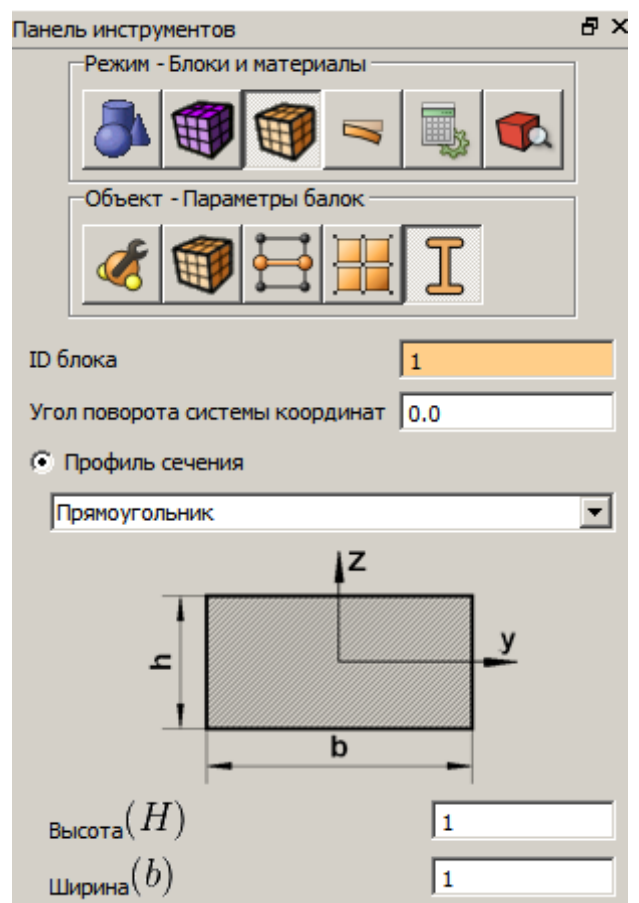
Задание профиля сечения балки

1. Задайте параметры балки.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Параметры балок**). Установите флажок в **Профиль сечения**. Из списка возможных материалов выберите **Прямоугольник**. Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Высота (H): 1;
- Ширина (b): 1;

Нажмите **Применить**.



Запуск расчёта

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Статический**, Статика – **Общие**). Выберите:

- Размерность: 3D;
- Модель: Упругость.

Нажмите **Применить**.

2. Задайте параметры решателя.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Статический**, Статика – **Решатель**). Выберите тип решателя (прямой или итерационный) и задайте параметры сходимости в случае выбора последнего. Либо оставьте все параметры по умолчанию.

Нажмите **Применить**.

3. Задайте вычисление силы реакции

Перейдите во вкладку **Статика** – **Поля вывода** и установите флаг **Вычислять узловые силы и силы реакции**.

Нажмите **Применить**.

Нажмите **Начать расчёт**.

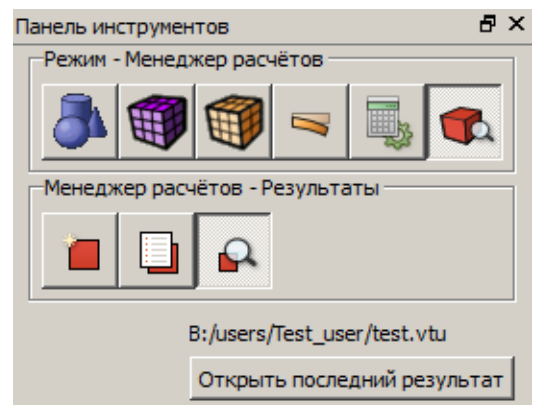
Важно: Без включенного флага **Вычислять узловые силы и силы реакции** это поле не вычисляется.

4. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат, и введите название файла.
5. В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: *“Calculation finished successfully at <date> <time>”*.

Анализ результатов

1. Откройте файл с результатами. Это можно сделать тремя способами.

- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите **Расчёт** → **Результаты**. Нажмите **Открыть последний результат**.
- На панели команд выберите менеджер расчётов (Режим – **Менеджер расчётов**, Менеджер расчётов – **Результаты**). Нажмите **Открыть результаты**.



2. Отобразите компоненту u_y поля перемещений.

В появившемся окне **Fidesys Viewer** на панели инструментов установите следующие параметры:

- Тип отображения: Поверхность;
- Поле отображения: Перемещение;
- Компонента отображения: 2.



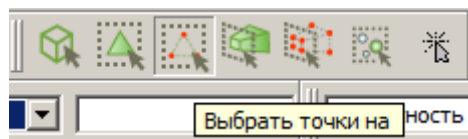
На модели отобразится поле распределения перемещений вдоль оси Y

3. Проверьте численное значение силы реакции в точке A.

Отобразите компоненту 2 поля Силы реакций.

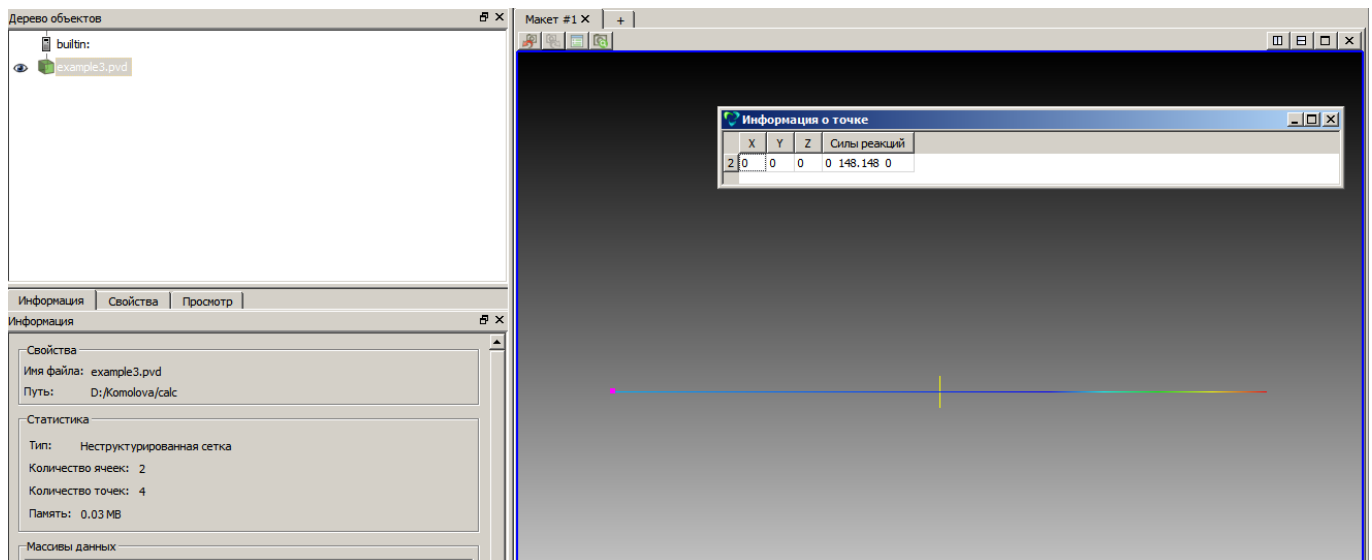


На главной панели **Fidesys Viewer** нажмите Выбрать точки на поверхности.



Выберите на геометрической модели крайнюю левую точку (точку A)

Для быстрого просмотра информации в выделенной точке нажмите на главной панели **Информация о точке**.



В появившемся окне отобразятся компоненты силы реакции в выбранной точке.



Полученное значение 148.148 отличается от требуемого 148.15 меньше, чем на 0.01%.

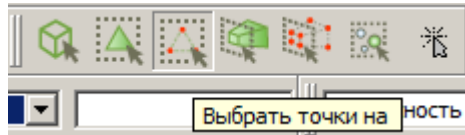
Не закрывайте окно Информация о точке.

4. Проверьте численные значения моментов реакций в точке С.

Отобразите компоненту 3 поля Моменты реакций.

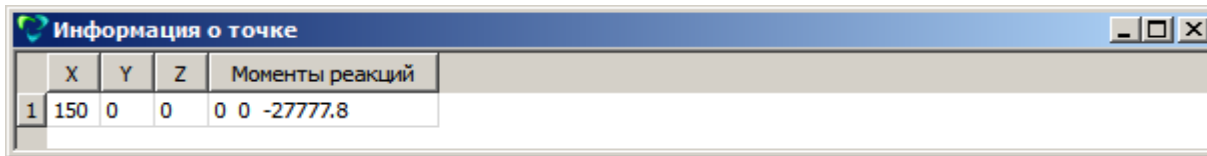


На главной панели **Fidesys Viewer** нажмите Выбрать точки на поверхности.



Выберите на геометрической модели крайнюю правую точку С.

В окне Информация о точке отобразятся компоненты момента реакции в выбранной точке.



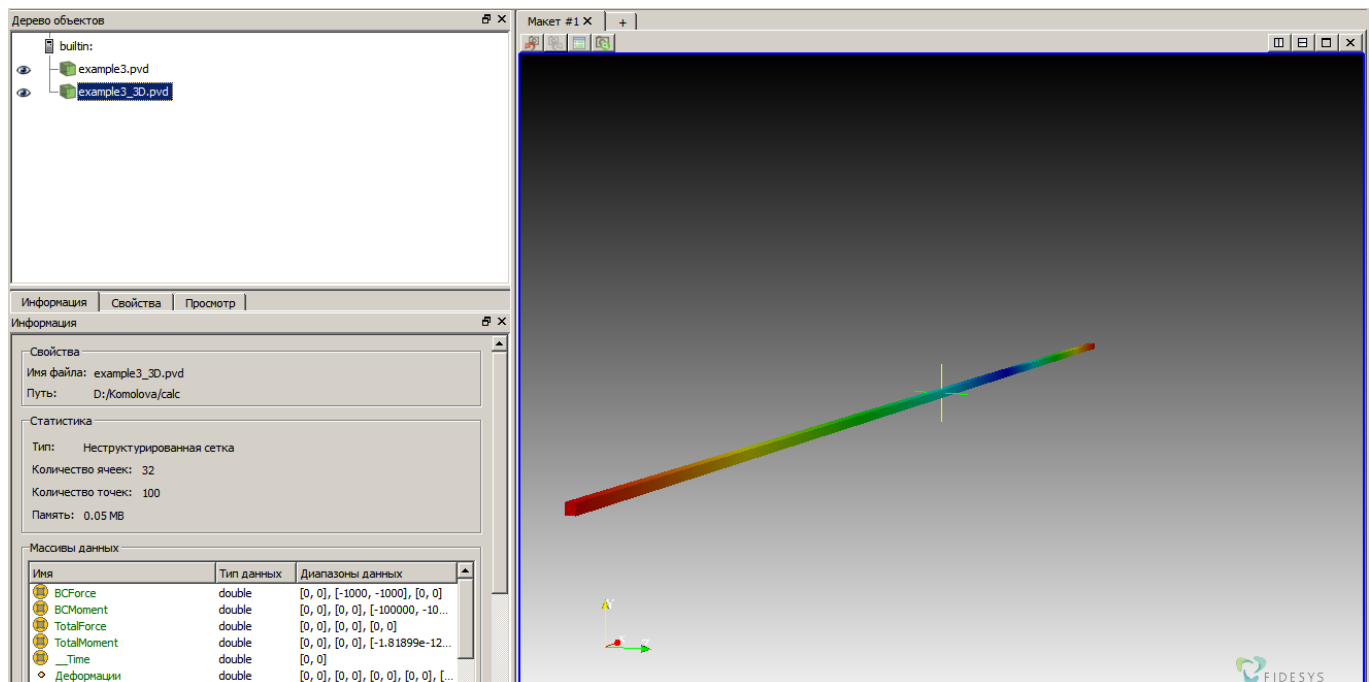
Полученное значение -27777.8 отличается от требуемого -27778 меньше, чем на 0.01%.

5. Откройте 3D-изображение балки.

Для отображения 3D-вида сечения балки установите фокус на названии расчета и нажмите кнопку



в стандартной строке Fidesys Viewer.



Для автоматического применения изменений всех фильтров нажмите на соответствующую кнопку **Автоматически применять изменения** на панели команд.

6. Выгрузите числовые данные.

В главном меню выберите **Файл** → **Сохранить данные** либо нажмите **Ctrl+S**. Введите имя файла (формат *.csv), оставьте по умолчанию. Нажмите **ОК**. Сохранённый файл представляет собой обычную таблицу числовых данных, которую можно открыть любым текстовым редактором.

Использование консольного интерфейса

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса. Ниже приведён код программы, позволяющий выполнить шаги описанного выше руководства, , необходимо только **самостоятельно указать полный путь и название сохраняемого файла**.

Пример рабочего скрипта (файл сохраняется в D:/FidesysBundle/calc/example3.pvd):

```

reset
set node constraint on
create curve location 0 0 0 direction 1 0 0 length 100
create curve location 100 0 0 direction 1 0 0 length 50
merge vertex 2 3
curve all interval 1
curve all scheme equal
curve all interval 1
curve all scheme equal
mesh curve all
create displacement on vertex 4 dof all fix 0
create displacement on vertex 1 dof 2 dof 3 fix 0
create force on vertex 2 force value 1000 direction ny
set duplicate block elements off
block 1 curve all
undo group begin
create material "Material 1" property_group "CUBIT-FEA" description "Материал Гука"
modify material "Material 1" scalar_properties "MODULUS" 3e+06 "POISSON" 0.3
undo group end
block 1 material 'Material 1'
block 1 element type beam2
block 1 attribute count 14
block 1 attribute index 1 value 1 name 'A'
block 1 attribute index 2 value 0.140833 name 'It'
block 1 attribute index 3 value 0.166667 name 'Ix'
block 1 attribute index 4 value 0.0833333 name 'Iy'
block 1 attribute index 5 value 0 name 'Iyz'
block 1 attribute index 6 value 0.0833333 name 'Iz'
block 1 attribute index 7 value 0 name 'angle'
block 1 attribute index 8 value 0 name 'ey'
block 1 attribute index 9 value 0 name 'ez'
block 1 attribute index 10 value 0.5 name 'max_y'
block 1 attribute index 11 value 0.5 name 'max_z'
block 1 attribute index 12 value 0 name 'section_type'
block 1 attribute index 13 value 1 name 'geom_H'
block 1 attribute index 14 value 1 name 'geom_B'
analysis type static elasticity dim3
spectralelement off
usempi off
solver method auto try_other off
output nodalforce on midresults on
output nodalforce on midresults on
calculation start path 'D:/FidesysBundle/calc/example3.pvd'

```



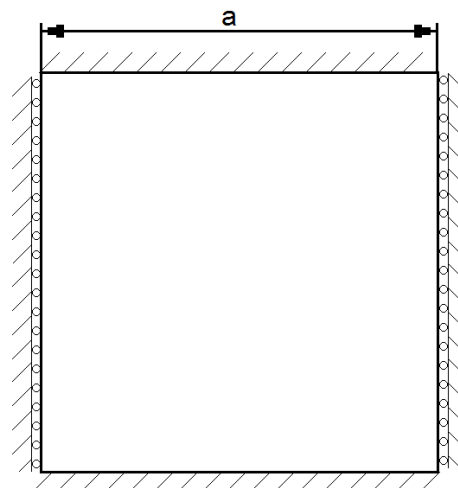
Также можно запустить файл *Example_3_Static_Beam.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

Статическое нагружение (оболочки)

Тимошенко С.П. Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки – М.: Наука, 1966 г. – 636стр.

Решается задача о статическом нагружении квадратной оболочки, две стороны которой защемлены, две другие свободно оперты. Геометрическая модель задачи представлена на рисунке: $a = 1$ м, толщина оболочки 0.1 м. Граничные условия представлены на картинке. Пластинка нагружена равномерным давлением 10 кПа.

Критерий прохождения теста: максимальный прогиб равен $1.19e-6$, моменты $M_x=252$ Н·м и $M_y=332$ Н·м.



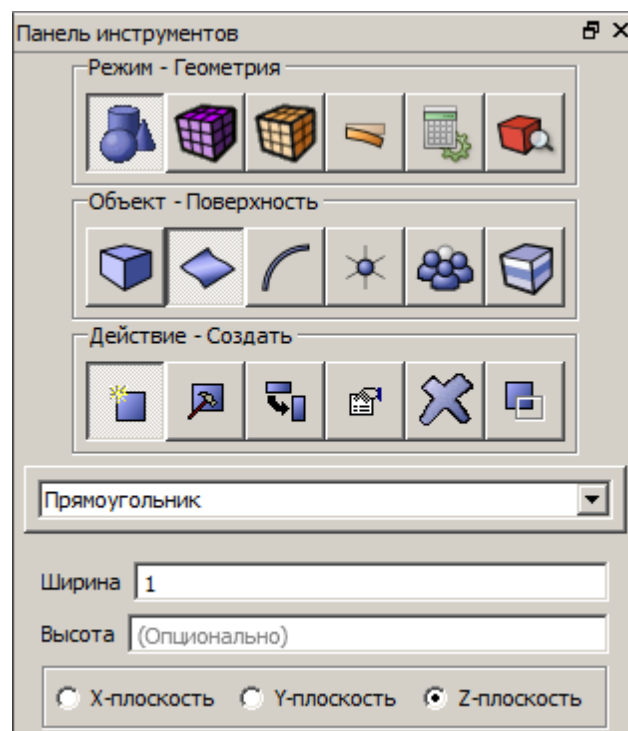
Построение модели

1. Создайте квадрат со стороной 1 м.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Поверхность**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Прямоугольник**. Задайте параметры:

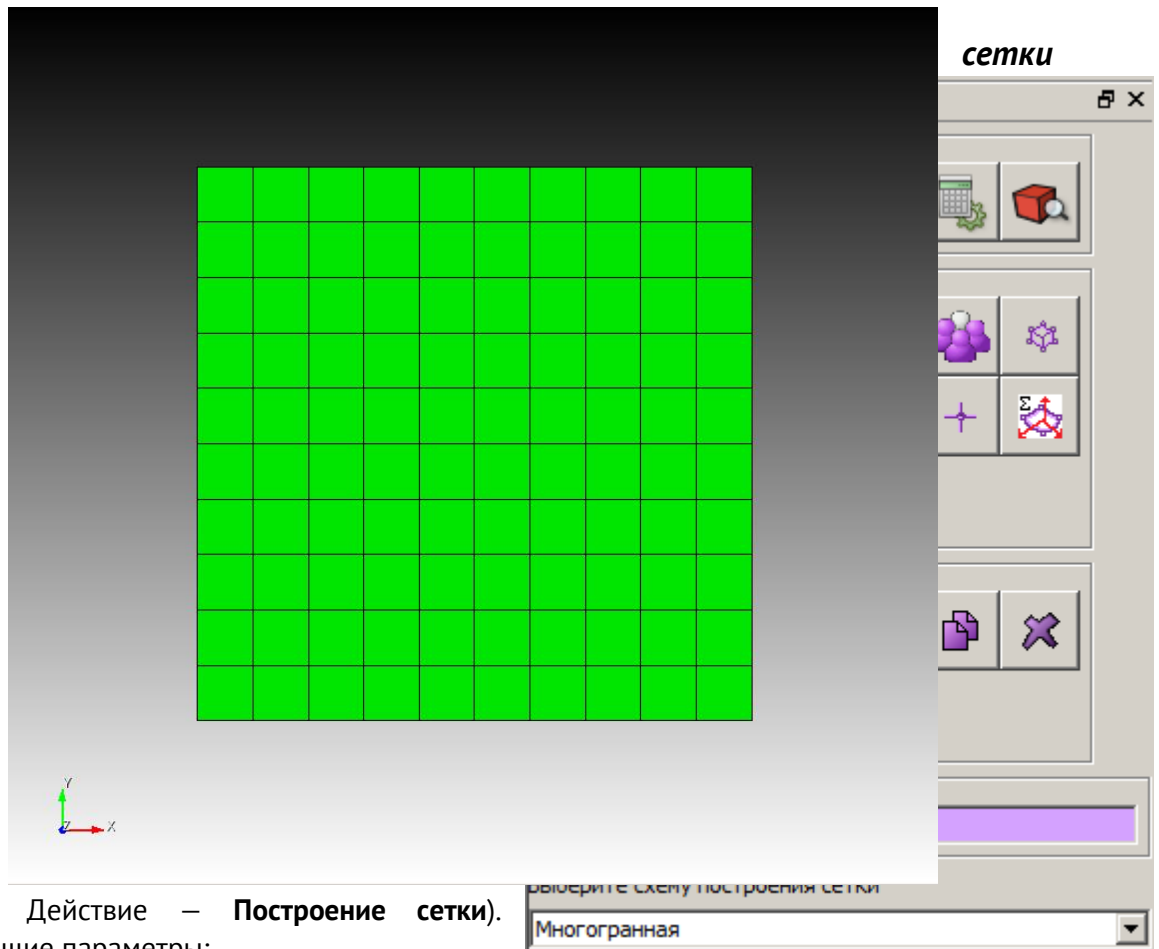
- Ширина: 1;
- Высота: оставьте опционально.

Нажмите **Применить**.



Построение

1. На панели команд выберите модуль построения сетки на поверхности (Режим – **Сетка**, Объект –



Поверхностная, Действие – **Построение сетки**).
Укажите следующие параметры:

- Выбор поверхностей: 1;
- Выберите схему построения сетки: Многогранная;

Нажмите **Применить схему**.

Нажмите **Построить сетку**.

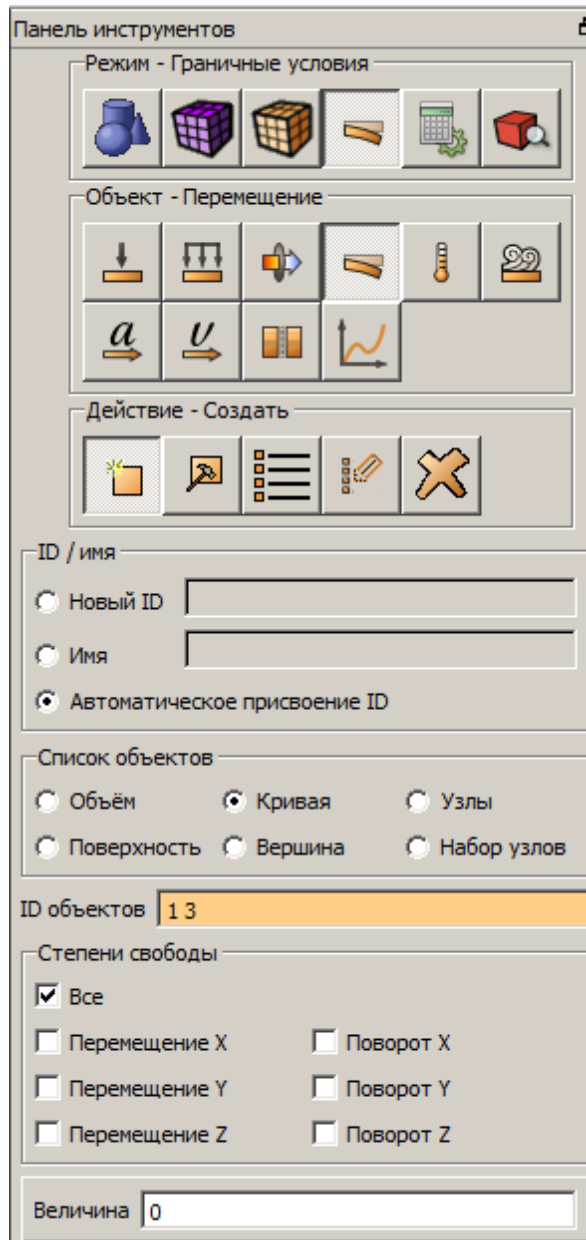
Задание граничных условий

1. Жестко закрепите две грани.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объектов: 1 3 *(или последовательно кликните по верхней и нижней граням)*;
- Степени свободы: Все;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.



2. Закрепите две другие грани  по перемещениям.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая ;
- ID объектов: 2 4 (или последовательно кликните по правой и левой граням);
- Степени свободы: Перемещения X, Перемещения Y, Перемещения Z;
- Величина: 0.

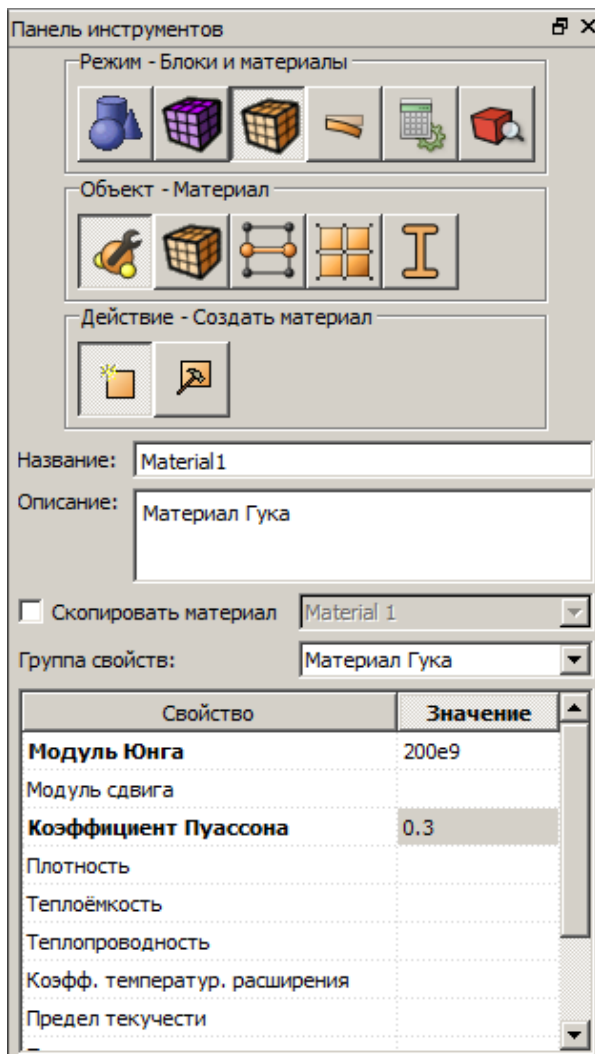
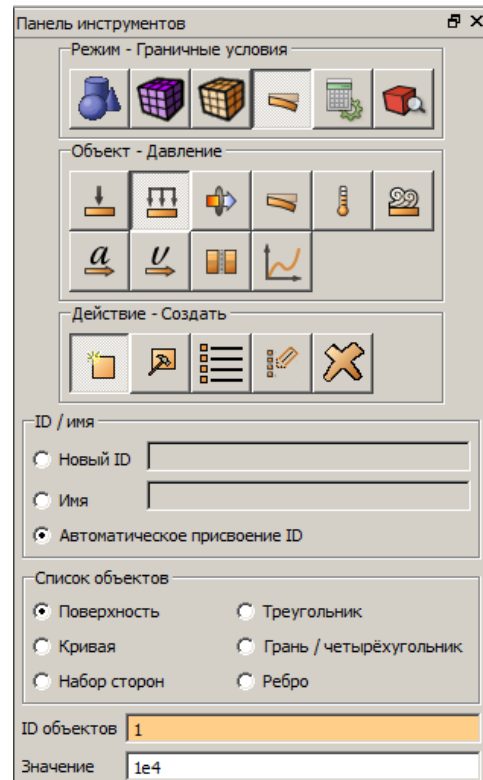
Нажмите **Применить**.

3. Приложите равномерное давление на поверхность.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Давление**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 1;
- Значение: 1e4;

Нажмите **Применить**.



Задание материала и типа элемента

1. Создайте материал.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Материал**, Действие – **Создать материал**). Задайте следующие параметры:

- Название: Material 1;
- Описание: Материал Гука
- Группа свойств: Материал Гука;
- Модуль Юнга: 200e9;
- Коэффициент Пуассона: 0.3.

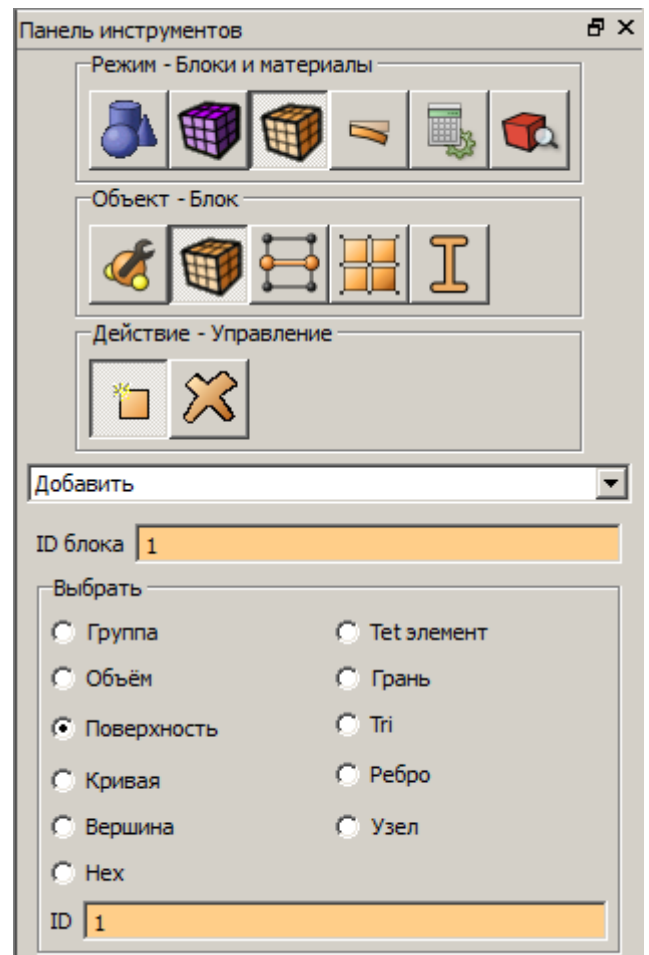
Нажмите **Применить**.

2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Добавить**. Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Выберите объекты, которые будут объединены в блок: Поверхность;
- ID: 1 (или командой **all**).

Нажмите **Применить**.

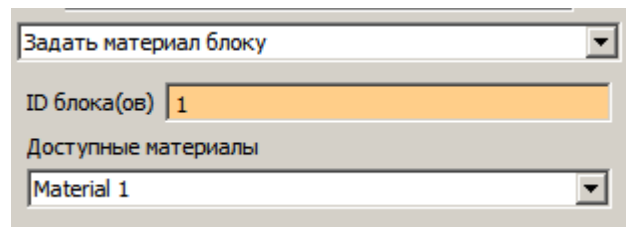


3. Присвойте материал блоку.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Задать материал блоку**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выберите из списка ранее созданный материал: Material 1.

Нажмите **Применить**.

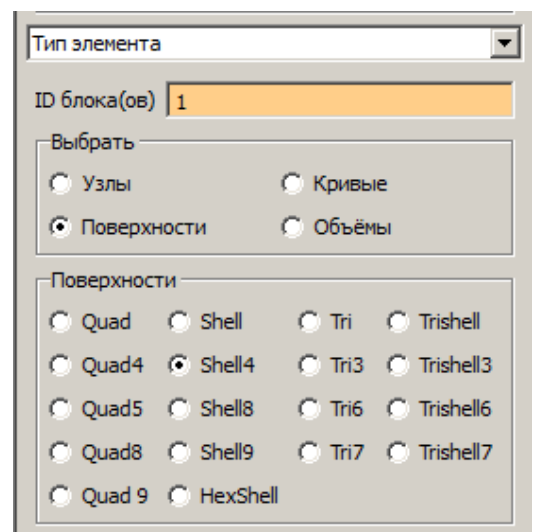


4. Присвойте тип элемента.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Тип элемента**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выбрать: Поверхности;
- Тип элемента: Shell4.

Нажмите **Применить**.



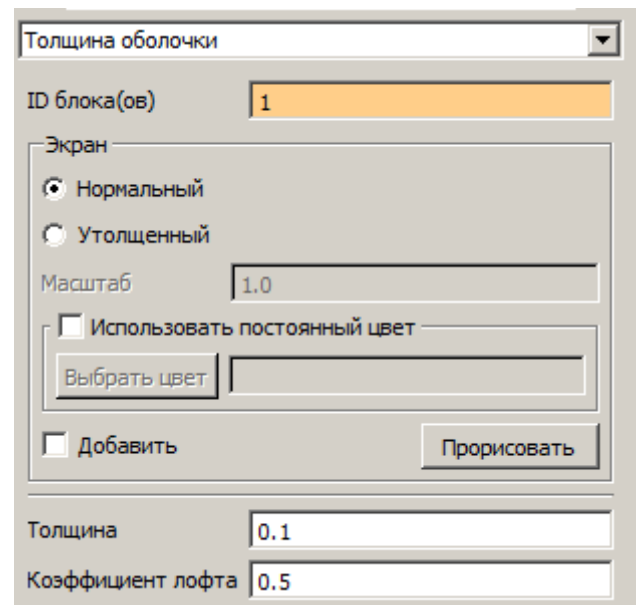
Задание толщины оболочки

1. Задайте толщину оболочки.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Толщина оболочки**. Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Толщина: 0.1;
- Коэффициент лффта: 0.5;

Нажмите **Применить**.



Запуск расчёта

2. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Статический**, Статика – **Общие**). Выберите:

- Размерность: 3D;
- Модель: Упругость.

Нажмите **Применить**.

3. Задайте параметры решателя.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Статический**, Статика – **Решатель**). Выберите тип решателя (прямой или итерационный) и задайте параметры сходимости в случае выбора последнего. Либо оставьте все параметры по умолчанию. Нажмите **Применить**.

4. Задайте вычисление силы реакции

Перейдите во вкладку Статика – **Поля вывода** и установите флаг **Вычислять узловые силы и силы реакции**.

Нажмите **Применить**.

Нажмите **Начать расчёт**.

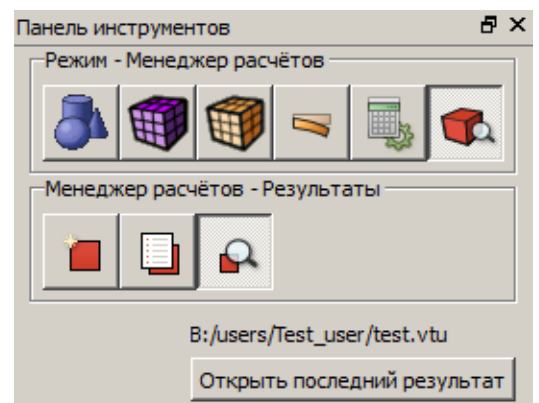
Важно: Без включенного флага **Вычислять узловые силы и силы реакции** это поле не вычисляется.

5. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат, и введите название файла.

6. В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: “*Calculation finished successfully at <date> <time>*”.

Анализ результатов

1. Откройте файл с результатами. Это можно сделать тремя способами.



- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите **Расчёт** → **Результаты**. Нажмите **Открыть последний результат**.
- На панели команд выберите менеджер расчётов (Режим – **Менеджер расчётов**, Менеджер расчётов – **Результаты**). Нажмите **Открыть результаты**.

2. Отобразите компоненту u_z поля перемещений.

В появившемся окне **Fidesys Viewer** на панели инструментов установите следующие параметры:

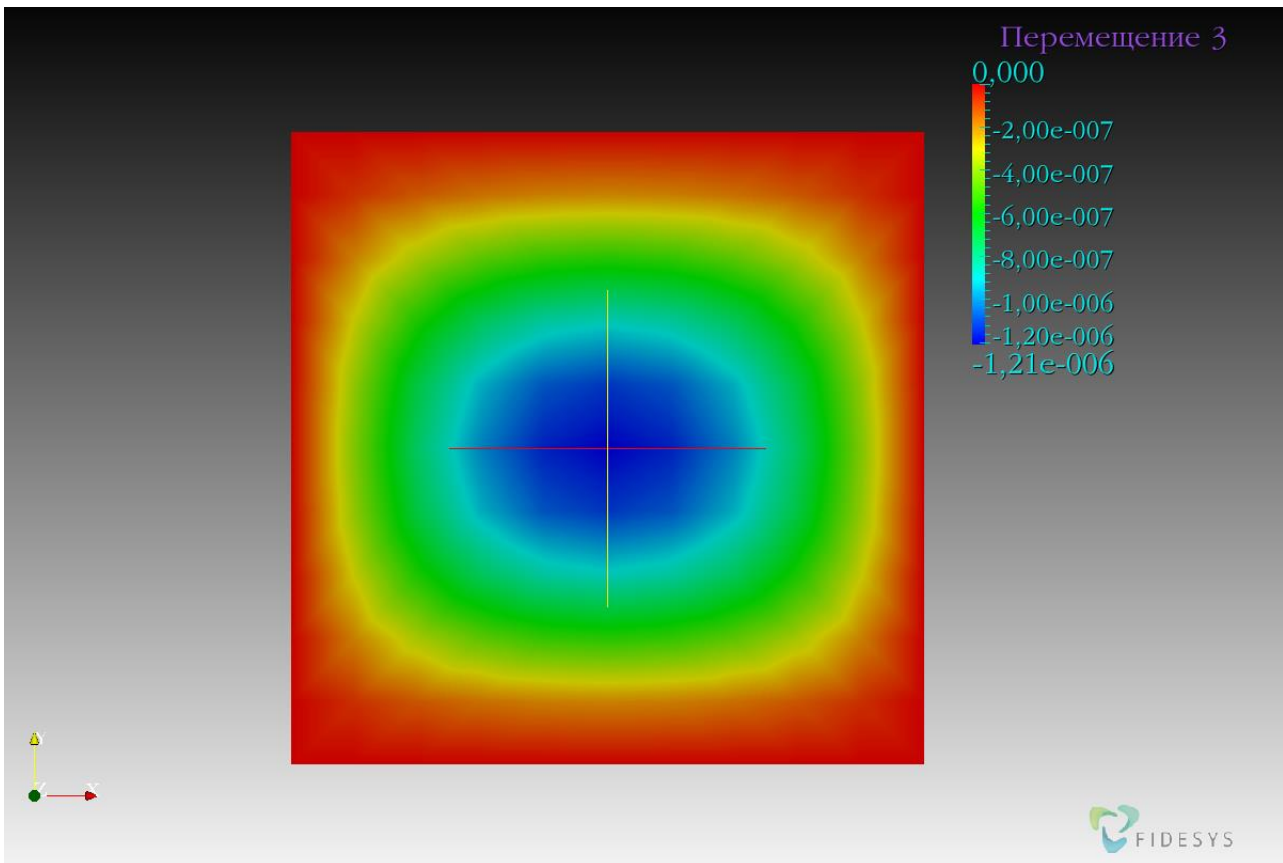
- Тип отображения: Поверхность;
- Поле отображения: Перемещение;
- Компонента отображения: 3.



На модели отобразится поле распределения перемещений вдоль оси Z

3. Проверьте численное значение максимального перемещения.

Отобразите максимальную компоненту 3 поля Перемещения.



Полученное значение -1.21×10^{-6} отличается от требуемого -1.19×10^{-6} на 1.7%

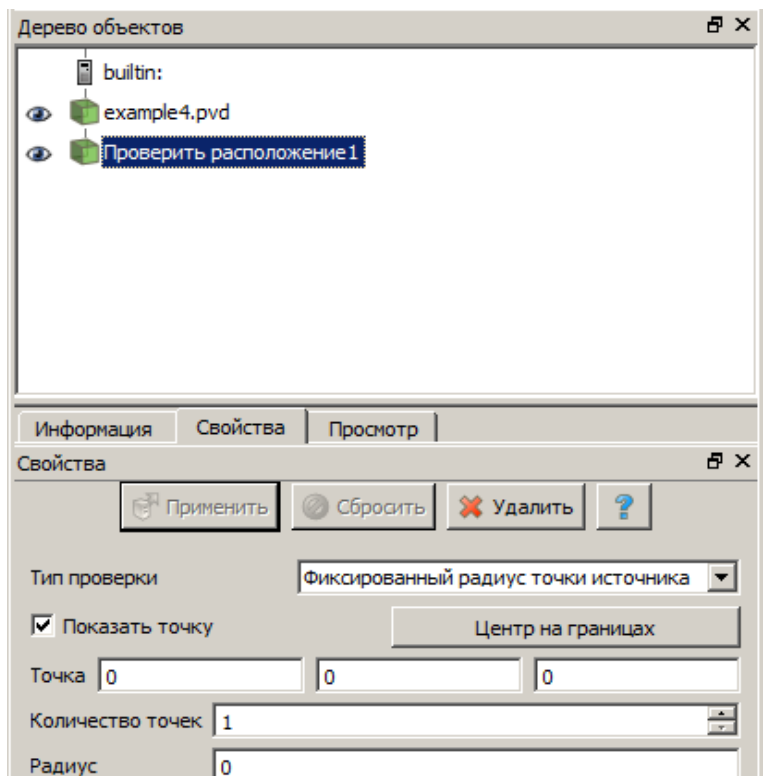
4. Проверьте численные значения моментов в центре пластины.

Отобразите компоненту 11 поля Моменты(оболочки).

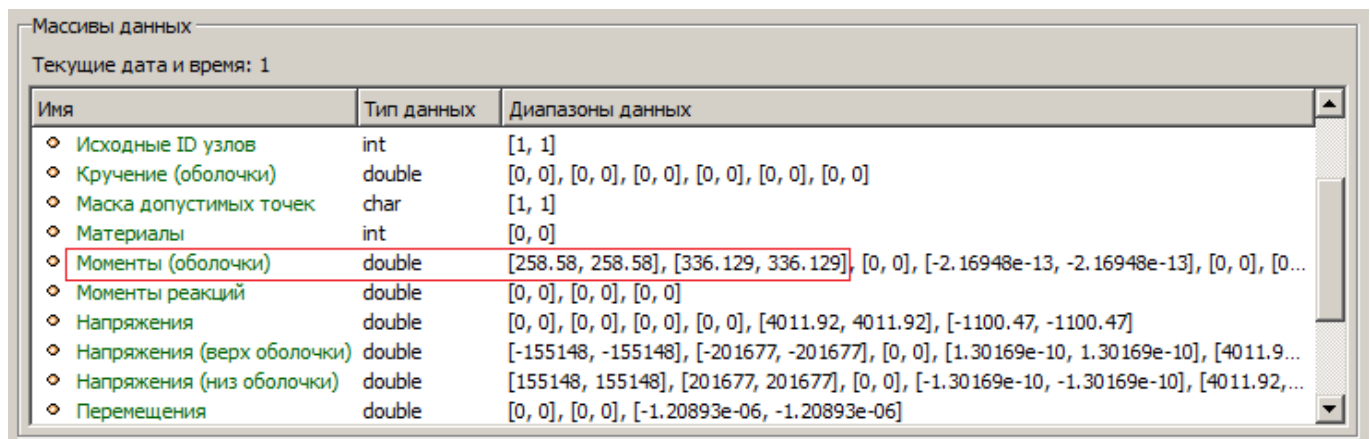


На главной панели **Fidesys Viewer** выберите Фильтры – Алфавитный указатель – Проверить расположение. Во вкладке Свойства укажите следующие значения:

- Точка: (0,0,0);
- Количество точек: 1;
- Радиус: 0.



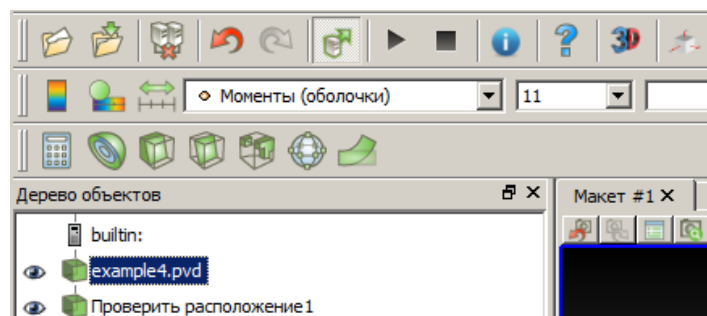
Перейдите во вкладку Информация и посмотрите на поле Моменты(оболочки).



Полученные значения $M_x=258.58$ и $M_y=336.129$ отличается от требуемого $M_x=252$ и $M_y=332$ на 2.6% и 1.2%, соответственно.

5. Откройте 3D-изображение оболочки.

Для отображения 3D-вида оболочки установите фокус на названии расчета и нажмите кнопку  в стандартной строке Fidesys Viewer.



Откроется новый файл example4_3D.pvd, к которому также можно применять различные фильтры и просматривать деформированный вид.

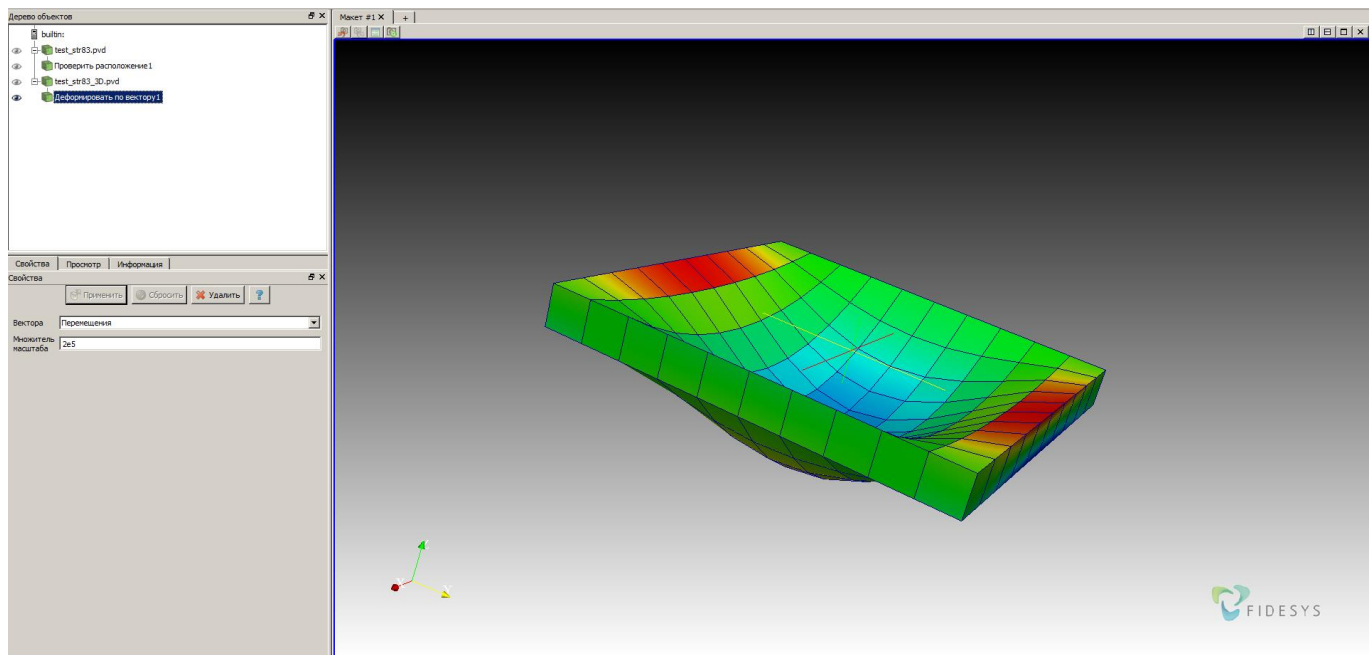
Выбрав в дереве объектов новый файл example_3D.pvd отобразите для него Фильтры – Алфавитный указатель – **Деформировать по вектору** со следующими значениями полей:

- **Вектора:** Перемещение
- **Множитель масштаба:** 2e5

На панели инструментов вновь установите следующие параметры для деформированного вида:



На экране отобразится первая форма потери устойчивости, но оболочка будет отрисована с толщиной.



Для автоматического применения изменений всех фильтров нажмите на соответствующую кнопку **Автоматически применять изменения** на панели команд.

6. Выгрузите числовые данные.

В главном меню выберите **Файл** → **Сохранить данные** либо нажмите **Ctrl+S**. Введите имя файла (формат *.csv), оставьте по умолчанию. Нажмите **OK**. Сохранённый файл представляет собой обычную таблицу числовых данных, которую можно открыть любым текстовым редактором.

Использование консольного интерфейса

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса. Ниже приведён код программы, позволяющий выполнить шаги описанного выше руководства, , необходимо только **самостоятельно указать полный путь и название сохраняемого файла**.

Пример рабочего скрипта (файл сохраняется в D:/FidesysBundle/calc/example.pvd):

```
reset
set node constraint on
create surface rectangle width 1 zplane
```

```

surface 1 scheme Polyhedron
surface 1 scheme Polyhedron
mesh surface 1
create displacement on curve 1 3 dof all fix 0
create displacement on curve 2 4 dof 1 dof 2 dof 3 fix 0
create pressure on surface 1 magnitude 1e4
undo group begin
create material "Material 1" property_group "CUBIT-FEA" description "Материал Гука"
modify material "Material 1" scalar_properties "MODULUS" 2e+11 "POISSON" 0.3
undo group end
set duplicate block elements off
block 1 surface 1
block 1 material 'Material 1'
undo group begin
block 1 attribute count 2
block 1 attribute index 1 value 0.1
block 1 attribute index 2 value 0.5
undo group end
analysis type static elasticity dim3
spectralelement off
usempi off
solver method auto try_other off
output nodalforce on midresults on
calculation start path "D:/FidesysBundle/calc/example.pvd"

```



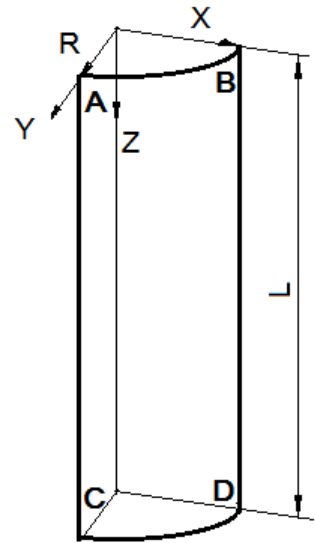
Также можно запустить файл *Example_4_Static_Shell.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

Гидростатическое давление на цилиндр (задание ГУ от координат)

Societe Francaise des Mecaniciens, Guide de validation des progiciels de calcul de structures, (Paris, Afnor Technique,1990.) Test No. SLS08/89. I-Deas Model Solution Verification Manual

Решается задача о гидростатическом нагружении цилиндрической оболочки. Геометрическая модель задачи представлена на рисунке: радиус 1 м, толщина оболочки 0.02 м. Оболочка закреплена из условия симметрии. Пластика нагружена давлением $p = 20000 \cdot z/L$ Па.

Критерий прохождения теста: перемещение u_z в точке $(0, R, L)$ равно $2.86 \cdot 10^{-6}$ м.



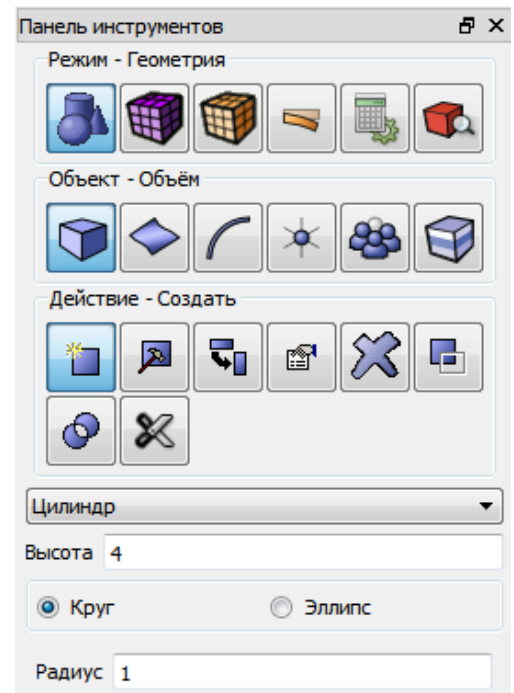
Построение модели

1. Создайте цилиндр радиусом 1 м и высотой 4 м.

На панели команд выберите модуль построения объемной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Цилиндр**. Задайте размеры цилиндра:

- Высота: 4;
- Сечение: Круг;
- Радиус: 1.

Нажмите **Применить**.

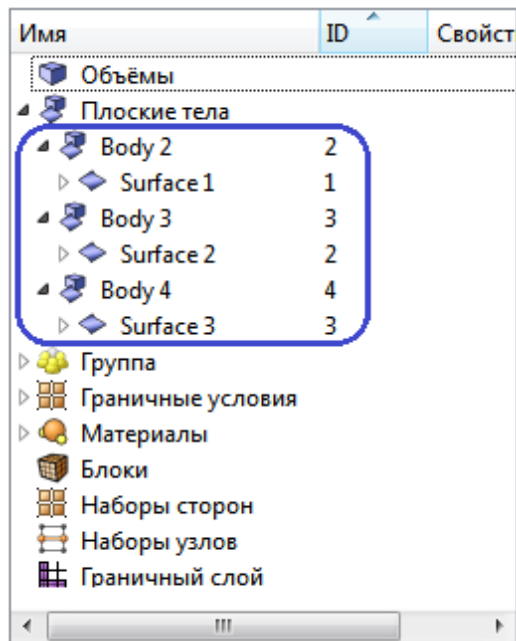


2. Получите из объемного цилиндра цилиндрическую оболочку.

На панели команд выберите модуль удаления объемов (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Удалить**). В поле **ID объемов** введите номер созданного объема – 1. Поставьте галочку напротив **Сохранять геометрию более низкого порядка**.

Нажмите **Применить**.

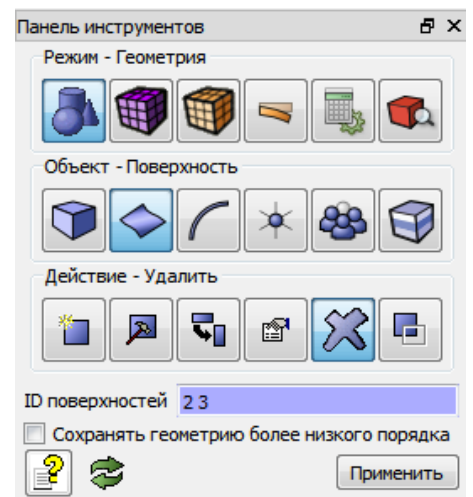
В результате получили три плоских тела Body 1, Body 2, Body 3. Это будет отражено в дереве объектов.



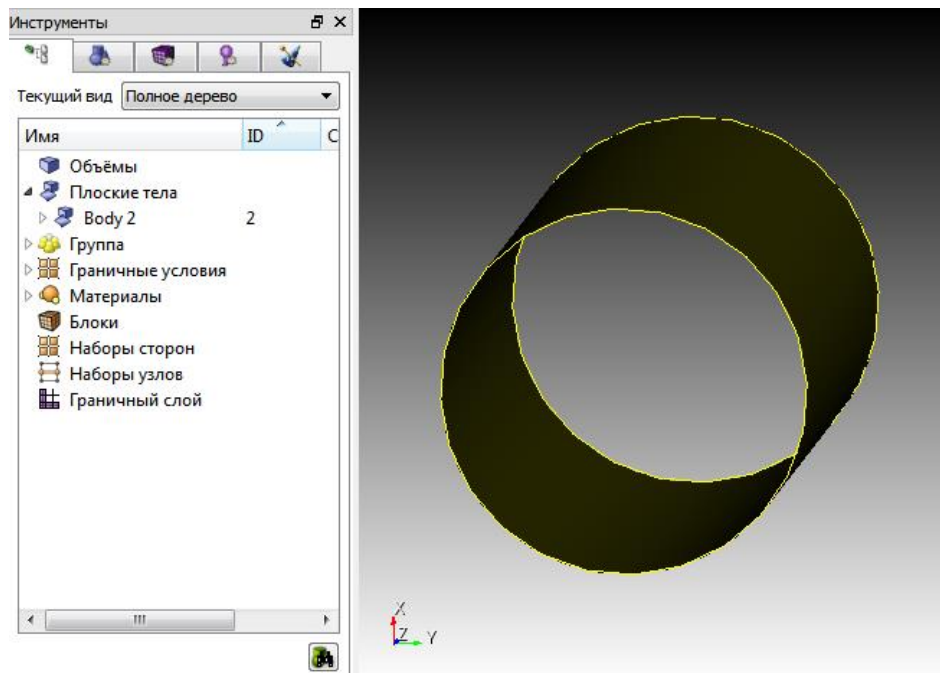
3. Удалите боковые плоскости Surface 2 и Surface 3.

На панели команд выберите модуль удаления поверхностей (Режим – **Геометрия**, Объект – **Поверхность**, Действие – **Удалить**). В окне **ID поверхностей** введите номера – 2 3.

Нажмите **Применить**.



В результате от исходного объема останется только боковая цилиндрическая оболочка радиусом 1 м и высотой 4 м.



4. Оставьте четверть оболочки (симметрия задачи).

На панели команд выберите модуль построения объемной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Разрез**). Из списка возможных видов разрезов выберите пункт **Координатная Плоскость**. Задайте следующие параметры:

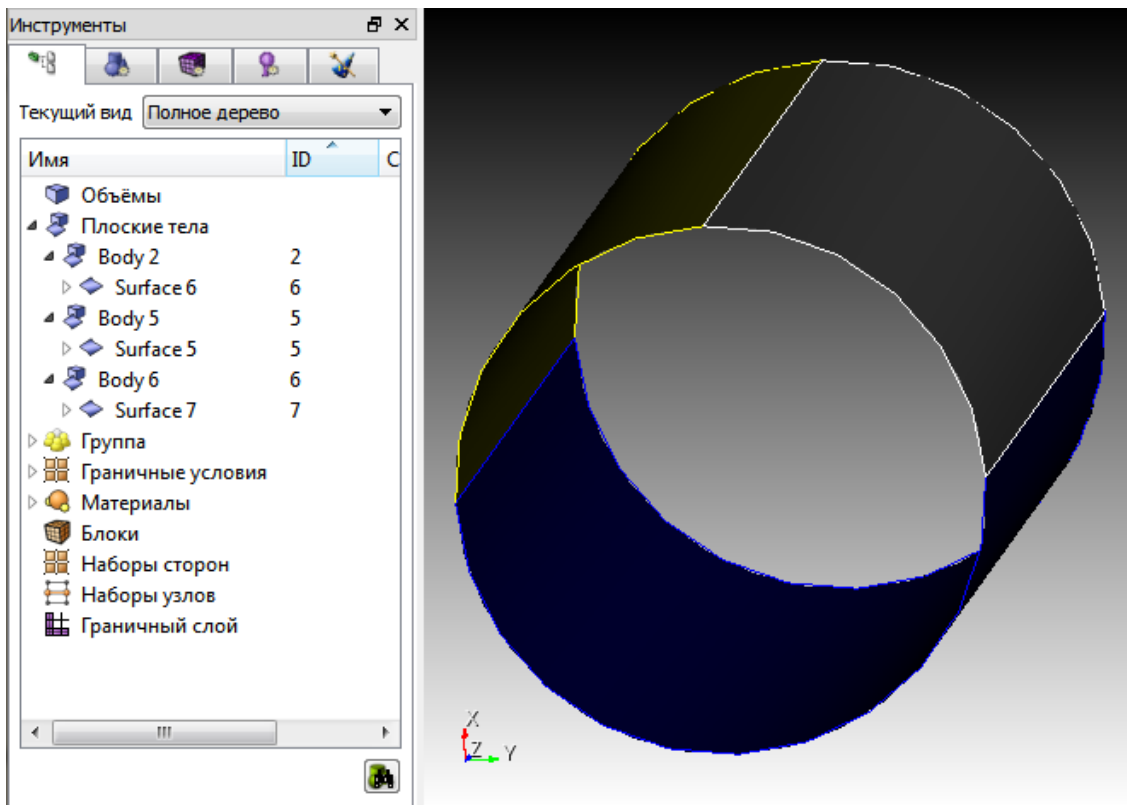
- ID тел: 2 (тело, которое будет разрезано);
- Разрезать: Плоскость YZ;
- Значение сдвига: 0.

Нажмите **Применить**.

Проделайте то же самое, но в плоскости ZX.

- ID тел: 2 (тело, которое будет разрезано);
- Разрезать: Плоскость ZX;
- Значение сдвига: 0.

Нажмите **Применить**.

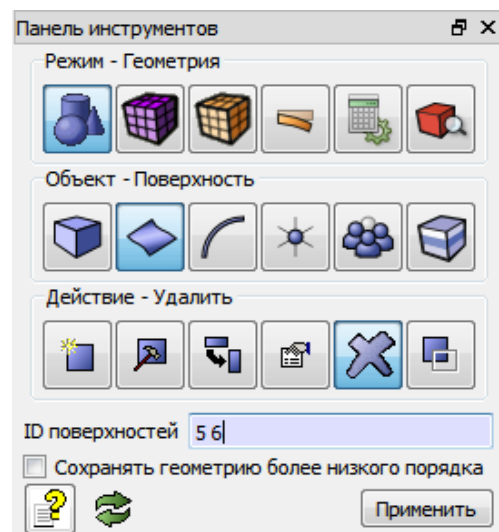


В результате исходное Body 2 в дереве объектов будет поделено на три тела (Body 2, Body 5 и Body 6).

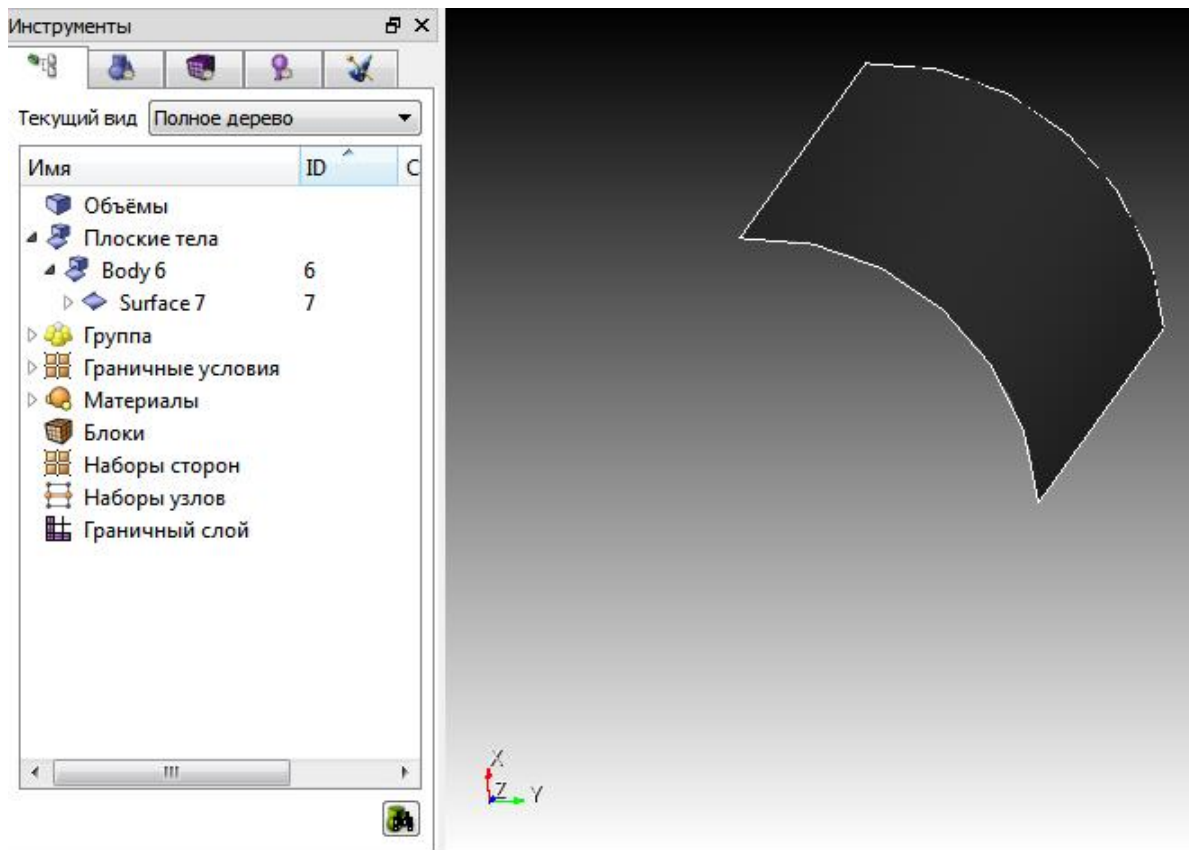
5. Удалите плоскости Surface 5 и Surface 6.

На панели команд выберите модуль удаления поверхностей (Режим – **Геометрия**, Объект – **Поверхность**, Действие – **Удалить**). В окне **ID поверхностей** введите номера – 5 6.

Нажмите **Применить**.



В результате останется четверть первоначальной оболочки Body 6 (Surface 7).

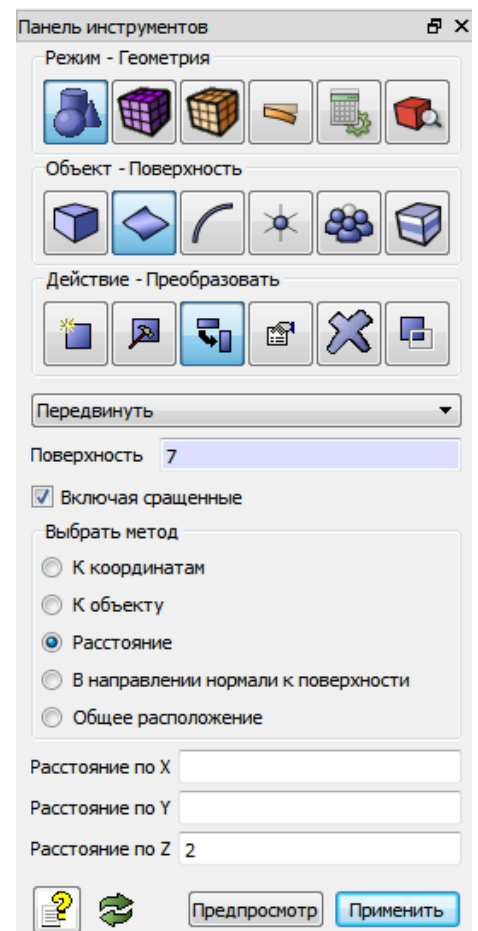


6. Переместите поверхность к началу координат.

На панели команд выберите модуль преобразования поверхностной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Поверхность**, Действие – **Преобразовать поверхность**). Из списка возможных видов разрезов выберите **Передвинуть**. Задайте следующие параметры:

- Поверхность: 7 (*поверхность, которая будет передвинута*);
- Флаг Расстояние;
- Расстояние по Z: 2.

Нажмите **Применить**.



Построение сетки

1. Укажите степень измельчения сетки.

На панели команд выберите модуль построения сетки на кривых (Режим – **Сетка**, Объект – **На кривых**, Действие – **Построение сетки**).

Разбейте поперечные кривые Surface 17 и Surface 18 на 10 элементов.

- Выбор кривых: 17 18 (или *кликните мышью, удерживая клавишу Ctrl, на контуры поперечных кривых*);
- Выберите способ построения сетки **Равномерно**;
- Установите флаг **Интервал**;
- Укажите количество интервалов: 10.

Нажмите **Применить**.

Разбейте продольные кривые Curve 5 и Curve 16 на 20 элементов.

- Выбор кривых: 5 16 (или *кликните мышью, удерживая клавишу Ctrl, на контуры продольных кривых*);
- Выберите способ построения сетки **Равномерно**;
- Установите флаг **Интервал**;
- Укажите количество интервалов: 20.

Нажмите **Применить**.

2. Постройте сетку

На панели команд выберите модуль построения поверхностной сетки (Режим – **Сетка**, Объект – **Поверхностная**, Действие – **Интервалы**).

- Выбрать поверхности (укажите их ID): 7 (или *командой all*);
- Выберите схему построения сетки: **Автоматически**.

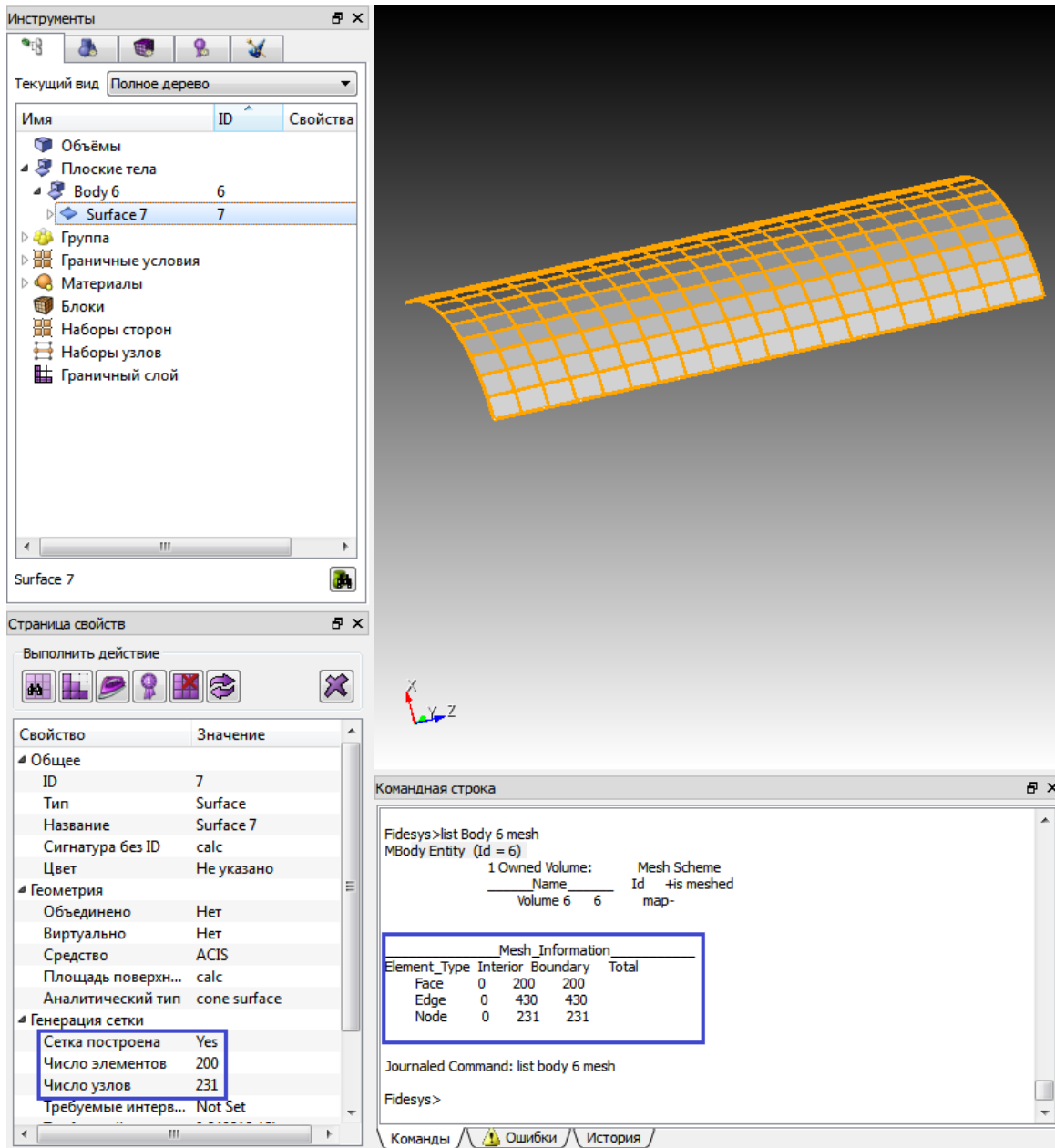
Нажмите **Применить**.

Нажмите **Построить сетку**.

Полученное количество элементов можно посмотреть на странице свойств, кликнув на надпись Surface 7 в дереве объектов слева.

Также для просмотра свойств сетки можно выполнить следующие действия:

- Выделите всю модель
- Кликните правой кнопкой мыши по модели
- В появившемся меню выберите **Отобразить информацию – Данные о сетке**
- В командной строке появится информация о сетке



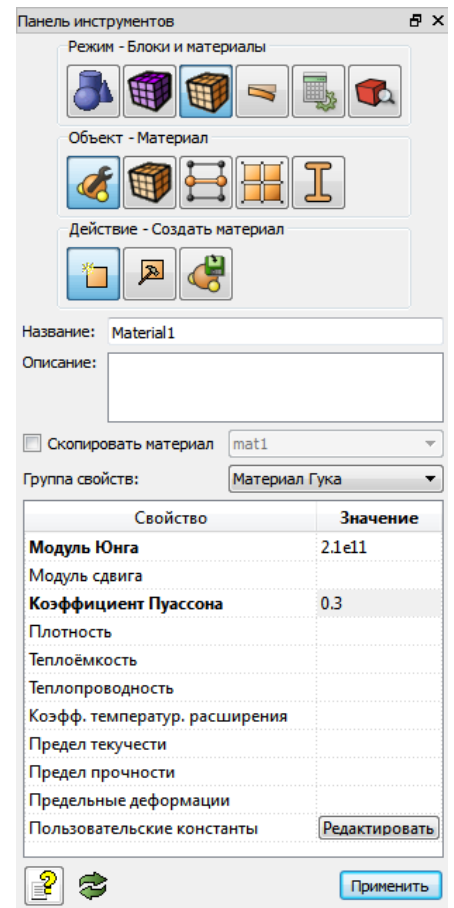
Задание материала и типа элемента

1. Создайте материал.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Материал**, Действие – **Создать материал**). Задайте следующие параметры:

- Название: Material1;
- Группа свойств: Материал Гука;
- Модуль Юнга: 2.1e11;
- Коэффициент Пуассона: 0.3.

Нажмите **Применить**.

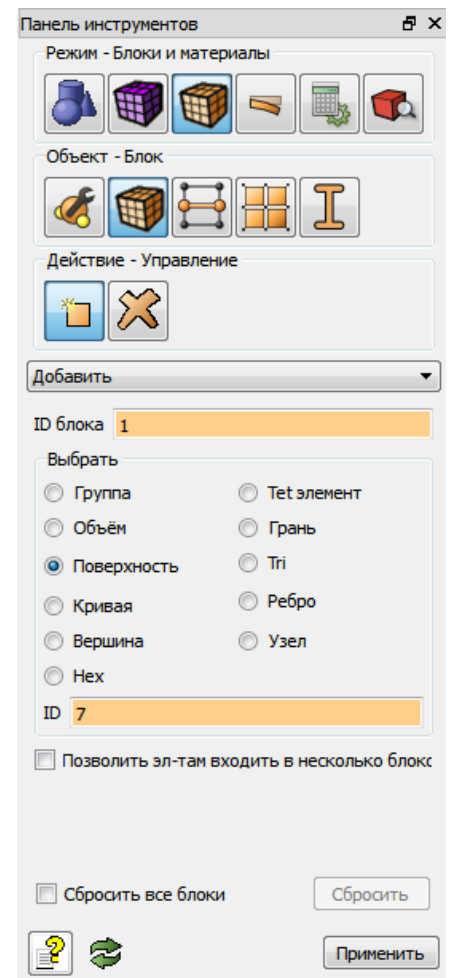


2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Добавить**. Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Выберите сущности, которые будут объединены в блок: Поверхность;
- ID: 7 (или командой all).

Нажмите **Применить**.

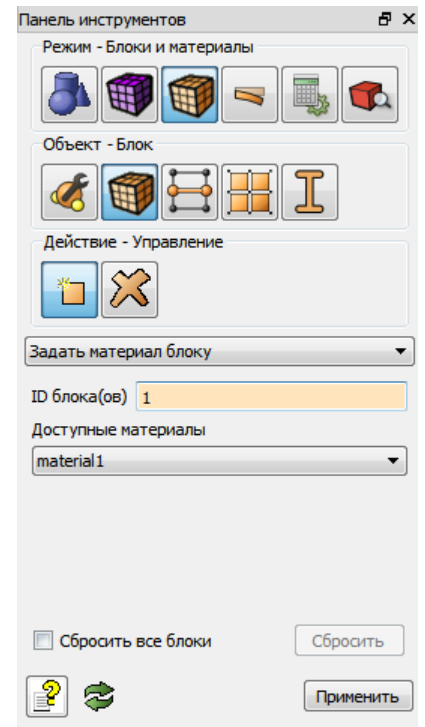


3. Присвойте материал блоку.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Задать материал блоку**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выберите из списка ранее созданный материал: Material 1.

Нажмите **Применить**.

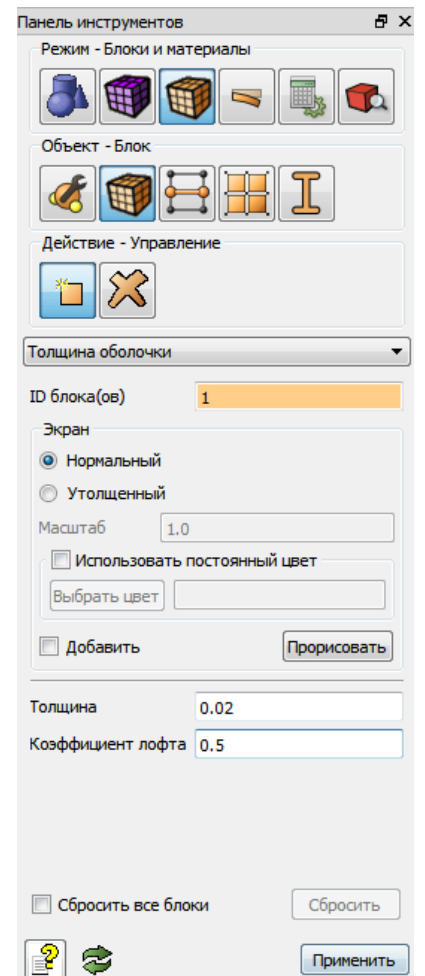


4. Задайте толщину оболочки.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Толщина оболочки**. Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Экран: нормальный;
- Толщина: 0.02;
- Коэффициент лофта: 0.5.

Нажмите **Применить**.

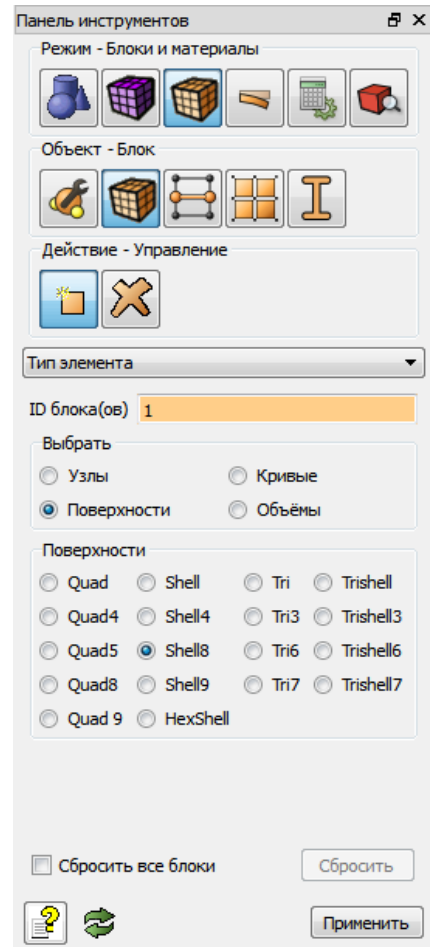


5. Присвойте тип элемента блоку.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Тип элемента**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выбрать: Поверхности;
- Поверхности: Shell8.

Нажмите **Применить**.



Задание граничных условий

1. Закрепите поперечную кривую Surface 17 из условия симметрии.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объектов: 17 (или *кликните по поперечной кривой*);
- Степени свободы: Перемещение Z; Поворот X; Поворот Y.

Нажмите **Применить**.

2. Закрепите продольную кривую Curve 5 из условия симметрии.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объектов: 5 (или *кликните по продольной кривой*);
- Степени свободы: Перемещение X; Поворот Y; Поворот Z.

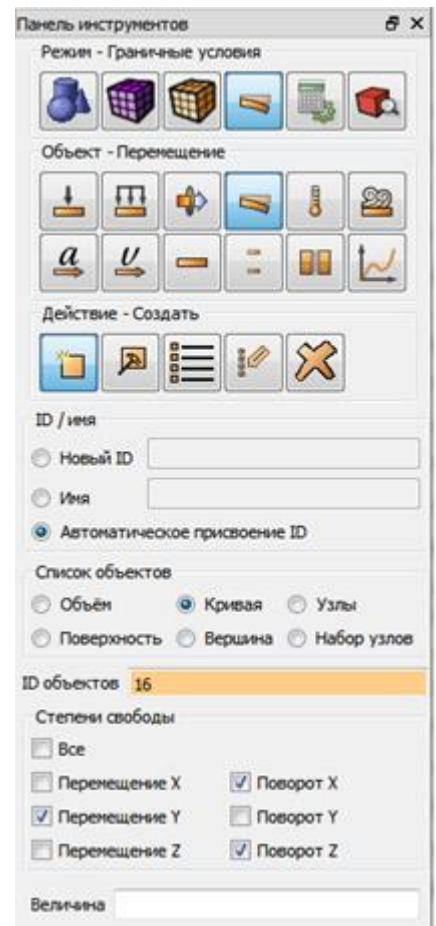
Нажмите **Применить**.

3. Закрепите продольную кривую Curve 16 из условия симметрии.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объектов: 16 (или *кликните по продольной кривой*);
- Степени свободы: Перемещение Y; Поворот X; Поворот Z.

Нажмите **Применить**.

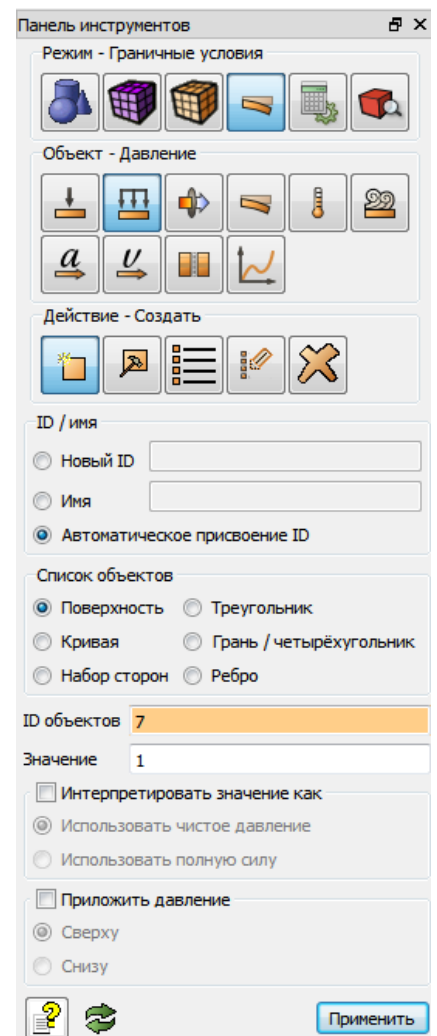


4. Приложите давление на внутреннюю поверхность цилиндра величиной 1.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Давление**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 7 (или *кликните по поверхности цилиндра*);
- Значение: 1.

Нажмите **Применить**.



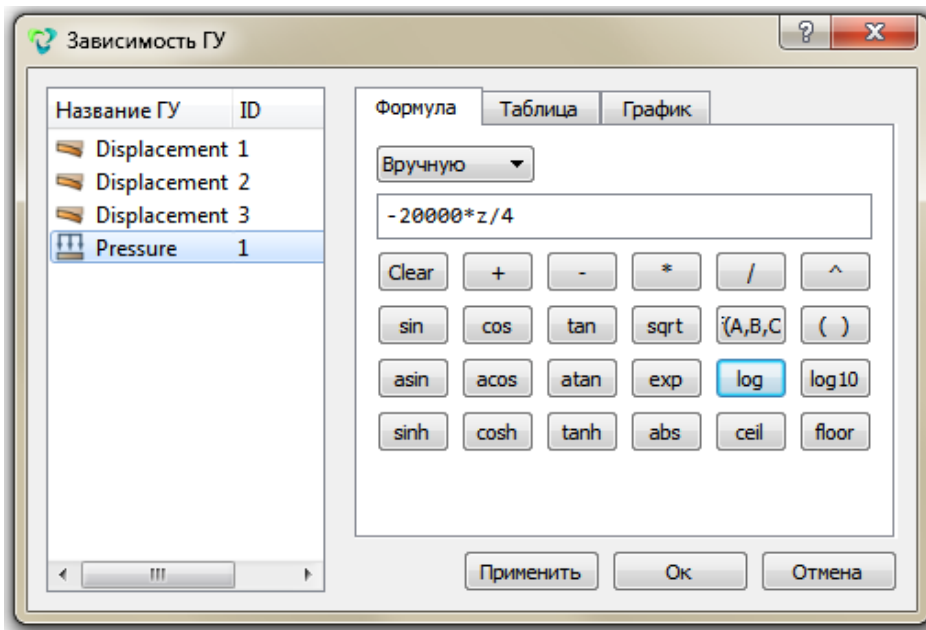
5. Задайте зависимость давления от координаты z.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Установить зависимость ГУ от времени и/или координат**.

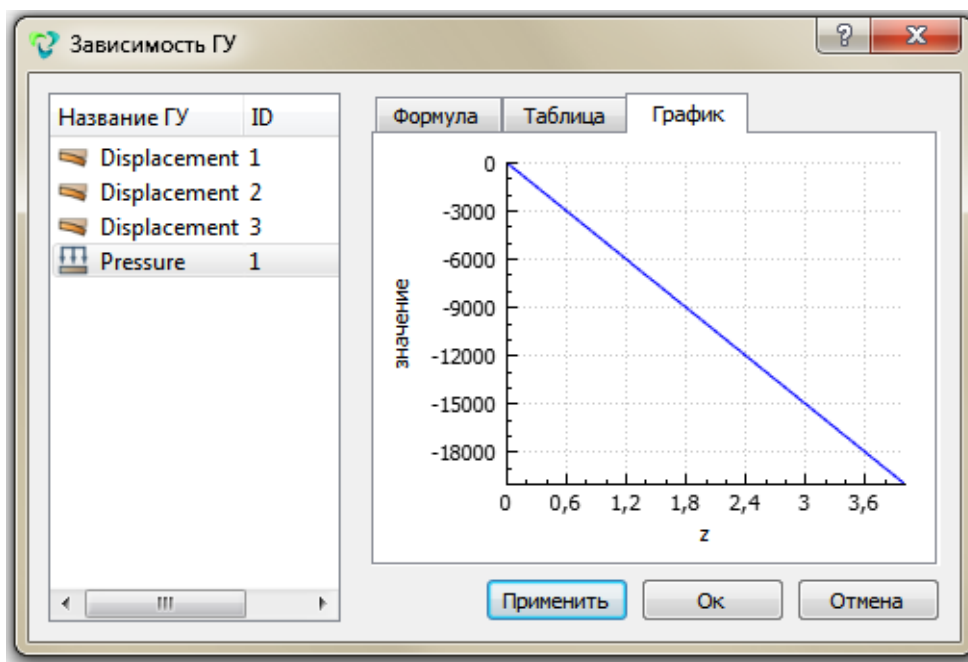
В появившемся окне **Зависимость ГУ** задайте следующие параметры:

- Название ГУ: Pressure 1;
- Выбрать флаг Формула, Вручную;
- В поле ниже ввести $-20000*z/4$.

Нажмите **Применить**.



Для просмотра построенного графика используйте соответствующую вкладку.



Запуск расчёта

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Статический**, Статика – **Общие**). Выберите:

- Размерность: 3D;
- Модель: Упругость.

Нажмите **Применить**.

Нажмите **Начать расчёт**.

В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат, и введите название файла.

В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: *“Calculation finished successfully at <date> <time>”*.

Анализ результатов

1. Откройте файл с результатами. Это можно сделать тремя способами.

- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите **Расчёт** → **Результаты**. Нажмите **Открыть последний результат**.
- На панели команд выберите менеджер расчётов (**Режим** – **Менеджер расчётов**, **Менеджер расчётов** – **Результаты**). Нажмите **Открыть результаты**.

2. Отобразите компоненту Uz поля перемещений на модели.

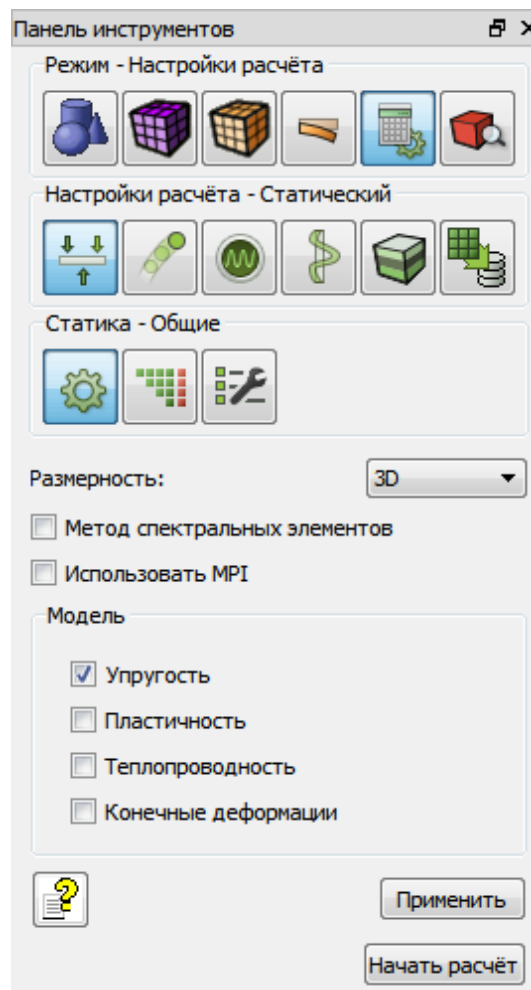
В появившемся окне **Fidesys Viewer** на панели инструментов установите следующие параметры:

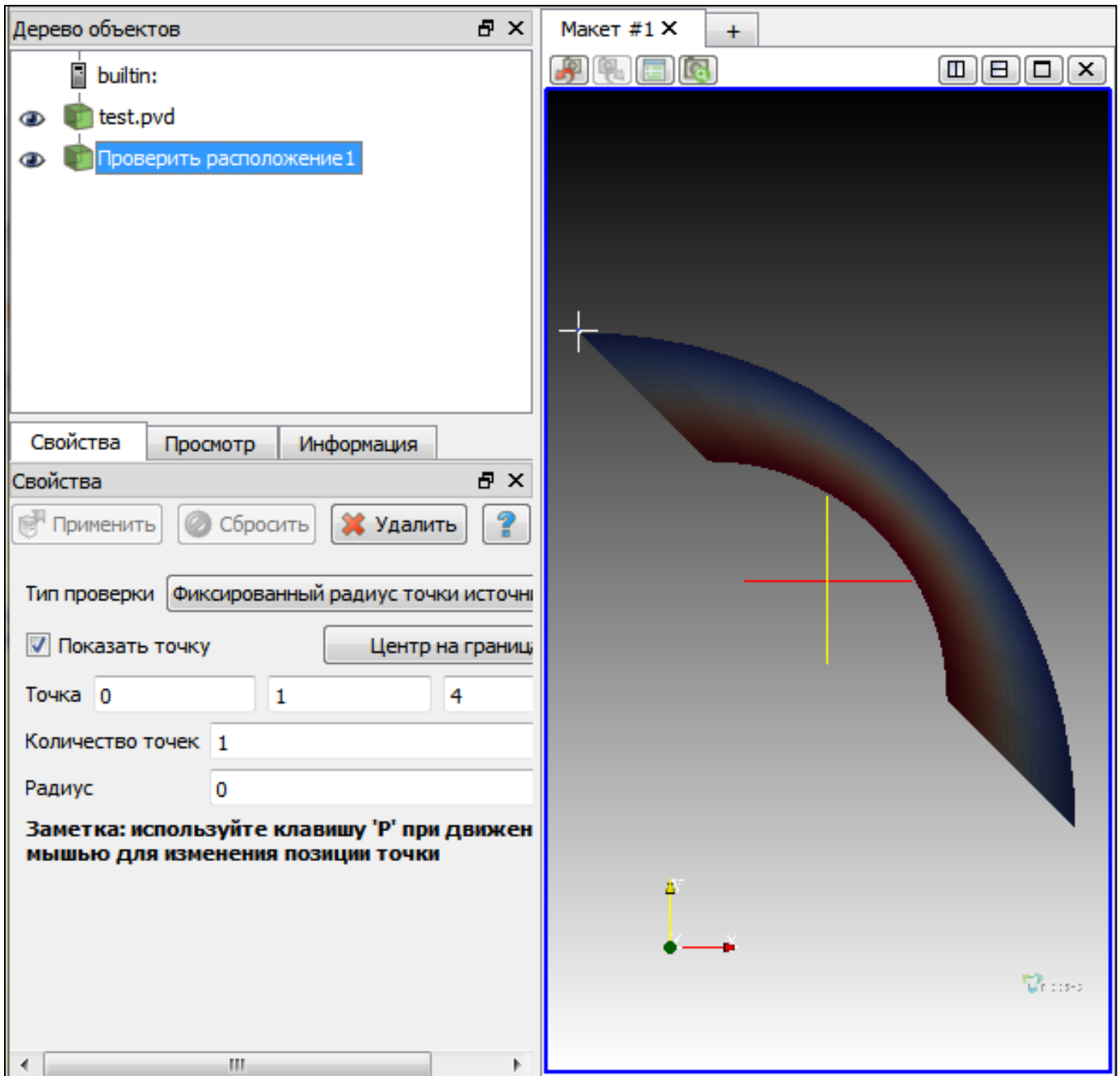
- Тип отображения: Поверхность;
- Поле отображения: Перемещения;
- Компонента отображения: 3.

3. Сравните численное значение искомого перемещения в точке (0,1,4) с исходным из источника - 2.86e-6

Выберите **Фильтр** → **Алфавитный Указатель** → **Проверьте расположение**. Во вкладке свойства для этого фильтра установите следующие параметры:

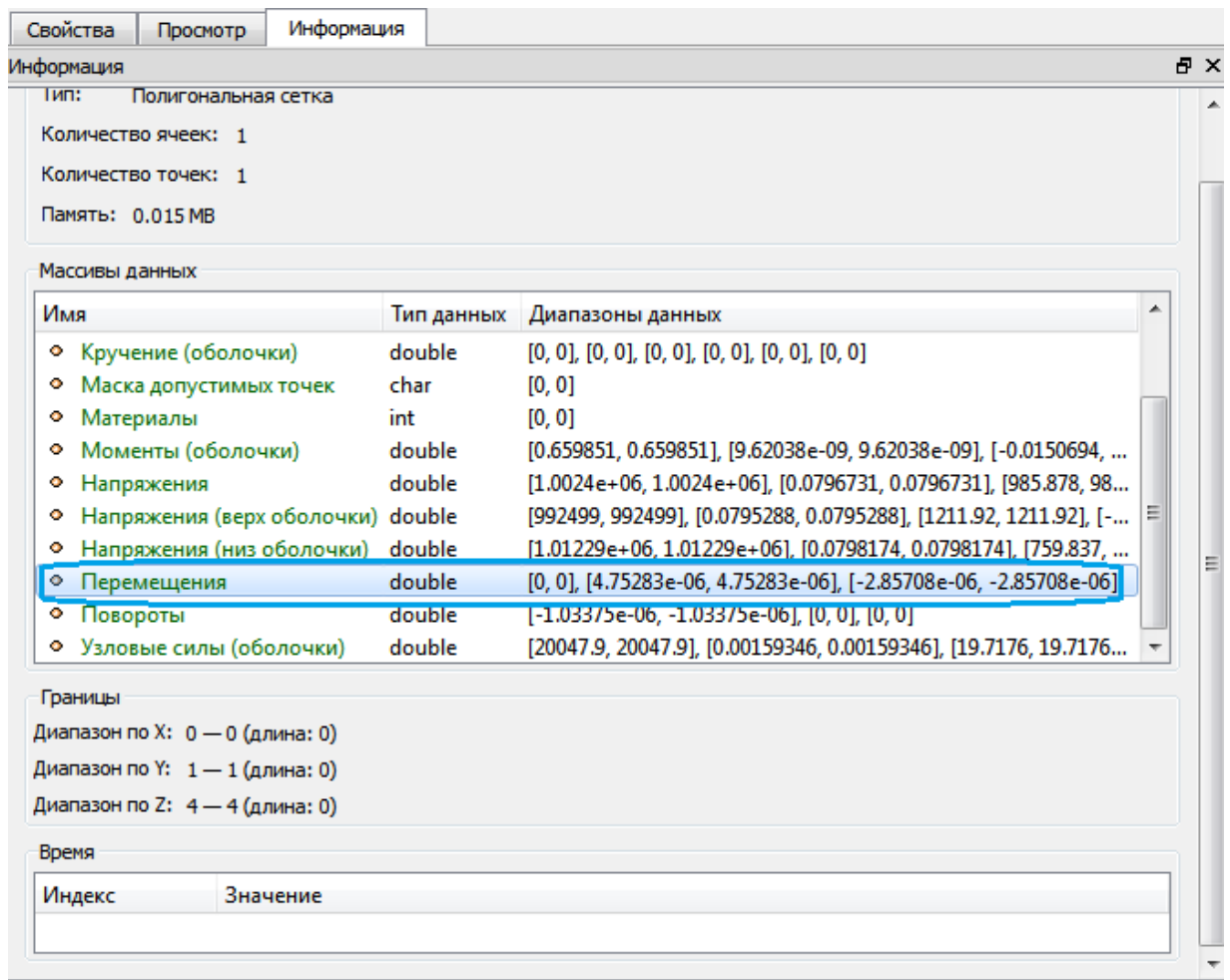
- Точка (0, 1, 4);
- Количество точек: 1;
- Радиус: 0.





Перейдите во вкладку **Информация**. Нас интересует поле **Перемещение** – третья компонента:

Полученное значение $-2.85709e-6$ отличается от требуемого $-2.86e-6$ на 0.1%.



Можно посмотреть, как деформируется тело под приложенным давлением.


Для этого выберите фильтр **Деформировать по вектору**. Во вкладке **Свойства** установите следующие параметры:

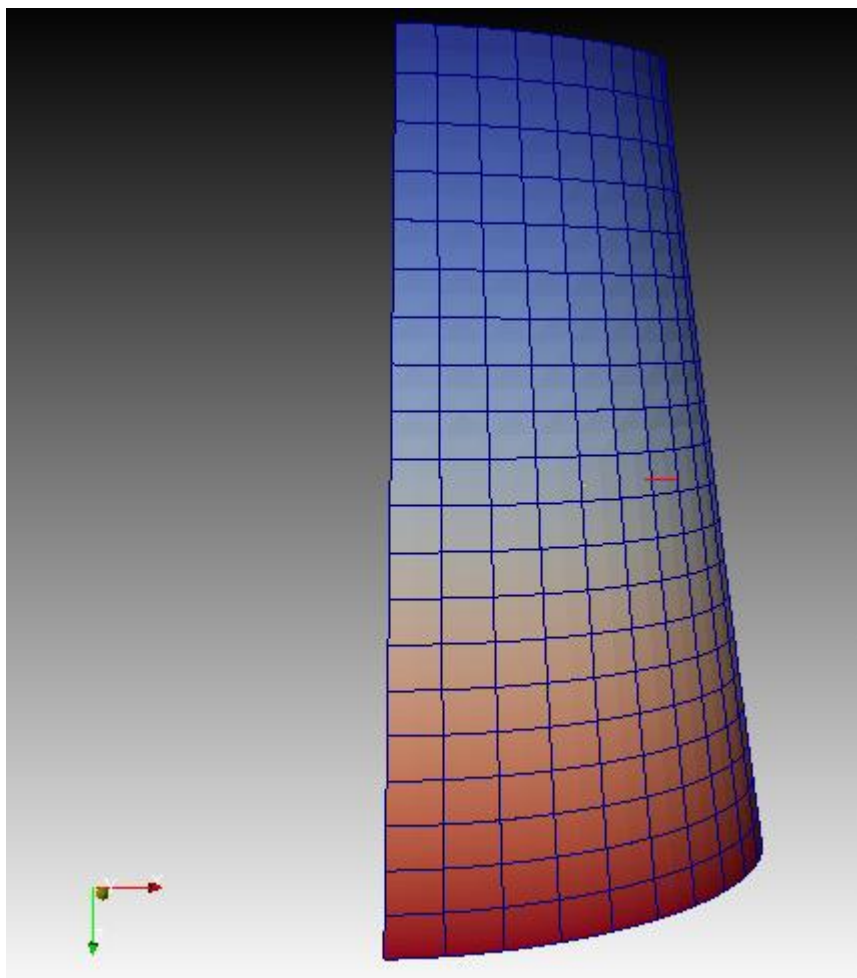
- Вектора: Перемещения;
- Множитель масштаба: 1e5.

В результате отобразится деформированное тело.

Выберете для деформированного вида следующие настройки отображения:



Для того чтобы посмотреть начальную модель, можно нажать на значок  рядом с этой моделью в дереве объектов.



Обратите внимание на направление координатных осей на картинке.

4. Выгрузите числовые данные.

В главном меню выберите **Файл** → **Сохранить данные** либо нажмите **Ctrl+S**. Введите имя файла (формат *.csv), оставьте по умолчанию. Нажмите **ОК**. Сохранённый файл представляет собой обычную таблицу числовых данных, которую можно открыть любым текстовым редактором.

5. Получите исходный цилиндр с помощью отражения.

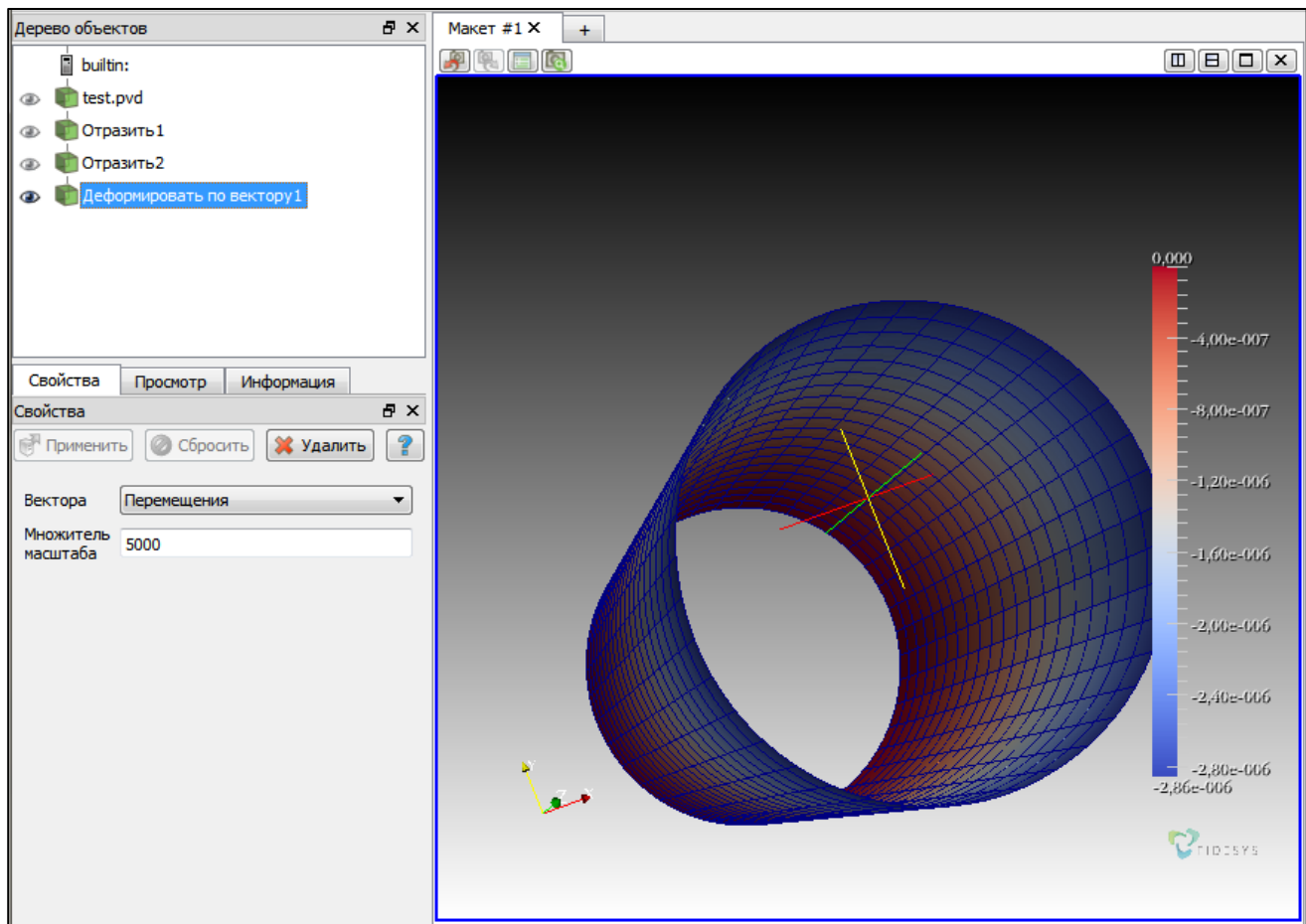
В дереве объектов кликните по **test.pvd** Затем в главном меню выберите **Фильтр** → **Алфавитный Указатель** → **Отразить**. Во вкладке свойства для этого фильтра установите следующие параметры:

- Плоскостью: X
- Центр: 0.

Теперь в дереве объектов выберите **Отразить1**. Затем снова **Фильтр** → **Алфавитный Указатель** → **Отразить**. Во вкладке свойства для этого фильтра установите следующие параметры:

- Плоскостью: Y
- Центр: 0.

Получили полностью исходный цилиндр с помощью отражения $\frac{1}{4}$ части.



Использование консольного интерфейса

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса. Ниже приведён код программы, позволяющий выполнить шаги описанного выше руководства, , необходимо только **самостоятельно указать полный путь и название сохраняемого файла**.

Пример рабочего скрипта (файл сохраняется в D:/FidesysBundle/calc/example.pvd):

```

reset
set node constraint on
create Cylinder height 4 radius 1
delete volume 1 keep_lower_geometry
delete Surface 2 3
webcut body 2 with plane xplane offset 0 preview
webcut body 2 with plane xplane offset 0
webcut body 2 with plane yplane offset 0 preview
webcut body 2 with plane yplane offset 0
delete Surface 5 6
move Surface 7 preview z 2 include_merged
move Surface 7 z 2 include_merged
curve 17 18 interval 10
curve 17 18 scheme equal
curve 5 16 interval 20
curve 5 16 scheme equal
surface all size auto factor 5
mesh surface all
    
```

```
list Surface 7 mesh
undo group begin
create material "material 1" property_group "CUBIT-FEA" description "Материал Гука"
modify material "material 1" scalar_properties "MODULUS" 2.1e+11 "POISSON" 0.3
undo group end
set duplicate block elements off
block 1 surface 7
block 1 material 'material 1'
block 1 element type shell8
undo group begin
block 1 attribute count 2
block 1 attribute index 1 value 0.02
block 1 attribute index 2 value 0.5
undo group end
block 1 element type shell8
create displacement on curve 17 dof 3 dof 4 dof 5 fix
create displacement on curve 5 dof 1 dof 5 dof 6 fix
create displacement on curve 16 dof 2 dof 4 dof 6 fix
create pressure on surface 7 magnitude 1
bcdep pressure 1 value '-20000*z/4'
analysis type static elasticity dim3
spectralelement off
usempi off
calculation start path "D:/FidesysBundle/calc/example.pvd"
```

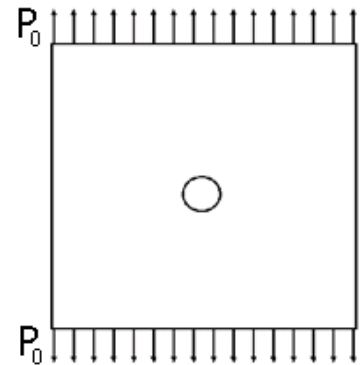
Статическое нагружение (2D, задача Кирша)

Седов Л.И. “Механика сплошной среды, том 2”. М.: Наука, 1970г., 568 стр.

Рассматривается двумерная задача об одноосном растяжении плоской неограниченной пластины с круговым вырезом. Геометрическая модель задачи представлена на рисунке: длина стороны 10 м, диаметр отверстия 0.5 м. На грани приложена нагрузка $P_0 = 1$ МПа.

В виду симметрии задачи рассматривается $\frac{1}{4}$ часть пластины.

Критерий прохождения теста: Напряжение σ_θ в точке E (0.25;0;0) равно 3 МПа с точностью 3%.



Построение модели

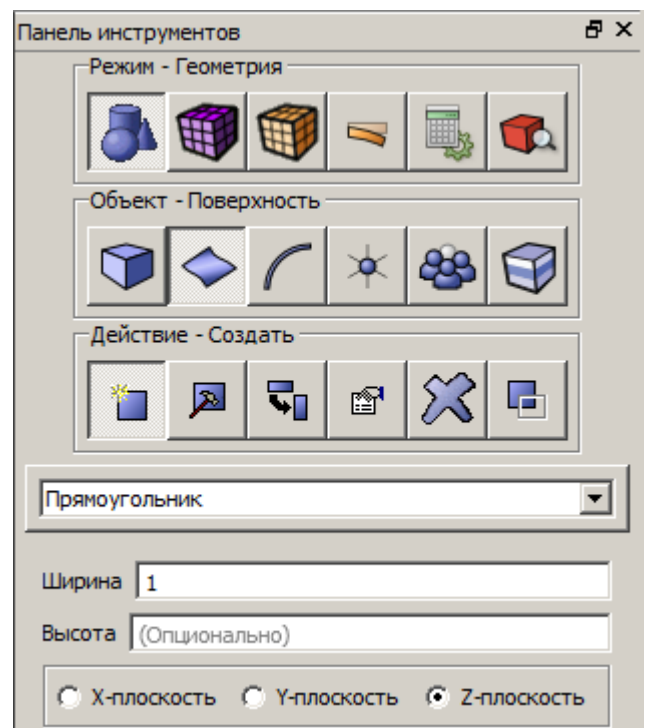
1. Создайте квадрат со стороной 10.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Поверхность**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Прямоугольник**. Задайте параметры:

- Ширина: 10;
- Высота: оставьте опционально.
- Z-плоскость

Нажмите **Применить**.

Важно: 2D задачи для элементов Quad/Quad4/Quad8/Quad8 и Tri/Tri3/Tri6 решаются только, если модель лежит в плоскости Z.

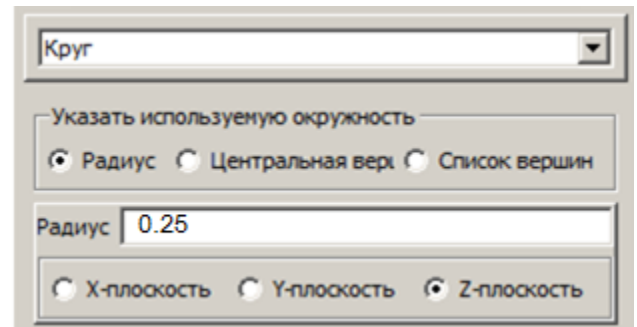


2. Создайте круг радиусом 0.25.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Поверхность**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Круг**. Задайте параметры:

- Радиус: 0.25;
- Z-плоскость.

Нажмите **Применить**.

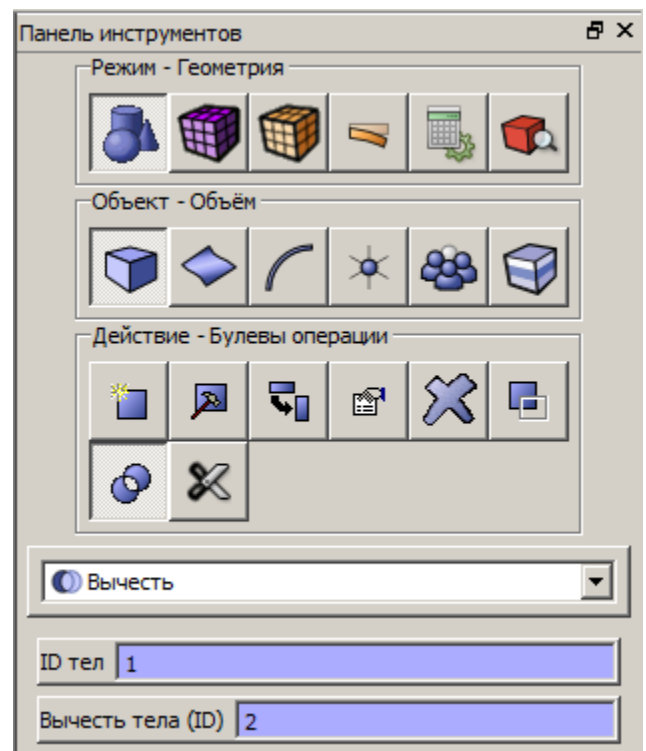


3. Вычтите круг из квадрата.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объем**, Действие – **Булевы операции**). Из списка доступных действий выберите **Вычесть**. Задайте параметры:

- ID тел: 1 (или кликните мышкой по квадрату)
- Вычесть тела (ID): 2 (или кликните мышкой по кругу)

Нажмите **Применить**.



4. Оставьте четверть пластины.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Разрез**). Из списка доступных действий выберите **Координатная плоскость**. Задайте параметры:

- ID тел: 1 (или кликните мышкой по пластине);
- Установите флаг для YZ;
- Значение сдвига: 0.

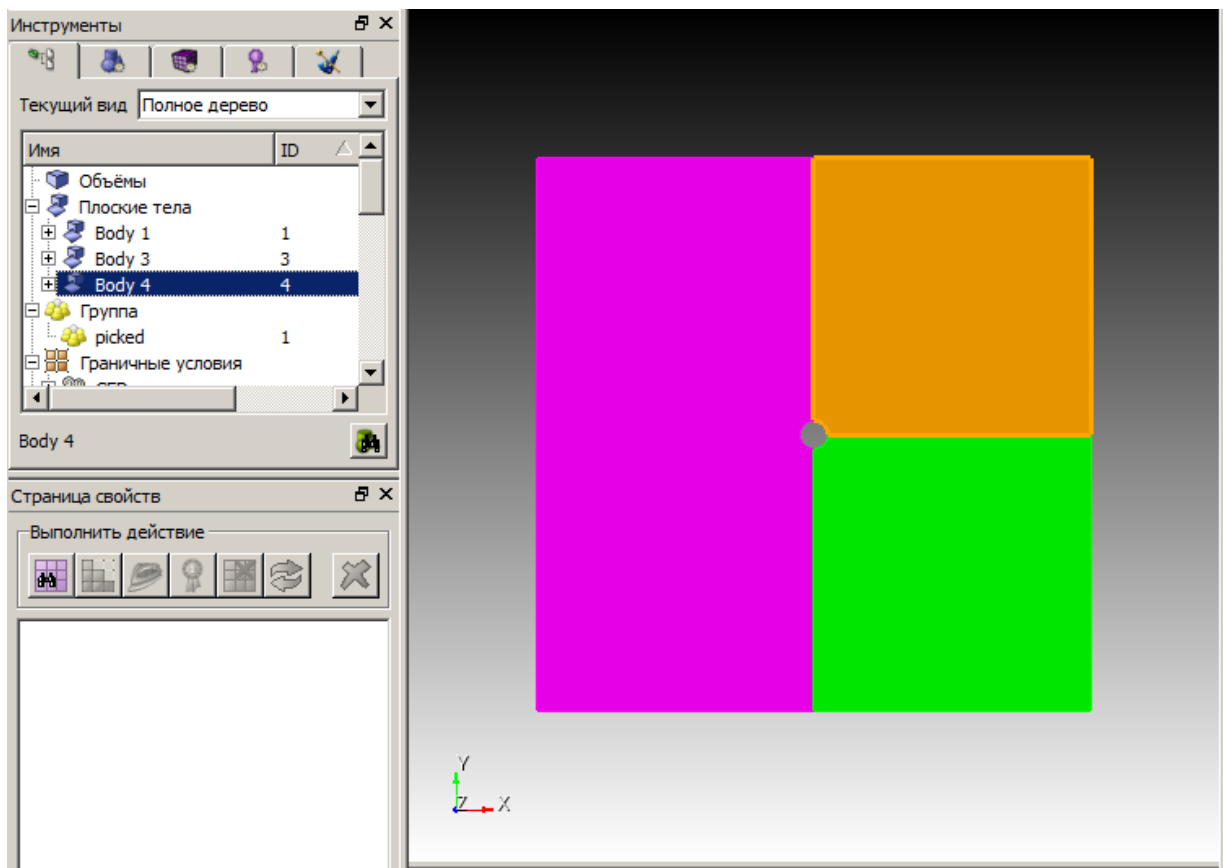
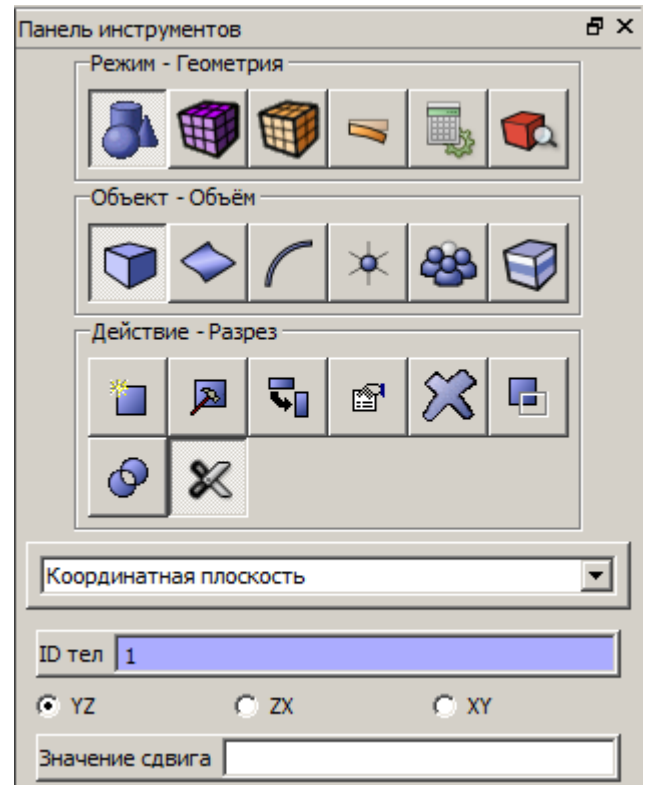
Нажмите **Применить**.

Проделайте тоже самое для плоскости ZX. Установите параметры:

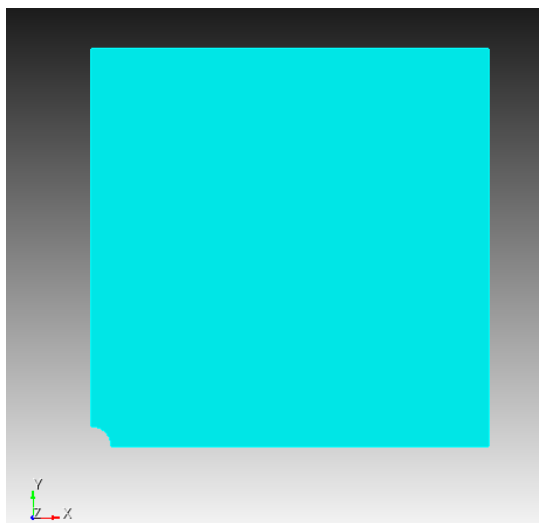
- ID тел: 1 (или кликните мышкой по правой пластине);
- Установите флаг для ZX;
- Значение сдвига: 0.

Нажмите **Применить**.

В результате исходная поверхность в дереве объектов будет поделена на три (Body 1, Body 3 и Body 4).



Удалите поверхности 1 и 3. Для этого, удерживая клавишу Ctrl, выберите в дереве объектов эти объёмы и в контекстном меню нажмите **Удалить**. В результате останется четверть первоначальной пластины (Body 4):



Построение сетки

1. На панели команд выберите модуль построения сетки на кривых (Режим – **Сетка**, Объект – **На кривых**, Действие – **Построение сетки**). Укажите следующие параметры:

- Выбор кривых: 22 20 7 (или кликните мышью, удерживая клавишу Ctrl, нижнюю и левую грани пластины и на контур круга);
- Выберите схему построения сетки: Сгущение;
- В раскрывающемся списке ниже выберите: Начальный размер и смещение;
- Первый размер: 0.01;
- Множитель смещения: 1.15;
- Стартовая вершина 18 8.

Нажмите **Применить размер**.

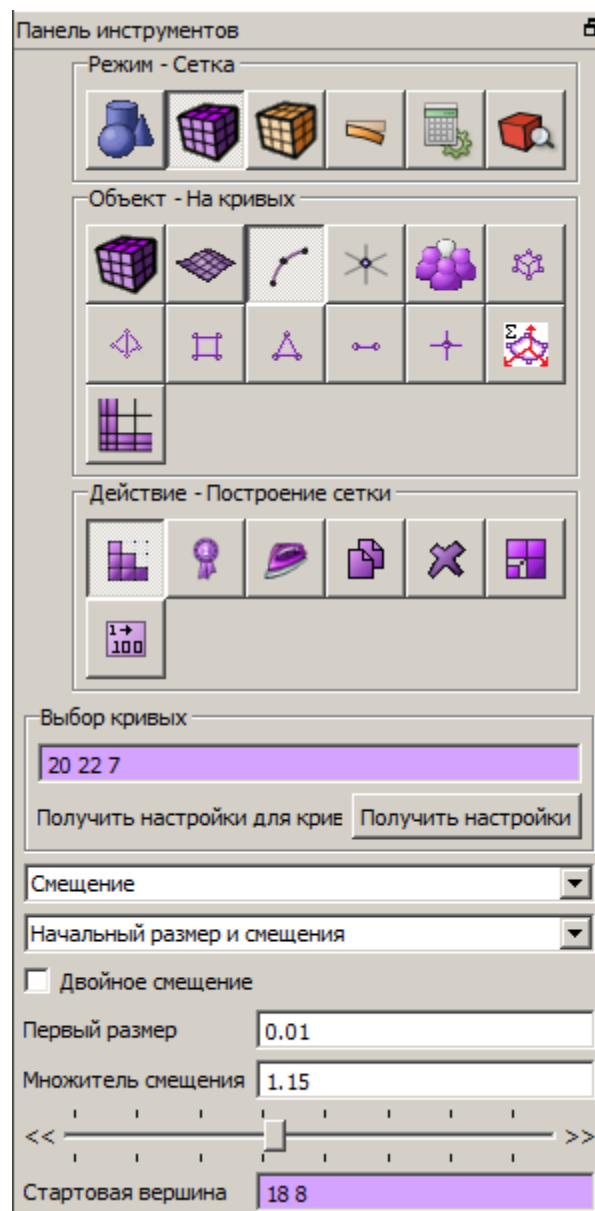
Нажмите **Построить сетку**.

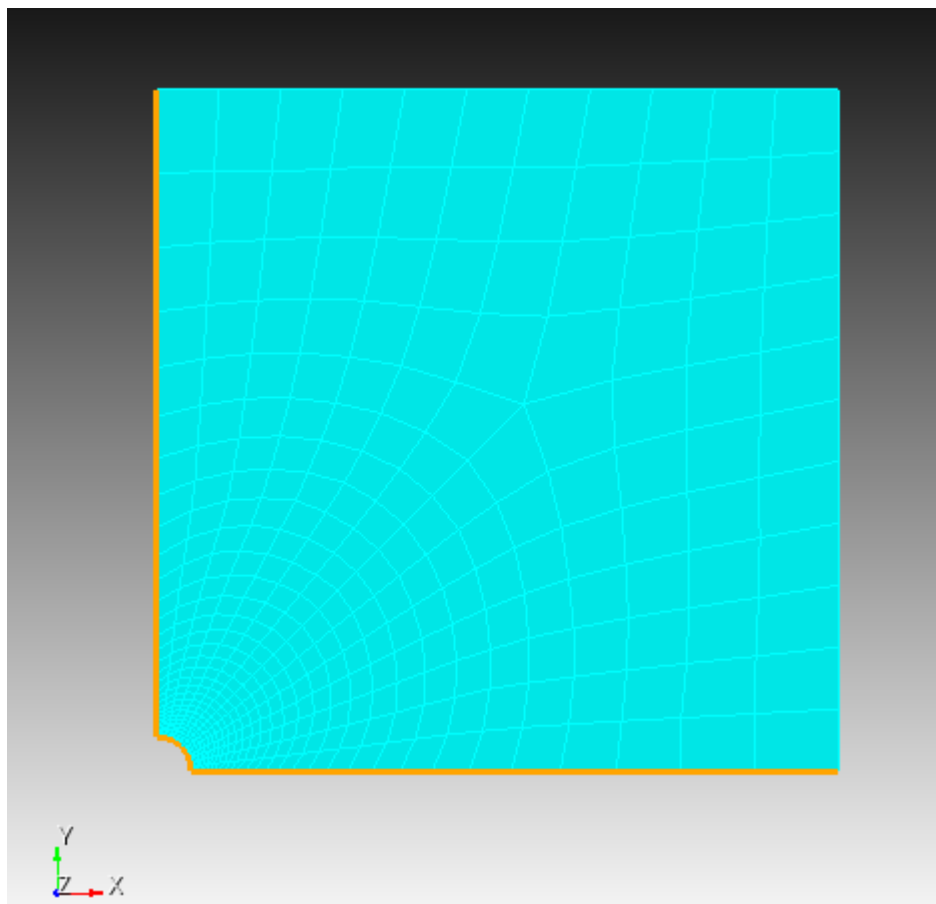
2. На панели команд выберите модуль построения сетки на поверхности (Режим – **Сетка**, Объект – **Поверхностная**, Действие – **Построение сетки**). Укажите следующие параметры:

- Выбор поверхности: 7 (или all);
- Выберите схему построения сетки: Многогранная;

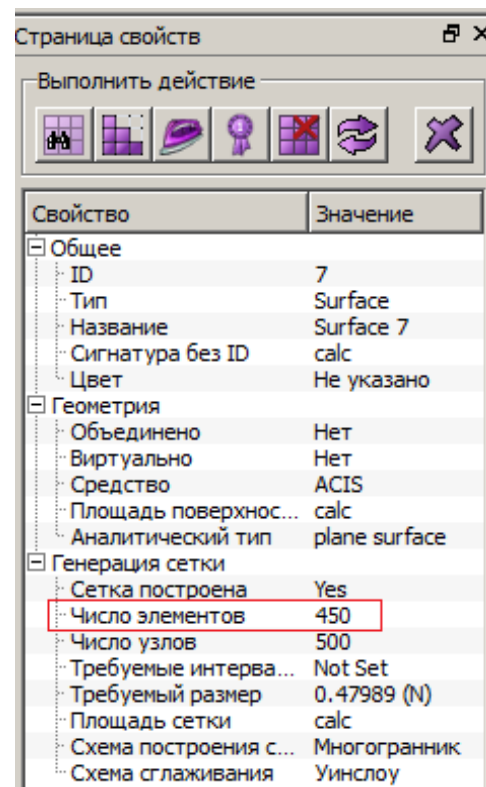
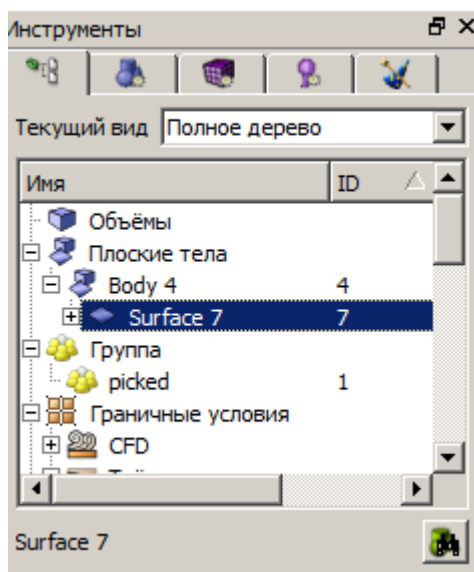
Нажмите **Применить**.

Нажмите **Построить сетку**.





3. В дереве объектов выберите Плоские тела – Body 4 – Surface 7. Ниже на странице свойств можно увидеть количество элементов для построенной сетки.



Задание граничных условий

1. Закрепите нижнюю грань из условия симметрии.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**.
Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объектов: 20 (или *кликните по нижней грани*);
- Степени свободы: Перемещение Y;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

2. Закрепите левую грань из условия симметрии.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**.
Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая ;
- ID объектов: 7 (или *кликните по левой грани*);
- Степени свободы: Перемещения X;
- Величина: 0.

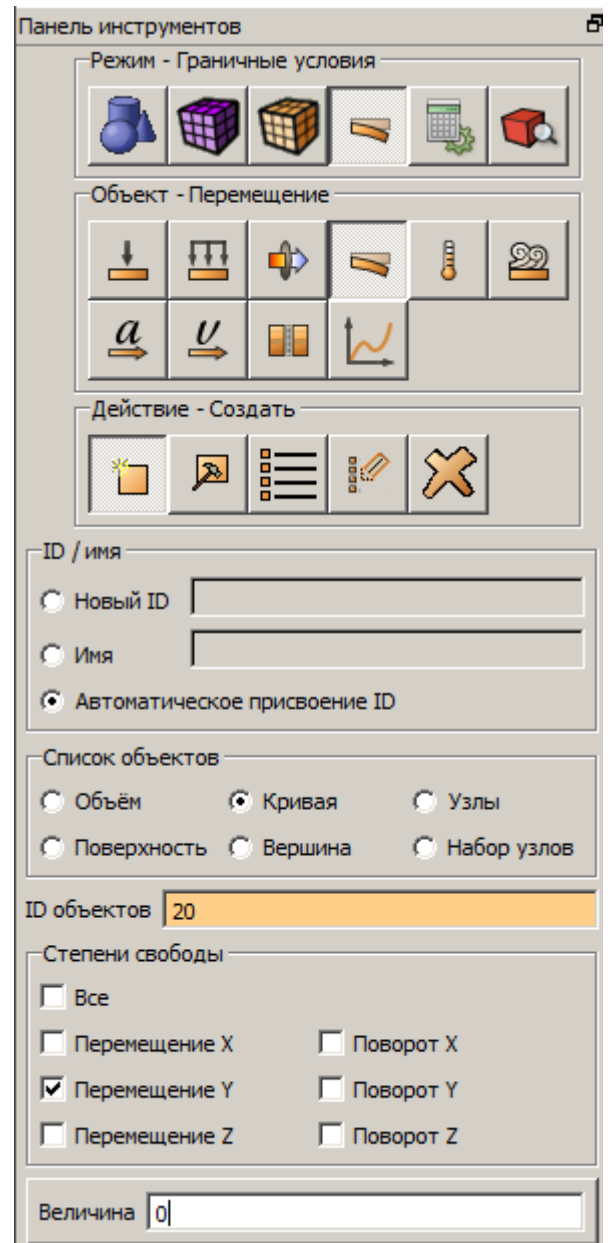
Нажмите **Применить**.

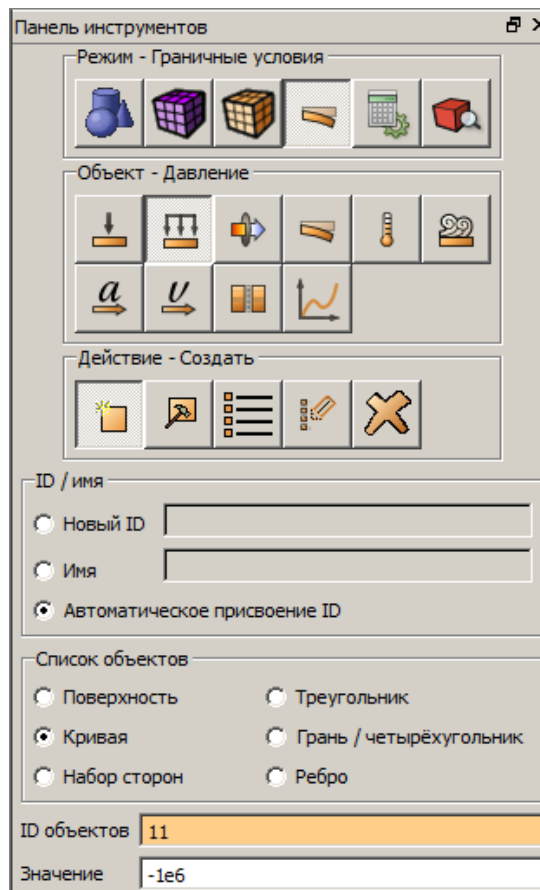
3. Приложите равномерное давление на поверхность

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Давление**, Действие – **Создать**.
Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривую;
- ID объектов: 11;
- Значение: -1e6;

Нажмите **Применить**.





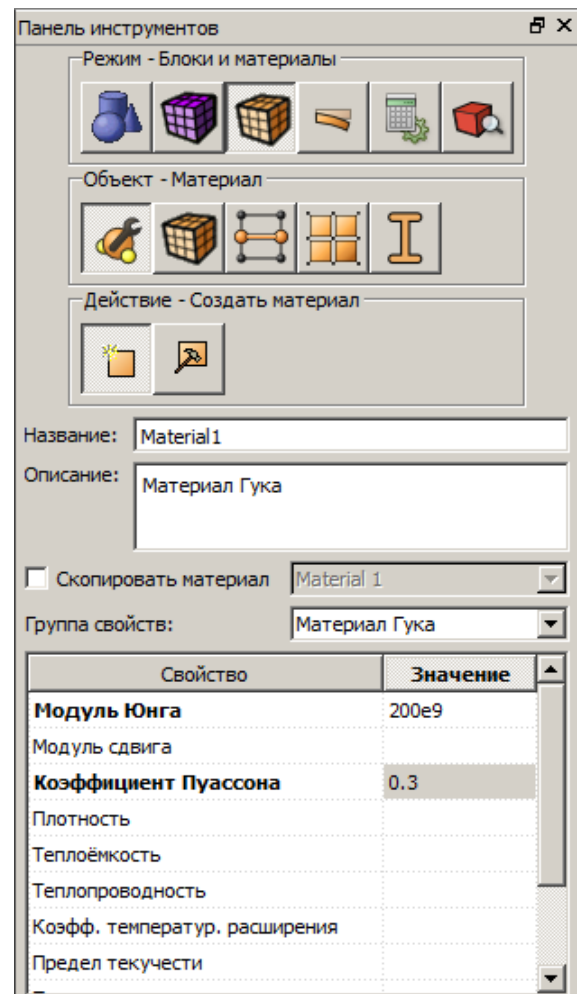
Задание материала и типа элемента

1. Создайте материал.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Материал**, Действие – **Создать материал**). Задайте следующие параметры:

- Название: Material 1;
- Описание: Материал Гука
- Группа свойств: Материал Гука;
- Модуль Юнга: 200e9;
- Коэффициент Пуассона: 0.3.

Нажмите **Применить**.

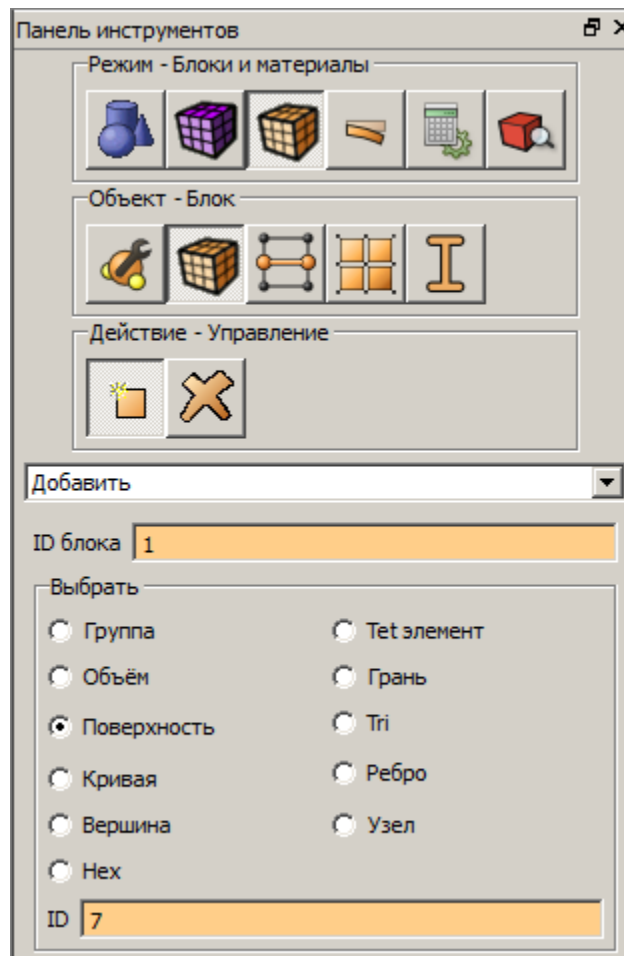


2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Добавить**. Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Выберите объекты, которые будут объединены в блок: Поверхность;
- ID: 1 (или командой *all*).

Нажмите **Применить**.

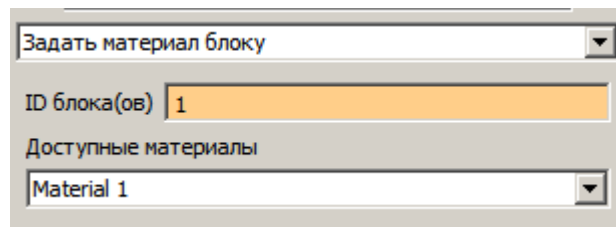


3. Присвойте материал блоку.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Задать материал блоку**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выберите из списка ранее созданный материал: Material 1.

Нажмите **Применить**.

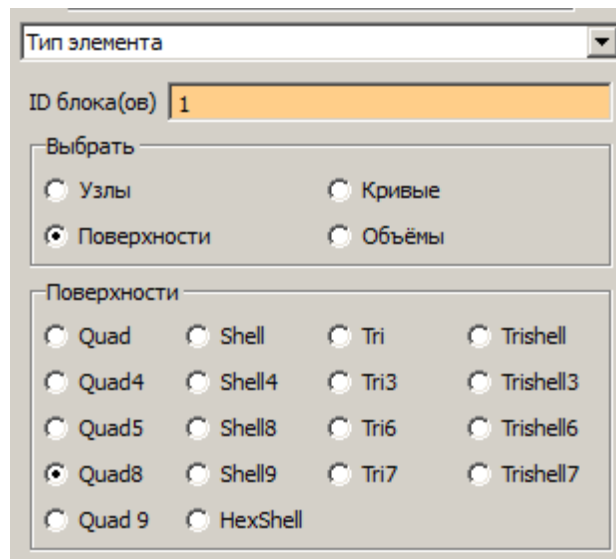


4. Присвойте тип элемента.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Тип элемента**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выбрать: Поверхности;
- Тип элемента: Quad8.

Нажмите **Применить**.



Запуск расчёта

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Статический**, Статика – **Общие**). Выберите:

- Размерность: 2D;
- Тип плоской задачи: Плоское деформированное состояние;
- Модель: Упругость.

Нажмите **Применить**.

2. Задайте параметры решателя.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Статический**, Статика – **Решатель**). Выберите тип решателя (прямой или итерационный) и задайте параметры сходимости в случае выбора последнего. Либо оставьте все параметры по умолчанию. Нажмите **Применить**.

3. Задайте вычисление силы реакции

Перейдите во вкладку **Статика** – **Поля вывода** и установите флаг **Вычислять узловые силы и силы реакции**.

Нажмите **Применить**.

Нажмите **Начать расчёт**.

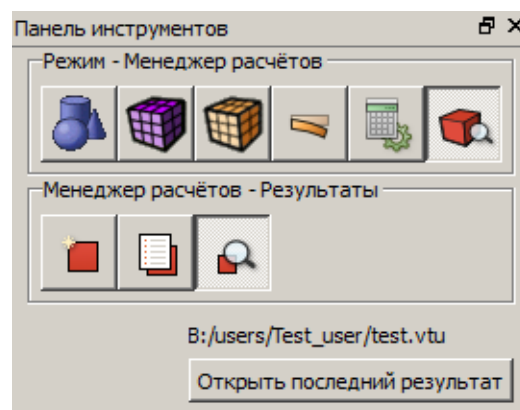
Важно: Без включенного флага **Вычислять узловые силы и силы реакции** это поле не вычисляется.

4. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат, и введите название файла.
5. В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: “*Calculation finished successfully at <date> <time>*”.

Анализ результатов

1. Откройте файл с результатами. Это можно сделать тремя способами.

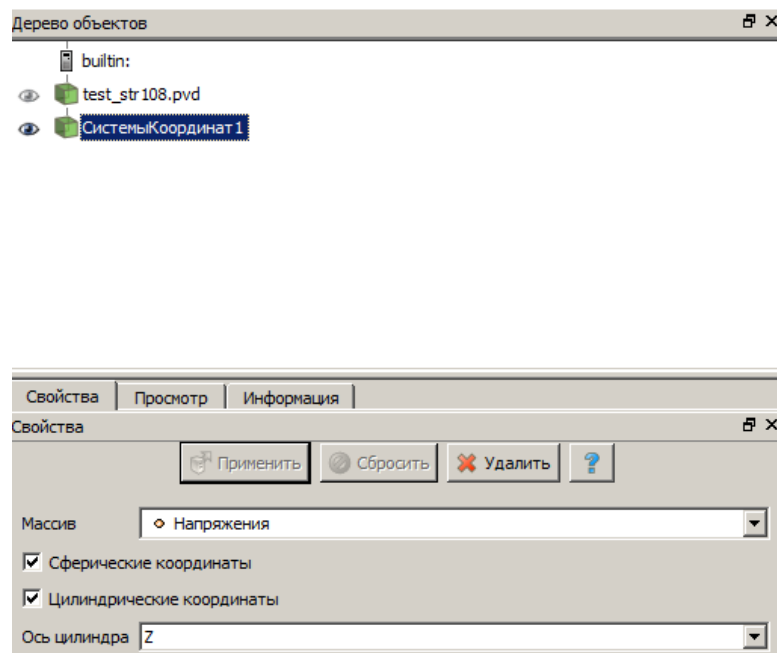
- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите **Расчёт** → **Результаты**. Нажмите **Открыть последний результат**.
- На панели команд выберите менеджер расчётов (Режим – **Менеджер расчётов**, Менеджер расчётов – **Результаты**). Нажмите **Открыть результаты**.



2. Отобразите компоненту σ_θ поля напряжений.

Выберите Фильтр → Алфавитный указатель → Системы координат. Во вкладке Свойства выберите:

- Массив: Напряжения.
- Ось цилиндра: Z

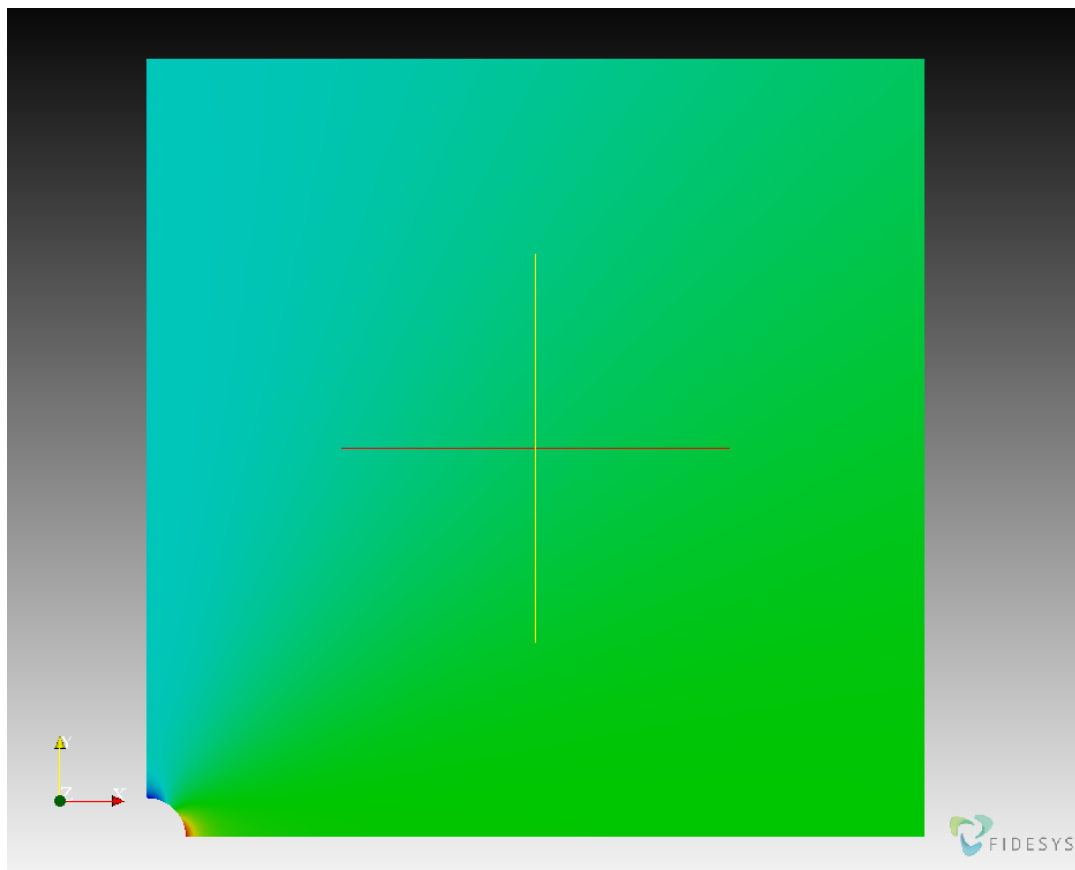


В окне **Fidesys Viewer** на панели инструментов установите следующие параметры:

- Тип отображения: Поверхность;
- Поле отображения: Напряжения(цил.) ;
- Компонента отображения: FF.



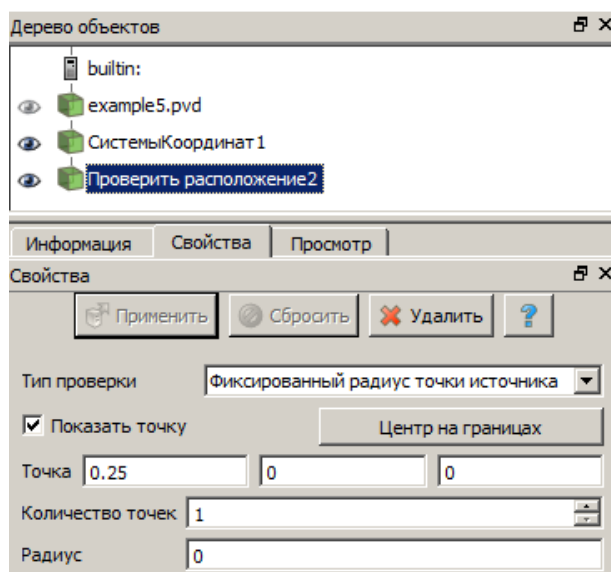
На модели отобразится поле распределения напряжений σ_θ в цилиндрической системе координат.



3. Проверьте численное значение искомого напряжения.

Кликните мышью по названию фильтра Системы координат в дереве объектов. Далее, выберите Фильтр → Алфавитный Указатель → Проверьте расположение. Во вкладке свойства для этого фильтра установите следующие параметры:

- Точка (0.25, 0, 0);
- Количество точек: 1;
- Радиус: 0.



Перейдите во вкладку Информация. Нас интересует поле Напряжения(цил.) – вторая компонента:

Массивы данных

Текущие дата и время: 1

Имя	Тип данных	Диапазоны данных
Деформации	double	[-5.79084e-06, -5.79084e-06], [1.38132e-05, 1.38132e-05], [0, 0], [-6.69393e-08, -6.69393e-08], [0, 0], [...]
Исходные ID узлов	int	[1447, 1447]
Маска допустимых точек	char	[1, 1]
Материалы	int	[0, 0]
Напряжения	double	[34758.6, 34758.6], [3.05077e+06, 3.05077e+06], [925658, 925658], [-10298.4, -10298.4], [0, 0], [0, 0]
Напряжения (сфер.)	float	[34758.6, 34758.6], [925658, 925658], [3.05077e+06, 3.05077e+06], [0, 0], [0, 0], [-10298.4, -10298.4]
Напряжения (цил.)	float	[34758.6, 34758.6], [3.05077e+06, 3.05077e+06], [925658, 925658], [-10298.4, -10298.4], [0, 0], [0, 0]
Перемещения	double	[-1.15552e-06, -1.15552e-06], [0, 0], [0, 0]
Силы реакций	double	[0, 0], [-4658.23, -4658.23], [0, 0]
Узловые силы	double	[-2.91038e-10, -2.91038e-10], [-4658.23, -4658.23], [0, 0]

Полученное значение 3.05077e+06 отличается от требуемого 3e6 на 1.6%.



Для автоматического применения изменений всех фильтров нажмите на соответствующую кнопку **Автоматически применять изменения** на панели команд.

4. Выгрузите числовые данные.

В главном меню выберите **Файл** → **Сохранить данные** либо нажмите **Ctrl+S**. Введите имя файла (формат *.csv), оставьте по умолчанию. Нажмите **OK**. Сохранённый файл представляет собой обычную таблицу числовых данных, которую можно открыть любым текстовым редактором.

Использование консольного интерфейса

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса. Ниже приведён код программы, позволяющий выполнить шаги описанного выше руководства, , необходимо только **самостоятельно указать полный путь и название сохраняемого файла**.

Пример рабочего скрипта (файл сохраняется в D:/FidesysBundle/calc/example.pvd):

```

reset
set node constraint on
create surface rectangle width 10 zplane
create surface circle radius 0.25 zplane
subtract body 2 from body 1
webcut body 1 with plane xplane offset 0
webcut body 1 with plane yplane offset 0
delete Body 1 3
curve 20 22 7 scheme bias fine size 0.01 factor 1.15 start vertex 18 8
mesh curve 20 22 7
surface 7 scheme Polyhedron
mesh surface 7
create displacement on curve 20 dof 2 fix 0
create displacement on curve 7 dof 1 fix 0
create pressure on curve 11 magnitude -1e+06
undo group begin
create material "Material 1" property_group "CUBIT-FEA" description "Материал Гука"
modify material "Material 1" scalar_properties "MODULUS" 2e+11 "POISSON" 0.3
undo group end
set duplicate block elements off
block 1 surface all
block 1 material 'Material 1'
block 1 element type quad8
analysis type static elasticity dim2 planestrain
spectralelement off
    
```

```
usempi off
solver method auto try_other off
output nodalforce on midresults on
calculation start path "D:/FidesysBundle/calc/example.pvd"
```



Также можно запустить файл *Example_5_Static_2D.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

Динамическое нагружение (объёмная модель)

Решается динамическая задача о распространения волны в длинном стержне. Для нее имеется аналитическое решение, которое устанавливает зависимость между скоростью распространения волны в стержне и параметрами материала стержня:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$$

где α – скорость волны, ρ – плотность,

$$\lambda = \frac{vE}{(1+v)(1-2v)},$$

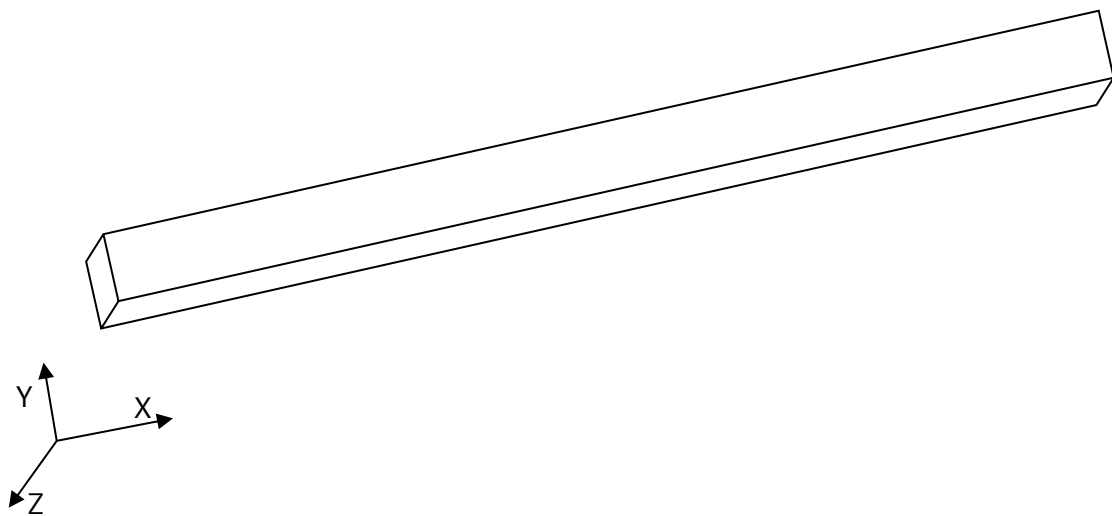
$$\mu = \frac{E}{2(1+v)}$$

E – модуль Юнга,

v – коэффициент Пуассона.

При значениях $E = 200$ ГПа, $\rho = 7900$ кг/м³ и $v = 0.3$ скорость волны, согласно аналитическому решению, составляет 5717.41 м/с.

Геометрическая модель задачи представлена на рисунке ниже:



Длина стержня – 100 м. На боковые грани стержня (параллельные оси X) наложен запрет на перемещение по направлению нормали к этим граням. Левый торец закреплен по оси X. На правый торец внезапно прикладывается давление 100 МПа.

Критерий прохождения теста: напряжение σ_{yy} в точке D равно -5.38МПа с точностью 1.5%.

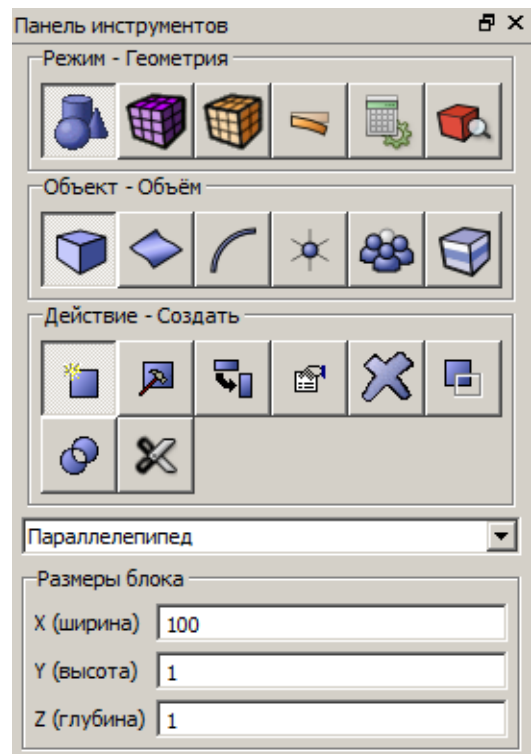
Построение модели

1. Создайте вытянутый параллелепипед.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Блок**. Задайте размеры блока:

- Ширина: 100;
- Высота: 1;
- Глубина: 1.

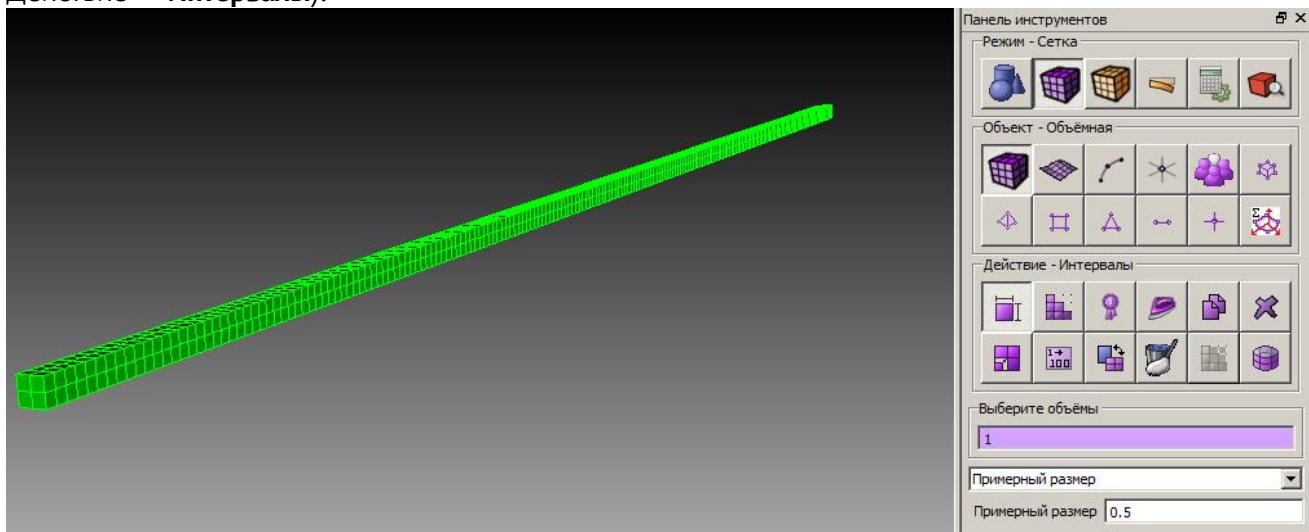
Нажмите **Применить**.



Построение сетки

1. Задайте размер элементов.

На панели команд выберите модуль построения объёмной сетки (Режим – **Сетка**, Объект – **Объёмная**, Действие – **Интервалы**):



- Выберите объёмы (укажите их ID): 1 (или командой **all**);
- Способ построения сетки: Примерный размер;
- Примерный размер: 0.5.

Нажмите **Применить схему**.

Нажмите **Построить сетку**.

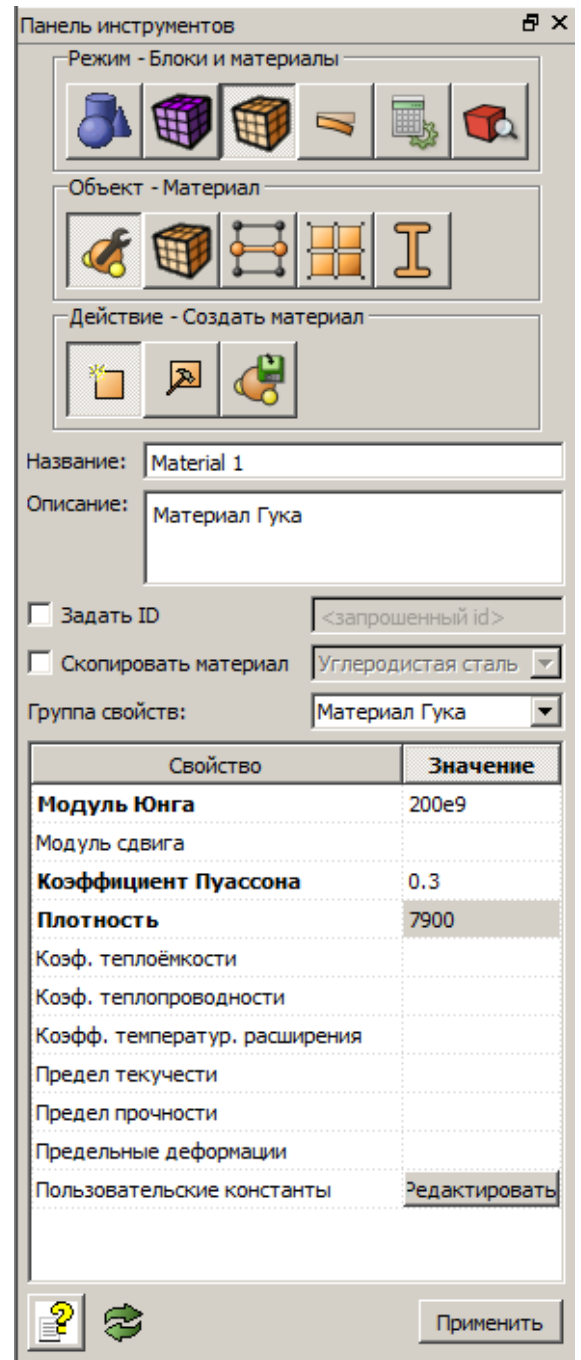
Задание материала и типа элемента

1. Создайте материал.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Материал**, Действие – **Создать материал**). Задайте следующие параметры:

- Название: Material1;
- Описание: Материал Гука
- Группа свойств: Материал Гука;
- Модуль Юнга: 200e9;
- Коэффициент Пуассона: 0.3.
- Плотность: 7900

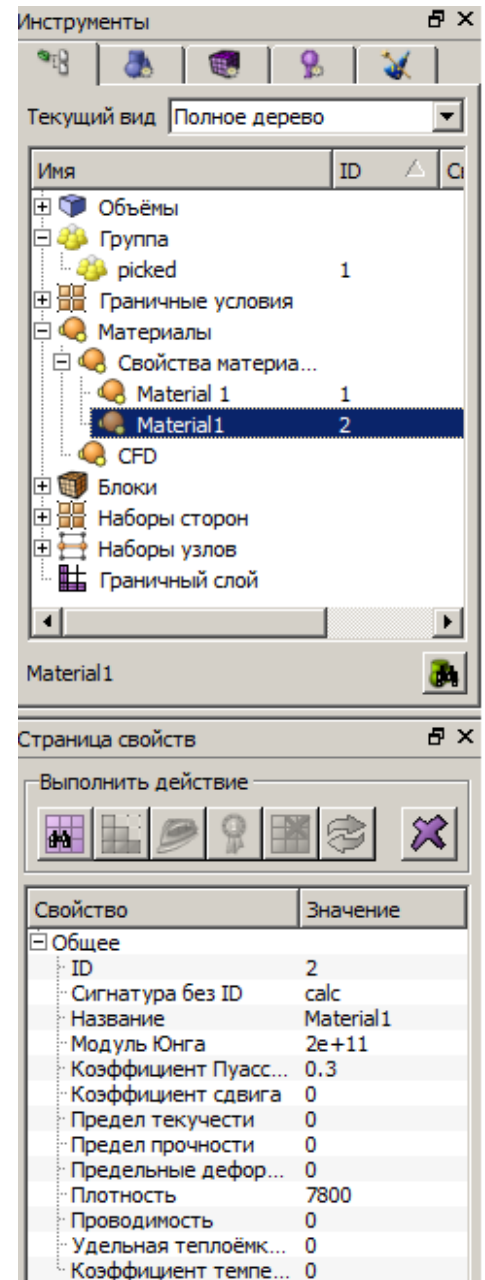
Нажмите **Применить**.



На панели слева отобразился новый материал Material1. Кликните на него, чтобы на странице свойств ниже отобразились константы материалов.

Параметры материалов на странице свойств доступны для редактирования. Кликните левой кнопкой мыши в окно для редактирования напротив надписи Плотность. Удалите значение 7900 и введите новое значение 7800. Нажмите ENTER. После этого в командной строке должно быть выведено сообщение об изменении констант материала:

```
modify material 1 density 7800
```

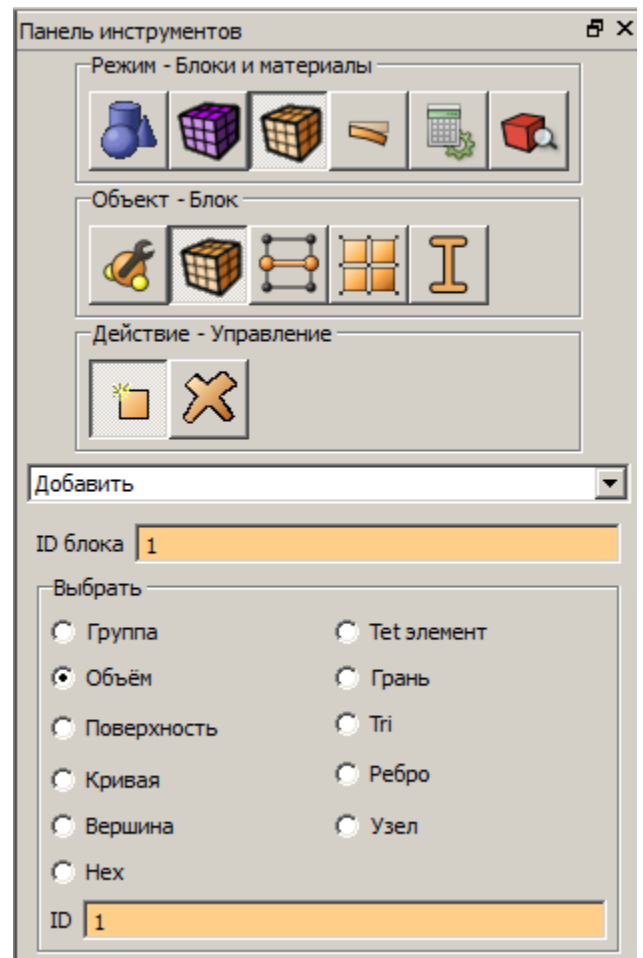


2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Добавить**. Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Выберите объекты, которые будут объединены в блок: **Объём**;
- ID: 1 (или командой **all**).

Нажмите **Применить**.

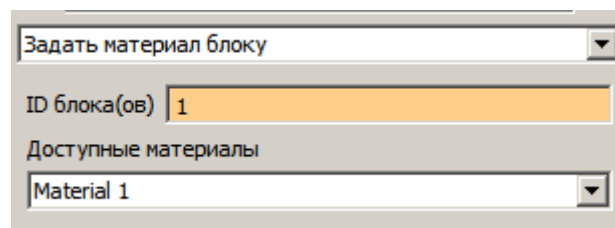


3. Присвойте материал блоку.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Задать материал блоку**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выберите из списка ранее созданный материал: Material 1.

Нажмите **Применить**.

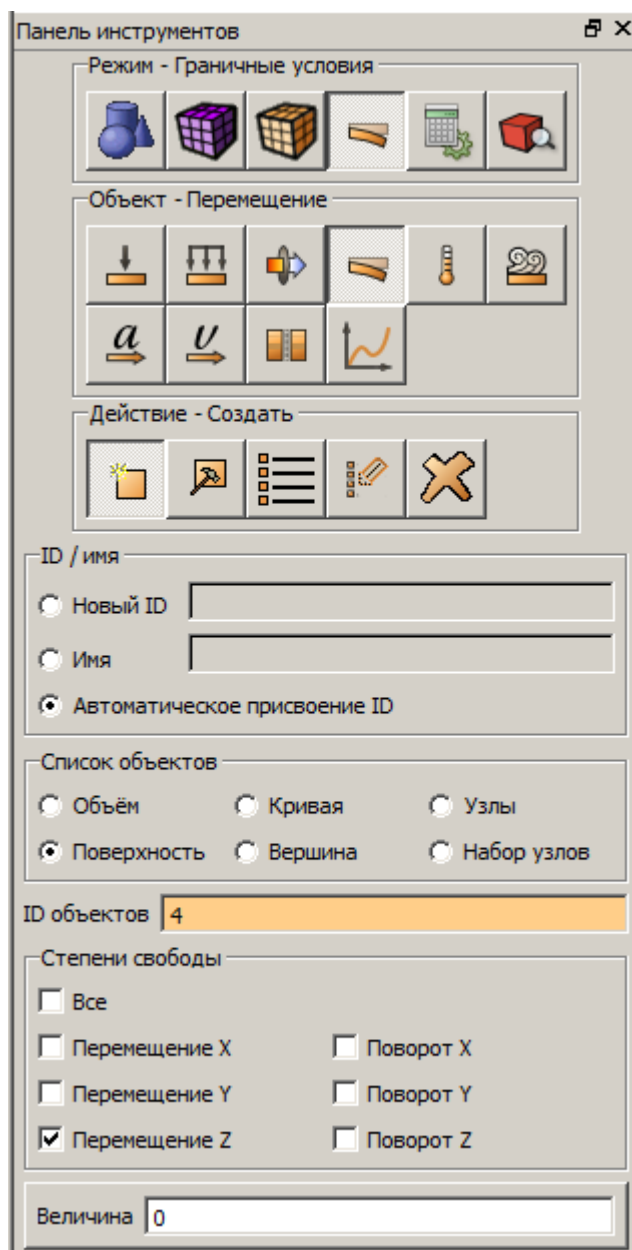
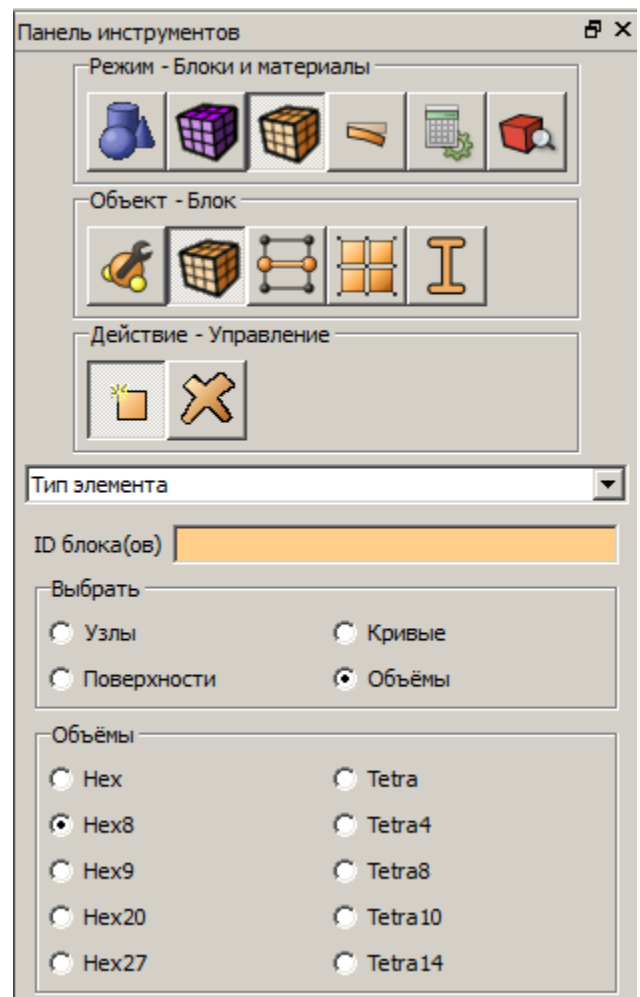


4. Присвойте тип элемента.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Тип элемента**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выбрать: Объёмы;
- Объёмы: HEX8.

Нажмите **Применить**.



Задание граничных условий

1. Закрепите одну боковую грань в направлении X.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 4 (или кликните мышкой по левому торцу балки);
- Степени свободы: Компонента X;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

2. Закрепите две боковые грани вдоль оси Y.

Порядок действий аналогичен предыдущему пункту. На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие –

Создать. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 3 5 (или последовательно кликните по верхней и нижней грани);
- Степени свободы: Компонента Y;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

3. Закрепите две другие боковые грань вдоль оси Z.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 1 2 (или последовательно кликните по двум боковым граням);
- Степени свободы: Компонента Z;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

4. Создайте давление, приложенное к правому торцу стержня.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Давление**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 6;

Значение: 1 .

Важно: Для задач динамики прежде, чем задать зависимость от времени, необходимо создать граничное условие (единичный вектор).

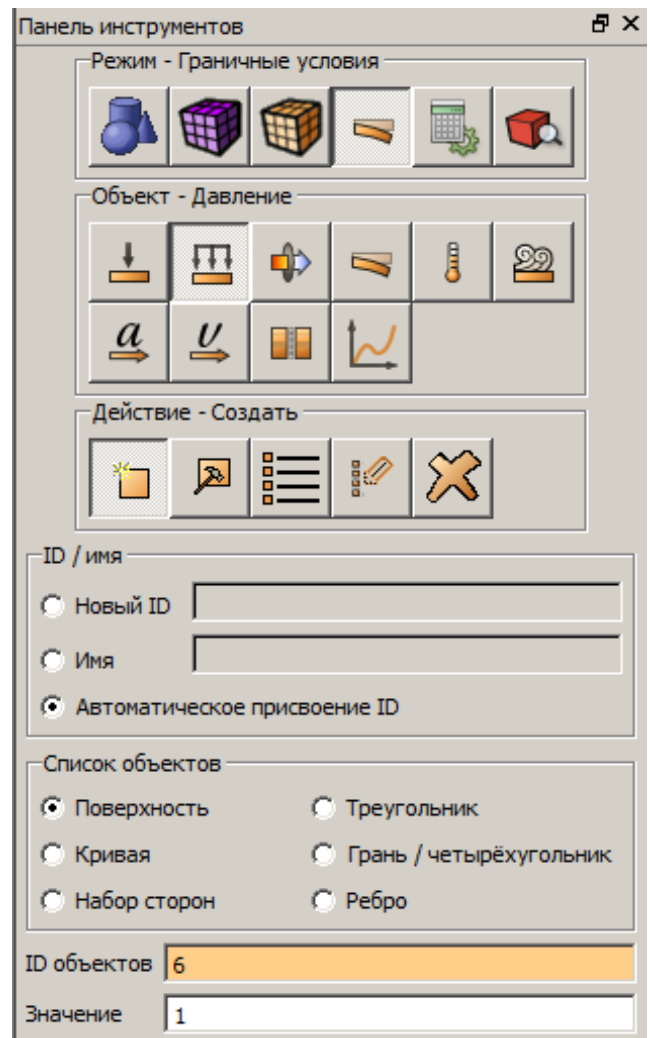
Нажмите **Применить**.

Задание зависимости от времени

1. Задайте зависимость от времени.

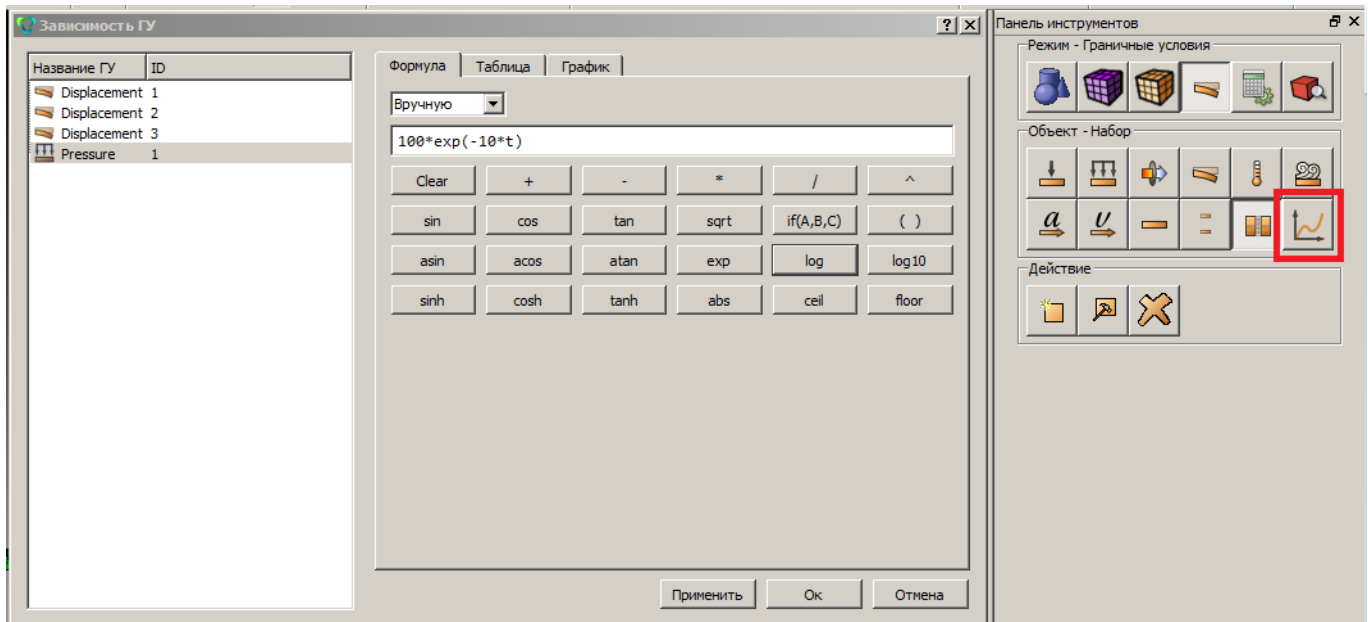
На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Установить зависимость от времени**. В открывшемся окне укажите следующие параметры:

- Название ГУ: Pressure 1;

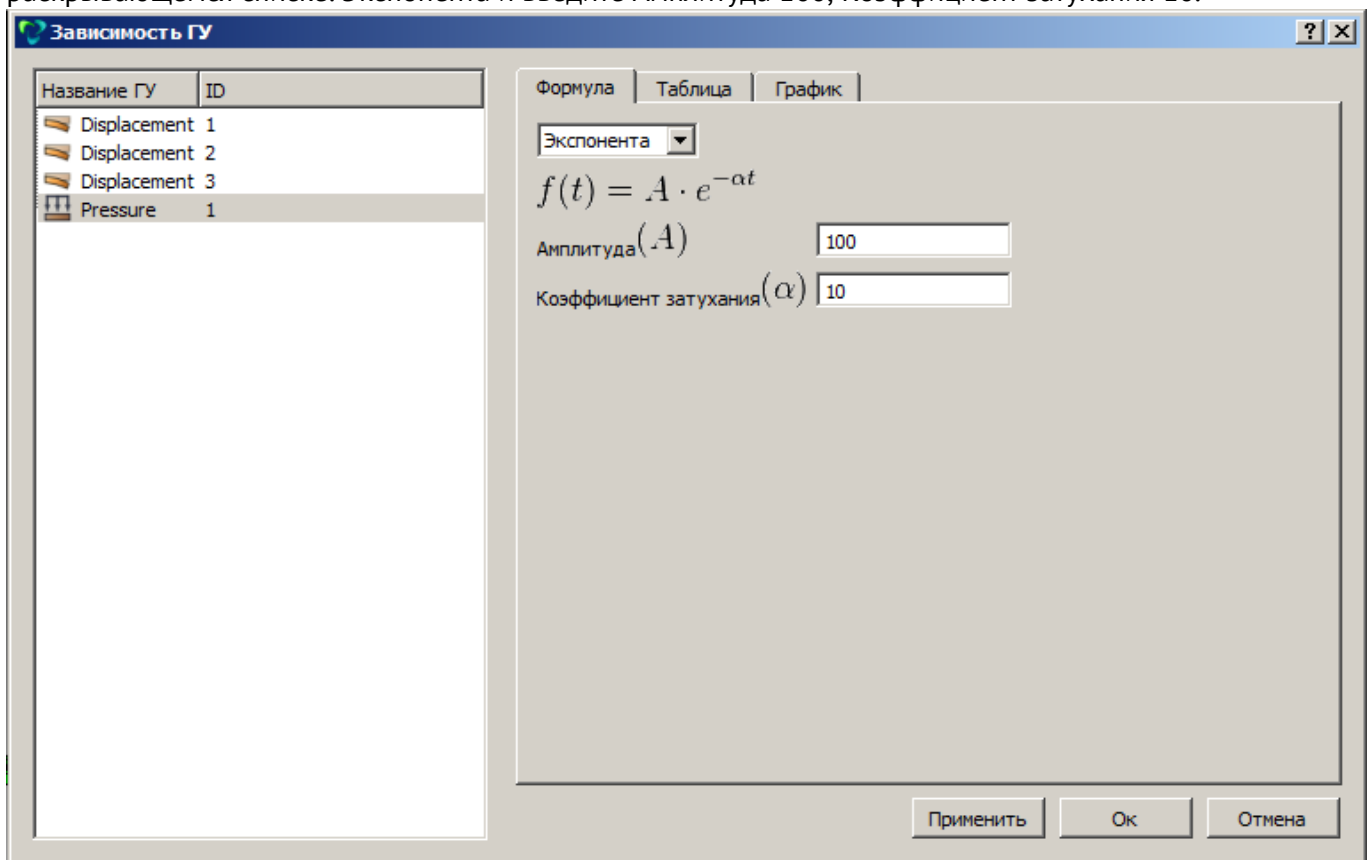


- Вкладка Формула;
- Из раскрывающегося списка выберите: Вручную;
- Величина: $100 \cdot \exp(-10 \cdot t)$.

Нажмите **Применить**.



Данную зависимость можно ввести, используя предустановленные функции. Выберите в раскрывающемся списке: Экспонента и введите Амплитуда 100, Коэффициент затухания 10.



Важно: После нажатия кнопки Применить в командную строку должна быть выведена команда: *bcdep pressure 1 value "100*exp(-10*t)".* Зависимость от времени не сохранится в общем .sub-файле, поэтому желательно сохранить эту команду отдельно для последующих запусков сохраненного расчета.

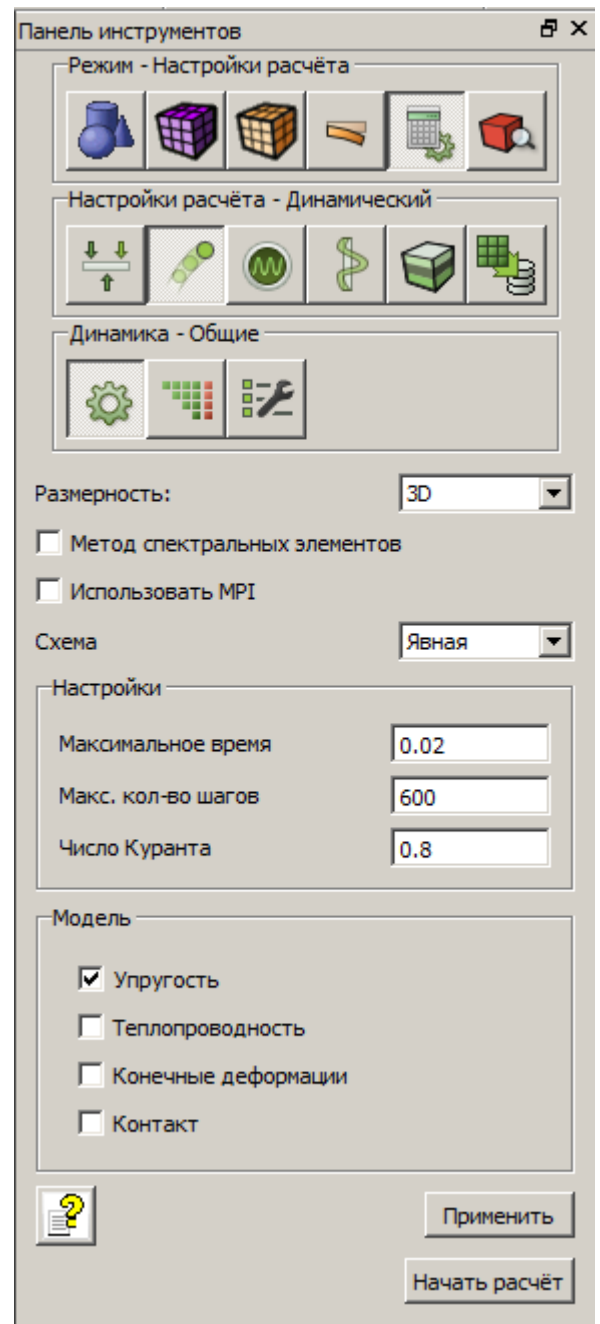
Запуск расчёта

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Динамический**, Динамика – **Общие**). Задайте следующие параметры расчета:

- Размерность: 3D;
- Схема: Явная;
- Максимальное время: 0.02;
- Макс. Кол-во шагов: 600;
- Число Куранта: 0.8;
- Модель: Упругость

Нажмите **Применить**.



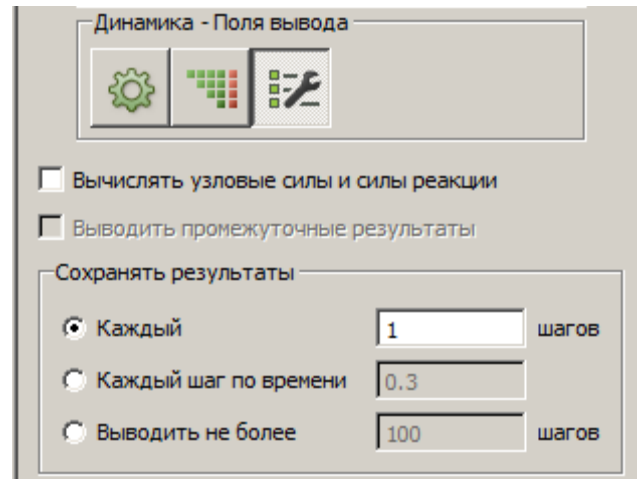
2. Задайте настройки полей вывода.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Динамический**, Динамика – **Поля Вывода**). Задайте следующие параметры расчёта:

- Сохранять результаты – Каждый 1 шаг;

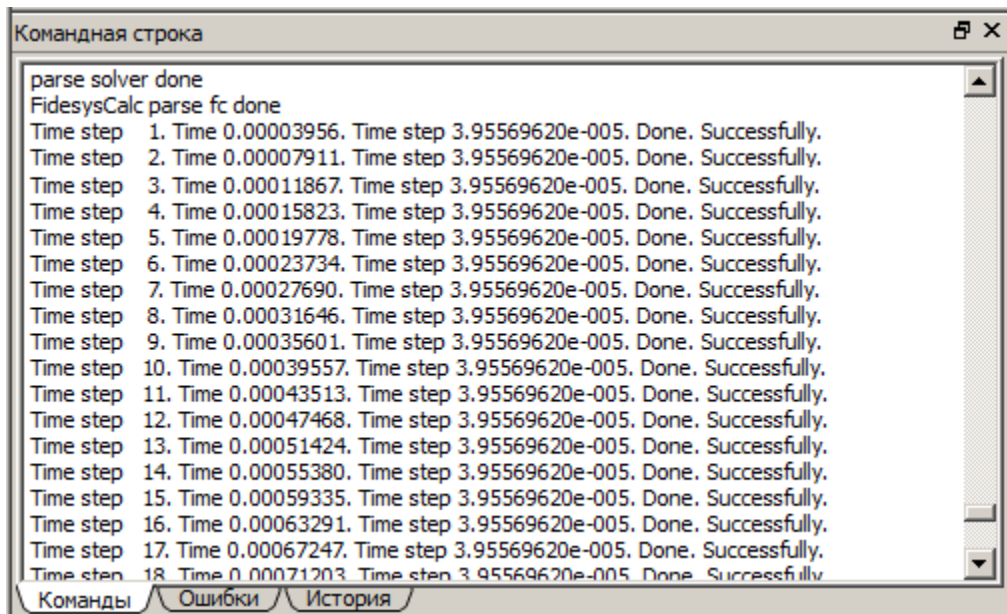
Нажмите **Применить**.

Нажмите **Начать расчет**.

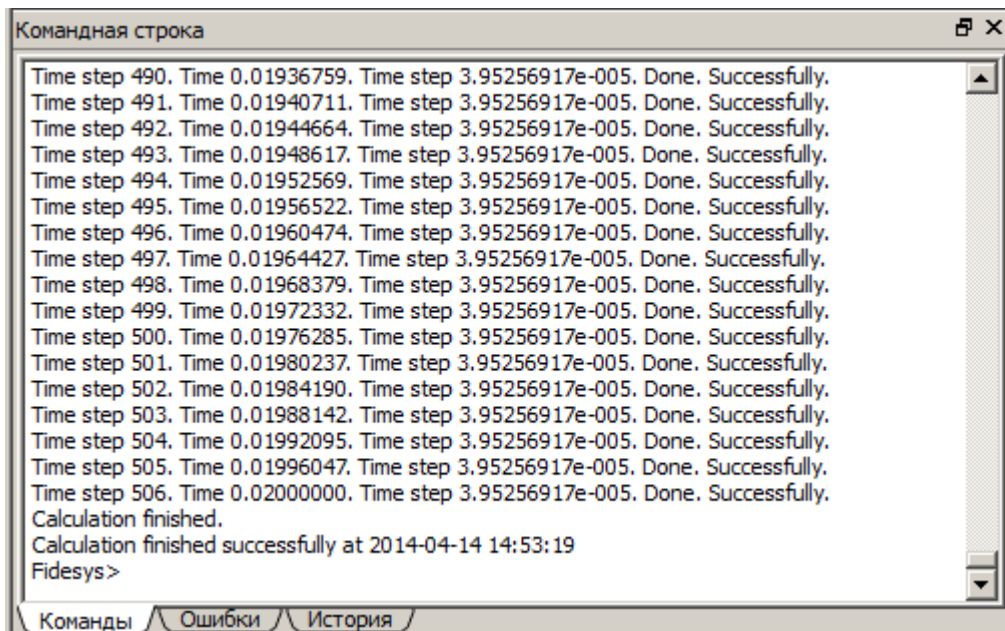


3. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат, и введите название файла.

4. В процессе расчета в командную строку будут выводиться номер шага по времени, текущее время для шага и шаг по времени для данного шага.



5. В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: *“Calculation finished successfully at <date> <time>”*.

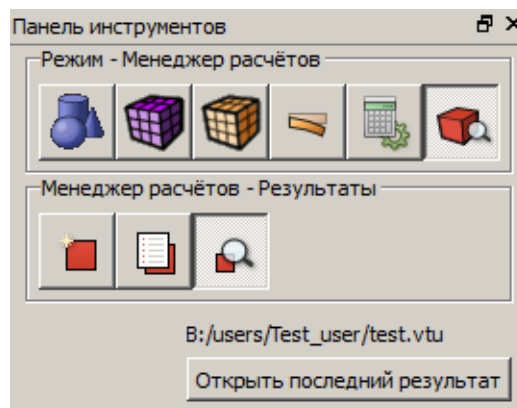
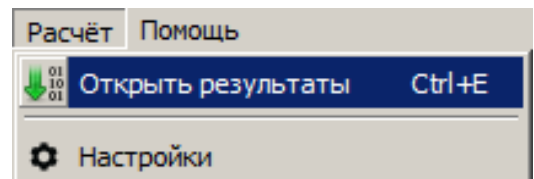


В данном случае было сделано 506 шагов до достижения заданного максимального времени 0.02 сек.

Анализ результатов

1. Откройте файл с результатами. Это можно сделать тремя способами.

- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите **Расчёт** → **Результаты**. Нажмите **Открыть последний результат**.
- На панели команд выберите менеджер расчётов (Режим – **Менеджер расчётов**, Менеджер расчётов – **Результаты**). Нажмите **Открыть результаты**.



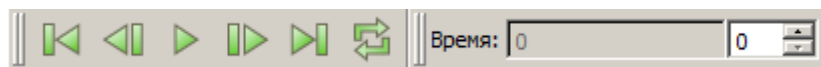
2. Отобразите компоненту XX поля напряжений.

В появившемся окне **Fidesys Viewer** на панели инструментов установите следующие параметры:

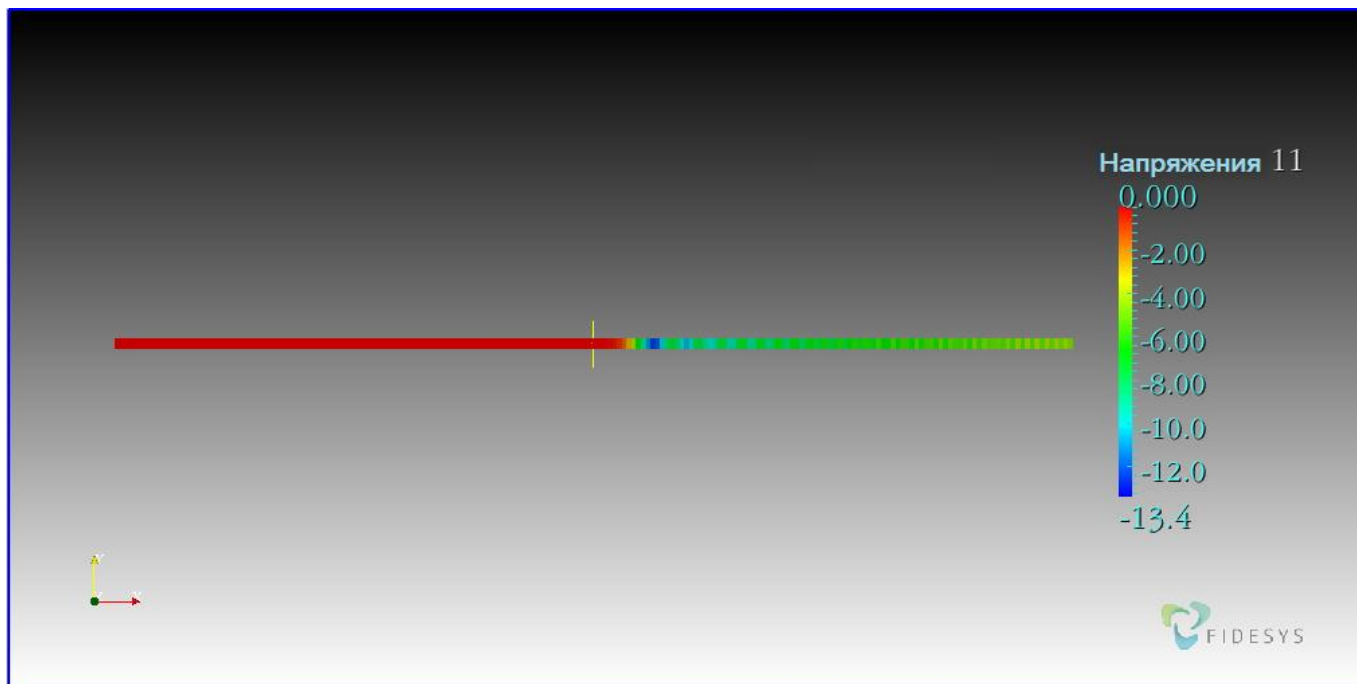
- Тип отображения: Поверхность;
- Поле отображения: Напряжения;
- Компонента отображения: 11.



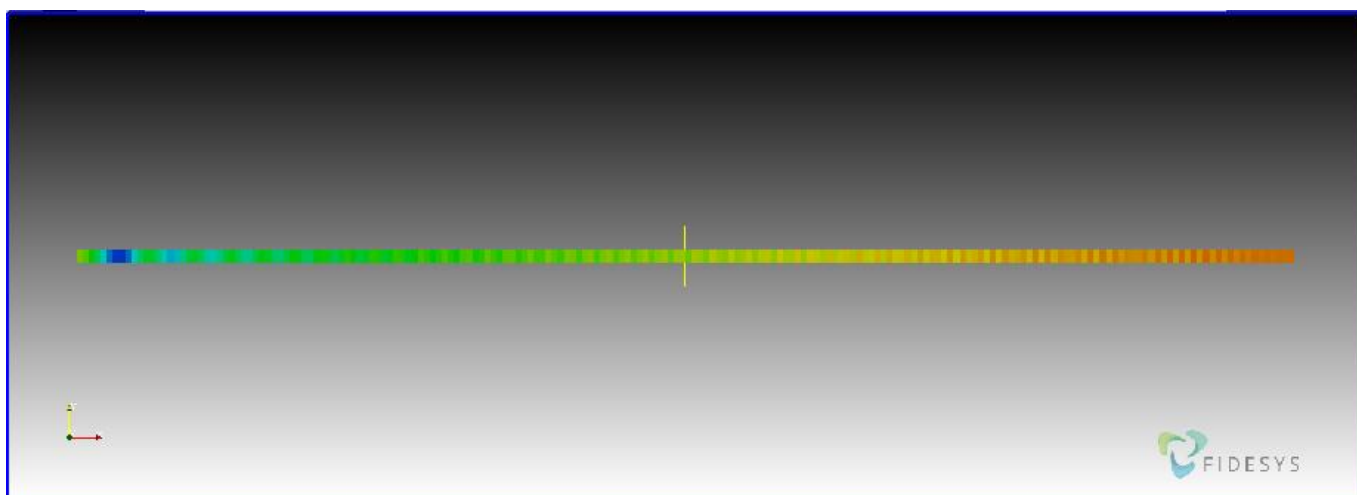
3. На панели инструментов есть меню, с помощью которого можно просмотреть анимацию, составленную из последовательности решений, рассчитанных для каждого конкретного момента времени. Нажмите кнопку «Play», чтобы запустить анимацию.



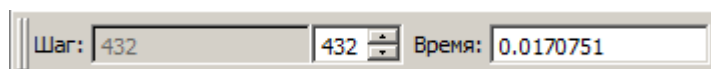
При этом будет отчетливо видно, как по стержню распространяется волна деформации (см. рисунок ниже, скриншот сделан для шага по времени с номером 200).



4. Зафиксируйте момент, когда волна дойдет до второго конца стержня, нажав на кнопку «Pause».



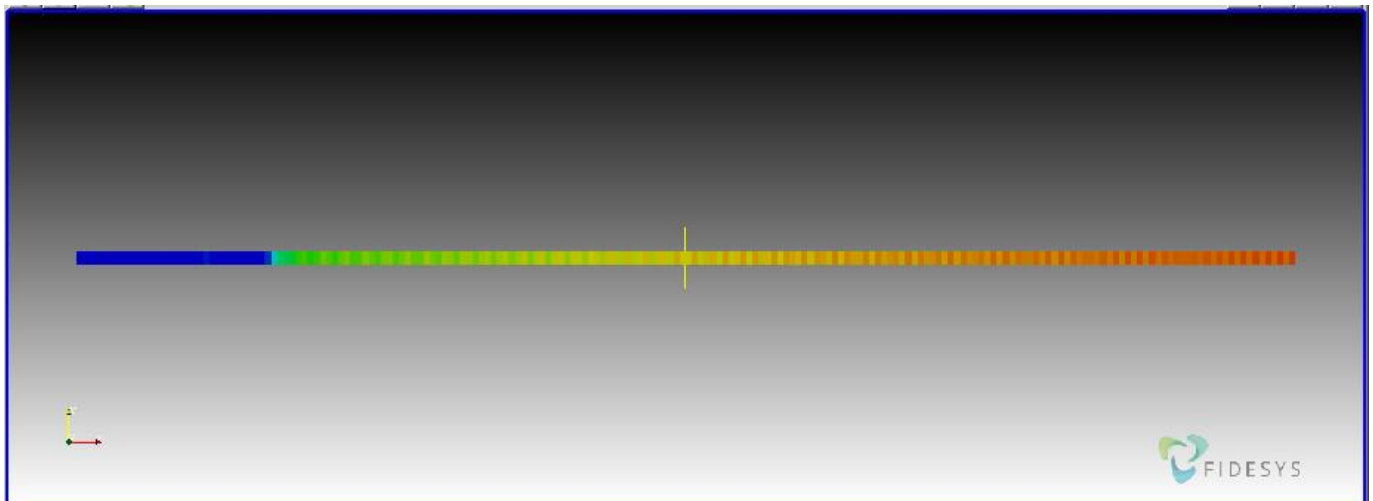
Обратите внимание на номер файла:



Определите общее количество файлов, нажав на кнопку «Последний кадр»



Шаг: 506 506 Время: 0.02



Учитывая время моделирования, которое указано при настройке расчета (0.02 с), можно найти скорость распространения волны в стержне, учитывая пройденный путь волны до противоположной грани балки и время достижения волной этой грани:

$$c = \frac{L_{\text{пройд.}}}{t} = \frac{100}{\frac{0.02}{506} \cdot 432} \approx 5856.48$$

Это значение отличается от полученного аналитически на 2.43%.

Использование консольного интерфейса

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса. Ниже приведён код программы, позволяющий выполнить шаги описанного выше руководства, необходимо только **самостоятельно указать полный путь и название сохраняемого файла**.

Пример рабочего скрипта (файл сохраняется в D:/FidesysBundle/calc/example.pvd)

```

reset
set node constraint on
brick x 100 y 1 z 1
volume 1 size 0.5
volume 1 size 0.5
mesh volume 1
undo group begin
create material "Material 1" property_group "CUBIT-FEA" description "Материал Гука"
modify material "Material 1" scalar_properties "MODULUS" 2e+11 "POISSON" 0.3 "DENSITY"
7900
undo group end
set duplicate block elements off
block 1 volume 1
block 1 material 'Material 1'
block 1 element type hex8
create displacement on surface 4 dof 1 fix 0
create displacement on surface 3 5 dof 2 fix 0
create displacement on surface 1 2 dof 3 fix 0
create pressure on surface 6 magnitude 1
    
```

```
bcdep pressure 1 value '100*exp(-10*t)'  
analysis type dynamic elasticity dim3  
dynamic scheme explicit maxtime 0.02 maxsteps 600 courant 0.8  
spectralelement off  
usempi off  
output nodalforce off midresults on results everystep 1  
output nodalforce off midresults on results everystep 1  
calculation start path "D:/FidesysBundle/calc/example.pvd"
```



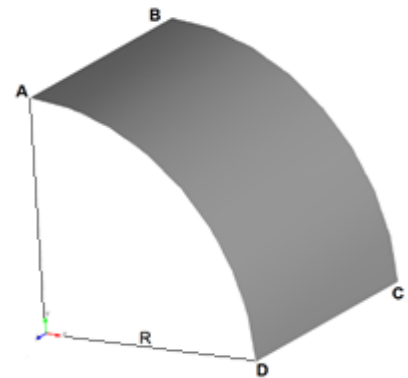
Также можно запустить файл *Example_6_Dynamic_3D.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

Задача устойчивости (оболочечная модель)

S.P. Timoshenko, J.M. Manages "Theory of elastic stability" second edition. Dunod, 1966, 500 pages

Решается задача об устойчивости цилиндрической оболочки при действии давления, равномерно распределенного по всей поверхности.

Геометрическая модель задачи представлена на рисунке: $R = 2$ м, $L = 2$ м, толщина $h = 0.002$ м. В виду симметрии задачи рассматривается четверть цилиндра. Закрепления на прямых АВ и CD из условий симметрии, равномерно распределенная нагрузка по поверхности ABCD $q = 1$ кПа. Параметры материала $E = 200$ ГПа, $\nu = 0.3$.



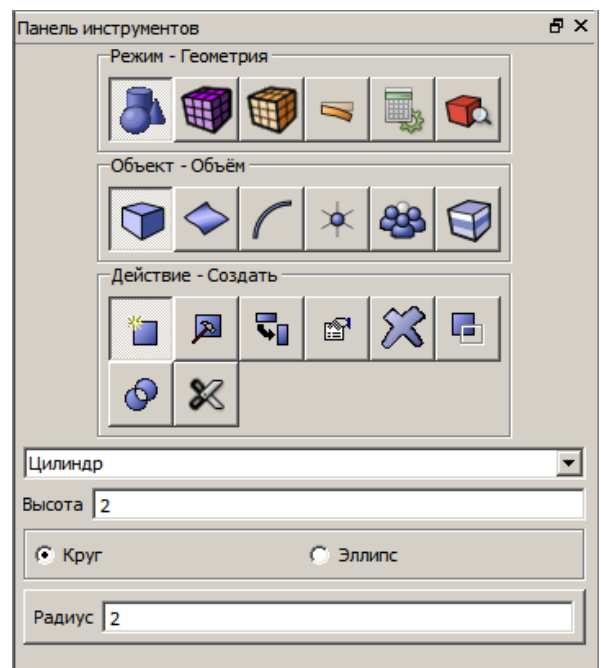
Требуется сравнить первые три коэффициента критической нагрузки.

Построение модели

1. Создайте цилиндр радиусом 2 м с длиной образующей 2 м.

На панели инструментов выберите модуль построения объемной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Цилиндр**. Постройте, оставляя **Круг** в основании. Задайте радиус 2 и высоту 2.

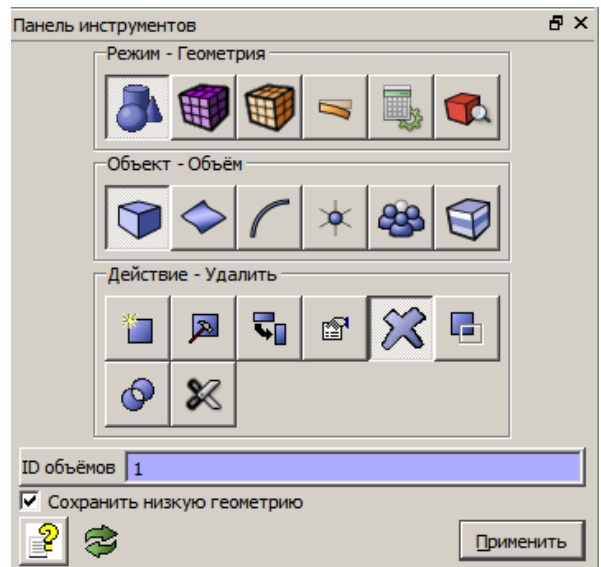
Нажмите **Применить**.



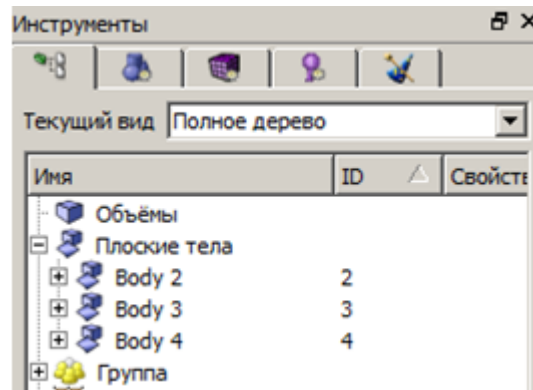
2. Получите из объемного цилиндра цилиндрическую оболочку.

На панели инструментов выберите модуль удаления объемов (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Удалить**). В поле **ID объемов** введите номер созданного объема – 1. Поставьте галочку напротив **Сохранить геометрию более низкого порядка**.

Нажмите **Применить**.



В результате получили три плоских тела Body 1, Body 2, Body 3. Это будет отражено в дереве объектов.

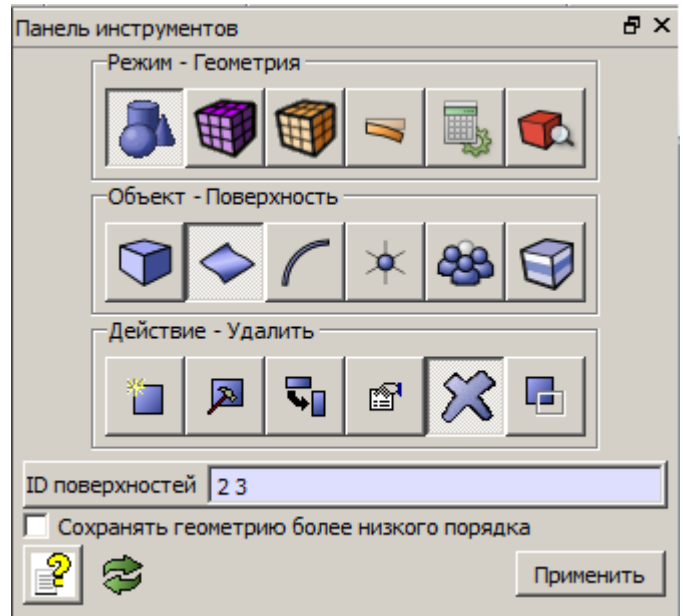


Удалите боковые плоскости Body 3 и Body 4.

На панели инструментов выберите модуль удаления поверхностей (Режим – **Геометрия**, Объект – **Поверхность**, Действие – **Удалить**). В окне **ID поверхностей** введите номера – 2 3.

Нажмите **Применить**.

В результате от исходного объема осталась только боковая цилиндрическая оболочка радиусом 2 м и длиной образующей 2 м.

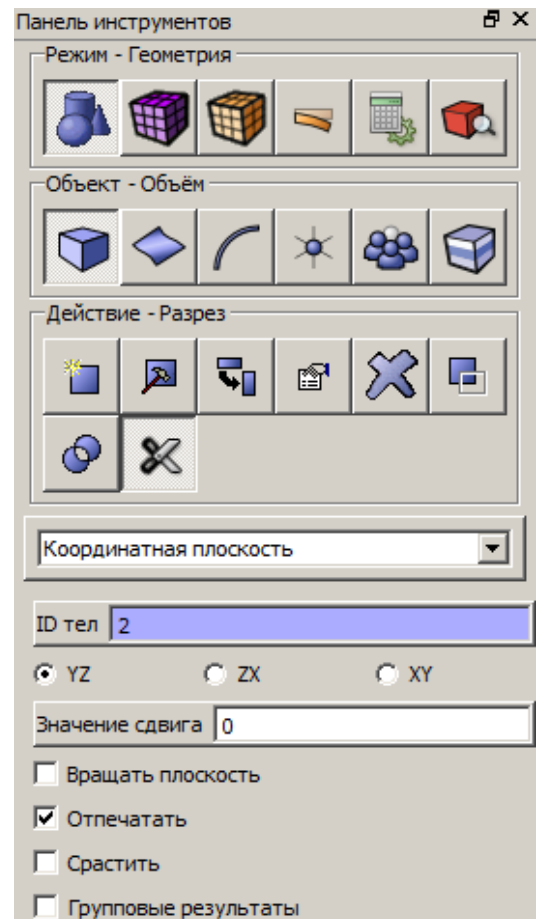


3. Оставьте четверть оболочки (симметрия задачи).

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Разрез**). Из списка возможных видов разрезов выберите пункт **Координатная Плоскость**. Задайте следующие параметры:

- ID тел: 2 (*тело, которое будет разрезано*);
- Разрезать: Плоскость YZ;
- Значение сдвига: 0;
- Отпечатать.

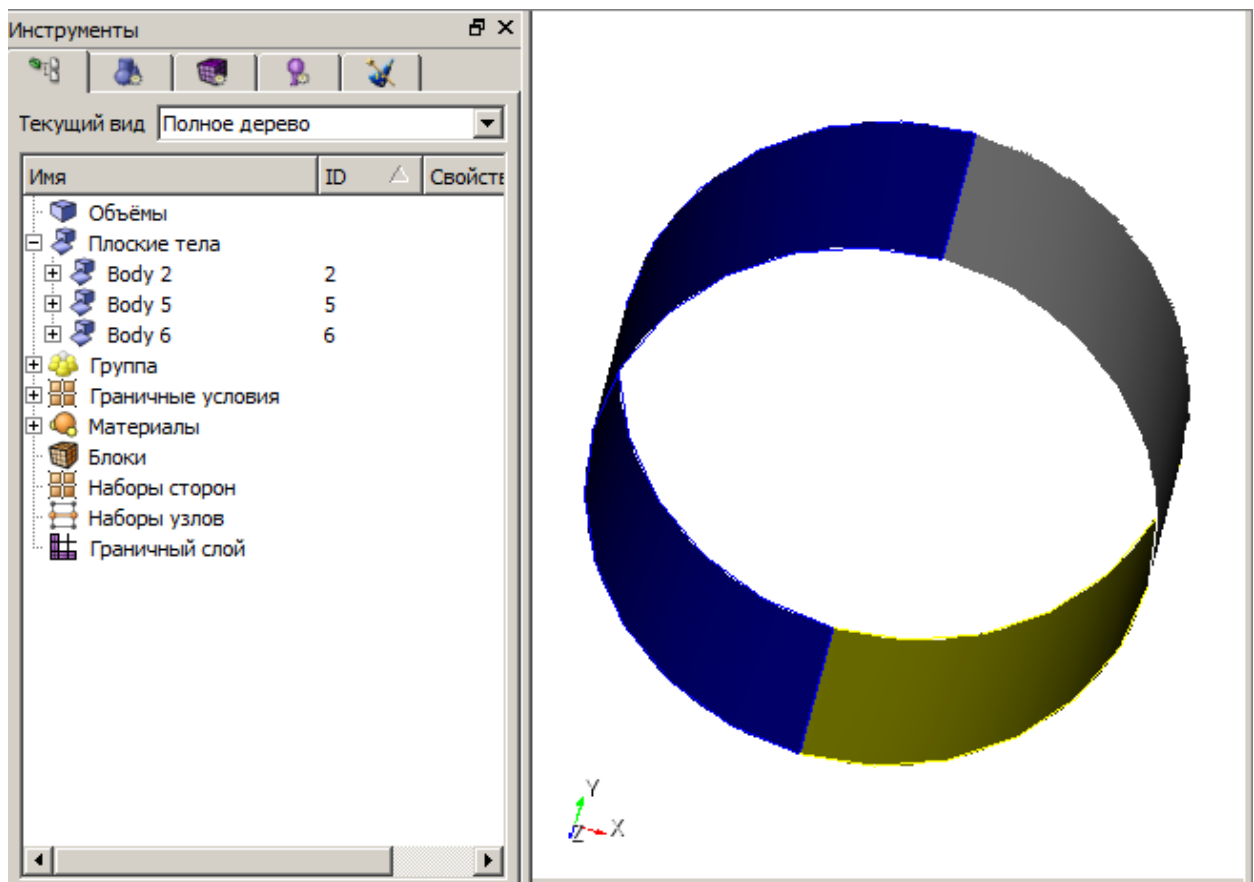
Нажмите **Применить**.



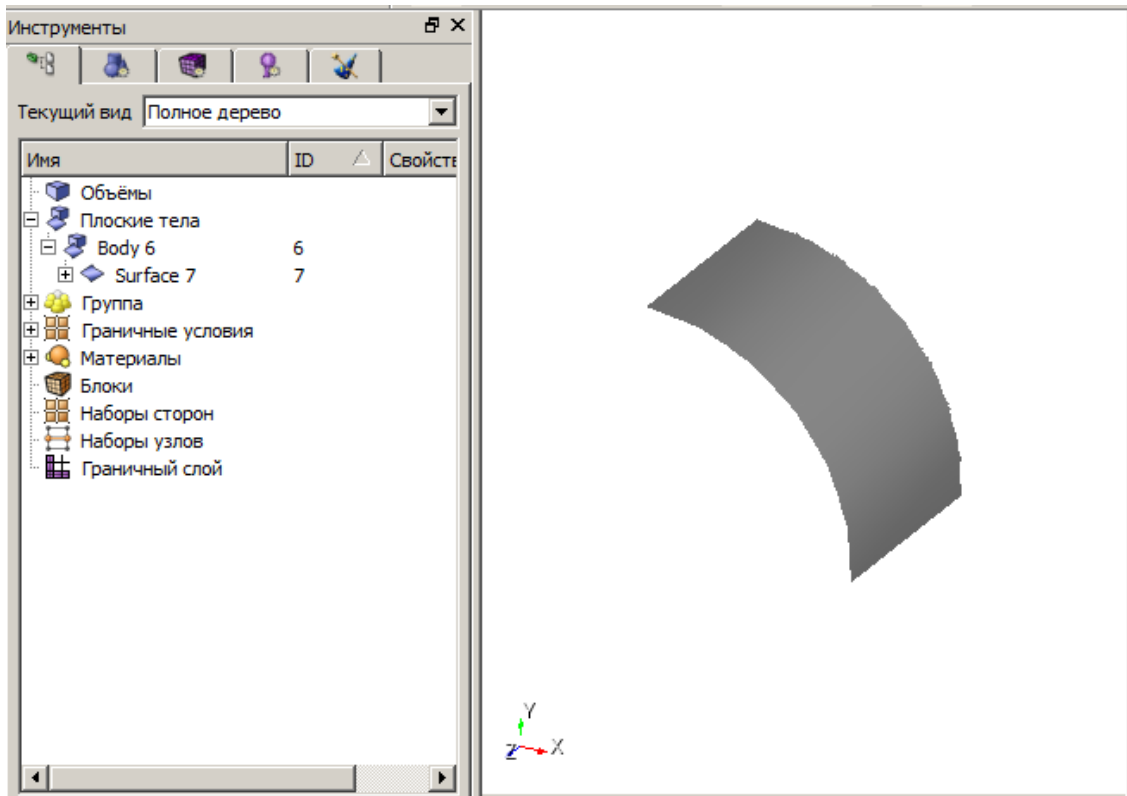
Проделайте то же самое, но в плоскости ZX.

- ID объёмов: 2 (*объём, который будет разрезан*);
- Разрезать: Плоскость ZX;
- Значение сдвига: 0;
- Отпечатать.

Нажмите **Применить**.



В результате исходное Body 2 в дереве объектов будет поделено на три тела (Body 2, Body 5 и Body 6). Удалите тела 2 и 5. Для этого, удерживая клавишу Ctrl, выберите в дереве объектов эти тела и в контекстном меню нажмите **Удалить**. В результате останется четверть первоначальной оболочки (Body 6):



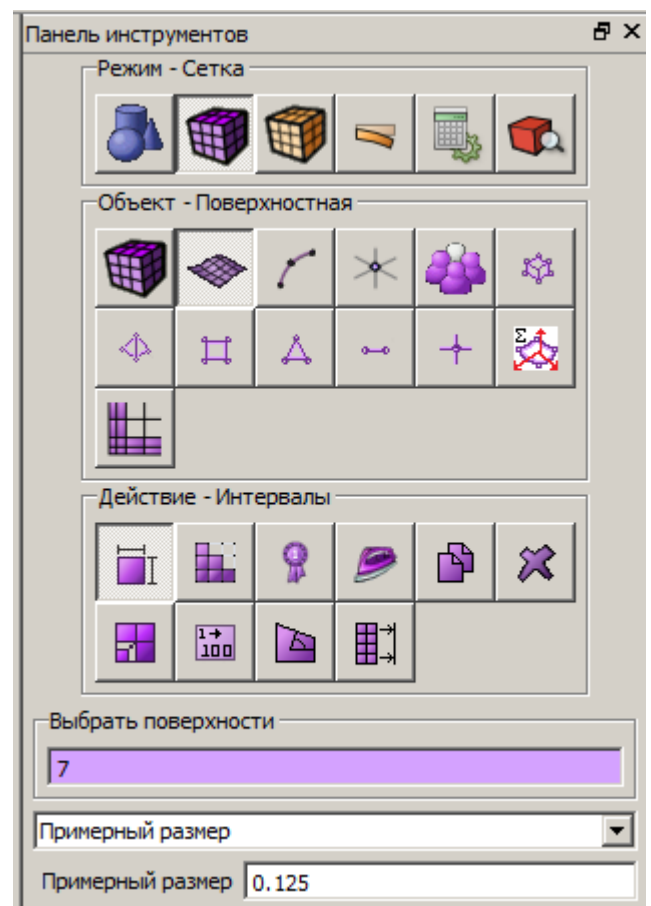
Построение сетки

4. Постройте четырехугольную сетку.

На панели команд выберите модуль построения сетки на плоскости (Режим – **Сетка**, Объект – **Поверхностная**, Действие – **Интервалы**). Укажите степень измельчения сетки:

- Выбрать поверхности: 7;
- Выберите способ построения сетки:
Примерный размер;
- Укажите примерный размер: 0.125.

Нажмите **Применить**.

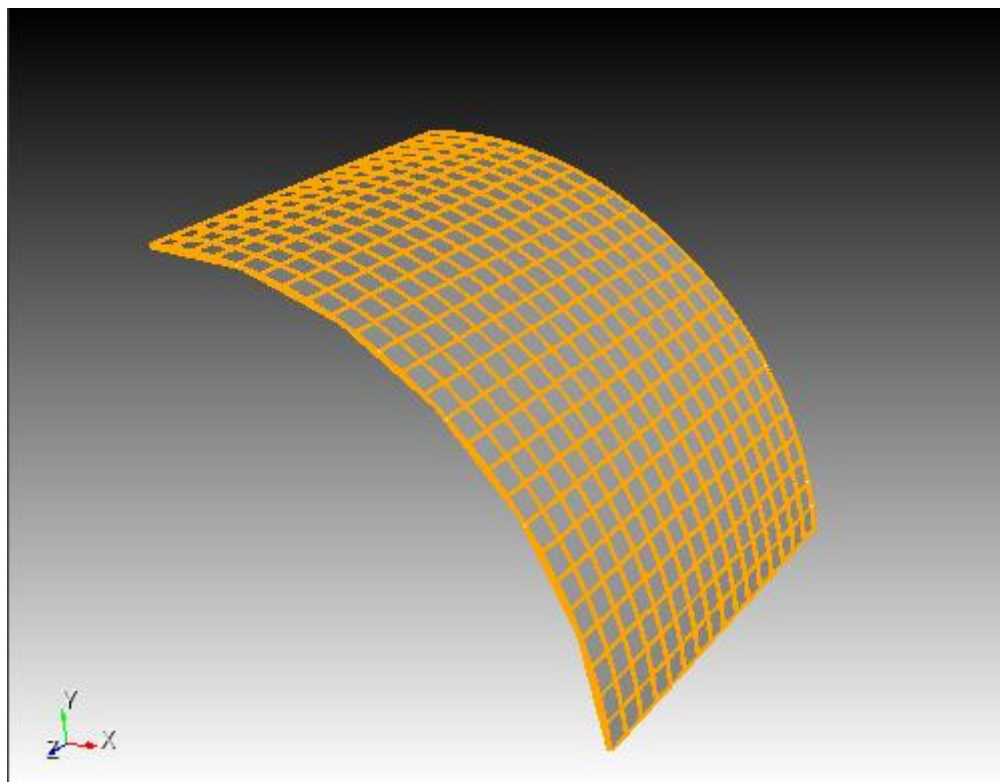
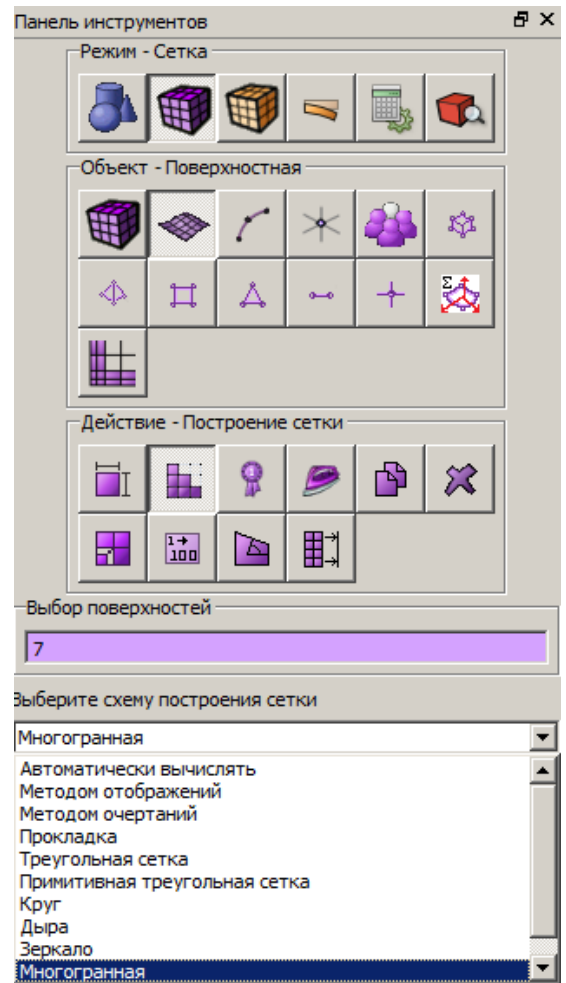


На панели команд выберите модуль построения сетки на плоскости (Режим – **Сетка**, Объект – **Поверхностная**, Действие – **Построение сетки**). Укажите схему построения сетки:

- Выбрать поверхности: 7;
- Выберите схему построения сетки: Многогранная;

Нажмите **Применить**.

Нажмите **Сетка**.



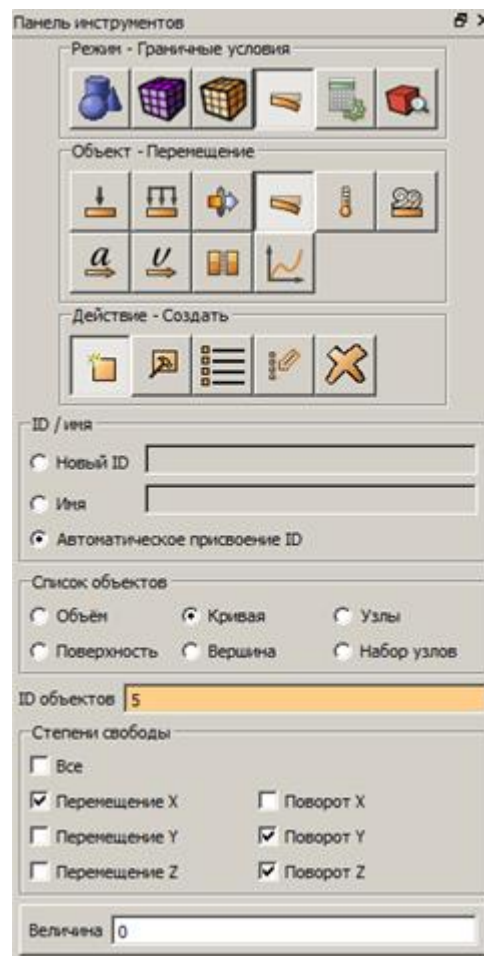
Задание граничных условий

1. Закрепите прямую АВ из условий симметрии.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: **Кривая**;
- ID объектов: 5 (или кликните мышью по верхней прямой на четверти оболочки);
- Степени свободы: Перемещение X, Поворот Y, Поворот Z;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

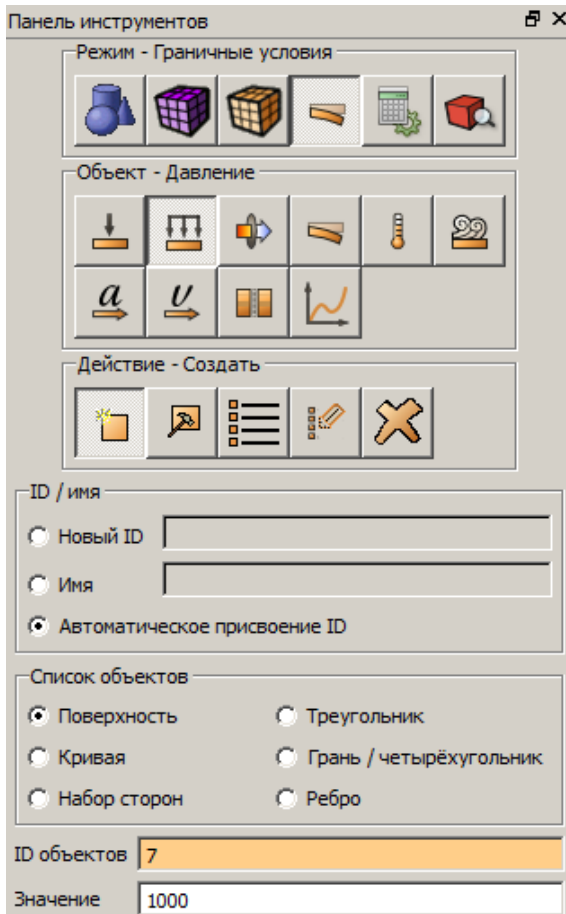
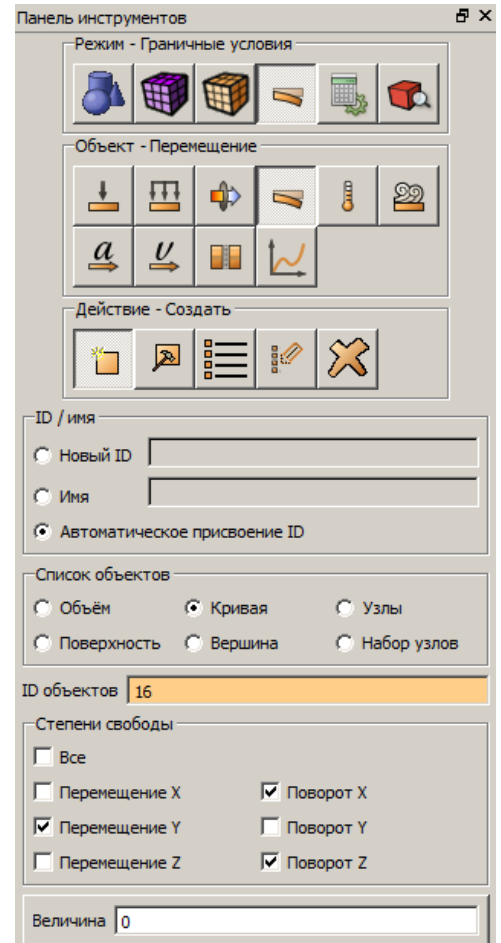


2. Закрепите прямую CD из условий симметрии.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: **Кривая**;
- ID объектов: 16 (или кликните мышью по нижней прямой на четверти оболочки);
- Степени свободы: Перемещение Y, Поворот X, Поворот Z;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.



Приложите давление на всю поверхность оболочки.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Давление**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: **Поверхность**;
- ID объектов: 7 (или кликните мышью по поверхности оболочки);
- Значение: 1000.

Нажмите **Применить**.

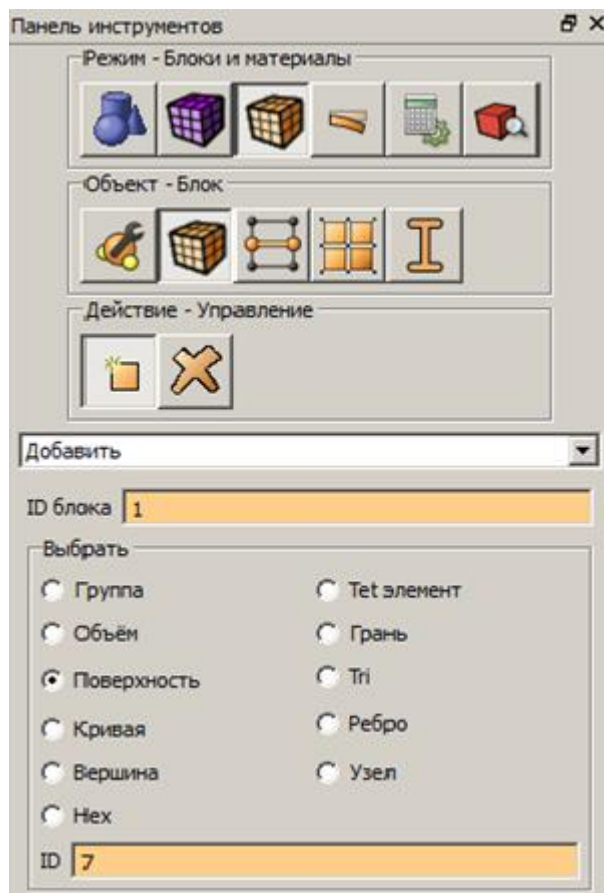
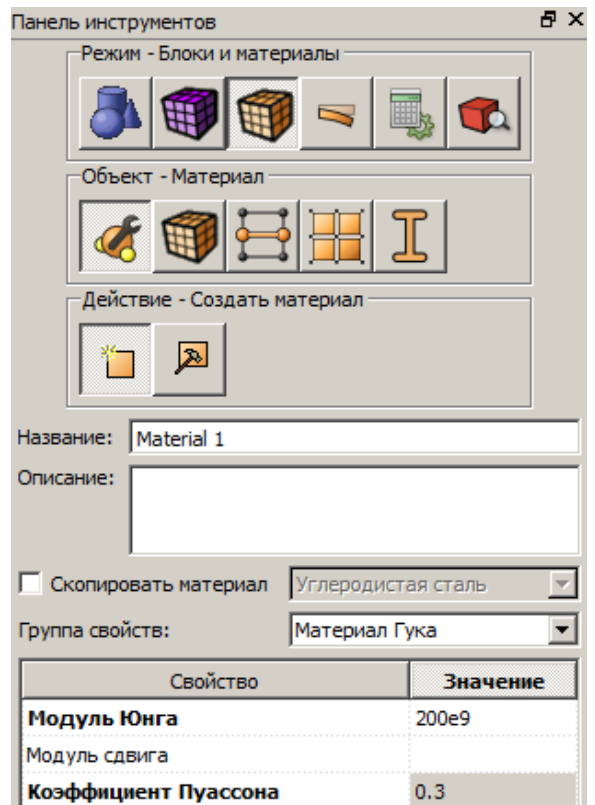
Задание материала и типа элемента

1. Создайте материал.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Материал**, Действие – **Создать материал**). Задайте следующие параметры:

- Название: Material 1;
- Группа свойств: Материал Гука;
- Модуль Юнга: 200e9;
- Коэффициент Пуассона: 0.3.

Нажмите **Применить**.



2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Добавить**. Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Выберите объекты, которые будут объединены в блок: **Поверхность**;
- ID: 7 (или командой **all**).

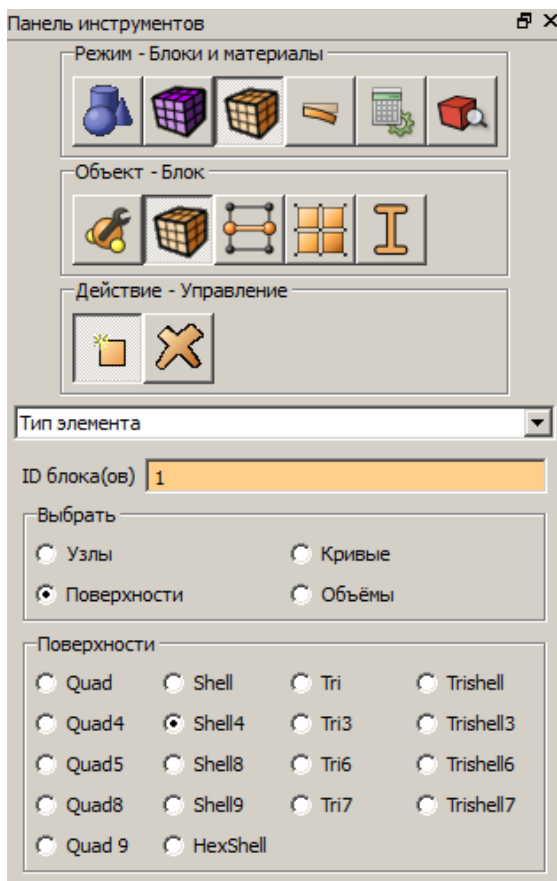
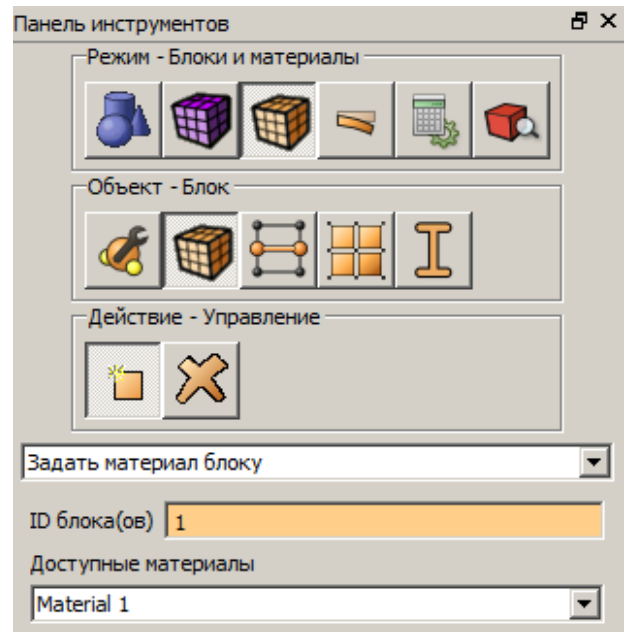
Нажмите **Применить**.

3. Присвойте материал блоку.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Задать материал блоку**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выберите из списка ранее созданный материал: Material 1.

Нажмите **Применить**.



4. Присвойте тип элемента.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Тип элемента**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выбрать: **Поверхности**;
- Элементы: Shell4.

Нажмите **Применить**.

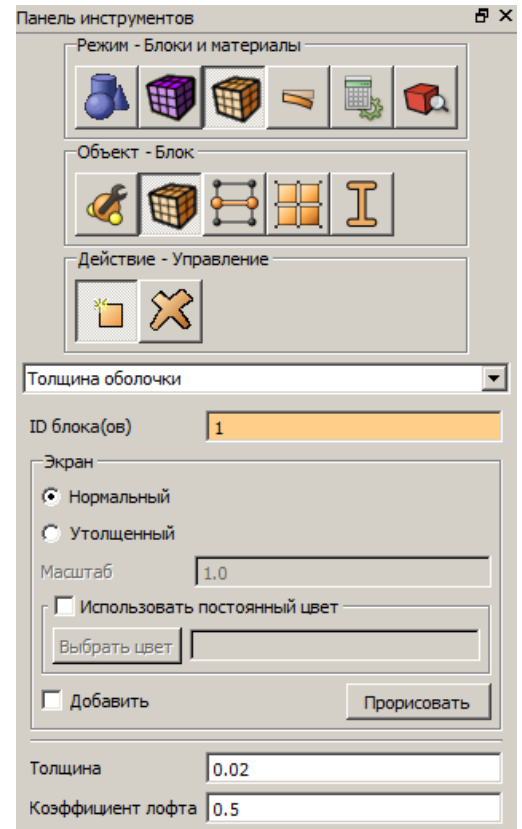
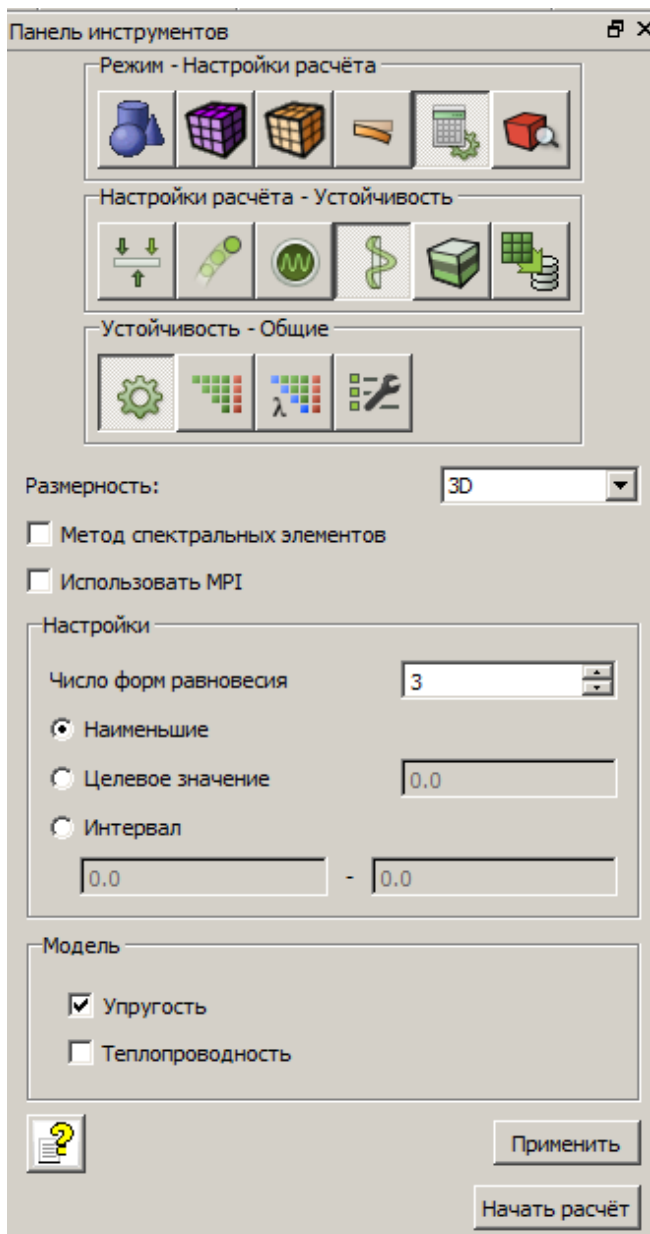
Задание толщины оболочки

1. Задайте толщину оболочки.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Толщина оболочки**. Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Толщина: 0.02;
- Коэффициент лофта: 0.5;

Нажмите **Применить**.



Запуск расчёта

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Устойчивость**, Устойчивость – **Общие**). В поле **Число форм равновесия** введите – 3. Остальные параметры оставьте по умолчанию. Нажмите **Применить**. Нажмите **Начать расчёт**.

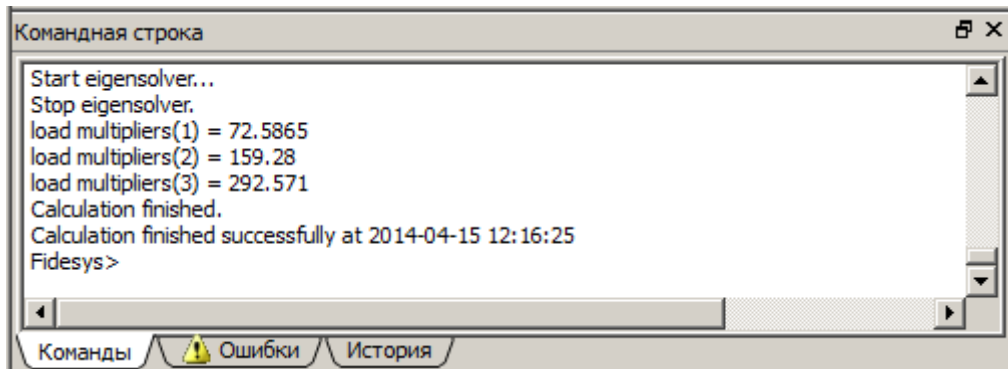
В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат, и введите название файла.

В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: *“Calculation finished successfully at <date> <time>”*.

Анализ результатов

1. Сравните полученные результаты

Первые три коэффициента критической нагрузки выводятся в Командную строку.

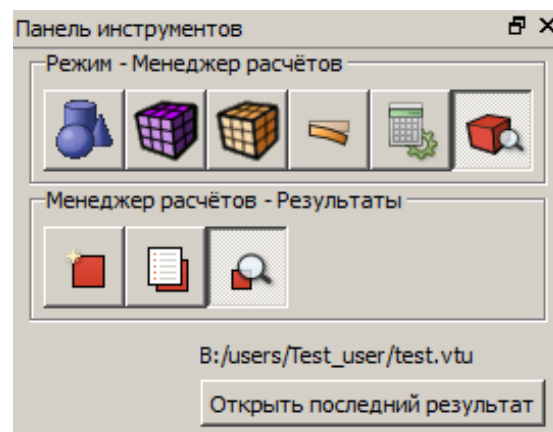


Сравните полученные результаты с результатами, приведенными в таблице:

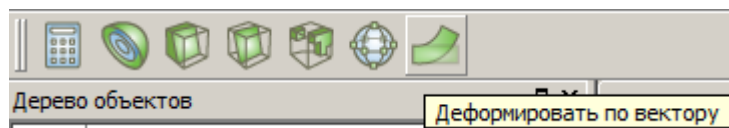
№	Теор.значение	FIDESYS	
1	72.260	72.5865	0.45%
2	164.835	159.28	3.37%
3	293.040	292.571	0.16%

2. Откройте файл с результатами. Это можно сделать тремя способами.

- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите **Расчёт** → **Результаты**. Нажмите **Открыть последний результат**.
- На панели команд выберите менеджер расчётов (Режим – **Менеджер расчётов**, Менеджер расчётов – **Результаты**). Нажмите **Открыть результаты**.



3. В появившемся окне **Fidesys Viewer** отобразите фильтр **Деформировать по вектору**.

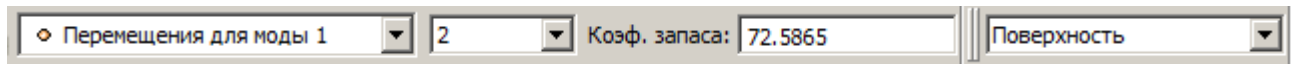


4. В появившемся фильтре **Деформировать по вектору** во вкладке **Свойства** выберите следующие значения полей

- **Вектора:** Перемещения для моды 1
- **Множитель масштаба:** 10


5. Отобразите Перемещения для моды 1.

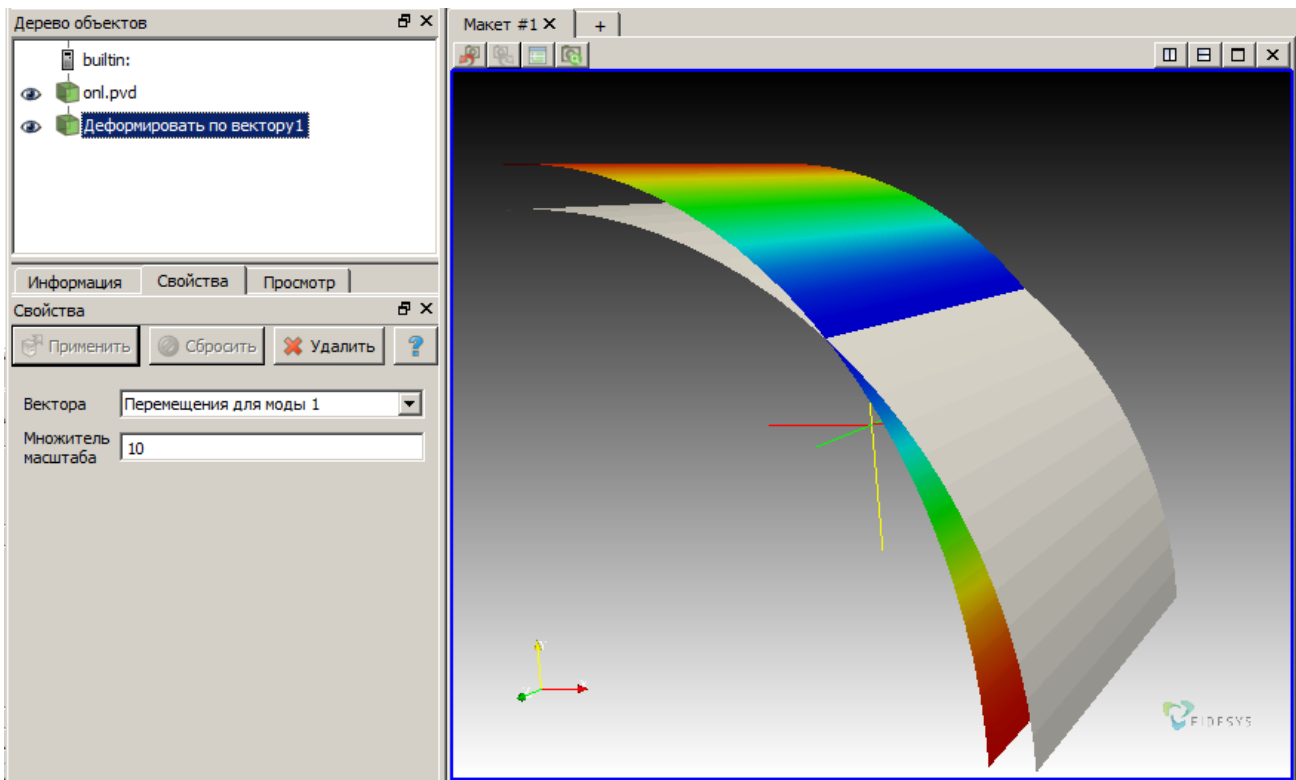
На панели инструментов установите следующие параметры:



Удостоверьтесь, что в окне **Коэф.запаса** отобразился искомый первый коэффициент критической нагрузки.

6. Просмотр результата

В результате отобразится деформированное тело. Для того, чтобы посмотреть начальную модель, можно нажать на значок  рядом с этой моделью в дереве объектов. На картинке ниже представлена деформированная (сплошная серая заливка) и исходная модель (с полем распределения Перемещений для моды 1).

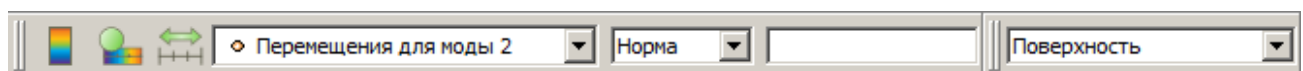


7. В фильтре **Деформировать по вектору** во вкладке **Свойства** выберите следующее значение поля Перемещения для моды

- **Вектора:** Перемещения для моды 2
- **Множитель масштаба:** 10

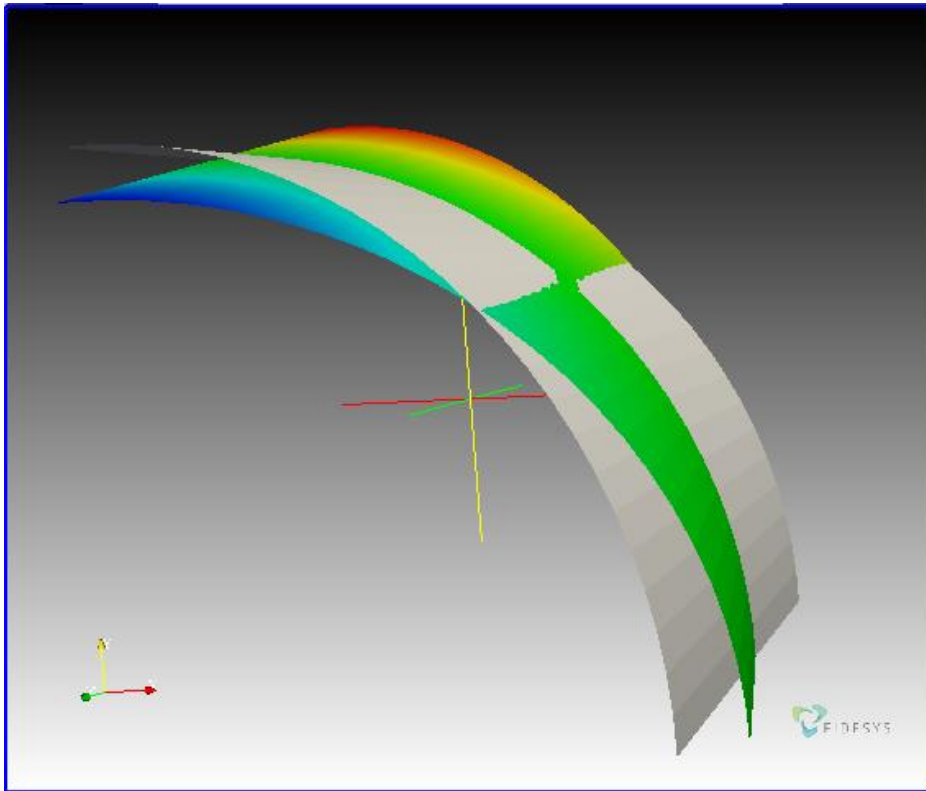
8. Отобразите Перемещения для моды 2.

На панели инструментов установите следующие параметры:

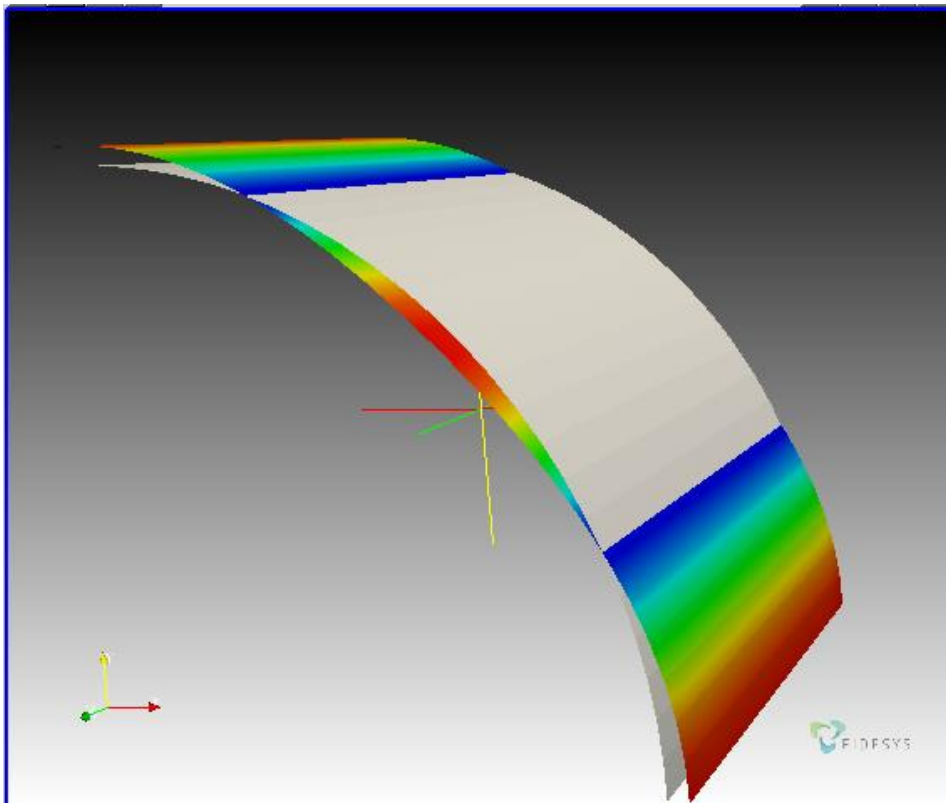


Удостоверьтесь, что в окне **Коэф.запаса** отобразился искомый второй коэффициент критической нагрузки.

9. Просмотр результата

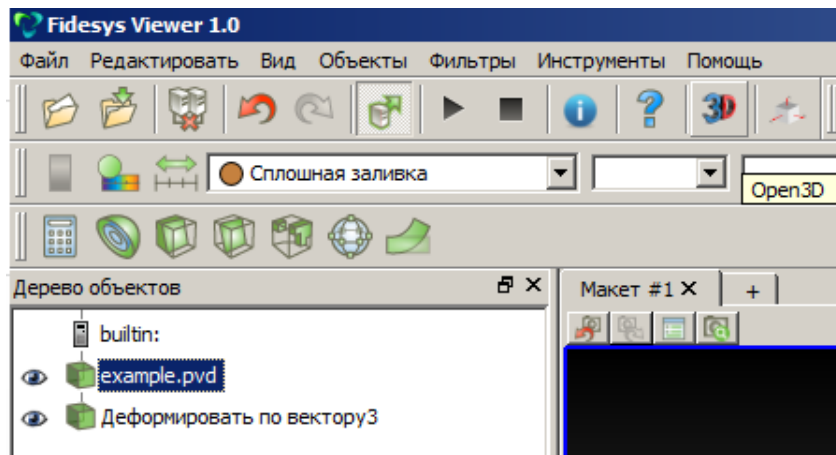


10. Аналогично отобразите Перемещения для моды 3, убедившись, что в окне **Коэф.запаса** отобразился третий искомый коэффициент критической нагрузки.



11. Отобразите 3D-вид модели (оболочка с толщиной).

Для этого кликните мышью по названию исходного файла в дереве объектов. После этого нажмите в стандартной строке кнопку 3D-вид.

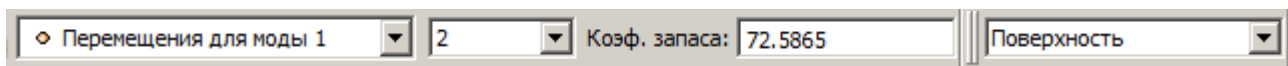


Должен открыться файл *_3D.pvd с 3D-изображением оболочки. К этому файлу также можно применять различные фильтры и просматривать деформированный вид.

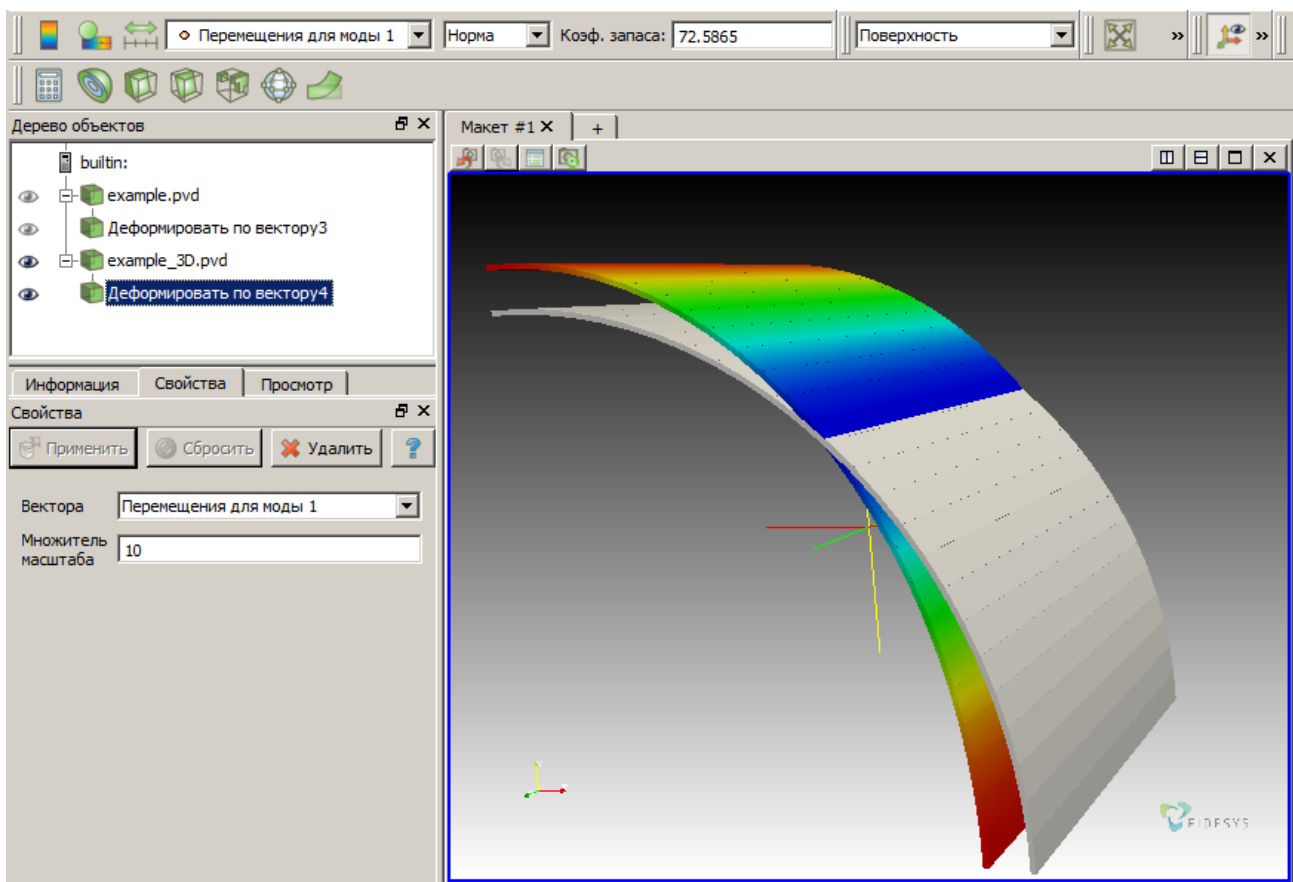
Выбрав в дереве объектов новый файл example_3D.pvd отобразите для него фильтр **Деформировать по вектору** со следующими значениями полей:

- **Вектора:** Перемещения для моды 1
- **Множитель масштаба:** 10

На панели инструментов вновь установите следующие параметры для деформированного вида:



На экране отобразится первая форма потери устойчивости, но оболочка будет отрисована с толщиной.





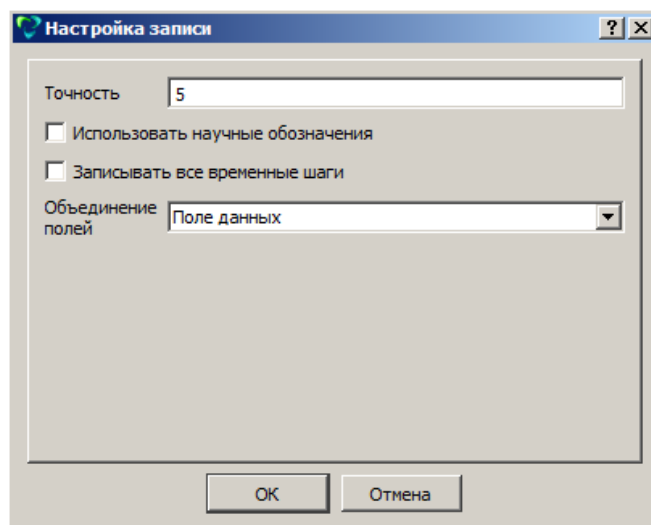
Для автоматического применения изменений всех фильтров нажмите на соответствующую кнопку **Автоматически применять изменения** на панели команд.

12. Выгрузите числовые данные.

В главном меню выберите **Файл** → **Сохранить данные** либо нажмите **Ctrl+S**. Введите имя файла (формат *.csv), оставьте по умолчанию. Нажмите **ОК**. В появившемся окне выберите

- **Объединение полей:** Поле данных

Сохранённый файл представляет собой обычную таблицу числовых данных, которую можно открыть любым текстовым редактором.



Использование консольного интерфейса

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса. Ниже приведён код программы, позволяющий выполнить шаги описанного выше руководства, , необходимо только **самостоятельно указать полный путь и название сохраняемого файла**.

Пример рабочего скрипта (файл сохраняется в D:/FidesysBundle/calc/example.pvd)

```

reset
set node constraint on
create Cylinder height 2 radius 2
delete volume 1 keep_lower_geometry
delete Surface 3 2
webcut body 2 with plane xplane offset 0 imprint preview
webcut body 2 with plane xplane offset 0 imprint
webcut body 2 with plane yplane offset 0 imprint preview
webcut body 2 with plane yplane offset 0 imprint
delete Surface 5 6
surface 7 size 0.125
surface 7 scheme Polyhedron
mesh surface 7
create displacement on curve 16 dof 2 dof 4 dof 6 fix 0
create displacement on curve 5 dof 1 dof 5 dof 6 fix 0
create pressure on surface 7 magnitude 1000
undo group begin
create material "Material 1" property_group "CUBIT-FEA" description "Материал Гука"
modify material "Material 1" scalar_properties "MODULUS" 2e+11 "POISSON" 0.3
undo group end
set duplicate block elements off
block 1 surface 7
block 1 material 'Material 1'
block 1 element type shell4
undo group begin
block 1 attribute count 2
block 1 attribute index 1 value 0.02
block 1 attribute index 2 value 0.5
undo group end
analysis type stability elasticity dim3
eigenvalue find 3 smallest
    
```

```
spectraelement off  
usempi off  
calculation start path "D:/FidesysBundle/calc/example.pvd"
```



Также можно запустить файл *Example_7_Stability_Shell.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

Анализ собственных частот (объёмная модель)

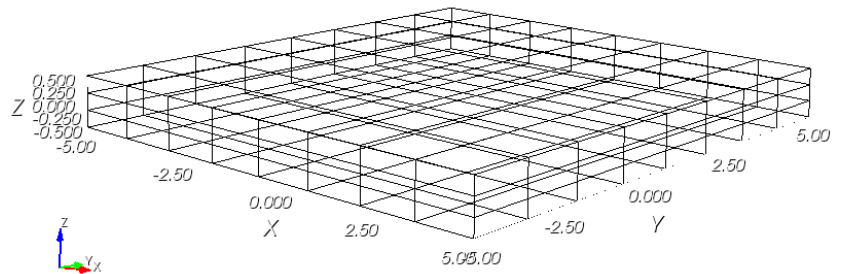
NAFEMS Selected Benchmarks for Natural Frequency Analysis “Simply Supported “Solid” Square Plate”, Test No FV52.

Решается задача о нахождении собственных частот квадратной пластинки.

Геометрическая модель задачи и сетка представлены на рисунке.

Размер пластинки 10 м x 10 м x 1 м.
 Ребрам нижней грани пластинки запрещено перемещение вдоль оси Z.
 Параметры материала $E = 200$ ГПа, $\nu = 0.3$,
 $\rho = 8000$ кг/м³.

Требуется сравнить ненулевые собственные частоты с 4 по 10.



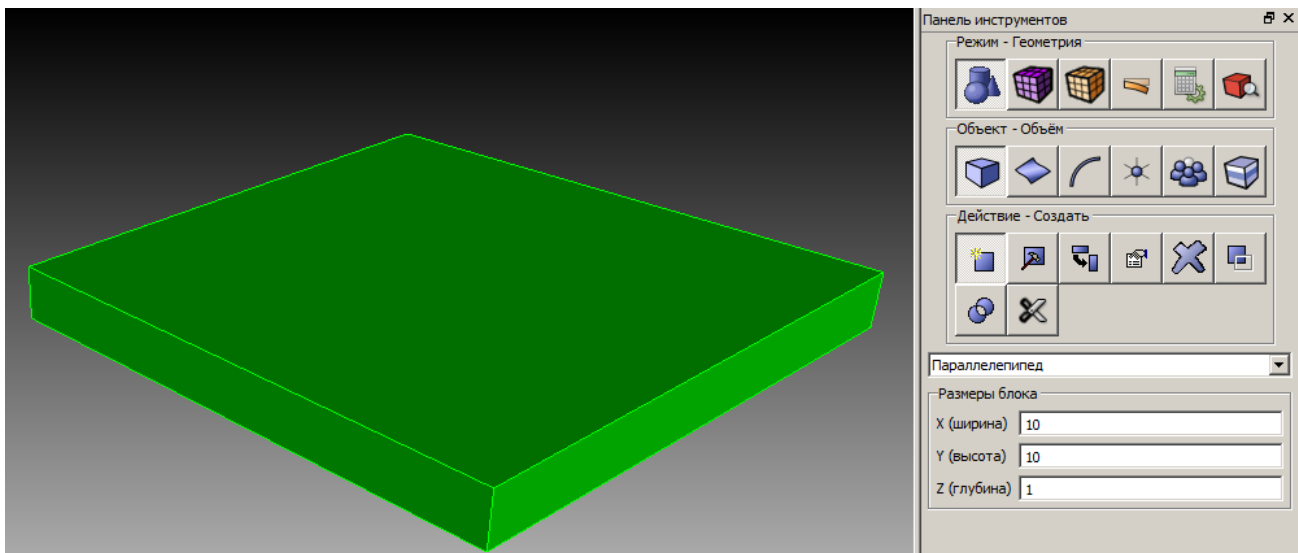
Построение модели

1. Создайте пластинку.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Параллелепипед**. Задайте размеры блока:

- X (ширина): 10;
- Y (высота): 10;
- Z (глубина): 1.

Нажмите **Применить**.



Построение сетки

Требуется построить сетку из $8 \times 8 \times 3$ линейных гексаэдральных элементов, как показано на рисунке с постановкой задачи.

1. На панели команд выберите модуль построения сетки на кривых (Режим – **Сетка**, Объект – **На кривых**, Действие – **Построение сетки**). Укажите степень измельчения сетки:

- Выбор кривых: 1 2 3 4 5 6 7 8 (через пробелы);
- Выберите способ построения сетки: Равномерно;
- Выберите параметры разбиения: Интервал;
- Интервал: 8 (см картинку).

Нажмите **Применить**.

2. На панели команд выберите модуль построения сетки на кривых (Режим – **Сетка**, Объект – **На кривых**, Действие – **Построение сетки**). Укажите степень измельчения сетки:

- Выбор кривых: 9 10 11 12 (через пробелы);
- Выберите способ построения сетки: Равномерно;
- Выберите параметры разбиения: Интервал;
- Интервал: 3.

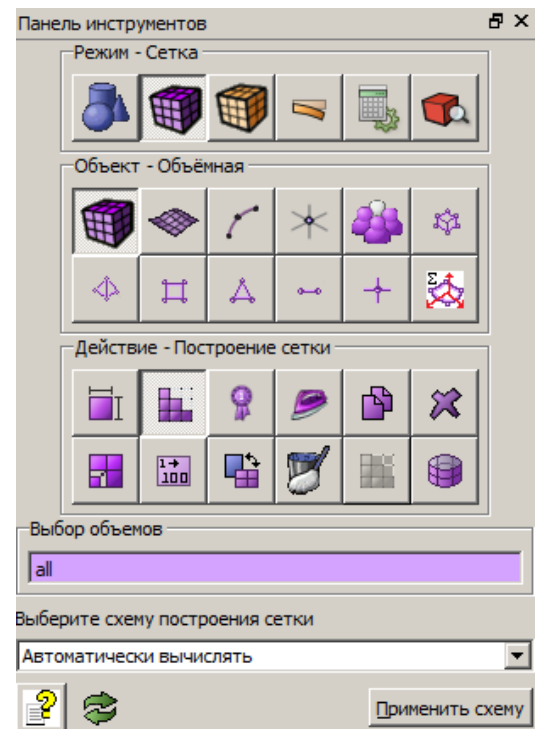
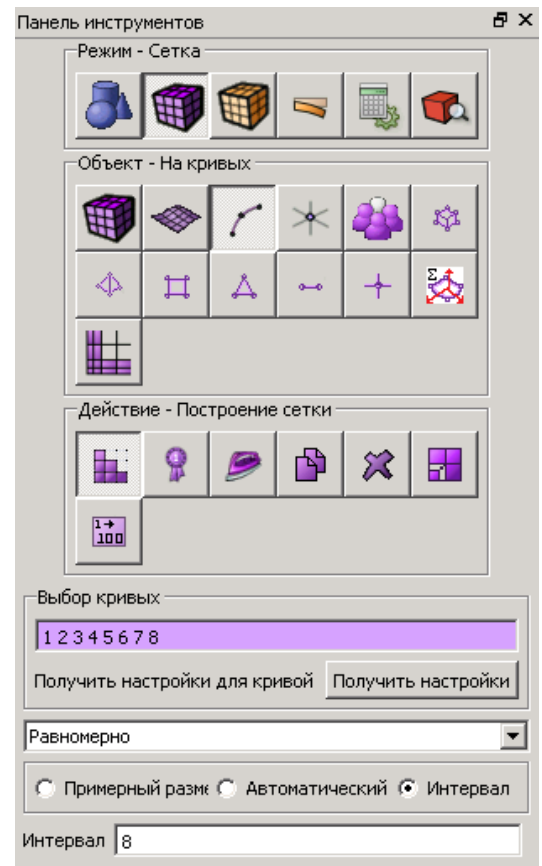
Нажмите **Применить**.

3. На панели команд выберите модуль построения объёмной сетки (Режим – **Сетка**, Объект – **Объёмная**, Действие – **Построение сетки**).

- Выберите объёмы (укажите их ID): 1 (или командой *all*);
- Выберите схему построения сетки: Автоматически вычислять.

Нажмите **Применить схему**.

Нажмите **Построить сетку**.



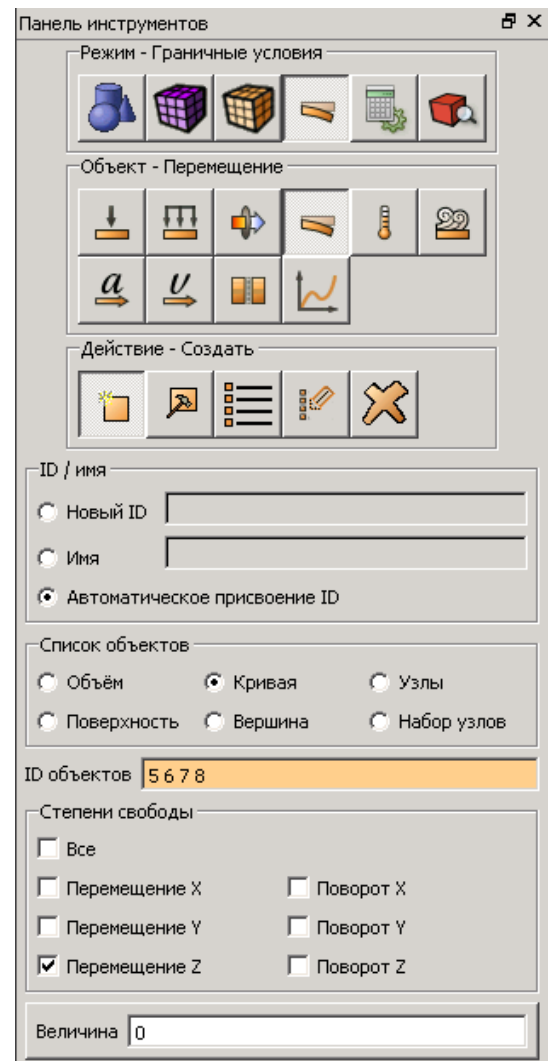
Задание граничных условий

1. Закрепите рёбра нижней грани в направлении Z.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объектов: 5 6 7 8 (через пробелы);
- Степени свободы: Перемещение Z;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.



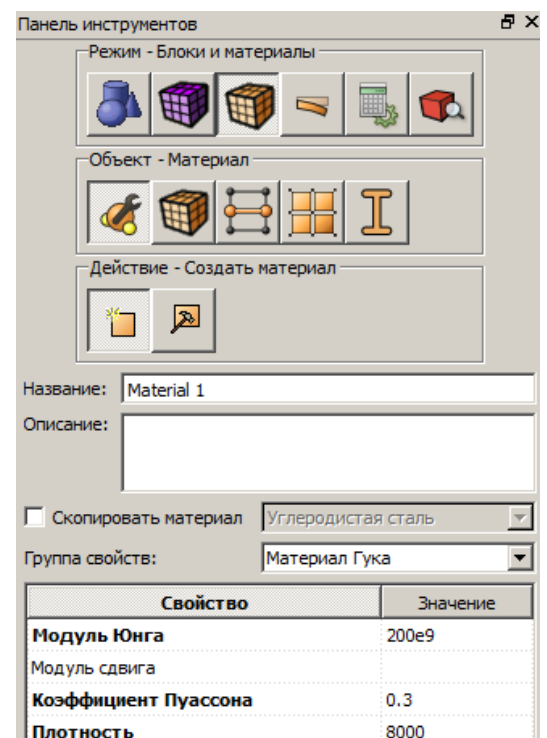
Задание материала и типа элемента

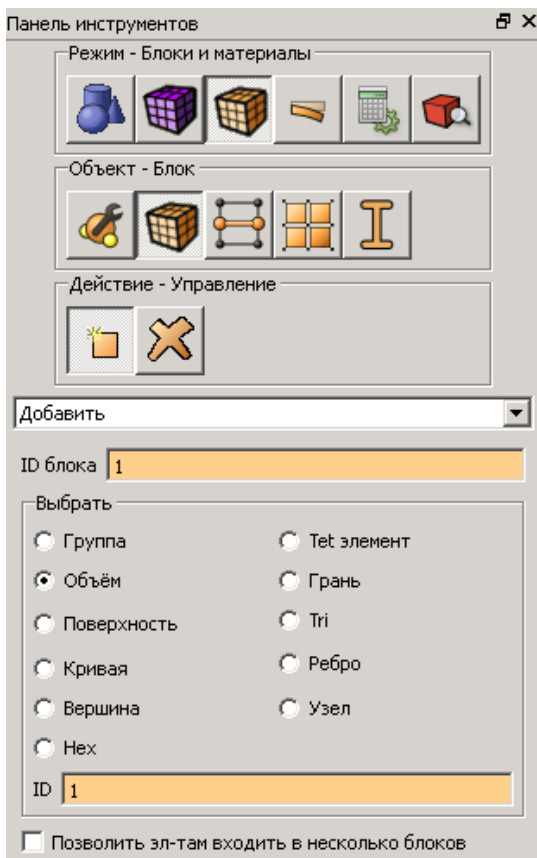
1. Создайте материал.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Материал**, Действие – **Создать материал**). Задайте следующие параметры:

- Название: Material 1;
- Группа свойств: Материал Гука;
- Модуль Юнга: 200e9;
- Коэффициент Пуассона: 0.3;
- Плотность: 8000.

Нажмите **Применить**.





2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Добавить**. Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Выберите объекты, которые будут объединены в блок: **Объём**;
- ID: 1 (или командой **all**).

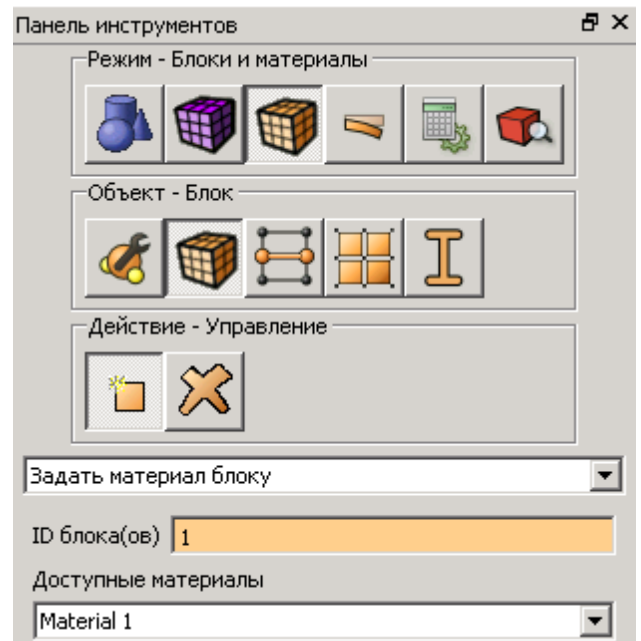
Нажмите **Применить**.

3. Присвойте материал блоку.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Задать материал блоку**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выберите из списка ранее созданный материал: **Material 1**.

Нажмите **Применить**.

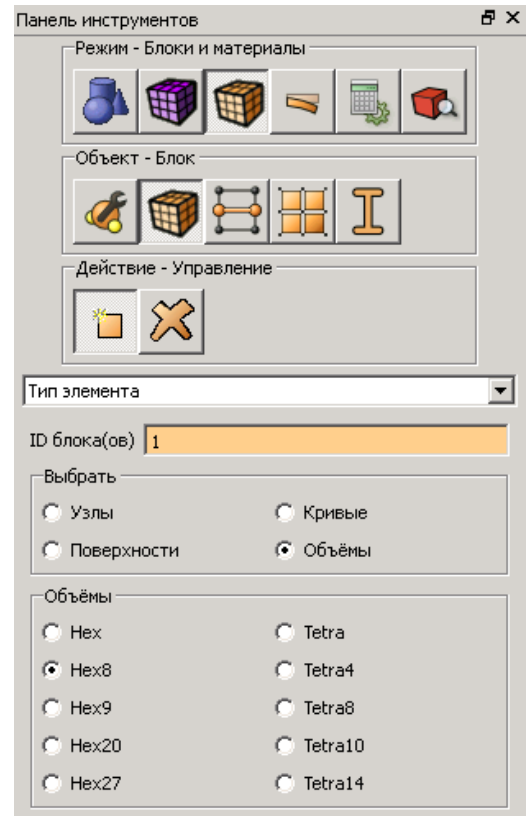


4. Присвойте тип элемента.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Тип элемента**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выбрать: Объёмы;
- Объёмы: Hex8.

Нажмите **Применить**.



Запуск расчёта

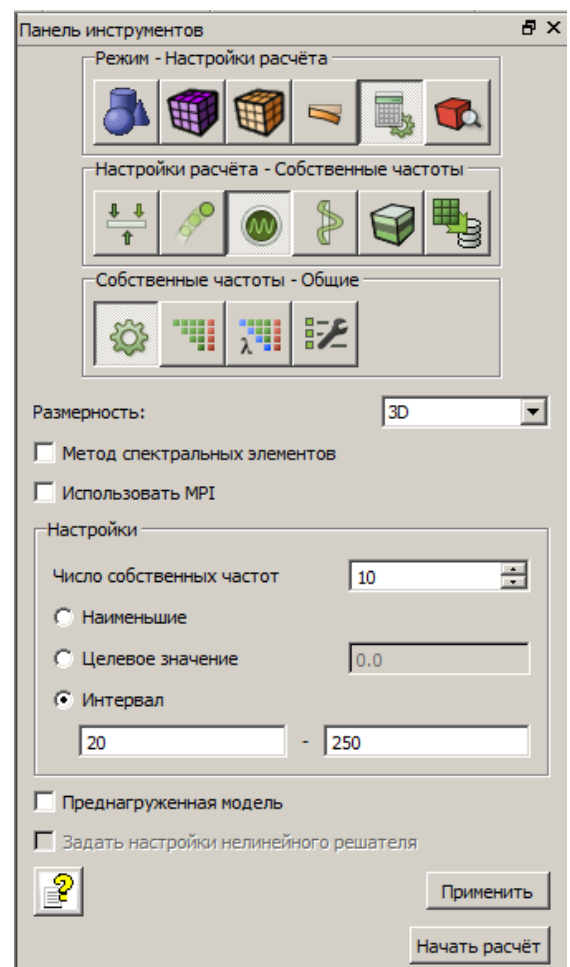
1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Собственные частоты**, Собственные частоты – **Общие**). Задайте следующие настройки:

- Интервал: 20 – 250. (почему такой интервал?)

Нажмите **Применить**.

Нажмите **Начать расчёт**.



2. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат, и введите название файла.
3. В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: “*Calculation finished successfully at <date> <time>*”, а также будут выведены требуемые значения собственных значений и частот.

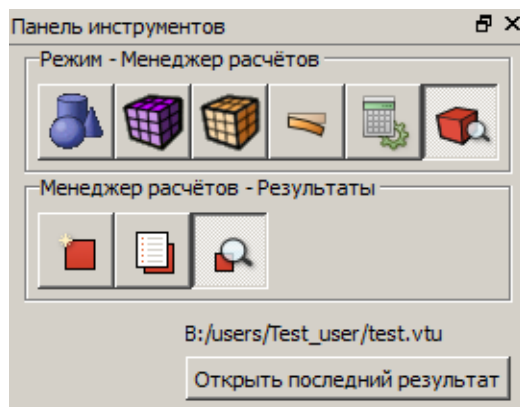
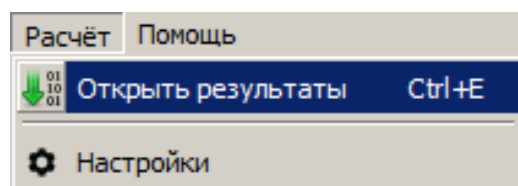
Анализ результатов

1. Сравните полученные результаты с результатами, приведенными в таблице.

№	NAFEMS	FIDESYS	
		Value, Hz	Error
4	51.65	51.68	0.1%
5	132.73	132.75	0.0%
6	132.73	132.75	0.0%
7	194.37	194.38	0.0%
8	197.18	197.19	0.0%
9	210.55	210.55	0.0%
10	210.55	210.55	0.0%

2. Откройте файл с результатами. Это можно сделать тремя способами.


- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите **Расчёт** → **Результаты**. Нажмите **Открыть последний результат**.
- На панели команд выберите менеджер расчётов (Режим – **Менеджер расчётов**, Менеджер расчётов – **Результаты**). Нажмите **Открыть результаты**.



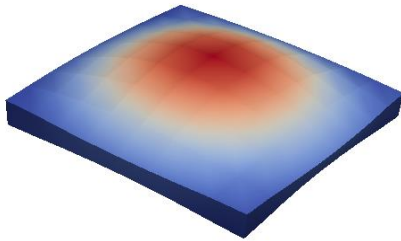
3. Можно посмотреть, как деформируется тело.

Для этого выберите фильтр **Деформировать по вектору**. Во вкладке **Свойства** установите следующие параметры:

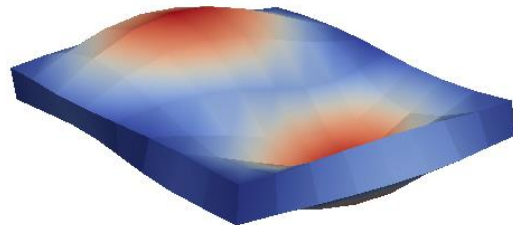
- Вектора: Собственное значение_# (# означает номер собственного значения);
- Множитель масштаба: 700.

В результате отобразится деформированное тело. Для того чтобы посмотреть начальную модель, можно нажать на значок  рядом с этой моделью в дереве объектов. На картинках ниже представлена деформированная модель в зависимости от собственного значения.

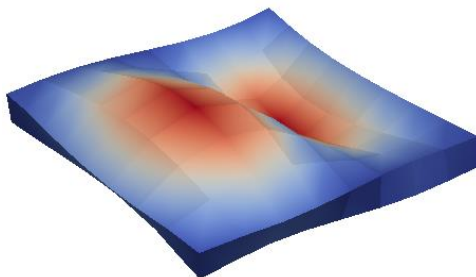
4 собственная форма



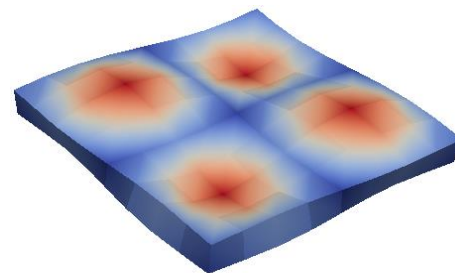
5 собственная форма



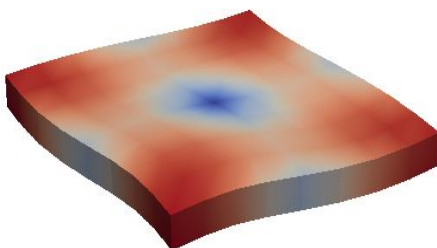
6 собственная форма



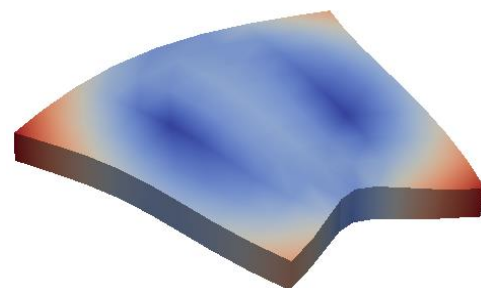
7 собственная форма



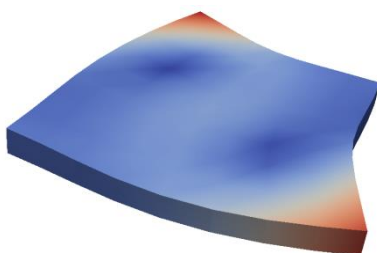
8 собственная форма



9 собственная форма



10 собственная форма



Использование консольного интерфейса

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса. Ниже приведён код программы, позволяющий выполнить шаги описанного выше руководства, , необходимо только **самостоятельно указать полный путь и название сохраняемого файла.**

Пример рабочего скрипта (файл сохраняется в D:/FidesysBundle/calc/example.pvd):

```

reset
set node constraint on
brick x 10 y 10 z 1
curve 1 2 3 4 5 6 7 8 interval 8
curve 1 2 3 4 5 6 7 8 scheme equal
curve 9 10 11 12 interval 3
curve 9 10 11 12 scheme equal
volume 1 scheme Auto
volume 1 scheme Auto
mesh volume 1
create displacement on curve 5 6 7 8 dof 3 fix 0
undo group begin
create material "material 1 " property_group "CUBIT-FEA" description "Материал Гука"
modify material "material 1 " scalar_properties "MODULUS" 2e+11 "POISSON" 0.3 "DENSITY"
8000
undo group end
set duplicate block elements off
block 1 volume 1
block 1 material 'material 1'
block element type hex8
block 1 element type hex8
analysis type eigenfrequencies elasticity dim3
eigenvalue find 10 from 20 to 250 preload off
spectralelement off
usempi off
analysis type eigenfrequencies elasticity dim3
calculation start path "D:/FidesysBundle/calc/example.pvd"

```



Также можно запустить файл *Example_8_EigenValue_3D.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

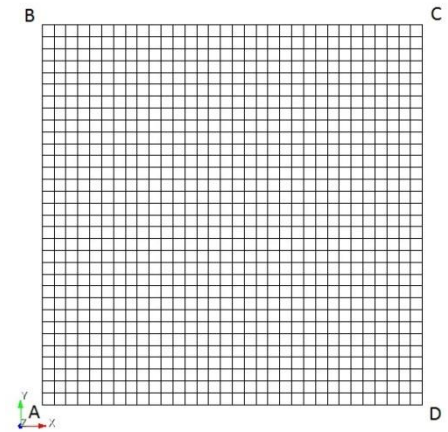
Анализ собственных частот (оболочечная модель)

NAFEMS-Glasgow, BENCHMARK newsletter, Report No. E1261/R002, "Free Vibrations of a Simply-supported Thin Square Plate", February 1989, p.21.

Решается задача о нахождении собственных частот квадратной пластинки.

Размер пластинки 10 м x 10 м, толщина 0.05 м. Всей пластинке запрещено перемещение вдоль осей X и Y и вращение вокруг оси Z. Всем рёбрам запрещено перемещение вдоль оси Z. Рёбрам AB и CD запрещено вращение вокруг оси X, рёбрам BC и AD – вокруг оси Y. Параметры материала $E = 200 \text{ ГПа}$, $\nu = 0.3$, $\rho = 8000 \text{ кг/м}^3$.

Требуется сравнить собственные частоты с 1 по 8.



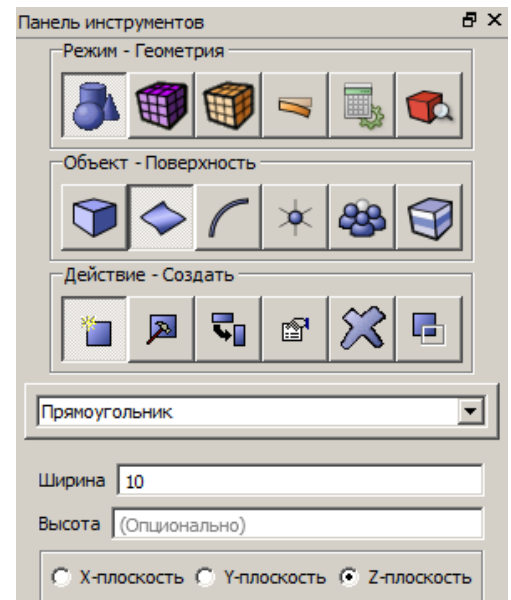
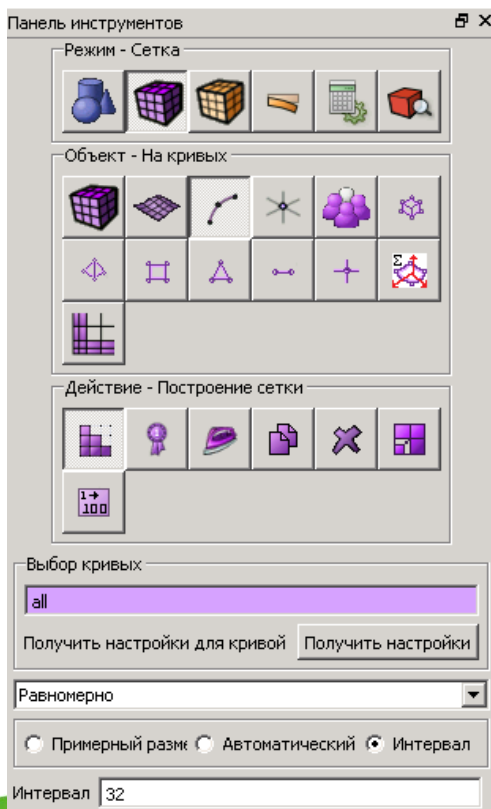
Построение модели

1. Создайте пластинку.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Поверхность**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Прямоугольник**. Задайте размеры блока:

- Ширина: 10;
- Расположение: Z-плоскость.

Нажмите **Применить**.



Построение сетки

Требуется построить сетку из 32*32 линейных квадратных элементов, как показано на рисунке с постановкой задачи.

1. На панели команд выберите модуль построения сетки на кривых (Режим – **Сетка**, Объект – **На кривых**, Действие – **Построение сетки**). Укажите степень измельчения сетки:

- Выбор кривых: all;
- Выберите способ построения сетки: Равномерно;
- Выберите параметры разбиения: Интервал;
- Интервал: 32 (см картинку).

Нажмите **Применить**.

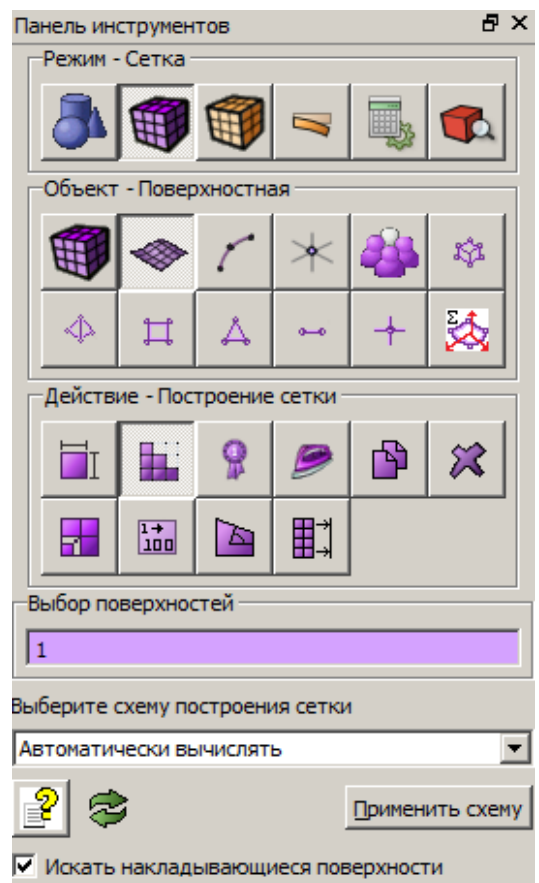
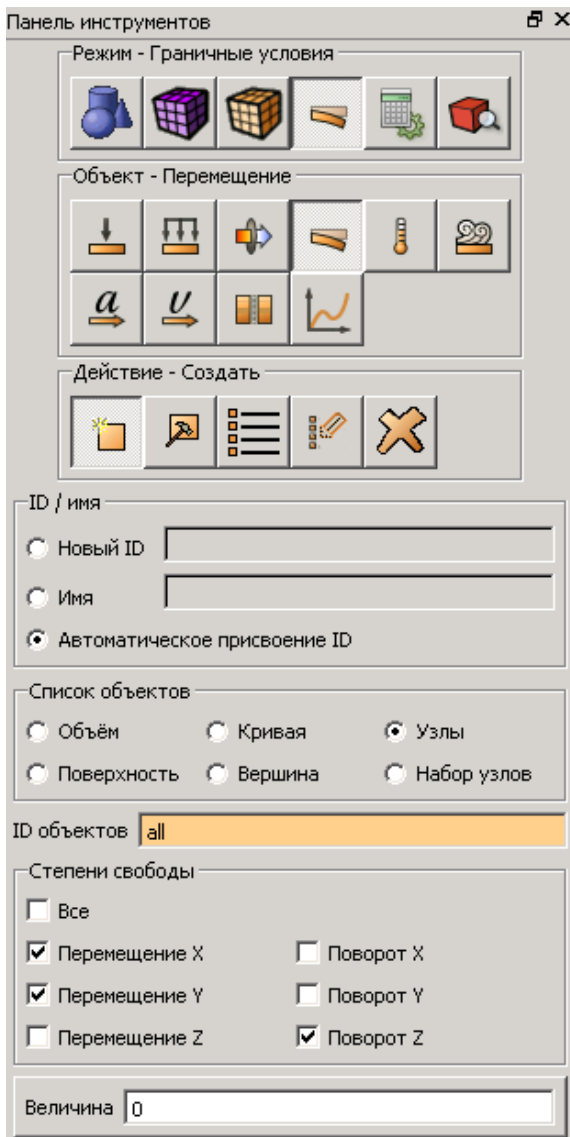
Нажмите **Построить сетку**.

2. На панели команд выберите модуль построения поверхностной сетки (Режим – **Сетка**, Объект – **Поверхностная**, Действие – **Построение сетки**).

- Выберите объёмы (укажите их ID): 1 (или командой **all**);
- Выберите схему построения сетки: Автоматически вычислять.

Нажмите **Применить схему**.

Нажмите **Построить сетку**.



Задание граничных условий

1. Закрепите всю пластинку в направлениях X и Y, а так же вокруг Z.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Узлы;
- ID объектов: all;
- Степени свободы: Перемещение X, Перемещение Y и Поворот Z;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

2. Закрепите все рёбра в направлении Z.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривые;
- ID объектов: all;

- Степени свободы: Перемещение Z;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

3. Закрепите рёбра АВ и CD вокруг X.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривые;
- ID объектов: 2 4 (через пробелы);
- Степени свободы: Поворот X;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

4. Закрепите рёбра ВС и AD вокруг Y.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривые;
- ID объектов: 1 3 (через пробелы);
- Степени свободы: Поворот Y;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

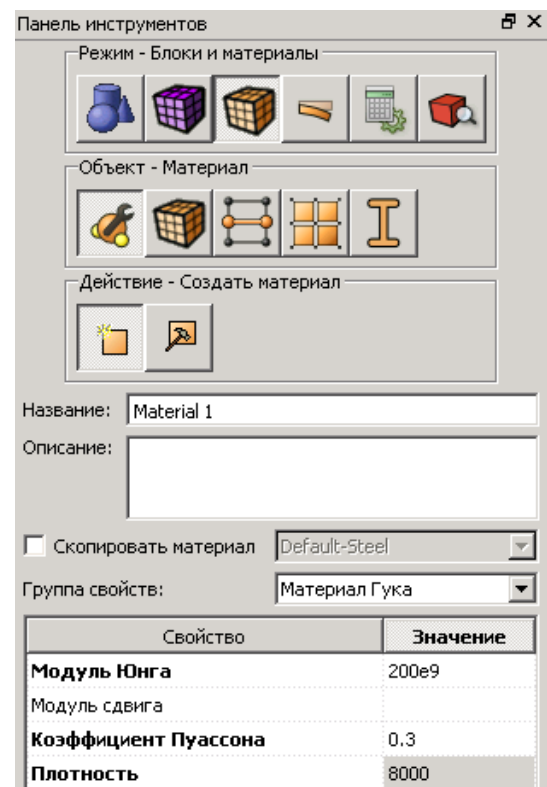
Задание материала и типа элемента

1. Создайте материал.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Материал**, Действие – **Создать материал**). Задайте следующие параметры:

- Название: Material 1;
- Группа свойств: Материал Гука;
- Модуль Юнга: 200e9;
- Коэффициент Пуассона: 0.3;
- Плотность: 8000.

Нажмите **Применить**.

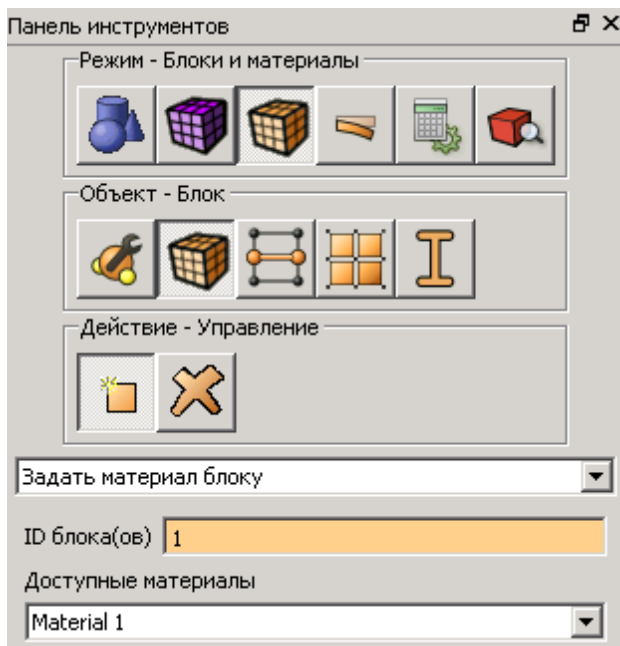
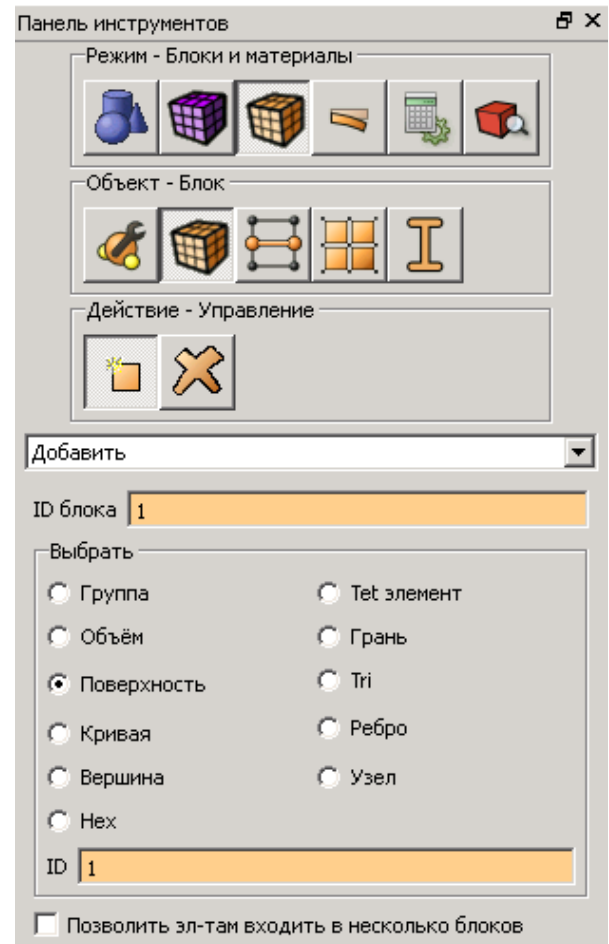


Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Добавить**. Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Выберите объекты, которые будут объединены в блок: Поверхность;
- ID: 1 (или командой **all**).

Нажмите **Применить**.



2. Присвойте материал блоку.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Задать материал блоку**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выберите из списка ранее созданный материал: Material 1.

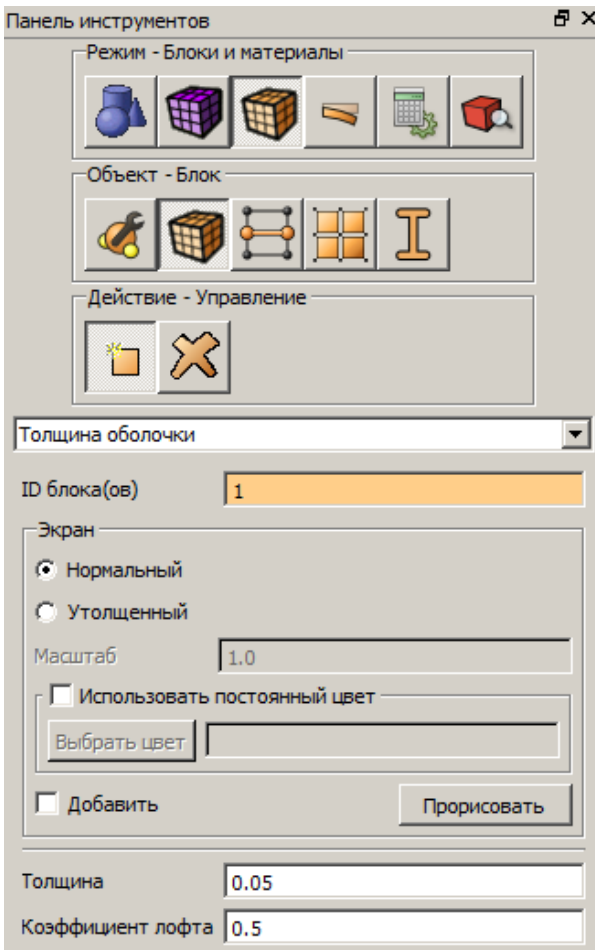
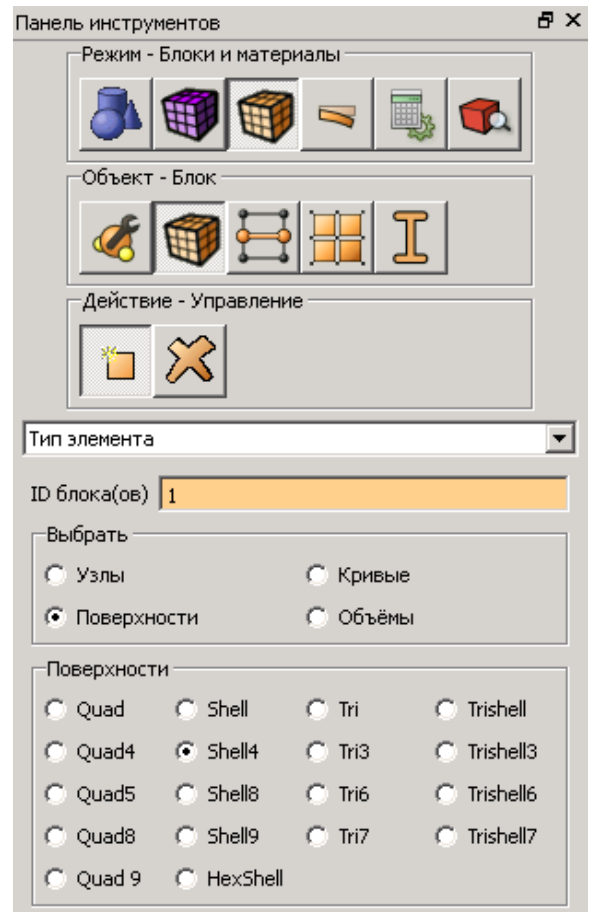
Нажмите **Применить**.

3. Присвойте тип элемента.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Тип элемента**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выбрать: Поверхности;
- Поверхности: Shell4.

Нажмите **Применить**.



Задание толщины оболочки

1. Задайте толщину оболочки.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Толщина оболочки**. Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Толщина: 0.05;
- Коэффициент лофта: 0.5;

Нажмите **Применить**.

Запуск расчёта

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Собственные частоты**, Собственные частоты – **Общие**). Оставьте все параметры по умолчанию.

Нажмите **Применить**.

Нажмите **Начать расчёт**.

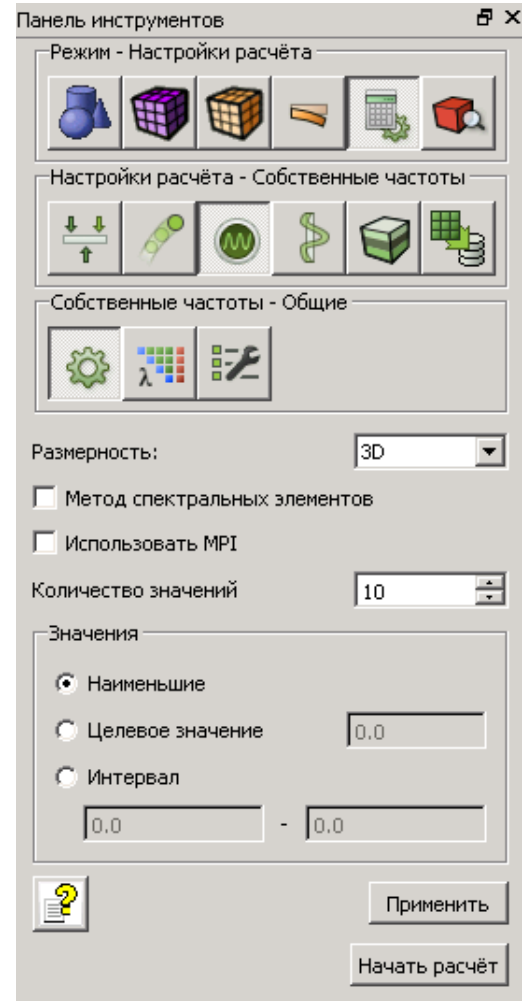
2. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат, и введите название файла.
3. В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: *“Calculation finished successfully at <date> <time>”*, а также будут выведены требуемые значения собственных значений и частот.

Анализ результатов

1. Сравните полученные результаты с результатами, приведенными на рисунке.

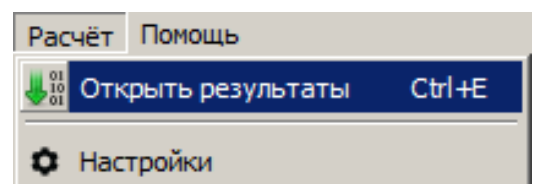
```

Командная строка
parse ins done
parse solver done
FidesysCalc parse fc done
Start eigensolver...
Stop eigensolver.
eigenfrequency(1) = 2.37906 Hz
eigenfrequency(2) = 5.96363 Hz
eigenfrequency(3) = 5.96363 Hz
eigenfrequency(4) = 9.54439 Hz
eigenfrequency(5) = 11.9937 Hz
eigenfrequency(6) = 11.9937 Hz
eigenfrequency(7) = 15.568 Hz
eigenfrequency(8) = 15.568 Hz
eigenfrequency(9) = 20.5544 Hz
eigenfrequency(10) = 20.5544 Hz
Calculation finished.
Calculation finished successfully at 2014-12-29 18:34:21
Fidesys>
    
```



2. Откройте файл с результатами. Это можно сделать тремя способами.

- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите **Расчёт** → **Результаты**. Нажмите **Открыть последний результат**.
- На панели команд выберите менеджер расчётов (Режим – **Менеджер расчётов**, Менеджер расчётов –

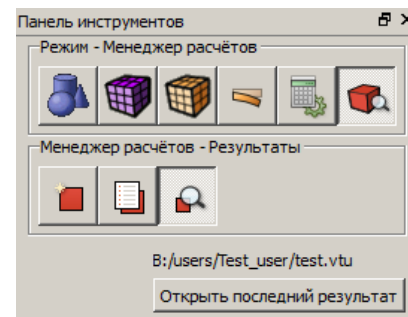



Результаты). Нажмите **Открыть результаты.**

3. Можно посмотреть, как деформируется тело.

Для этого выберите фильтр **Деформировать по вектору.** Во вкладке **Свойства** установите следующие параметры:

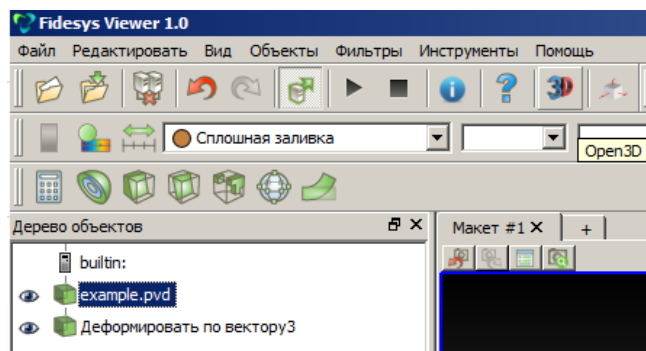
- Вектора: Собственное значение_# (# означает номер собственного значения);
- Множитель масштаба: 200.



В результате отобразится деформированное тело. Для того чтобы посмотреть начальную модель, можно нажать на значок  рядом с этой моделью в дереве объектов.

4. Отобразите 3D-вид модели (оболочка с толщиной).

Для этого кликните мышью по названию исходного файла в дереве объектов. После этого нажмите в стандартной строке кнопку 3D-вид.



Должен открыться файл *_3D.pvd с 3D-изображением оболочки. К этому файлу также можно применять различные фильтры и просматривать деформированный вид.

Использование консольного интерфейса

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса. Ниже приведён код программы, позволяющий выполнить шаги описанного выше руководства, , необходимо только **самостоятельно указать полный путь и название сохраняемого файла.**

Пример рабочего скрипта (файл сохраняется в D:/FidesysBundle/calc/example.pvd):

```

reset
set node constraint on
create surface rectangle width 10 zplane
curve all interval 32
curve all scheme equal
surface 1 scheme Auto
surface 1 scheme Auto
mesh surface 1
create displacement on node all dof 1 dof 2 dof 6 fix 0
create displacement on curve all dof 3 fix 0
create displacement on curve 2 4 dof 4 fix 0
create displacement on curve 1 3 dof 5 fix 0
undo group begin
create material "material 1" property_group "CUBIT-FEA" description "Материал Гюка"
modify material "material 1" scalar_properties "MODULUS" 2e+11 "POISSON" 0.3 "DENSITY"
8000
undo group end
set duplicate block elements off
block 1 surface 1
block 1 material 'material 1'
block 1 element type shell4
undo group begin
block 1 attribute count 2
block 1 attribute index 1 value 0.05
    
```

```

block 1 attribute index 2 value 0.5
undo group end
analysis type eigenfrequencies elasticity dim3
eigenvalue find 10 smallest preload off
spectralelement off
usempi off
analysis type eigenfrequencies elasticity dim3
eigenvalue find 10 smallest preload off
spectralelement off
usempi off
calculation start path 'D:/FidesysBundle/calc/example.pvd'
    
```



Также можно запустить файл *Example_9_Eigenvalue_Shell.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

Задача теплопроводности (объёмная модель, работа с двумя блоками)

Рассматривается трёхмерная задача о полом цилиндре, сделанном из двух материалов, на внутреннюю и внешнюю поверхность которого действует конвекция.

Геометрическая модель задачи представлена на рисунках:

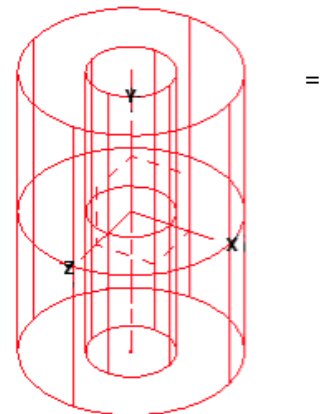
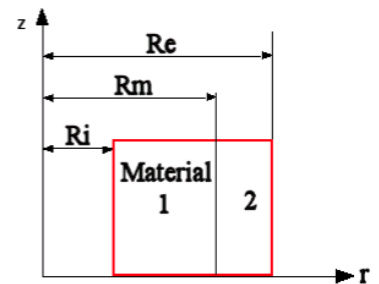
Внутренний радиус цилиндра $R_i = 0.30$ м, средний радиус цилиндра (в месте смены материала) $R_m = 0.35$ м, внешний радиус цилиндра $R_e = 0.37$ м.

На внутренней поверхности цилиндра происходит конвективный теплообмен с температурой внешней среды $T_i = 70$ °С и коэффициентом $h_i = 150$ Вт/м²/°С. На внешней поверхности цилиндра происходит конвективный теплообмен с температурой внешней среды $T_e = -15$ °С и коэффициентом $h_e = 200$ Вт/м²/°С.

Материалы являются изотропными. Коэф-т теплопроводности материала №1 $V_1 = 40$ Вт/(м ·°С). Коэф-т теплопроводности материала №2 $V_2 = 20$ Вт/(м ·°С).

Критерий прохождения теста:

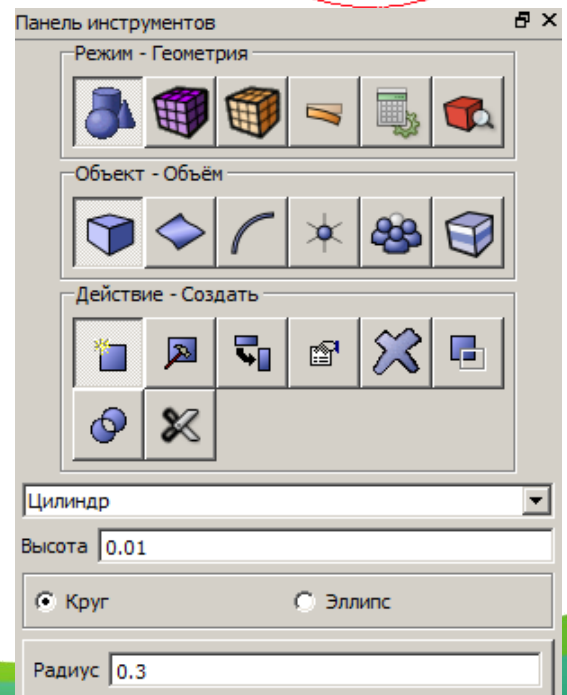
в точке (0.3;0;0) тепловой поток $q = 6\,687$ Вт/м² с точностью 1 %.



Построение модели

1. Создайте первый цилиндр.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Цилиндр**. Задайте размеры цилиндра:



- Высота: 0.01;
- Круг;
- Радиус: 0.3.

Нажмите **Применить**.

2. Создайте второй цилиндр.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Цилиндр**. Задайте размеры цилиндра:

- Высота: 0.01;
- Круг;
- Радиус: 0.35.

Нажмите **Применить**.

3. Создайте третий цилиндр.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Цилиндр**. Задайте размеры цилиндра:

- Высота: 0.01;
- Круг;
- Радиус: 0.37.

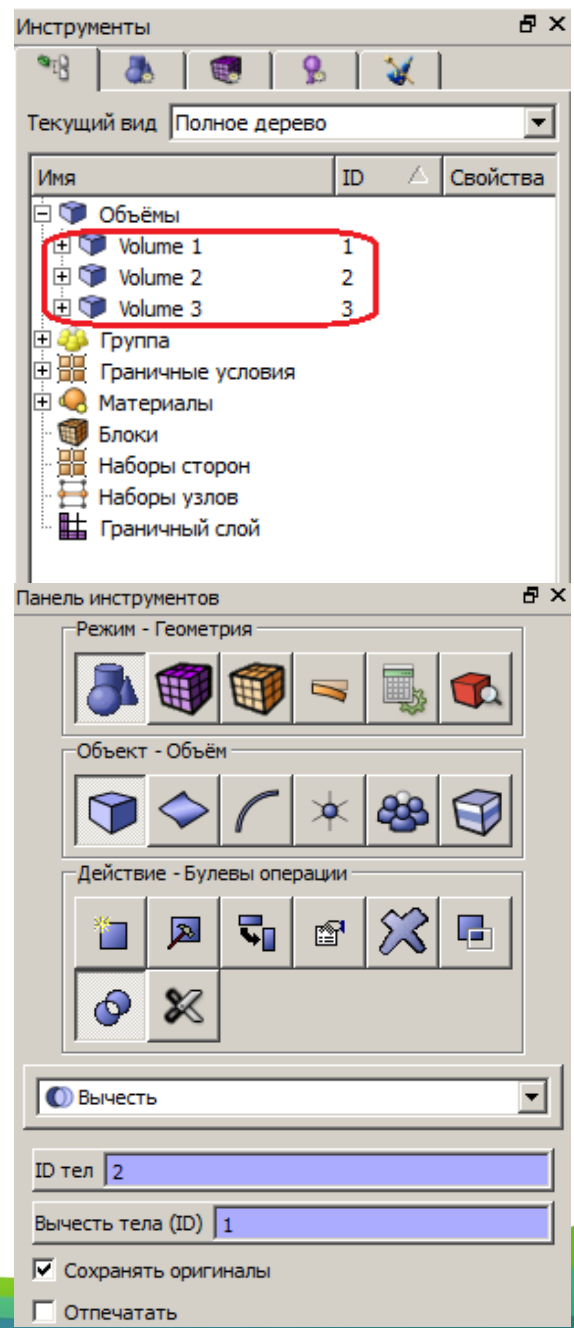
Нажмите **Применить**.

В результате в дереве объектов отобразятся три только что созданных объекта (Volume 1, Volume 2 и Volume 3).

4. Вычтите первый цилиндр из второго.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Булевы операции**). Из списка операций выберите **Вычесть**. Задайте следующие параметры:

- ID тел: 2 (объёмы, из которых будут вычтены другие объёмы);



- Вычесть тела (ID): 1 (объёмы, которые будут вычтены);
- Сохранять оригиналы.

Нажмите **Применить**.

5. Вычтите второй цилиндр из третьего.

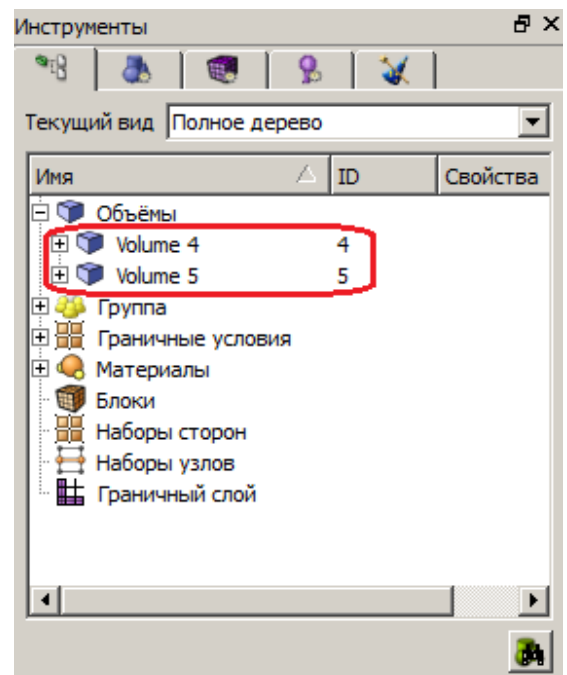
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Булевы операции**). Из списка операций выберите **Вычесть**. Задайте следующие параметры:

- ID тел: 3 (объёмы, из которых будут вычтены другие объёмы);
- Вычесть тела (ID): 2 (объёмы, которые будут вычтены);
- Сохранять оригиналы.

Нажмите **Применить**.

В результате в дереве объектов отобразится пять объектов: Volume 1, Volume 2, Volume 3, Volume 4 и Volume 5. Удалите первые три тела, щёлкнув на них правой кнопкой мыши и выбрав пункт Удалить.

В дереве объектов должно остаться два объекта: Volume 4 и Volume 5.

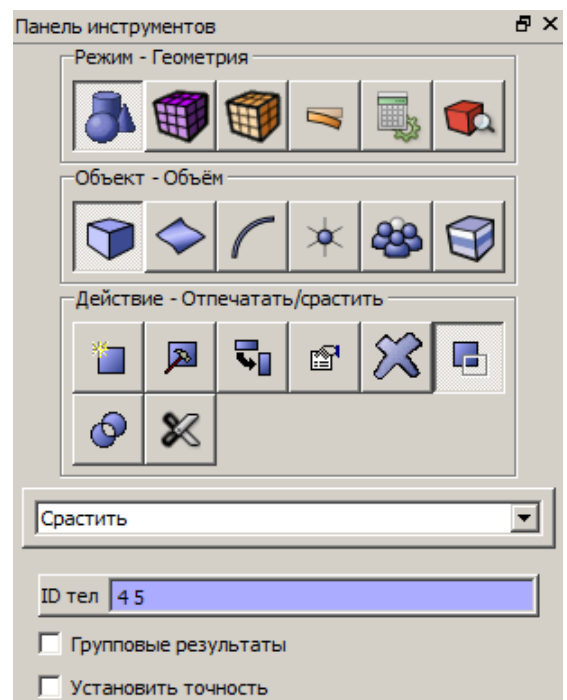


6. Срастите полученные объекты.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Отпечатать/срастить**). Из списка операций выберите **Срастить**. Задайте следующие параметры:

- ID тел: 4 5 (объёмы, которые будут объединены).

Нажмите **Применить**.

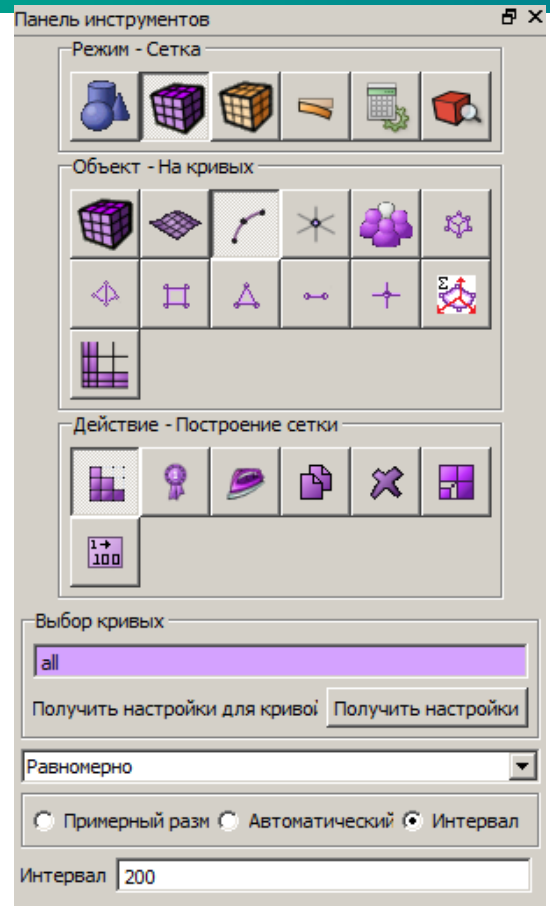


Построение сетки

1. На панели команд выберите модуль построения сетки на кривых (Режим – **Сетка**, Объект – **На кривых**, Действие – **Построение сетки**). Укажите степень измельчения сетки:

- Выбор кривых: all (*сетка будет построена на всех кривых*);
- Выберите способ построения сетки: Равномерно;
- Выберите параметр построения сетки: Интервал;
- Укажите размер интервала: 200.

Нажмите **Применить**.

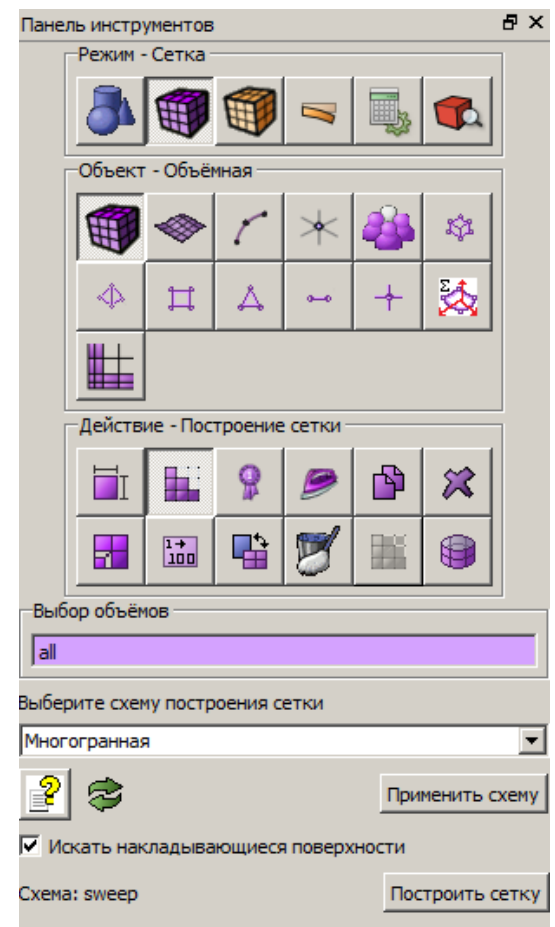


2. На панели команд выберите модуль построения объёмной сетки (Режим – **Сетка**, Объект – **Объёмная**, Действие – **Построение сетки**).

- Выбор объёмов: all (*сетка будет построена на всех объёмах*);
- Выберите схему построения сетки: Многогранная.

Нажмите **Применить схему**.

Нажмите **Построить сетку**.



Задание материала и типа элемента

1. Создайте материал №1.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Материал**, Действие – **Создать материал**). Введите название для материала. Задайте следующие параметры:

- Теплопроводность: 40.

Нажмите **Применить**.

2. Создайте материал №2.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Материал**, Действие – **Создать материал**). Введите название для материала. Задайте следующие параметры:

- Теплопроводность: 20.

Нажмите **Применить**.

Панель инструментов

Режим - Блоки и материалы

Объект - Материал

Действие - Создать материал

Название: Material 1

Описание:

Скопировать материал Углеродистая сталь

Группа свойств: Материал Гука

Свойство	Значение
Модуль Юнга	
Модуль сдвига	
Коэффициент Пуассона	
Плотность	
Теплоёмкость	
Теплопроводность	40
Козфф. температур. расширения	
Предел текучести	
Предел прочности	
Предельные деформации	
Пользовательские константы	Редактировать

Панель инструментов

Режим - Блоки и материалы

Объект - Материал

Действие - Создать материал

Название: Material 2

Описание:

Скопировать материал Углеродистая сталь

Группа свойств: Материал Гука

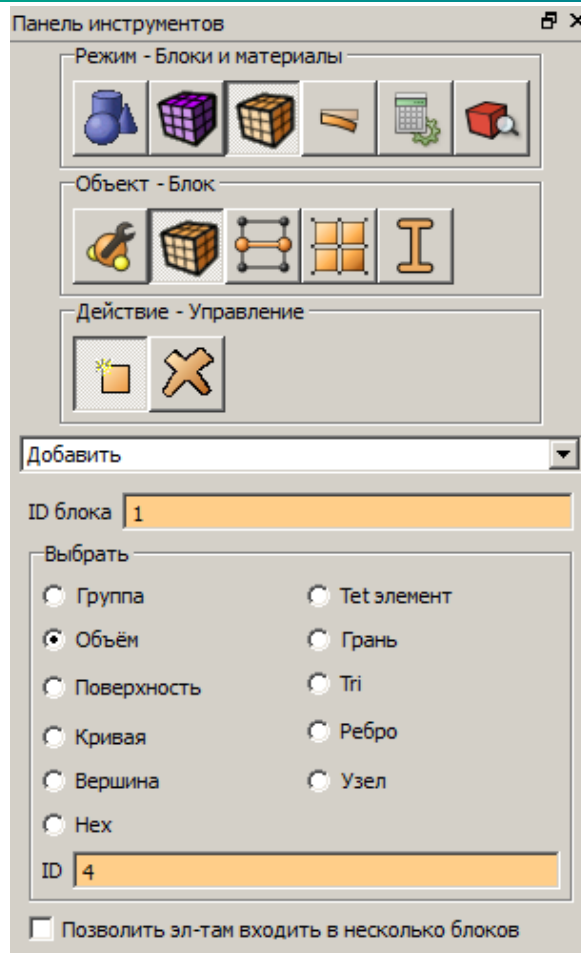
Свойство	Значение
Модуль Юнга	
Модуль сдвига	
Коэффициент Пуассона	
Плотность	
Теплоёмкость	
Теплопроводность	20
Козфф. температур. расширения	
Предел текучести	
Предел прочности	
Предельные деформации	
Пользовательские константы	Редактировать

3. Создайте блок №1.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Добавить**. Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Выберите объекты, которые будут объединены в блок: Объём;
- ID: 4.

Нажмите **Применить**.

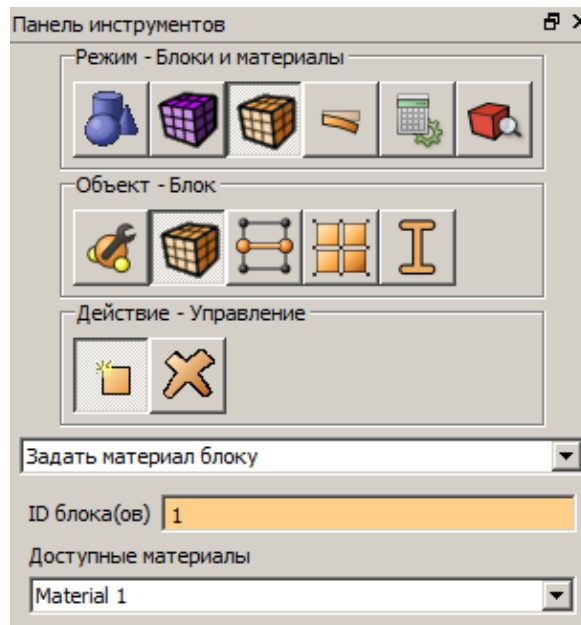


4. Присвойте материал блоку №1.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Задать материал блоку**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выберите из списка ранее созданный материал: Material 1.

Нажмите **Применить**.

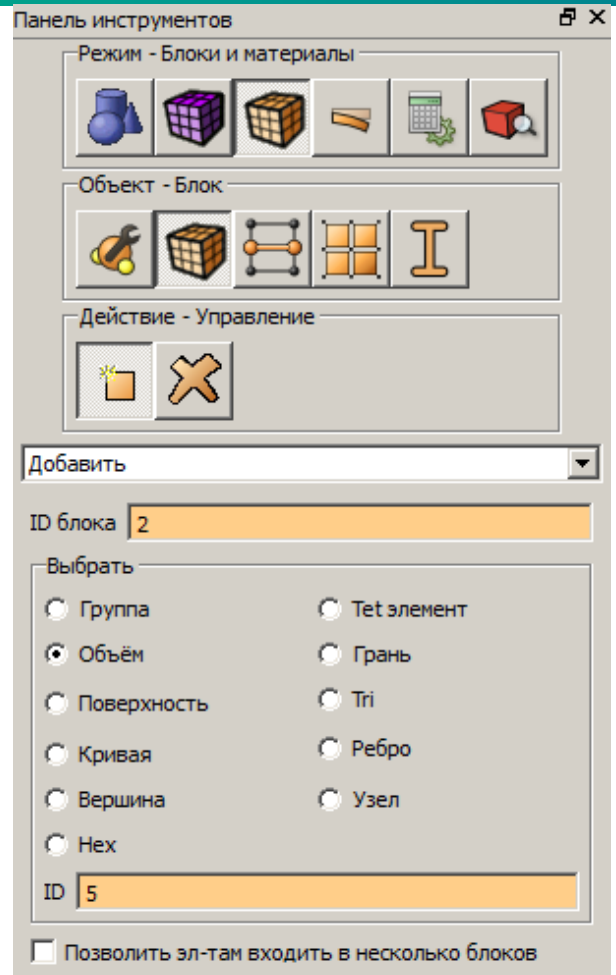


5. Создайте блок №2.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Добавить**. Задайте следующие параметры:

- ID блока: 2;
- Выберите объекты, которые будут объединены в блок: Объём;
- ID: 5.

Нажмите **Применить**.

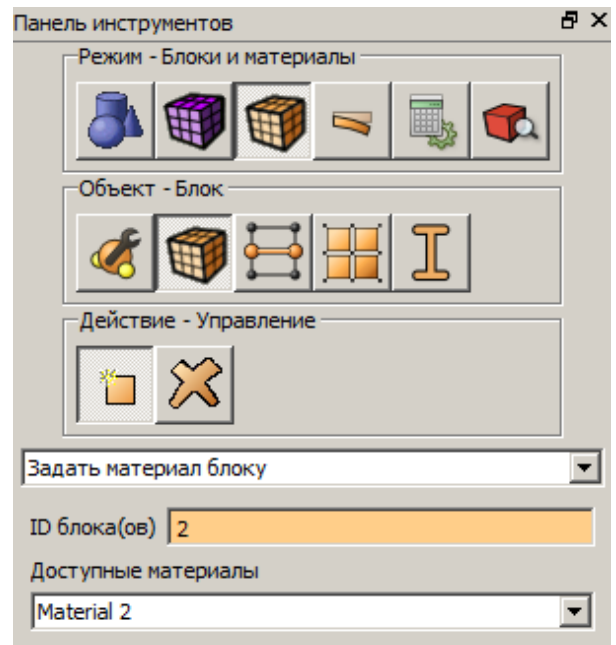


6. Присвойте материал блоку №2.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Задать материал блоку**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 2;
- Выберите из списка ранее созданный материал: Material 2.

Нажмите **Применить**.

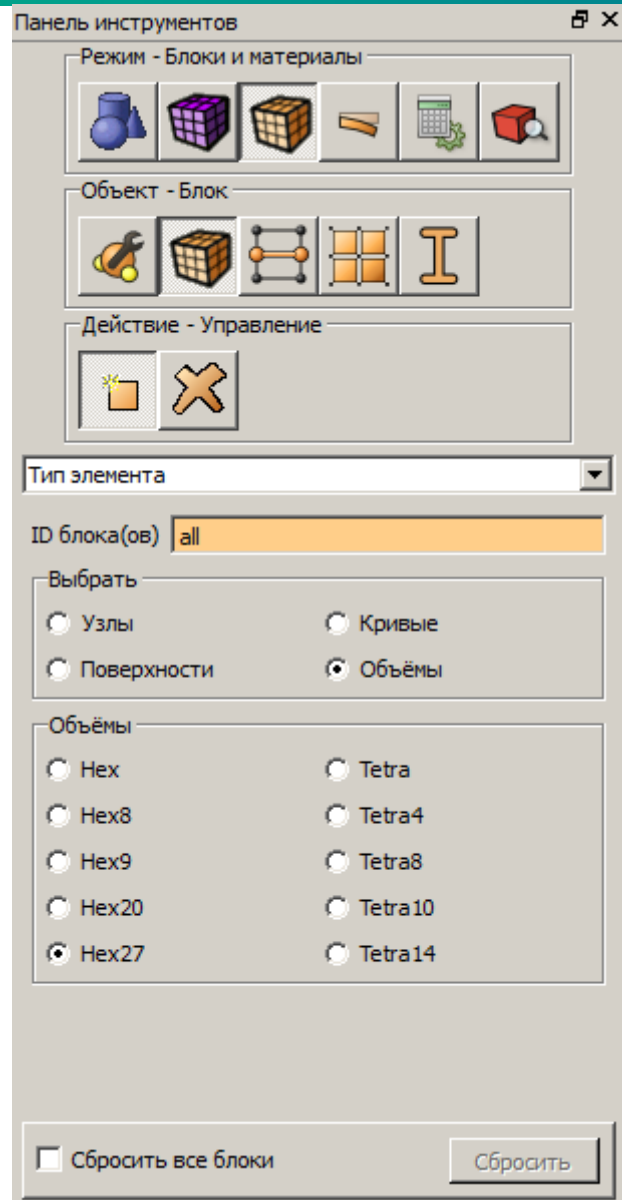


7. Присвойте тип элемента обоим блокам.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Тип элемента**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): all;
- Выбрать: Объёмы;
- Объёмы: Hex27.

Нажмите **Применить**.



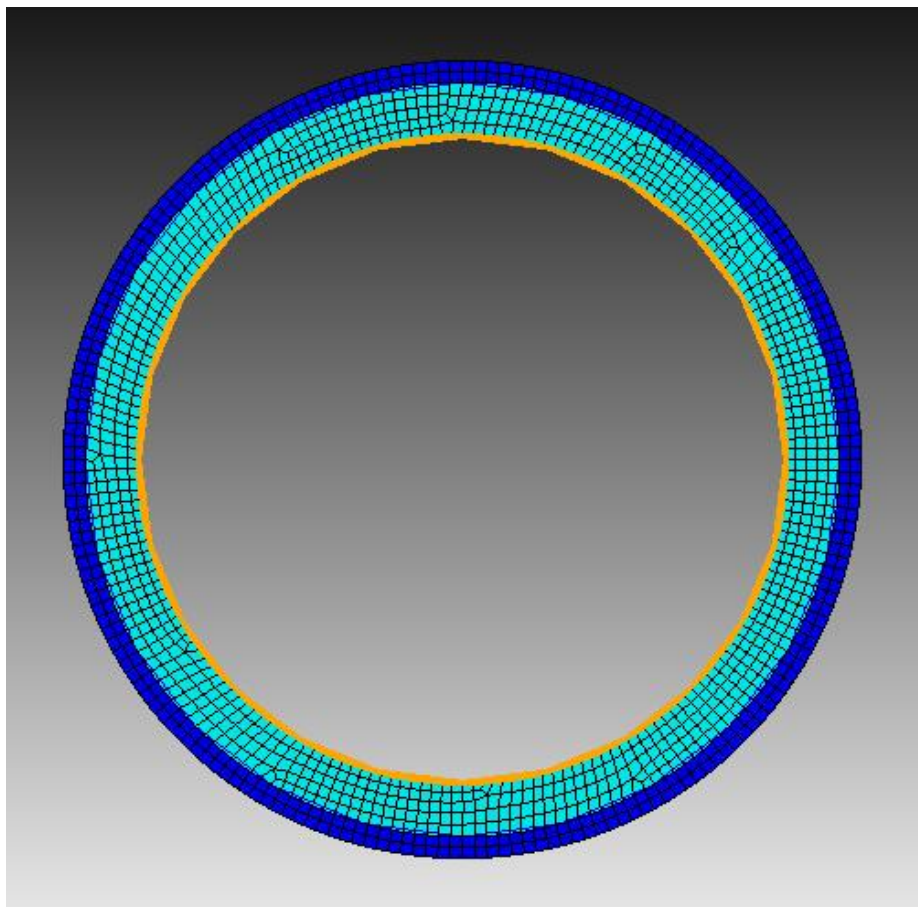
Задание граничных условий

1. Задайте процесс конвективного теплообмена на внутренней поверхности цилиндра.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Конвекция**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 10;
- Выберите способ задания параметров: Внешняя среда;
- Внешняя температура: 70;
- Коэффициент процесса: 150.

Нажмите **Применить**.



Панель инструментов

Режим - Граничные условия

Объект - Конвекция

Действие - Создать

ID / имя

Новый ID

Имя

Автоматическое присвоение ID

Список объектов

Поверхность Треугольник

Кривая Грань / четырёхугольник

Набор сторон Ребро

ID объектов **10**

Внешняя среда

Внешняя температура

Коэффициент процесса

Грани оболочки

Температура верхней грани

Температура нижней грани

Коэффициент процесса сверху

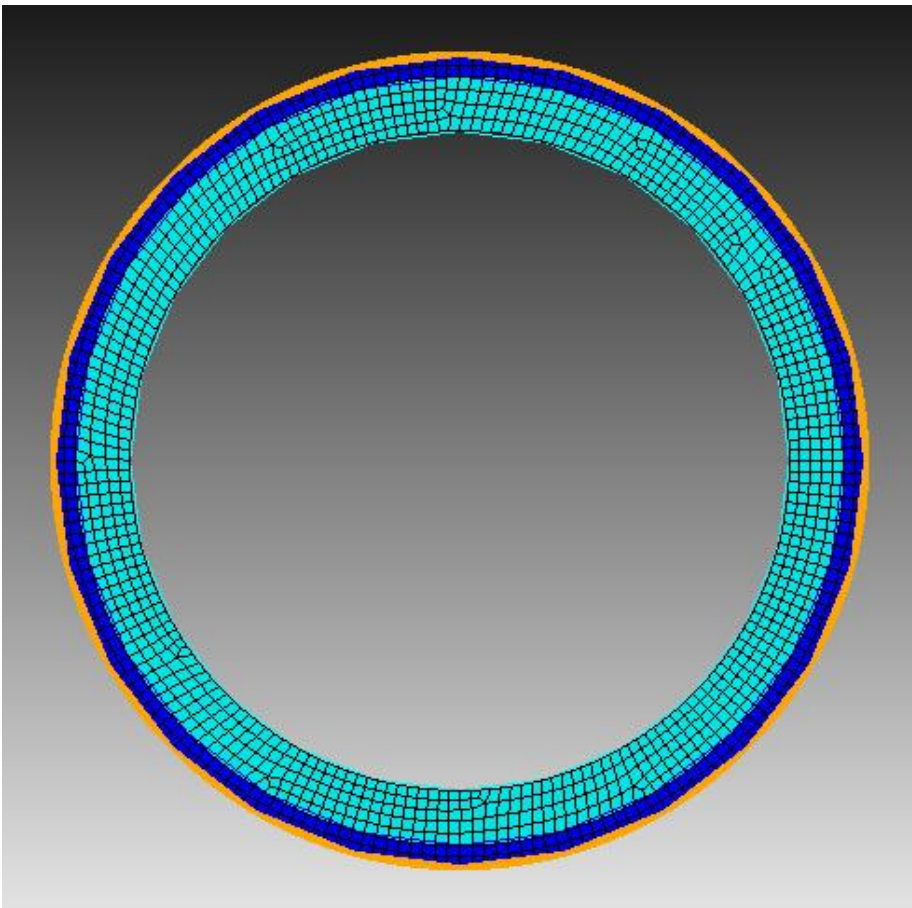
Коэффициент процесса снизу

2. Задайте процесс конвективного теплообмена на внешней поверхности цилиндра.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Конвекция**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 15;
- Выберите способ задания параметров: Внешняя среда;
- Внешняя температура: -15;
- Коэффициент процесса: 200.

Нажмите **Применить**.



Панель инструментов

Режим - Граничные условия

Объект - Конвекция

Действие - Создать

ID / имя

Новый ID

Имя

Автоматическое присвоение ID

Список объектов

Поверхность

Треугольник

Кривая

Грань / четырёхугольник

Набор сторон

Ребро

ID объектов | 15

Внешняя среда

Внешняя температура | -15

Коэффициент процесса | 200

Грани оболочки

Температура верхней грани |

Температура нижней грани |

Коэффициент процесса сверху |

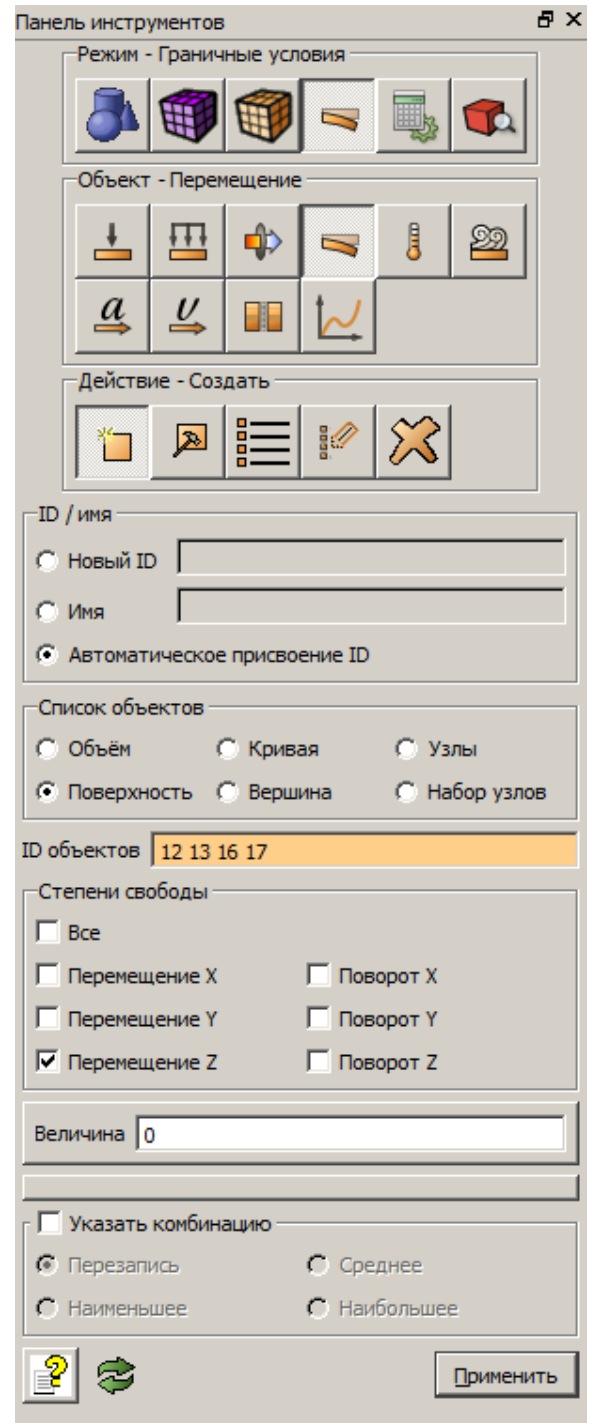
Коэффициент процесса снизу |

3. Зафиксируйте основания цилиндра.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 12 13 16 17 (*через пробел*);
- Степени свободы: Перемещение Z;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.



Запуск расчёта

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Статический**, Статика – **Общие**). Выберите Размерность – **3D**. Уберите галочку рядом с пунктом **Упругость**. Поставьте галочку рядом с пунктом **Теплопроводность**.

Нажмите **Применить**.

2. Задайте параметры решателя.

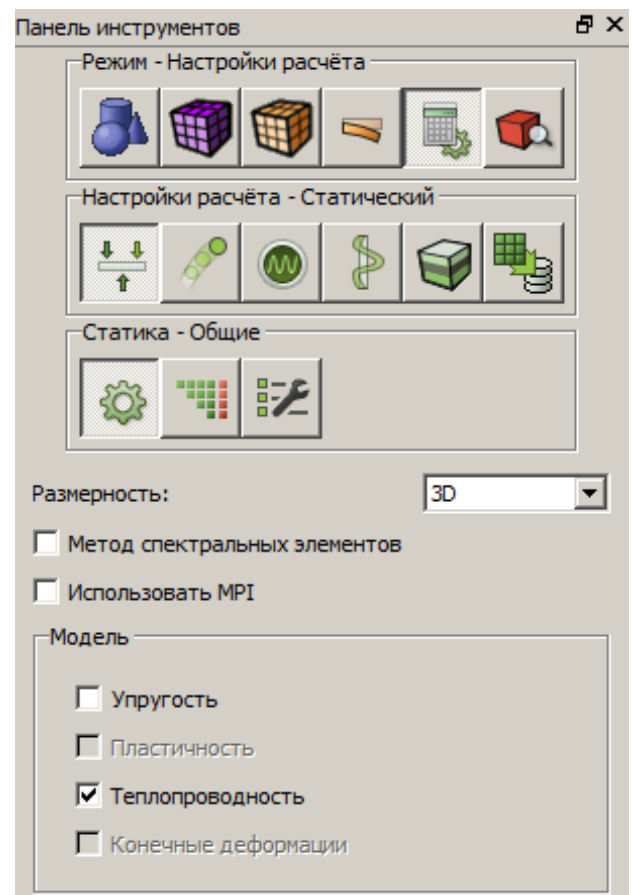
На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Статический**, Статика – **Решатель**). Выберите тип решателя (прямой или итерационный) и задайте параметры сходимости в случае выбора последнего. Либо оставьте все параметры по умолчанию.

Нажмите **Применить**.

Нажмите **Начать расчёт**.

3. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат, и введите название файла.

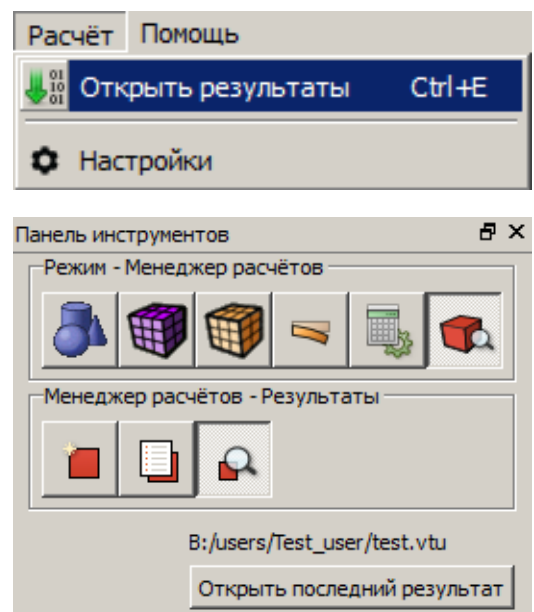
4. В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: “*Calculation finished successfully at <date> <time>*”.



Анализ результатов

1. Откройте файл с результатами. Это можно сделать тремя способами.

- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите **Расчёт** → **Результаты**. Нажмите **Открыть последний результат**.
- На панели команд выберите менеджер расчётов (Режим – **Менеджер расчётов**, Менеджер расчётов – **Результаты**). Нажмите **Открыть результаты**.



2. Отобразите компоненту теплового потока.

В окне **Fidesys Viewer** на панели инструментов установите следующие параметры:

- Тип отображения: Поверхность;
- Поле отображения: Тепловой поток.



Для отображения шкалы цветовой легенды нажмите на кнопку **Переключатель видимости цветовой легенды** на панели команд.

3. Выберите точку, в которой необходимо проверить тепловой поток.

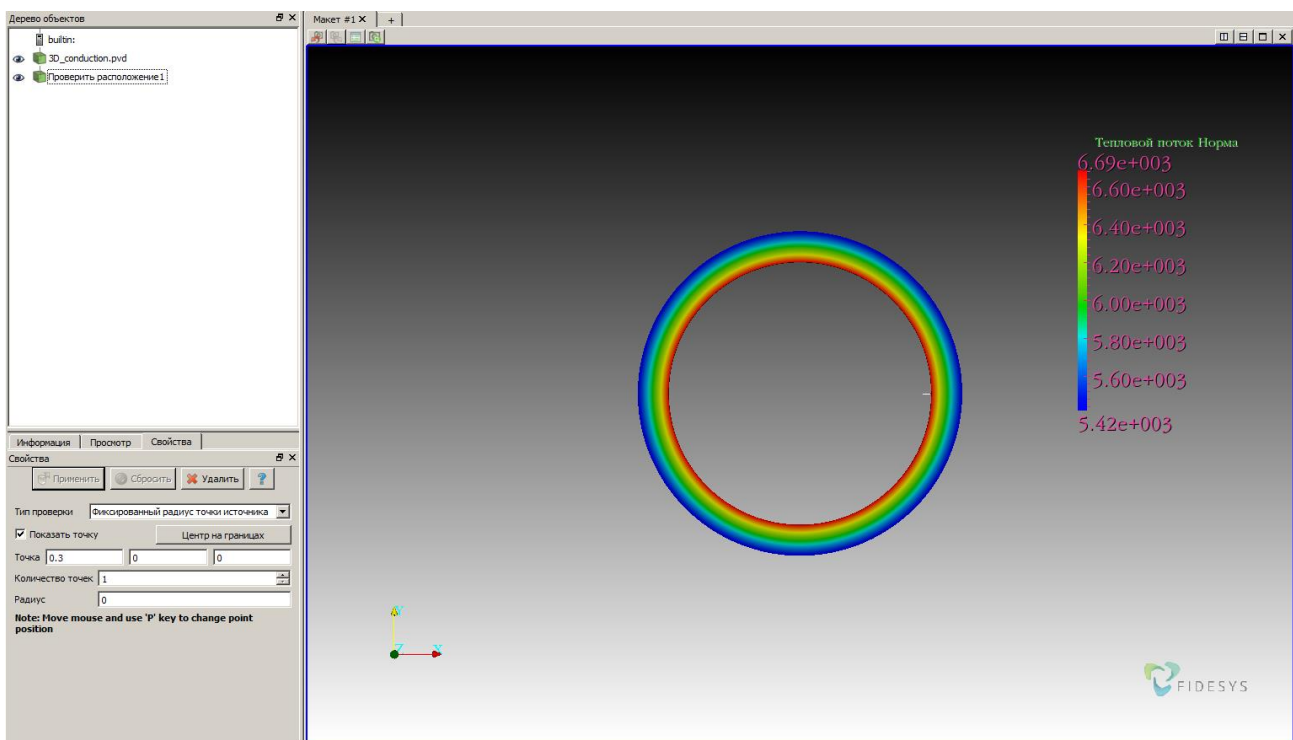
В главном меню выберите фильтр **Проверить расположение**. Во вкладке **Свойства** установите координаты точки A, в которой требуется проверить напряжение:

- Показать точку;
- Точка (координаты): 0.3 0 0;
- Количество точек: 1;
- Радиус: 0.

Нажмите **Применить**.

Для автоматического применения изменений всех фильтров нажмите на соответствующую кнопку **Автоматически применять изменения** на панели команд.

В результате на рисунке отобразится точка A.



4. Проверьте численное значение теплового потока φ в выбранной точке A.

Во вкладке **Информация** в поле **Массивы данных** посмотрите значения теплового потока в строке **Тепловой поток**.

Имя	Тип данных	Диапазоны данных
Исходные ID узлов	int	[9813, 9813]
Маска допустимых точек	char	[1, 1]
Материалы	int	[0, 0]
Температура	double	[25.4171, 25.4171]
Тепловой поток	double	[6686.41, 6686.41], [-0.00302395, -0.00302395], [8.02105e-05, 8.02105e-05]

По следующей формуле вычислим значение теплового потока

$$\sqrt{\varphi_x^2 + \varphi_y^2 + \varphi_z^2} = \sqrt{6686.41^2 + (-0.00302395)^2 + (8.02105e - 05)^2} = 6686.41$$

Полученное значение 6686.41 отличается от требуемого 6 687 на 0.01%.

5. Выгрузите числовые данные.

В главном меню выберите **Файл** → **Сохранить данные** либо нажмите **Ctrl+S**. Введите имя файла (формат *.csv), оставьте по умолчанию. Нажмите **ОК**. Сохранённый файл представляет собой обычную таблицу числовых данных, которую можно открыть любым текстовым редактором.

Использование консольного интерфейса

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса. Ниже приведён код программы, позволяющий выполнить шаги описанного выше руководства, , необходимо только **самостоятельно указать полный путь и название сохраняемого файла**.

Пример рабочего скрипта (файл сохраняется в D:/FidesysBundle/calc/example.pvd):

```

reset
create Cylinder height 0.01 radius 0.3
create Cylinder height 0.01 radius 0.35
create Cylinder height 0.01 radius 0.37
subtract body 1 from body 2 keep
subtract body 2 from body 3 keep
delete body 1 2 3
merge volume 4 5
curve all interval 200
curve all scheme equal
volume all scheme Polyhedron
mesh volume all
create material "Material 1" property_group "CUBIT-FEA"
modify material "Material 1" scalar_properties "CONDUCTIVITY" 40
create material "Material 2" property_group "CUBIT-FEA"
modify material "Material 2" scalar_properties "CONDUCTIVITY" 20
block 1 volume 4
block 1 material 'Material 1'
block 2 volume 5
block 2 material 'Material 2'
block all element type HEX27
create convection on surface 10 surrounding 70 coefficient 150
create convection on surface 15 surrounding -15 coefficient 200
create displacement on surface 12 13 16 17 dof 3 fix 0
analysis type static heattrans dim3
    
```

calculation start path " D:/FidesysBundle/calc/example.pvd"



Также можно запустить файл *Example_10_Static_3D_Conduction.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала . В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

Задача теплопроводности (плоская модель)

Решается двумерная задача о полом цилиндра, находящемся под воздействием конвекции.

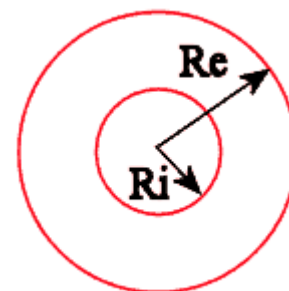
Геометрическая модель задачи представлена на рисунке ниже:

Внутренний радиус цилиндра $R_i = 0,30$ м, внешний радиус $R_e = 0,391$ м.

На внутренней поверхности цилиндра происходит конвективный теплообмен с температурой внешней среды $T_i = 500$ °С и коэффициентом $h_i = 150$ Вт/м²/°С. На внешней поверхности цилиндра происходит конвективный теплообмен с температурой внешней среды $T_e = 20$ °С и коэффициентом $h_e = 142$ Вт/м²/°С.

Материал является изотропным. Параметры материала: $E = 210$ ГПа, $\nu = 0.3$, $V = 40$ Вт/(м ·°С).

Критерий прохождения теста: в точке (0,3;0;0) температура $T = 272.3$ °С, тепловой поток , $\varphi = 3.416E4$ Вт/м² с точностью 1 %.



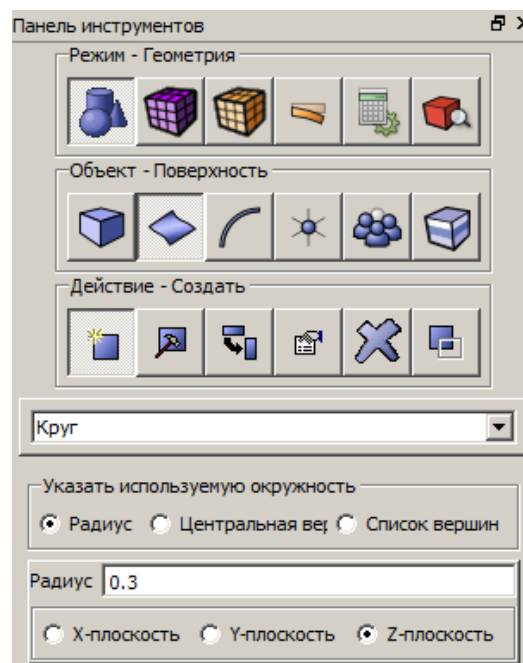
Построение модели

1. Создайте первый круг.

На панели команд выберите модуль построения плоской геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Поверхность**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Круг**. Задайте размеры круга:

- Радиус: 0.3.

Нажмите **Применить**.



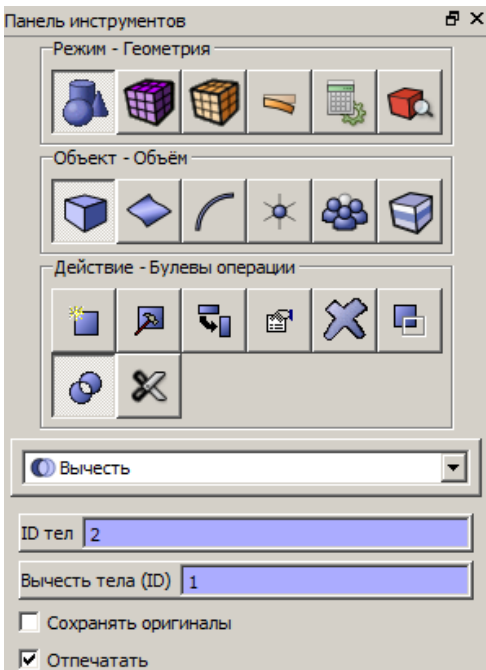
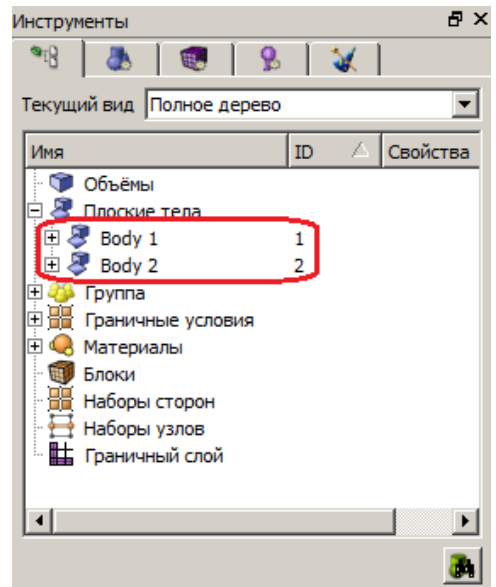
2. Создайте второй круг.

На панели команд выберите модуль построения плоской геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Поверхность**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Круг**. Задайте размеры круга:

- Радиус: 0.391.

Нажмите **Применить**.

В результате в дереве объектов отобразятся два только что созданных объекта (Body 1 и Body 2).



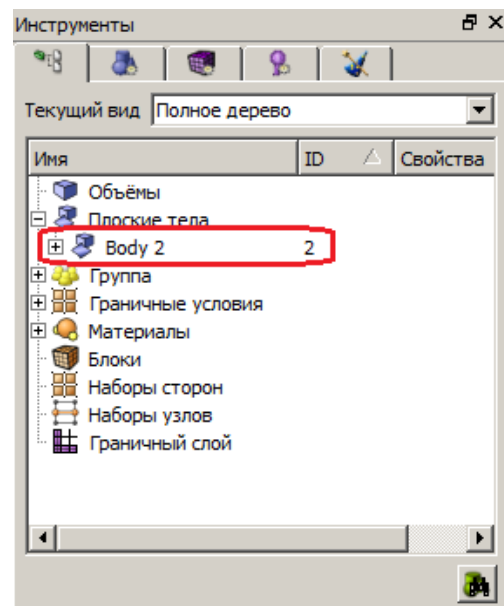
3. Вычтите первый круг из второго.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Булевы операции**). Из списка операций выберите **Вычесть**. Задайте следующие параметры:

- ID тел: 2 (*объёмы, из которых будут вычтены другие объёмы*);
- Вычесть тела (ID): 1 (*объёмы, которые будут вычтены*);
- Отпечатать.

Нажмите **Применить**.

В результате в дереве объектов останется только один объект (Body 2).

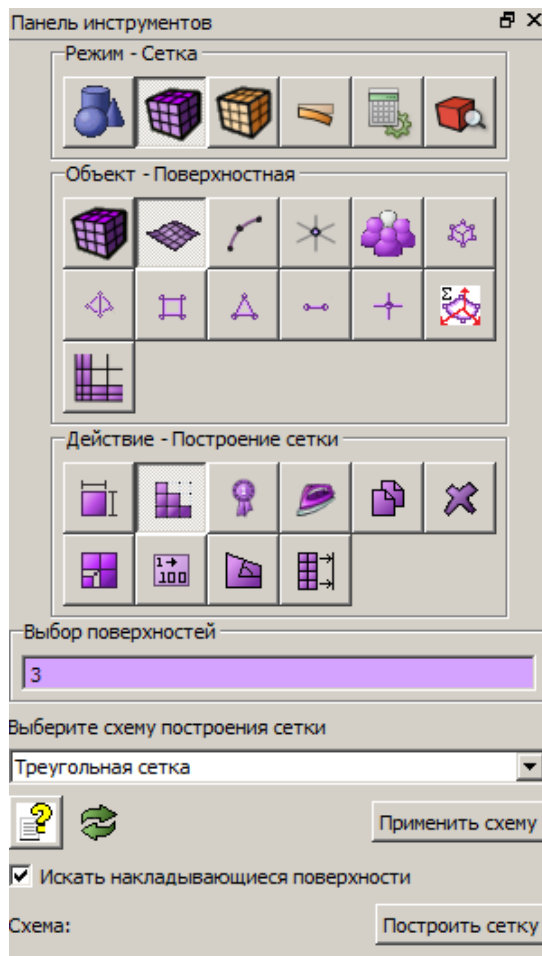
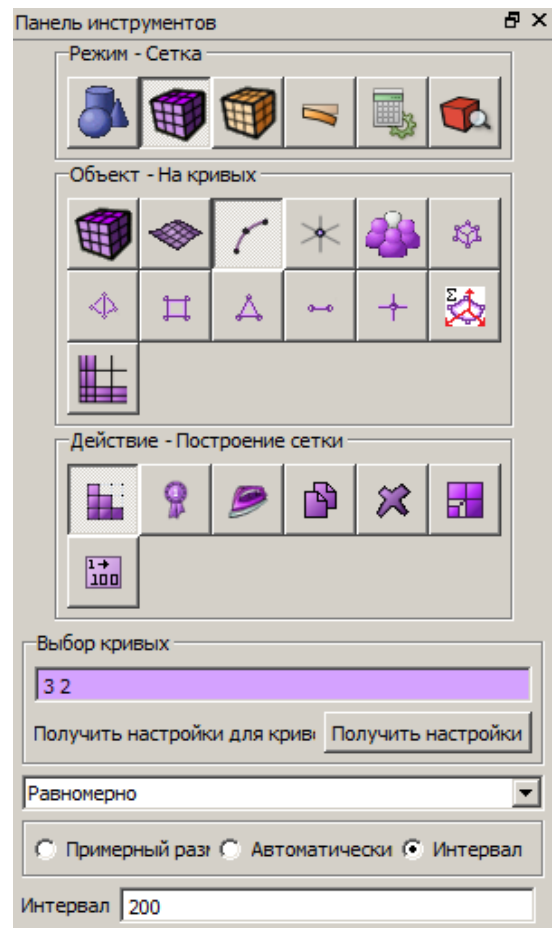


Построение сетки

1. На панели команд выберите модуль построения сетки на кривых (Режим – **Сетка**, Объект – **На кривых**, Действие – **Построение сетки**). Укажите степень измельчения сетки:

- Выбор кривых: 3 2 (через пробелы);
- Выберите способ построения сетки: Равномерно;
- Выберите параметр построения сетки: Интервал;
- Укажите размер интервала: 200.

Нажмите **Применить**.



2. На панели команд выберите модуль построения поверхностной сетки (Режим – **Сетка**, Объект – **Поверхностная**, Действие – **Построение сетки**).

- Выберите поверхности (укажите их ID): 3 (или командой **all**);
- Выберите схему построения сетки: Треугольная сетка.

Нажмите **Применить схему**.

Нажмите **Построить сетку**.

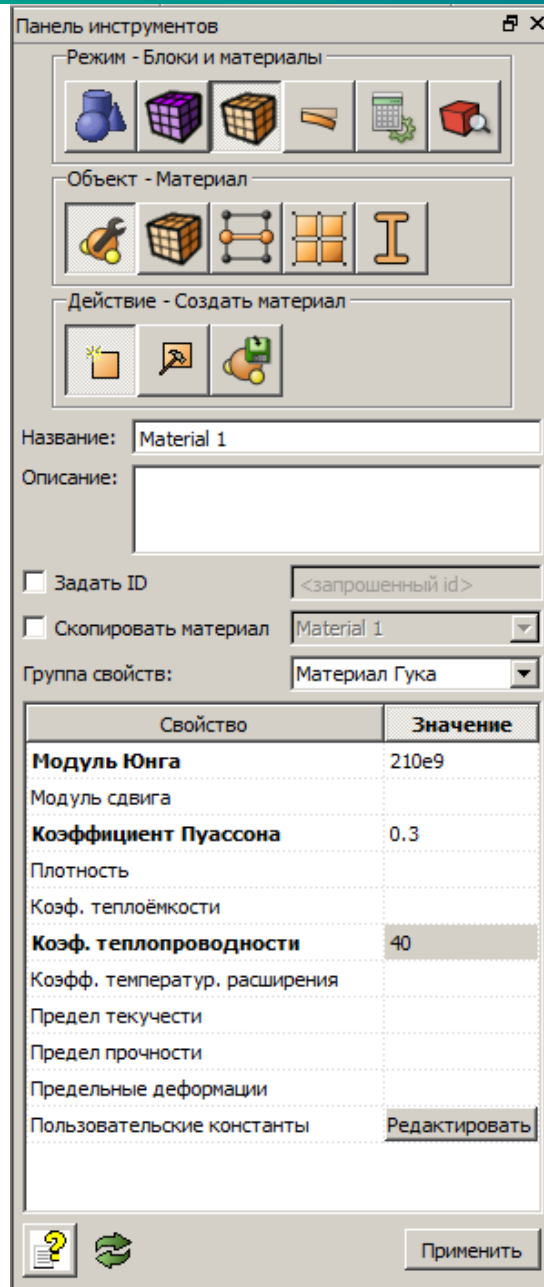
Задание материала и типа элемента

1. Создайте материал.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Материал**, Действие – **Создать материал**). Введите название для материала. Задайте следующие параметры:

- Теплопроводность: 40.

Нажмите **Применить**.

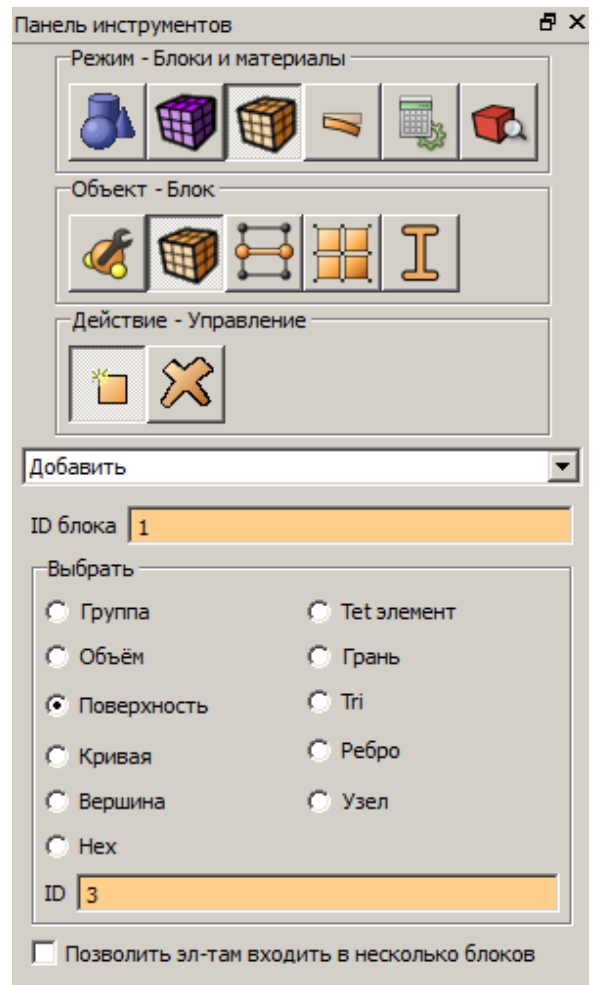


2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Добавить**. Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Выберите объекты, которые будут объединены в блок: Поверхность;
- ID: 3 (или командой **all**).

Нажмите **Применить**.

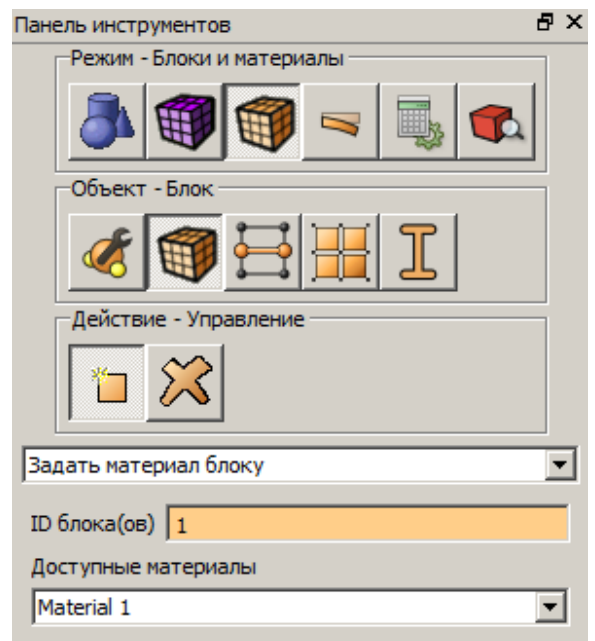


3. Присвойте материал блоку.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Задать материал блоку**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выберите из списка ранее созданный материал: Material 1.

Нажмите **Применить**.

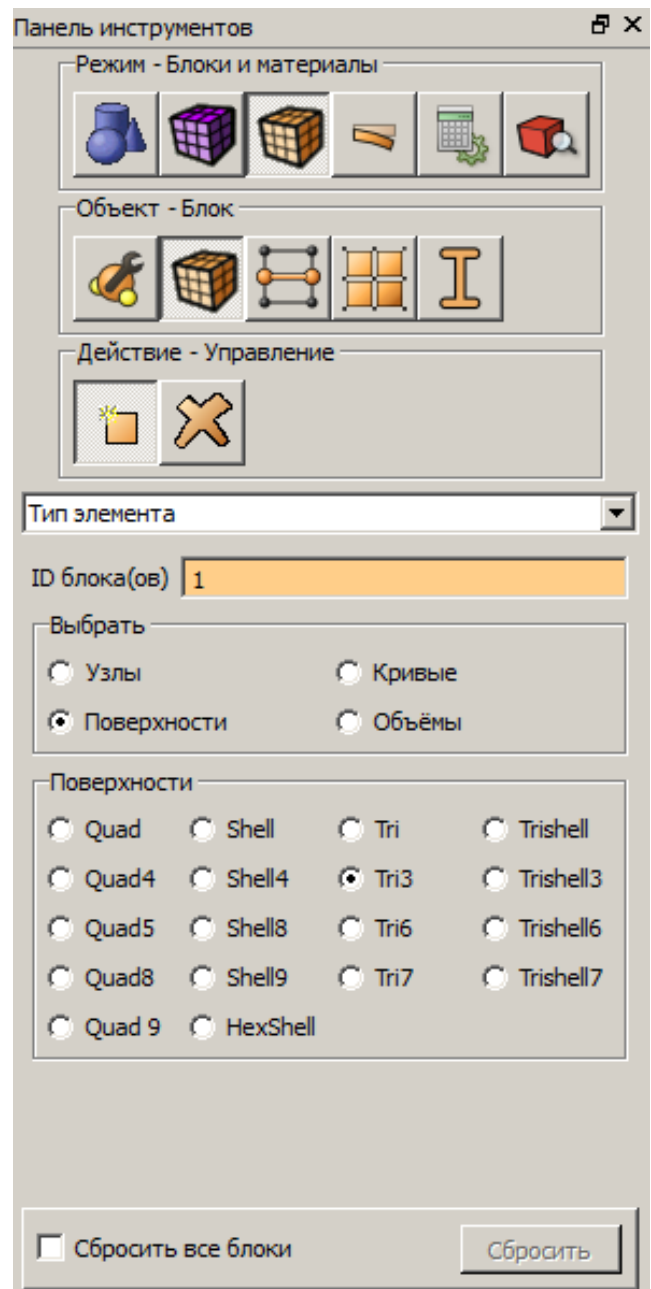


4. Присвойте тип элемента.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Тип элемента**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выбрать: Поверхности;
- Поверхности: Tri3.

Нажмите **Применить**.



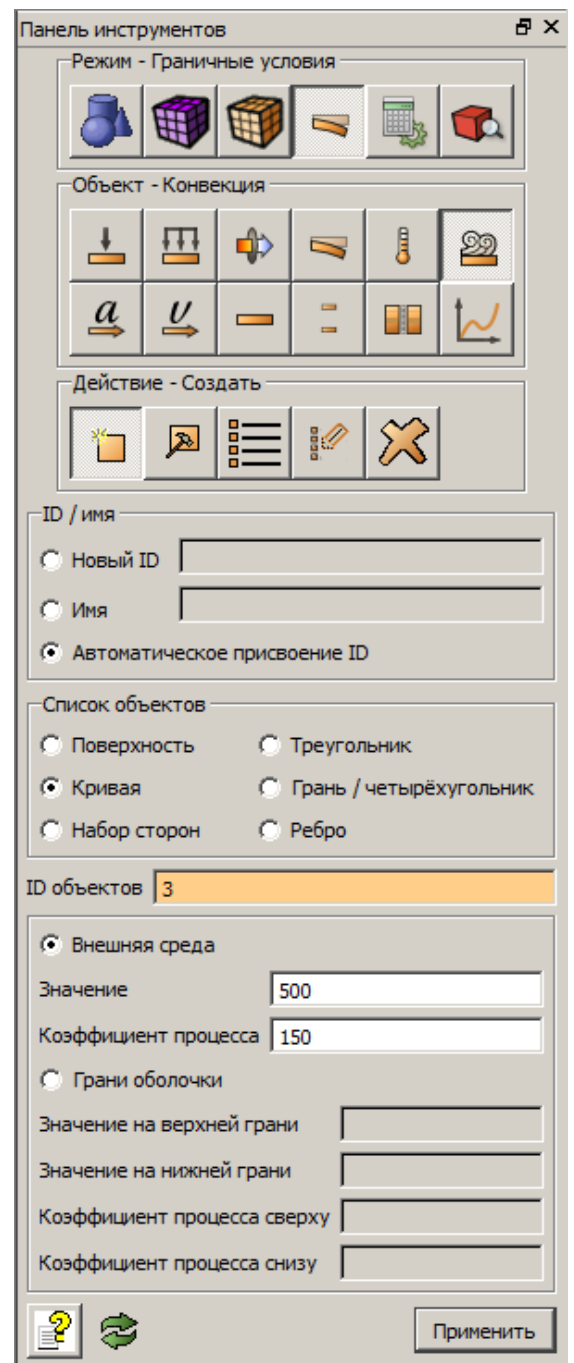
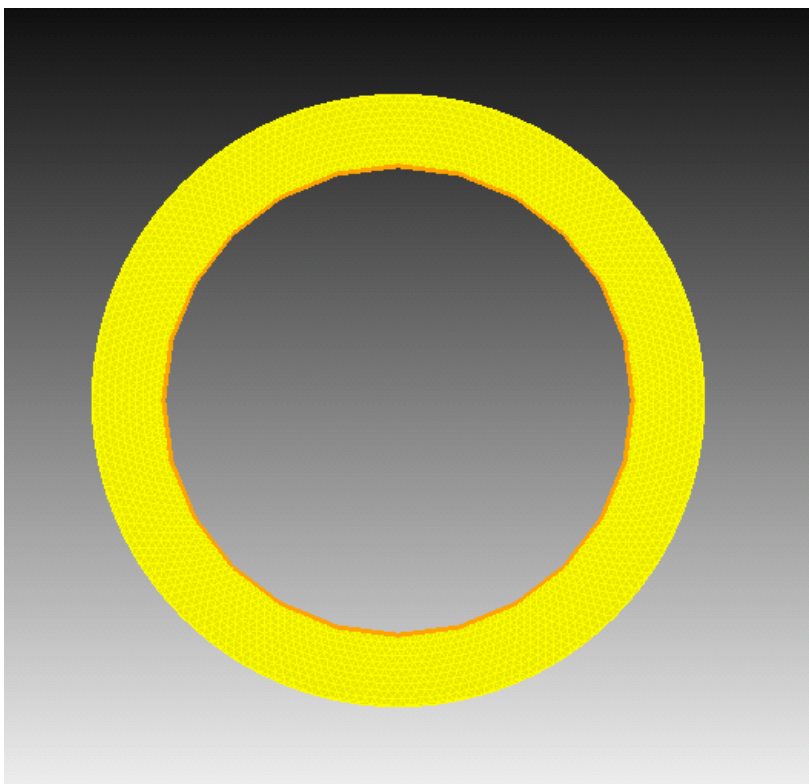
Задание граничных условий

1. Задайте процесс конвективного теплообмена на внутренней поверхности цилиндра.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Конвекция**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объектов: 3;
- Выберите способ задания параметров: Внешняя среда;
- Внешняя температура: 500;
- Коэффициент процесса: 150.

Нажмите **Применить**.

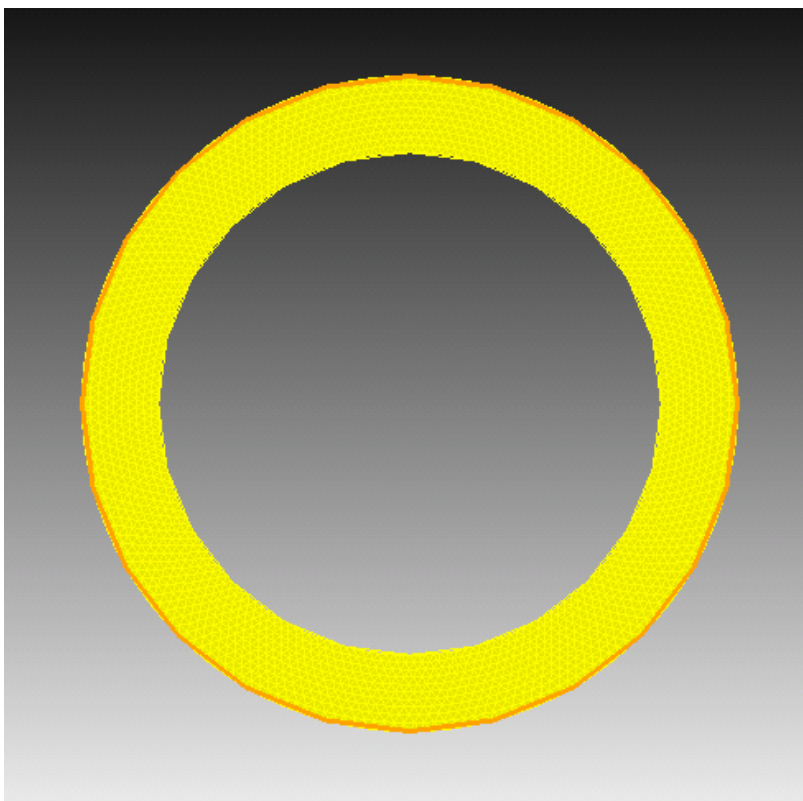
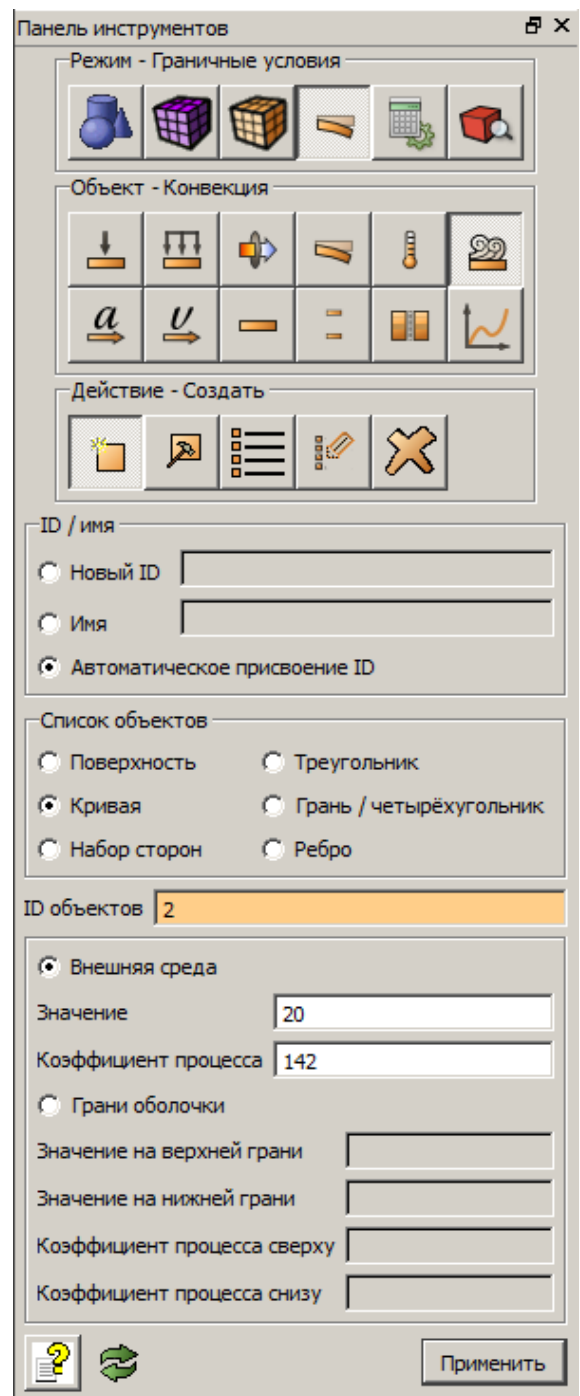


2. Задайте процесс конвективного теплообмена на внешней поверхности цилиндра.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Конвекция**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объектов: 2;
- Выберите способ задания параметров: Внешняя среда;
- Внешняя температура: 20;
- Коэффициент процесса: 142.

Нажмите **Применить**.



Запуск расчёта

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Статический**, Статика – **Общие**). Выберите Размерность – **2D**, Тип плоской задачи – **Плоское деформированное состояние**. Уберите галочку рядом с пунктом **Упругость**. Поставьте галочку рядом с пунктом **Теплопроводность**.

Нажмите **Применить**.

2. Задайте параметры решателя.

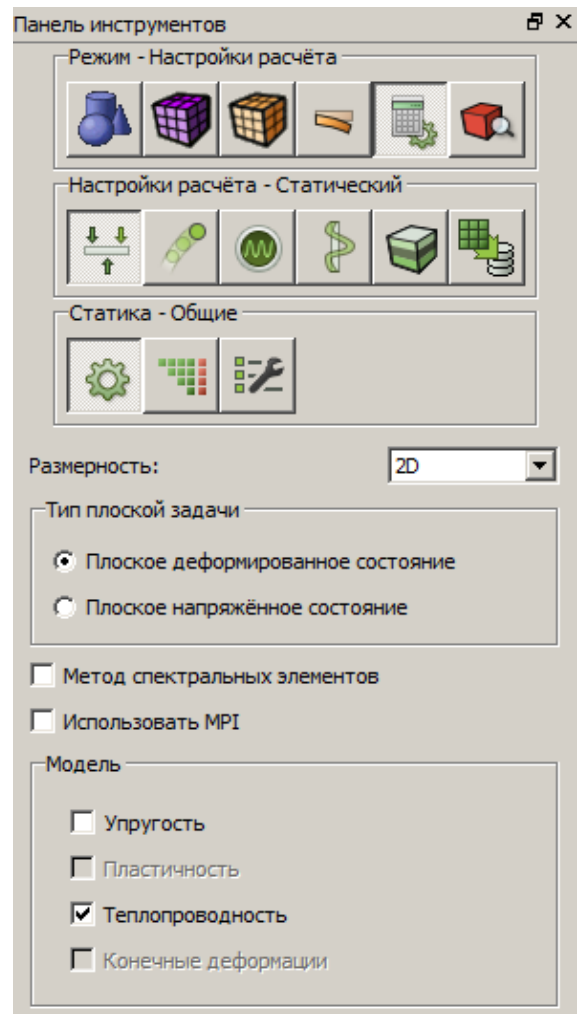
На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Статический**, Статика – **Решатель**). Выберите тип решателя (прямой или итерационный) и задайте параметры сходимости в случае выбора последнего. Либо оставьте все параметры по умолчанию.

Нажмите **Применить**.

Нажмите **Начать расчёт**.

3. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат, и введите название файла.

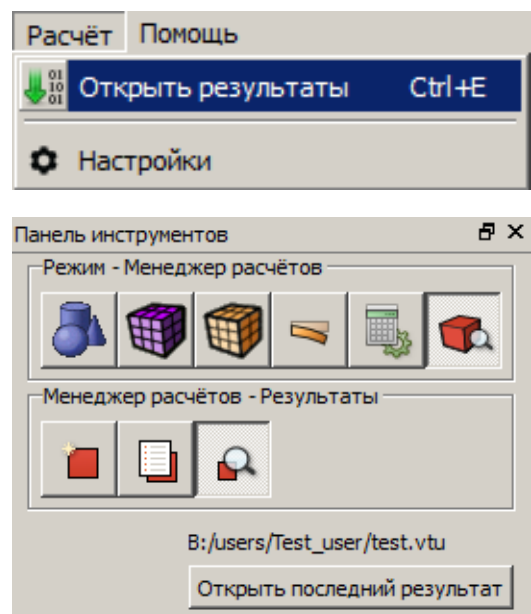
4. В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: *"Calculation finished successfully at <date> <time>".*



Анализ результатов

1. Откройте файл с результатами. Это можно сделать тремя способами.

- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите **Расчёт** → **Результаты**. Нажмите **Открыть последний результат**.
- На панели команд выберите менеджер расчётов (Режим – **Менеджер расчётов**, Менеджер расчётов – **Результаты**). Нажмите **Открыть результаты**.



2. Отобразите компоненту температур.

В появившемся окне **Fidesys Viewer** на панели инструментов установите следующие параметры:

- Тип отображения: Поверхность;
- Поле отображения: Температура.



Для отображения шкалы цветовой легенды нажмите на кнопку **Переключатель видимости цветовой легенды** на панели команд.

3. Выберите точку, в которой необходимо проверить температуру.

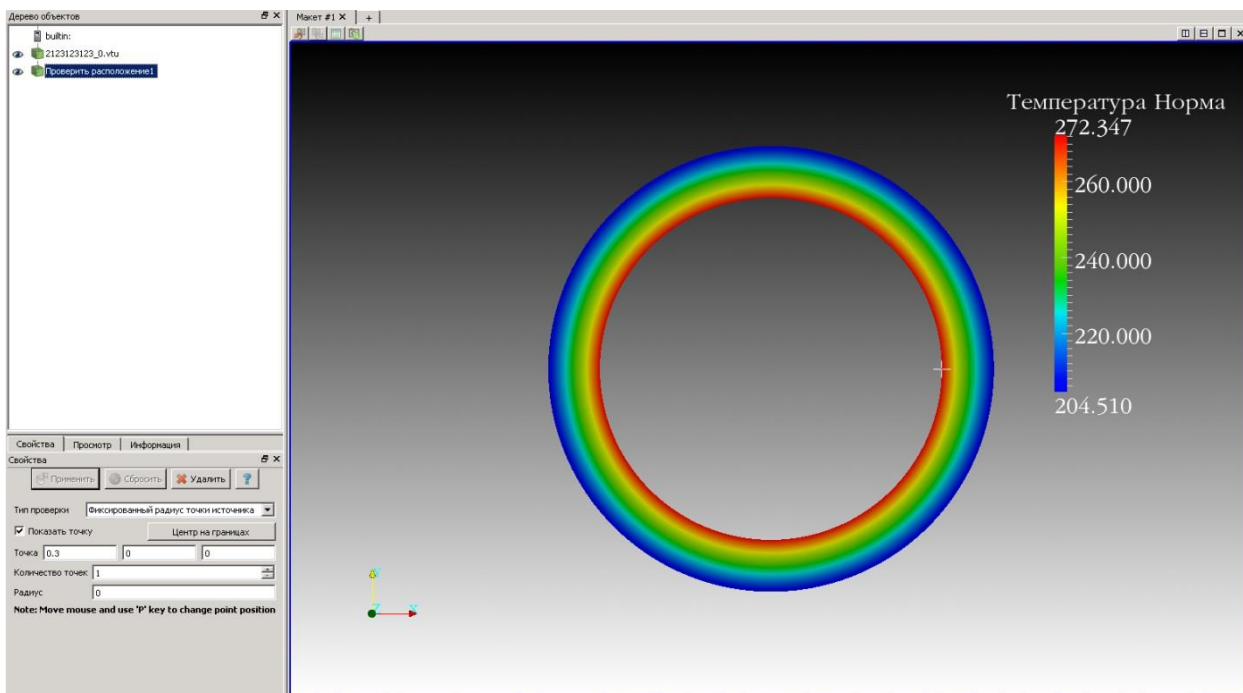
В главном меню выберите фильтр **Проверить расположение**. Во вкладке **Свойства** установите координаты точки A, в которой требуется проверить напряжение:

- Показать точку;
- Точка (координаты): 0.3 0 0;
- Количество точек: 1;
- Радиус: 0.

Нажмите **Применить**.

Для автоматического применения изменений всех фильтров нажмите на соответствующую кнопку **Автоматически применять изменения** на панели команд.

В результате на рисунке отобразится точка A.



4. Проверьте численное значение температуры T в выбранной точке A.

Во вкладке **Информация** в поле **Массивы данных** посмотрите требуемое значение в строке **Температура**.

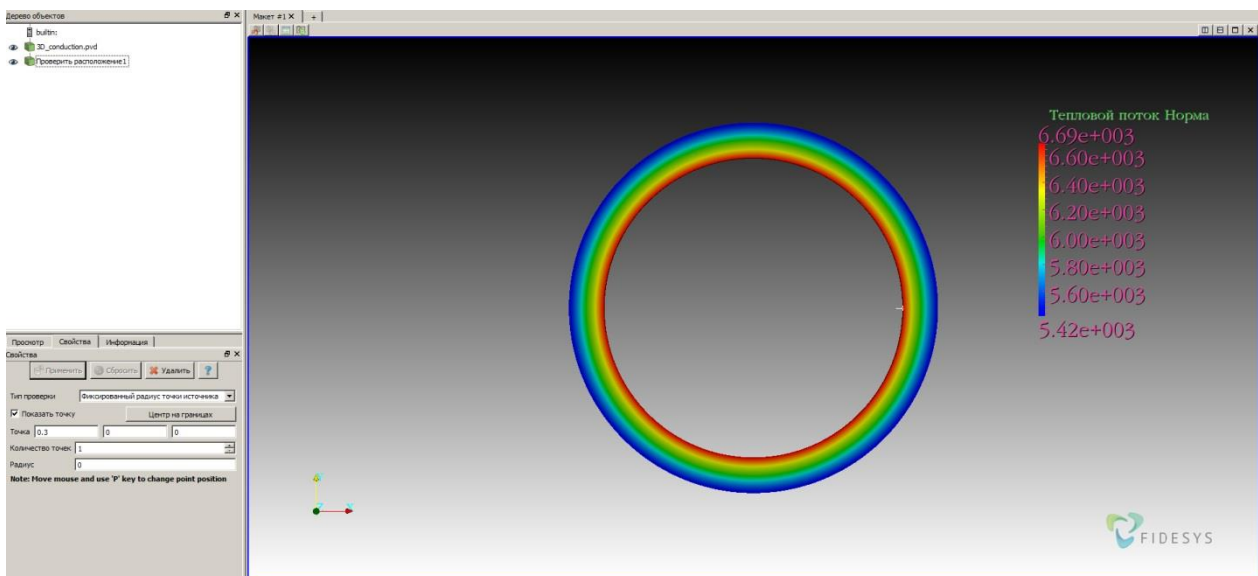
Массивы данных		
Имя	Тип данных	Диапазоны данных
Исходные ID узлов	int	[475, 475]
Маска допустимых точек	char	[0, 0]
Материалы	int	[0, 0]
Температура	double	[272.347, 272.347]
Тепловой поток	double	[33512.7, 33512.7], [526.073, 526.073]

Полученное значение 272.347 отличается от требуемого 272.3 на 0.02%.

5. Отобразите компоненту теплового потока.

В окне **Fidesys Viewer** на панели инструментов установите следующие параметры:

- Тип отображения: Поверхность;
- Поле отображения: Тепловой поток.



6. Проверьте численное значение теплового потока φ в выбранной точке A.

Во вкладке **Информация** в поле **Массивы данных** посмотрите значения теплового потока в строке **Тепловой поток**.

Массивы данных		
Имя	Тип данных	Диапазоны данных
Исходные ID узлов	int	[475, 475]
Маска допустимых точек	char	[0, 0]
Материалы	int	[0, 0]
Температура	double	[272.347, 272.347]
Тепловой поток	double	[33512.7, 33512.7], [526.073, 526.073]

По следующей формуле вычислим значение теплового потока

$$\sqrt{\varphi_x^2 + \varphi_y^2} = \sqrt{33512.7^2 + 526.073^2} = 33516.82882$$

Полученное значение 33516.82882 отличается от требуемого 3.416E4 на 1.88%.

7. Выгрузите числовые данные.

В главном меню выберите **Файл** → **Сохранить данные** либо нажмите **Ctrl+S**. Введите имя файла (формат *.csv), оставьте по умолчанию. Нажмите **ОК**. Сохранённый файл представляет собой обычную таблицу числовых данных, которую можно открыть любым текстовым редактором.

Использование консольного интерфейса

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса. Ниже приведён код программы, позволяющий выполнить шаги описанного выше руководства, , необходимо только **самостоятельно указать полный путь и название сохраняемого файла**.

Пример рабочего скрипта (файл сохраняется в D:/FidesysBundle/calc/example.pvd):

```
reset
set node constraint on
create surface circle radius 0.3 zplane
create surface circle radius 0.391 zplane
subtract body 1 from body 2 imprint
curve 3 2 interval 200
curve 3 2 scheme equal
surface 3 scheme TriMesh
mesh surface 3
undo group begin
create material "Material 1" property_group "CUBIT-FEA"
modify material "Material 1" scalar_properties "MODULUS" 2.1e+11 "POISSON" 0.3
"CONDUCTIVITY" 40
undo group end
set duplicate block elements off
block 1 surface 3
block 1 material 'Material 1'
block 1 element type tri3
create convection on curve 3 surrounding 500 coefficient 150
create convection on curve 2 surrounding 20 coefficient 142
analysis type static heattrans dim2 planestrain
spectralelement off
usempi off
solver method auto try_other off
solver method auto try_other offcalculation start path "D:/FidesysBundle/calc/example.pvd"
```



Также можно запустить файл *Example_11_Static_2D_Conduction.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала . В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

Задача термоупругости (плоская задача)

Боли Б., Уэйнер Дж. Теория температурных напряжений. М.: Мир, 1964, р. 259.

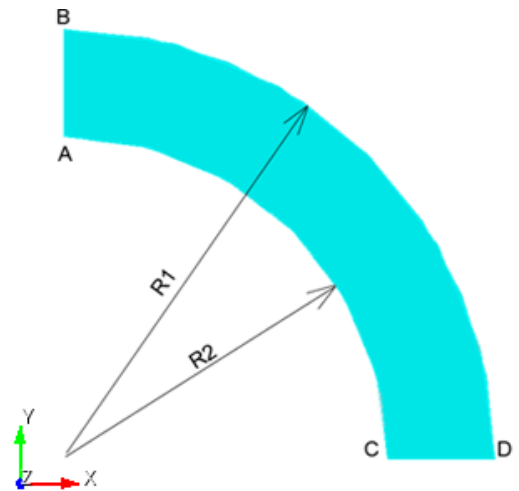
Решается задача о статическом температурном нагружении полого цилиндрического тела внешнего радиуса $R_1=4$ м и внутреннего радиуса $R_2=3$ м. Температурное воздействие, приложенное к внутренней грани цилиндра AC, постоянно и равно $T_1 = 30^\circ\text{C}$. Температурное воздействие, приложенное к внутренней грани цилиндра BD, постоянно и равно $T_2 = 100^\circ\text{C}$.

Грани AB и CD закреплены из условия симметрии:

- Нулевые перемещения вдоль оси X на линии AB;
- Нулевые перемещения вдоль оси Y на линии DC.

Параметры материала: модуль упругости $E = 200$ Гпа, коэффициент Пуассона $\nu = 0.3$, температурное расширение $\mu = 0.0001$ $1/^\circ\text{C}$.

Критерий прохождения теста: перемещение u_x в точке (3, 0, 0) равно 0.0205014 м с точностью 1%.



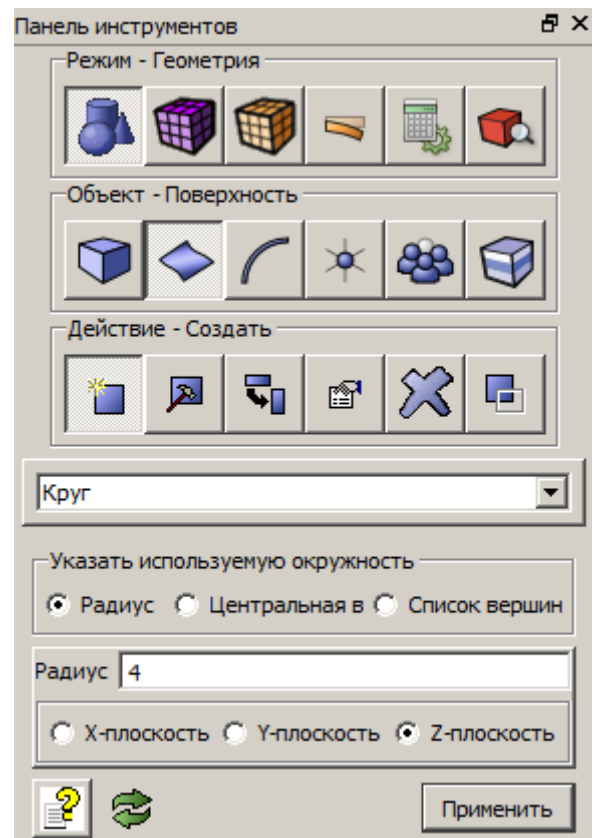
Построение модели

1. Создайте круг №1.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Поверхность**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Круг**. Задайте размеры круга:

- Радиус: 4;
- Расположение: Z-плоскость.

Нажмите **Применить**.



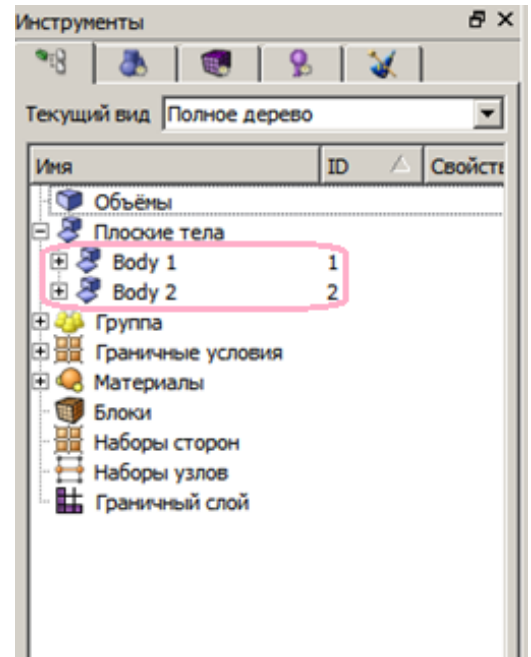
2. Создайте круг №2

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Поверхность**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Круг**. Задайте размеры круга:

- Радиус: 3;
- Расположение: Z-плоскость.

Нажмите **Применить**.

В результате в дереве объектов отобразятся два только что созданных объекта (Body 1 и Body 2).



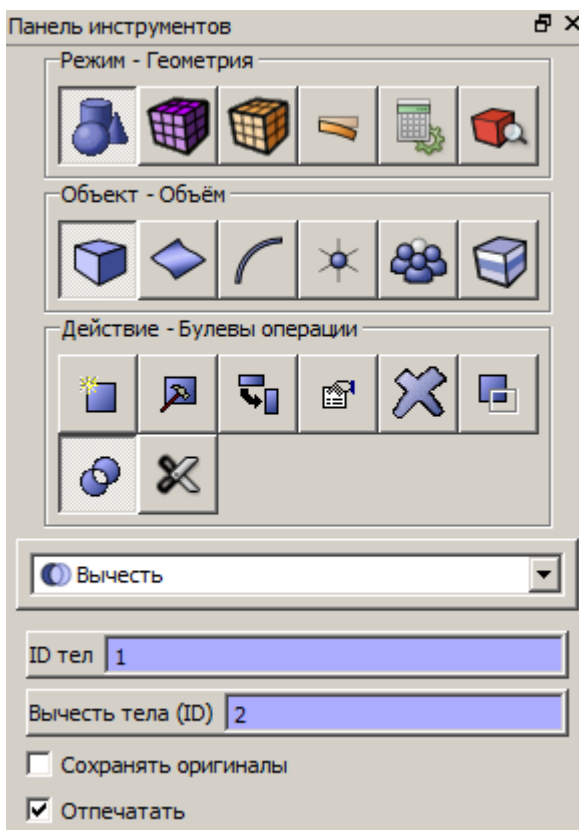
3. Вычтите первый круг из второго.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Булевы операции**). Из списка операций выберите **Вычесть**. Задайте следующие параметры:

- ID тел: 1 (объёмы, из которых будут вычтены другие объёмы);
- Вычесть тела (ID): 2 (объёмы, которые будут вычтены);
- Отпечатать.

Нажмите **Применить**.

В результате в дереве объектов останется только один объём (Body 1).



- Оставьте четверть поверхности (симметрия задачи).

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Разрез**). Из списка возможных видов разрезов выберите **Координатная плоскость**. Задайте следующие параметры:

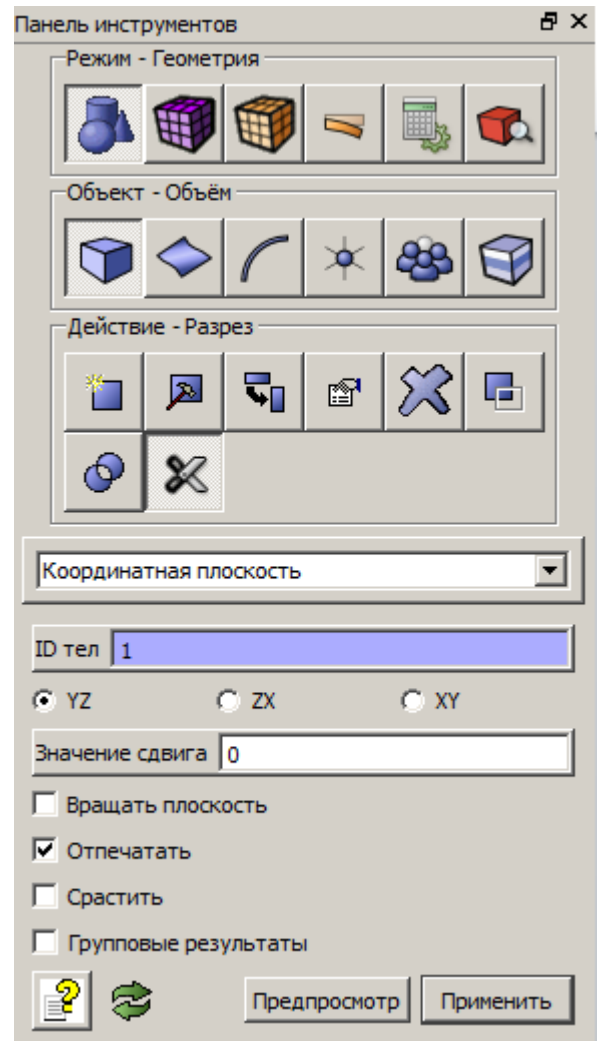
- ID тел: 1 (плоскость, которая будет разрезана);
- Разрезать: Плоскость YZ;
- Значение сдвига: 0;
- Отпечатать.

Нажмите **Применить**.

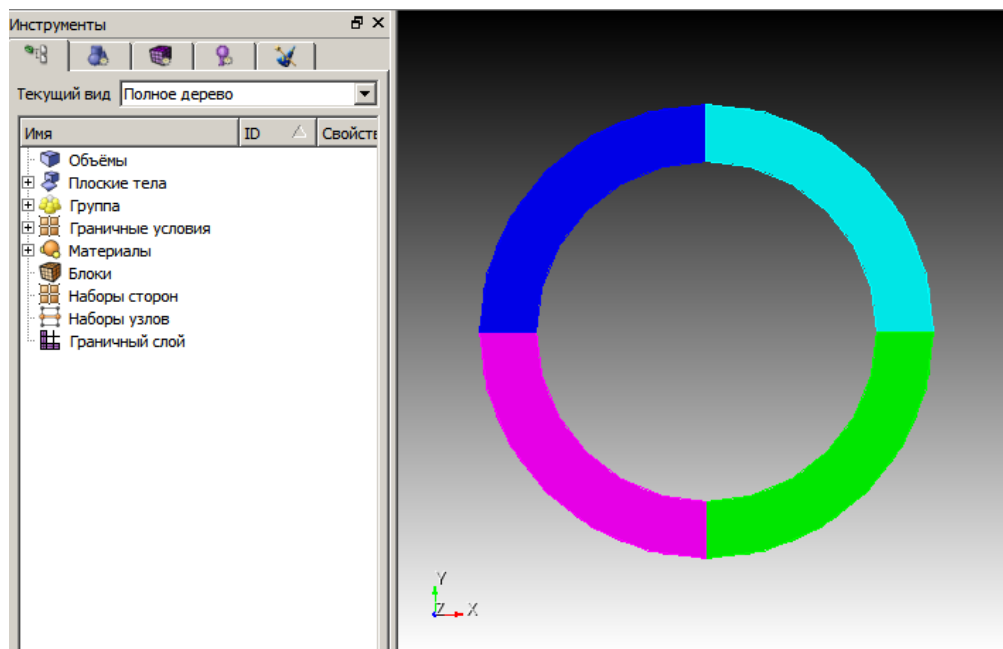
Проделайте то же самое, но в плоскости ZX:

- ID тел: 1 (плоскости, которые будут разрезаны);
- Разрезать: Плоскость ZX;
- Значение сдвига: 0;
- Отпечатать.

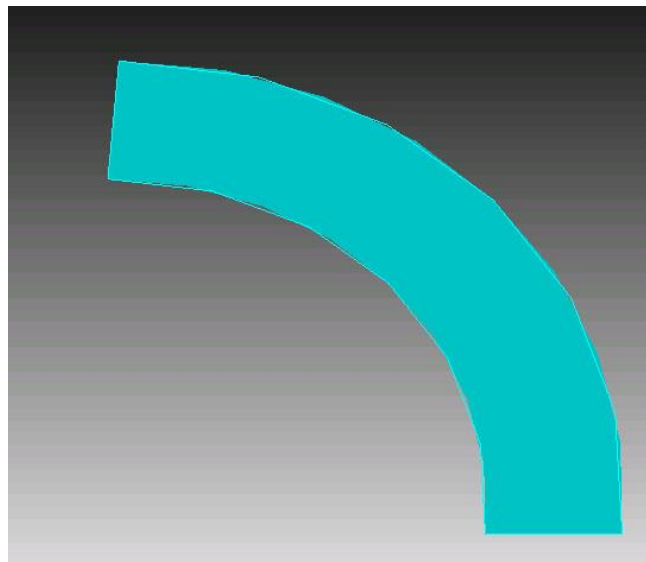
Нажмите **Применить**.



В результате исходная плоскость в дереве объектов будет поделена на три (Body 1, Body 3, Body 4).



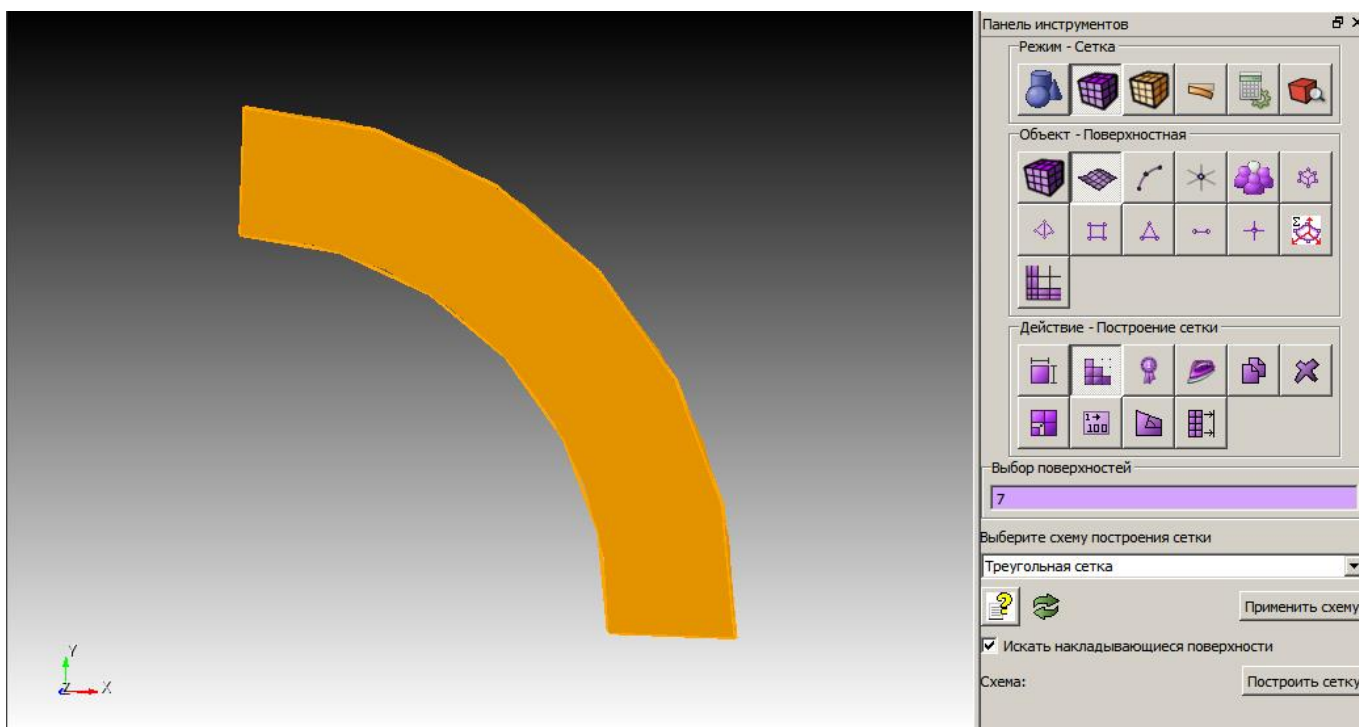
Удалите тела 1, 3 и 5. Для этого, кликнув правой кнопкой мыши в дереве объектов на эти плоскости, в контекстном меню выберите **Удалить**. В результате останется четверть первоначальной плоскости (Body 4):



Построение сетки

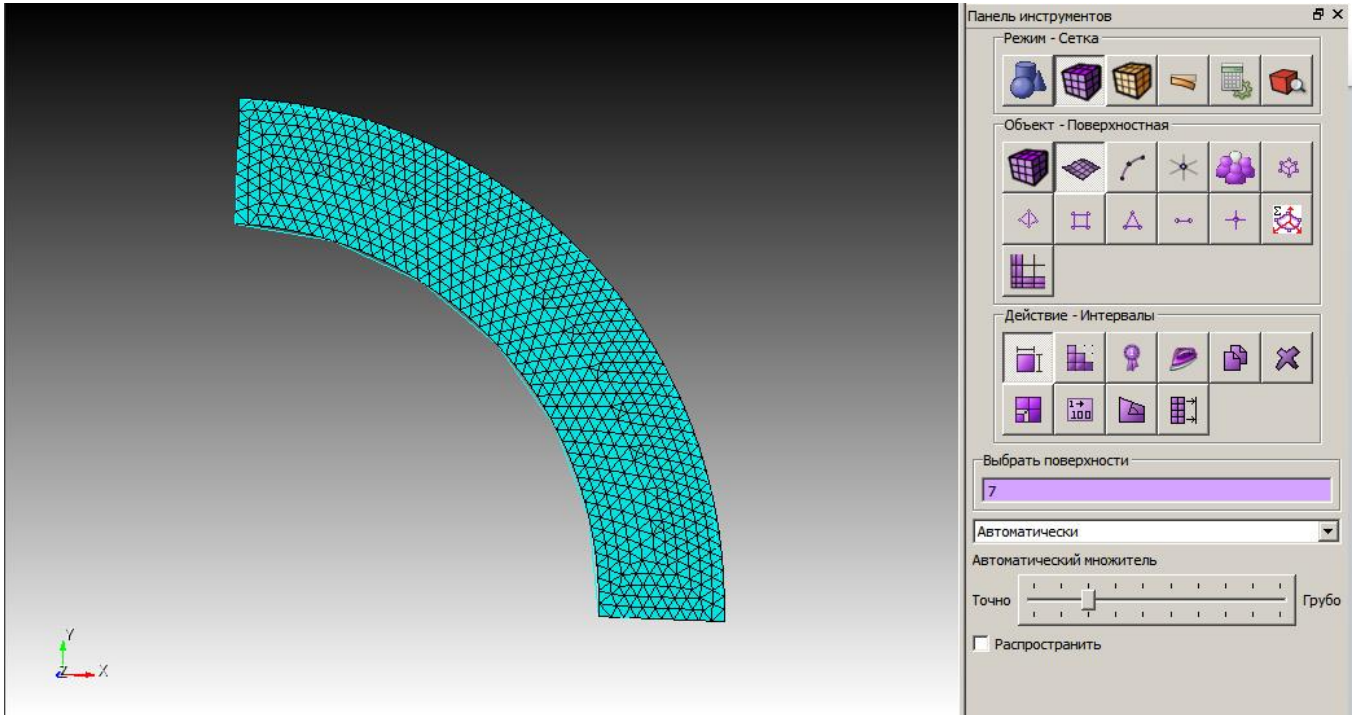
1. На панели команд выберите модуль построения сетки на плоскостях (Режим – **Сетка**, Объект – **Поверхностная**, Действие – **Построение сетки**). Укажите схему построения сетки:
 - Выберите поверхности (укажите их ID): 7 (или командой **all**);
 - Выберите схему построения сетки: Треугольная сетка;

Нажмите **Применить схему**.



2. На панели команд выберите модуль построения сетки на плоскостях (Режим – **Сетка**, Объект – **Поверхностная**, Действие – **Интервалы**). Укажите интервал построения сетки:
 - Выберите поверхности (укажите их ID): 7 (или командой **all**);
 - Выберите режим построения сетки: Автоматически;
 - Сдвиньте курсор автоматического множителя на третью слева позицию.

Нажмите **Применить**. Затем нажмите **Построить сетку**.



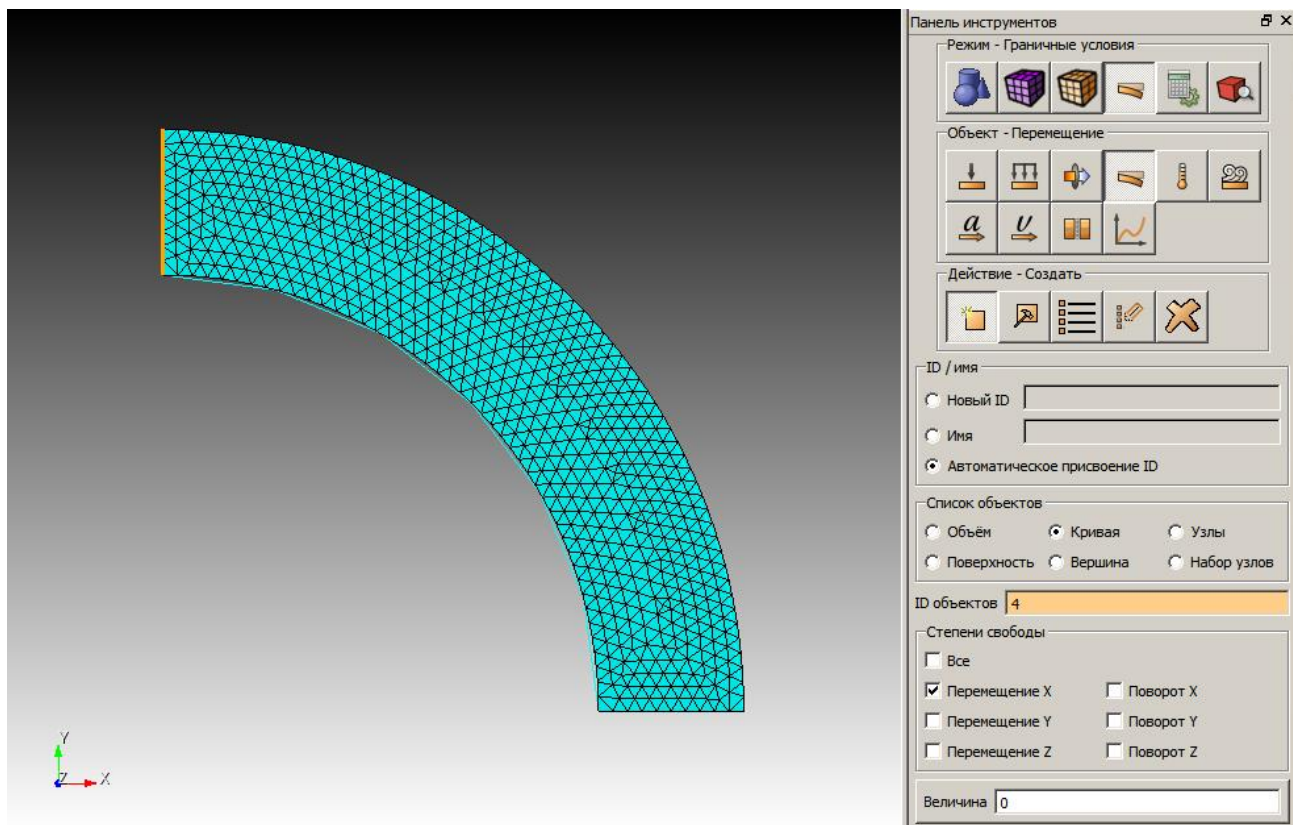
Задание граничных условий

1. Закрепите одну боковую линию в направлении X.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объектов: 4;
- Степени свободы: Перемещение X;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.



2. Закрепите одну боковую линию в направлении Y.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объектов: 15;
- Степени свободы: Перемещение Y;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

3. Задайте температурное нагружение на внутренней кривой цилиндра.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Температура**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объектов: 17;
- Значение температуры: 30.

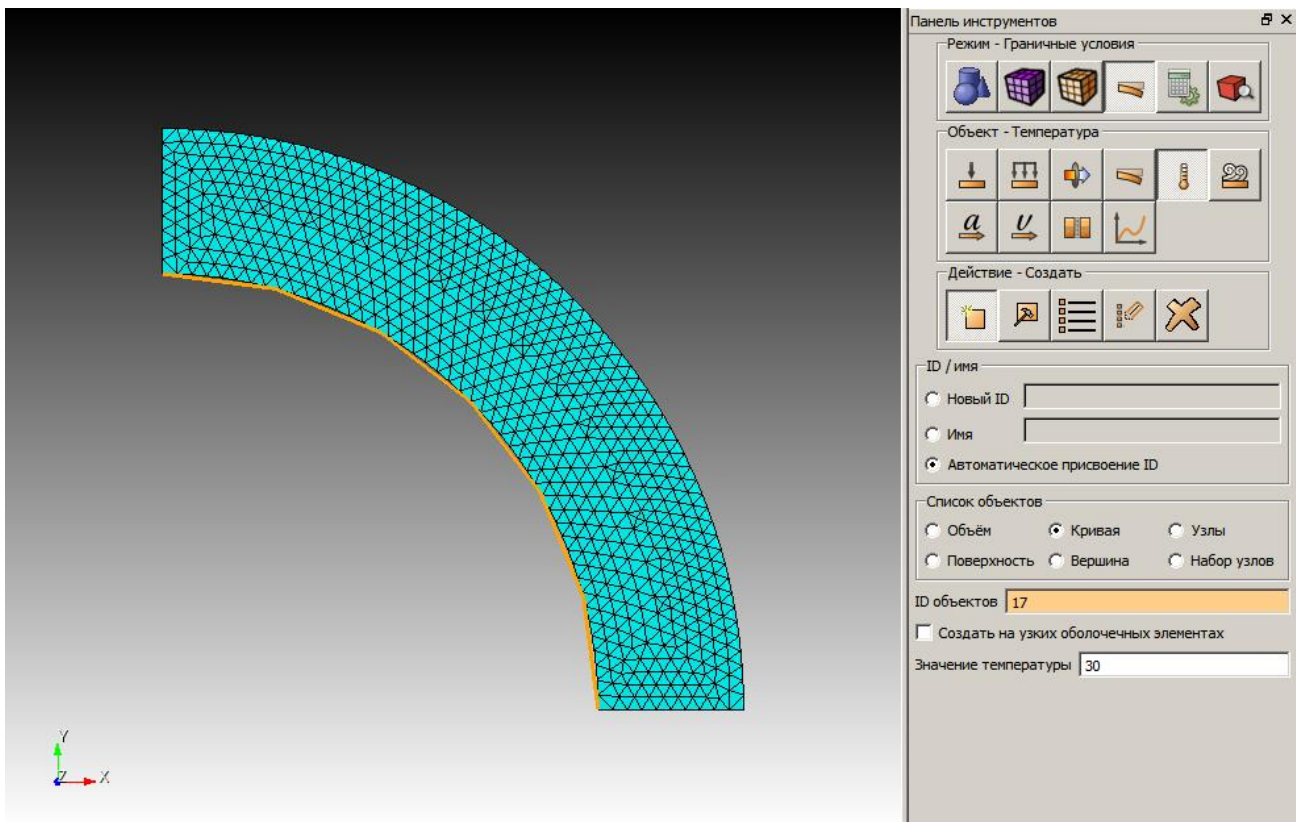
Нажмите **Применить**.

4. Задайте температурное нагружение на внешней кривой цилиндра.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Температура**, Действие – **Создать**.
 Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объектов: 16;
- Значение температуры: 100.

Нажмите **Применить**.



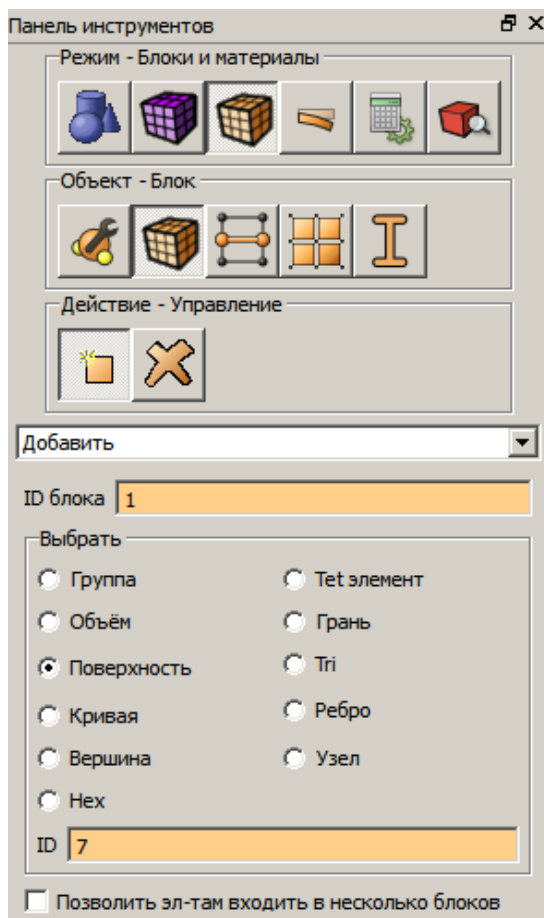
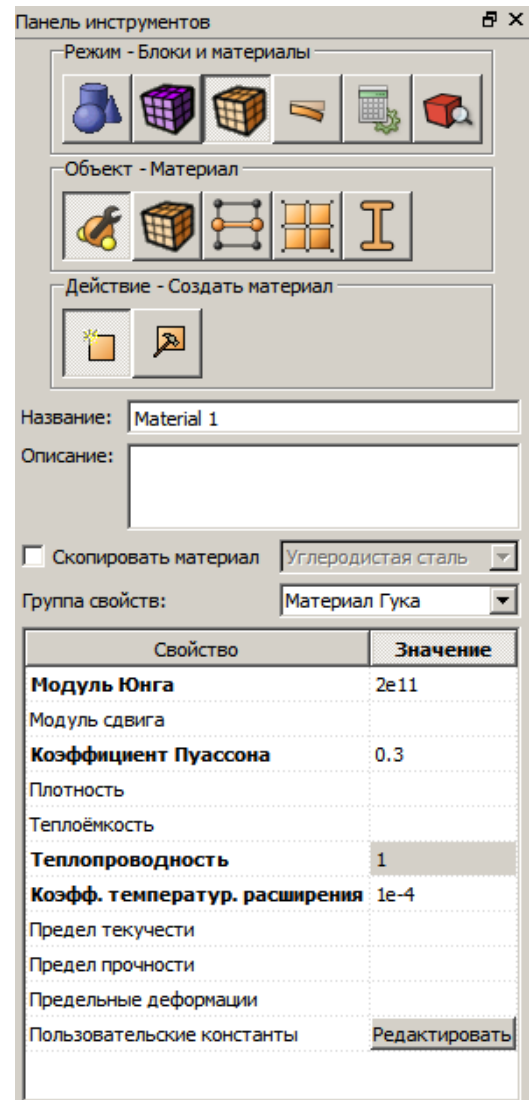
Задание материала и типа элемента

1. Создайте материал.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Материал**, Действие – **Создать материал**). Введите название для материала. Задайте следующие параметры:

- Модуль Юнга: $2e11$;
- Коэффициент Пуассона: 0.3;
- Теплопроводность: 1;
- Коэфф. температур. расширения: $1e-4$.

Нажмите **Применить**.



2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Добавить**. Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Выберите объекты, которые будут объединены в блок: Поверхность;
- ID: 7 (или командой *all*).

Нажмите **Применить**.

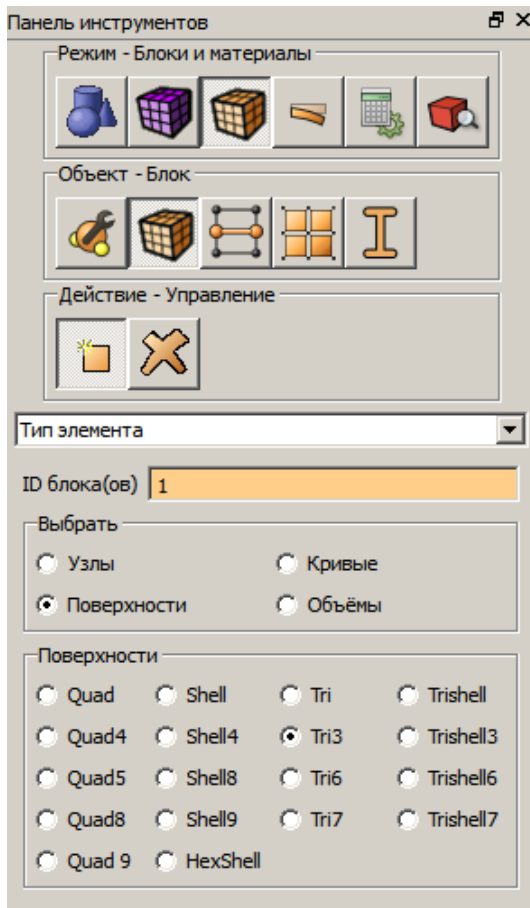
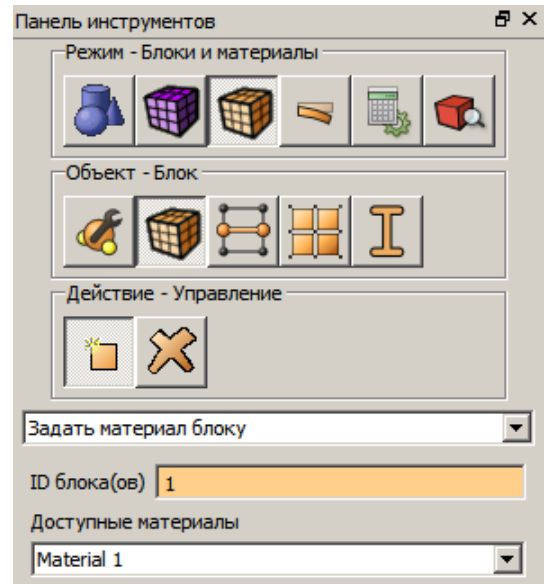
3. Присвойте материал блоку.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Задать материал блоку**.

Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выберите из списка ранее созданный материал: Material 1.

Нажмите **Применить**.



4. Присвойте тип элемента.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Тип элемента**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выбрать: Поверхности;
- Поверхности: Tri3.

Нажмите **Применить**.

Запуск расчёта

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Статический**, Статика – **Общие**). Выберите Размерность – **2D**, Тип плоской задачи – **Плоское напряжённое состояние**. Поставьте галочку рядом с пунктом **Теплопроводность**.

Нажмите **Применить**.

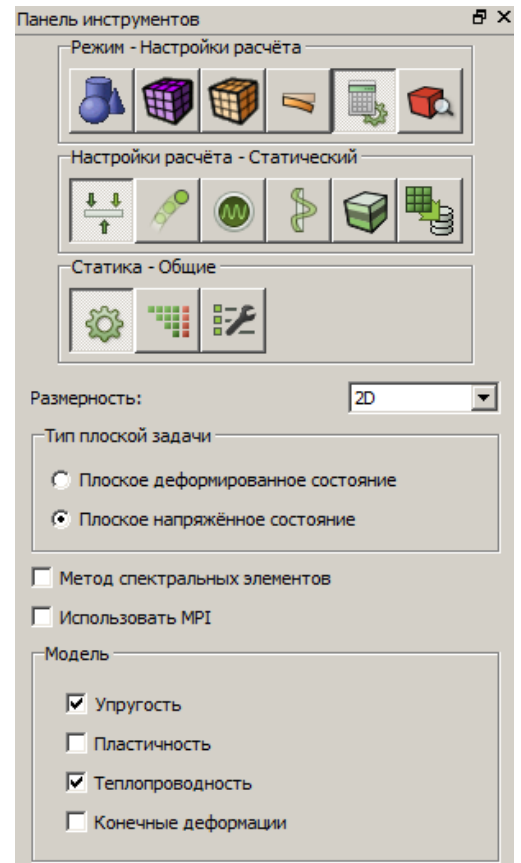
2. Задайте параметры решателя.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Статический**, Статика – **Решатель**). Выберите тип решателя (прямой или итерационный) и задайте параметры сходимости в случае выбора последнего. Либо оставьте все параметры по умолчанию.

Нажмите **Применить**.

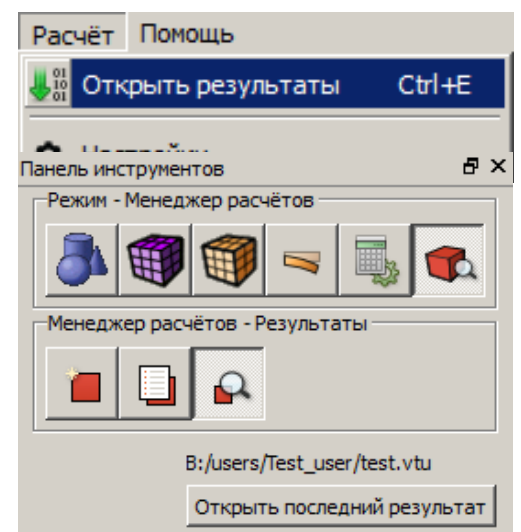
Нажмите **Начать расчёт**.

3. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат, и введите название файла.
4. В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: *“Calculation finished successfully at <date> <time>”*.



Анализ результатов

1. Откройте файл с результатами. Это можно сделать тремя способами.
 - Нажмите Ctrl+E.
 - В главном меню выберите **Расчёт** → **Результаты**. Нажмите **Открыть последний результат**.
 - На панели команд выберите менеджер расчётов (Режим – **Менеджер расчётов**, Менеджер расчётов – **Результаты**). Нажмите **Открыть результаты**.



2. Отобразите компоненту u_R поля перемещений.

На панели инструментов **Fidesys Viewer** установите следующие параметры:

- Тип отображения: Поверхность с рёбрами;
- Поле отображения: Перемещения;
- Компонента отображения: 1.



В результате отобразилось поле перемещений u_x .

3. Выберите точку, в которой необходимо проверить перемещение.

В главном меню во вкладке **Фильтры – Алфавитный указатель** выберите фильтр **Проверить расположение**. Во вкладке **Свойства** установите координаты точки E, в которой требуется проверить перемещения:

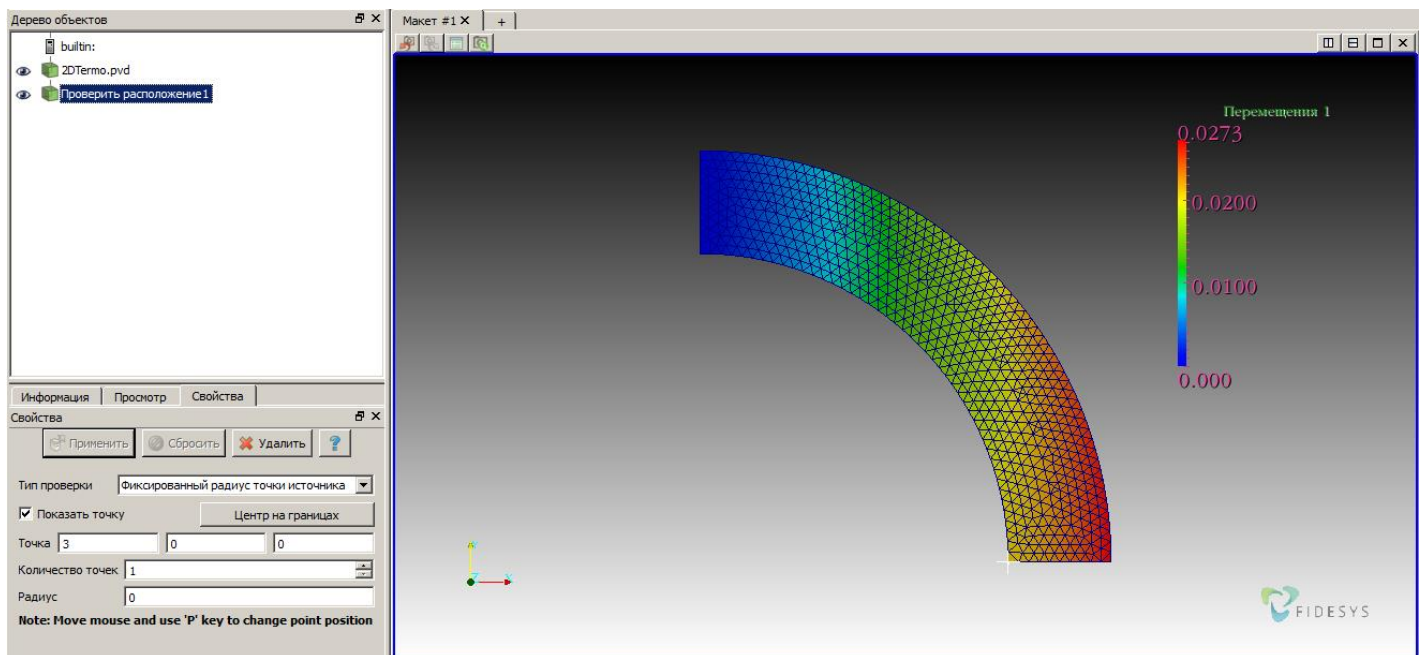
- Показать точку;
- Точка (координаты): 3 0 0;
- Количество точек: 1;
- Радиус: 0.

Нажмите **Применить**.



Для автоматического применения изменений всех фильтров нажмите на соответствующую кнопку **Автоматически применять изменения** на панели команд.

В результате на рисунке отобразится точка C.



4. Проверьте численное значение U_x в выбранной точке C.

Во вкладке **Информация** в поле **Массивы данных** посмотрите требуемое значение (первое значение в строке **Перемещения** соответствует компоненте u_x).

Имя	Тип данных	Диапазоны данных
Деформации	double	[0.00229801, 0.00229801], [0.0068523, 0.0068523], [-0.00112258, -0.0...
Исходные ID узлов	int	[253, 253]
Маска допустимых точек	char	[0, 0]
Материалы	int	[0, 0]
Напряжения	double	[2.38624e+07, 2.38624e+07], [7.24522e+08, 7.24522e+08], [0, 0], [-2....
Перемещения	double	[0.0204953, 0.0204953], [0, 0], [0, 0]
Температура	double	[30, 30]
Тепловой поток	double	[-79.6459, -79.6459], [-1.36, -1.36]

Полученное значение 0.0204953 отличается от требуемого 0.0205014 на 0.03%.

5. Выгрузите числовые данные.

В главном меню выберите **Файл** → **Сохранить данные** либо нажмите **Ctrl+C**. Введите имя файла (формат *.csv), оставьте по умолчанию. Нажмите **OK**. Сохранённый файл представляет собой обычную таблицу числовых данных, которую можно открыть любым текстовым редактором.

Использование консольного интерфейса

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса. Ниже приведён код программы, позволяющий выполнить шаги описанного выше руководства, , необходимо только **самостоятельно указать полный путь и название сохраняемого файла**.

Пример рабочего скрипта (файл сохраняется в D:/FidesysBundle/calc/example.pvd):

```

reset
set node constraint on
create surface circle radius 4 zplane
create surface circle radius 3 zplane
subtract body 2 from body 1 imprint
webcut body 1 with plane xplane offset 0 imprint preview
webcut body 1 with plane xplane offset 0 imprint
webcut body 1 with plane yplane offset 0 imprint preview
webcut body 1 with plane yplane offset 0 imprint
delete Body 1
delete Body 3
surface 7 size auto factor 3
surface 7 size auto factor 3
mesh surface 7
create displacement on curve 4 dof 1 fix 0
create displacement on curve 15 dof 2 fix 0
create temperature on curve 17 value 30
create temperature on curve 16 value 100
undo group begin
create material "Material 1" property_group "CUBIT-FEA"
modify material "Material 1" scalar_properties "MODULUS" 2e+11 "POISSON" 0.3
"CONDUCTIVITY" 1 "THERMAL_EXPANSION" 0.0001
undo group end

```

```

set duplicate block elements off
block 1 surface 7
block 1 material 'Material 1'
block 1 element type tri3
analysis type static elasticity heattrans dim2 planestress
spectralelement off
usempi off
solver method auto try_other off
solver method auto try_other off
calculation start path "D:/FidesysBundle/calc/example.pvd"
    
```



Также можно запустить файл *Example_12_Static_2D_Termoelasticity.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

Устойчивость при температурной нагрузке (балочная модель)

S.P. Timoshenko, J.M. Mansfield "Theory of elastic stability" second edition. Dunod, 1966, 500 pages

Рассматривается задача об устойчивости тела, защемленного на торцах и подверженного равномерному температурному нагреву.

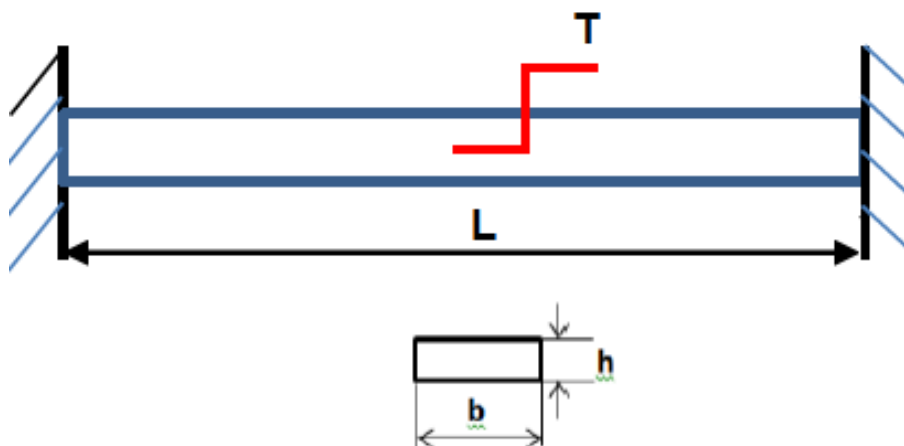
Геометрическая модель задачи представлена на рисунке.

Длина балки $L=200$ мм. Сечение прямоугольное: ширина 10 мм, толщина 1 мм. Оба конца балки жестко закреплены по всем перемещениям и поворотам.

Материал изотропный. Модуль упругости $E = 200\,000$ Н/мм², коэффициент Пуассона $\nu = 0.33$, коэффициент температурного расширения $\alpha=11.7 \cdot 10^{-6}$ C⁻¹.

Критерий прохождения теста:

критическая температура $T_{crit} = 7.028^\circ$ C с точностью 1%



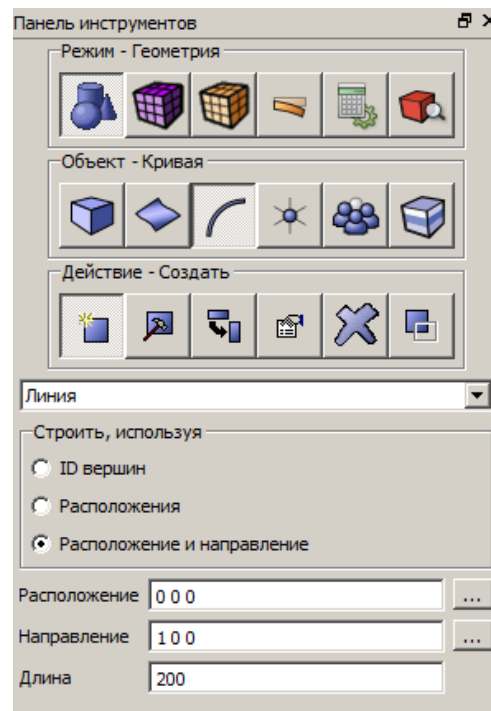
Построение модели

1. Создайте прямую.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Кривая**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Линия**. Постройте, используя **Расположение и направление**. Задайте параметры:

- Расположение: 0 0 0;
- Направление: 1 0 0;
- Длина: 200.

Нажмите **Применить**.



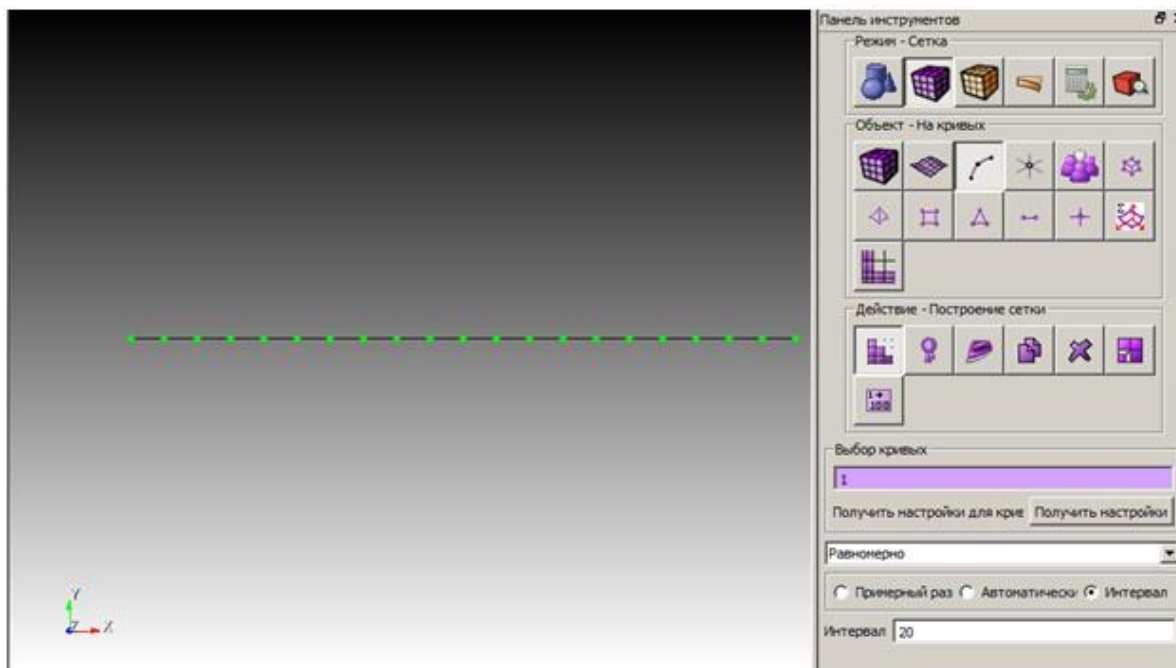
Построение сетки

1. На панели команд выберите модуль построения сетки на кривых (Режим – **Сетка**, Объект – **На кривых**, Действие – **Построение сетки**). Укажите степень измельчения сетки:

- Выбор кривых: 1;
- Выберите способ построения сетки: Равномерно;
- Выберите параметры построения: Интервал;
- Интервал: 20.

Нажмите **Применить**.

Нажмите **Построить сетку**.



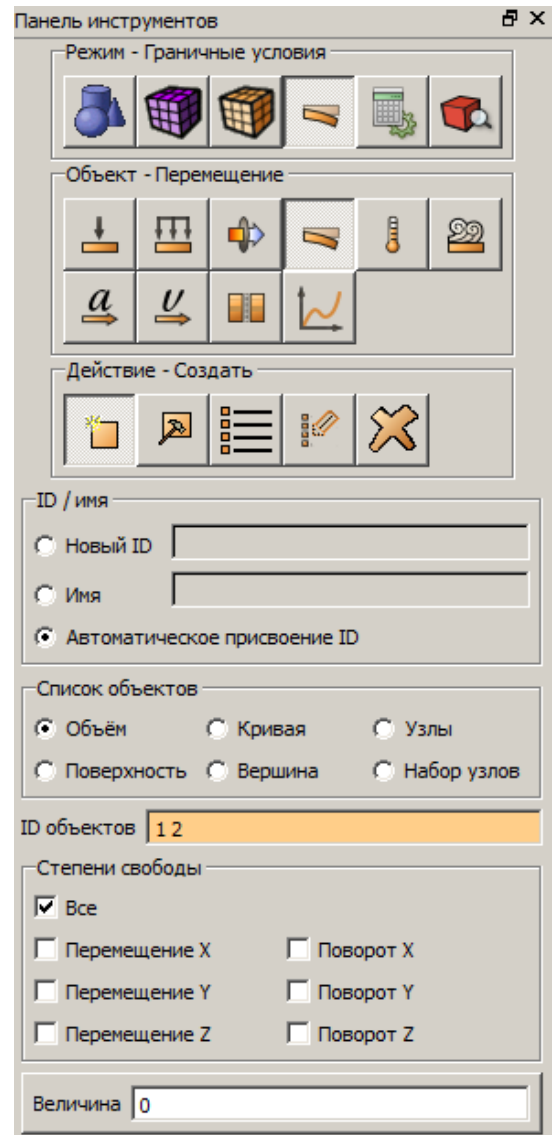
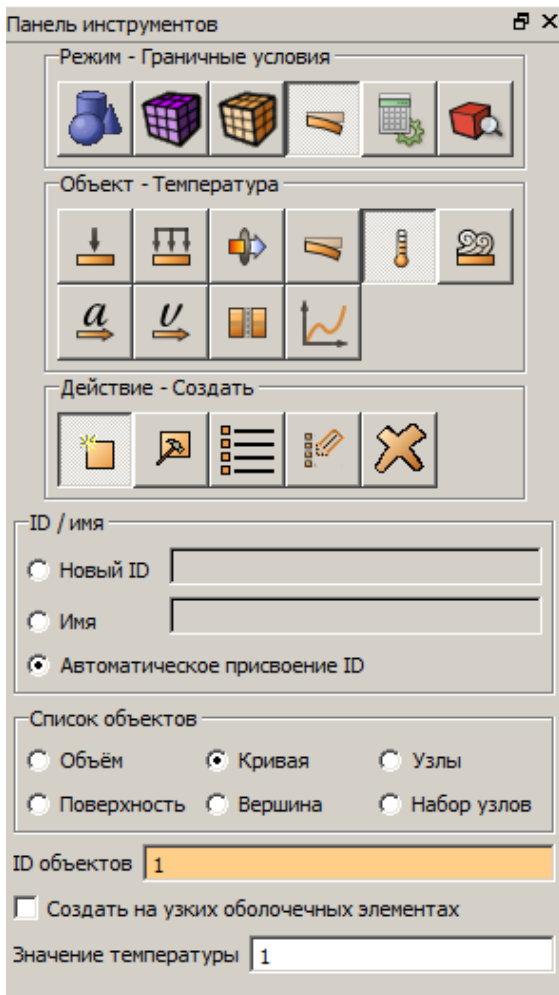
Задание граничных условий

1. Закрепите концы балки.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Вершина;
- ID объектов: 1 2 (*через пробел*);
- Степени свободы: Все;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.



2. Задайте температурную нагрузку.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Температура**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объектов: 1;
- Значение температуры: 1.

Нажмите **Применить**.

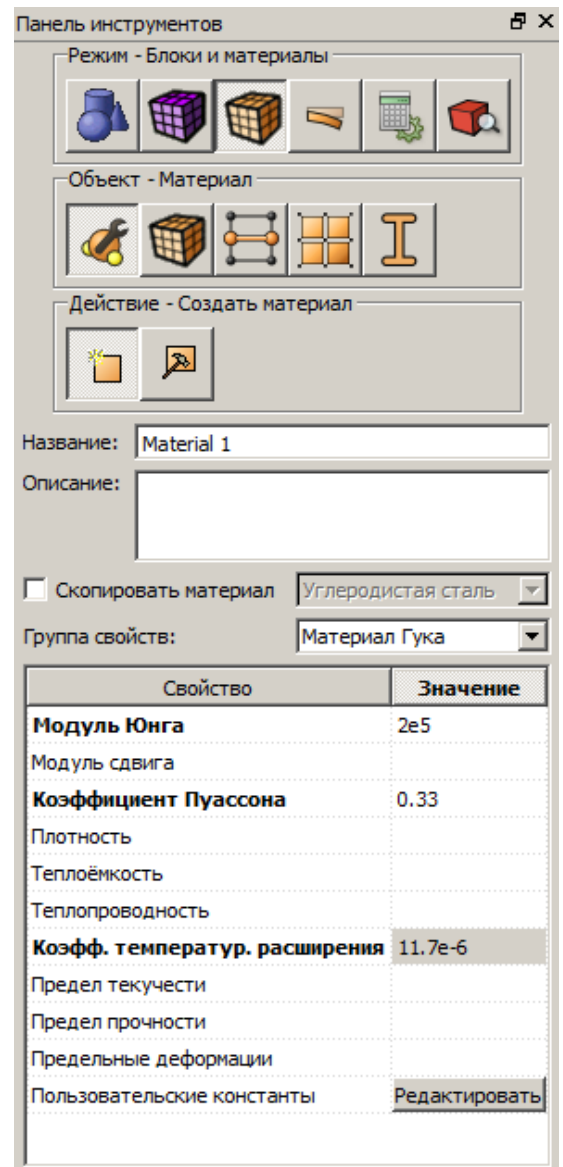
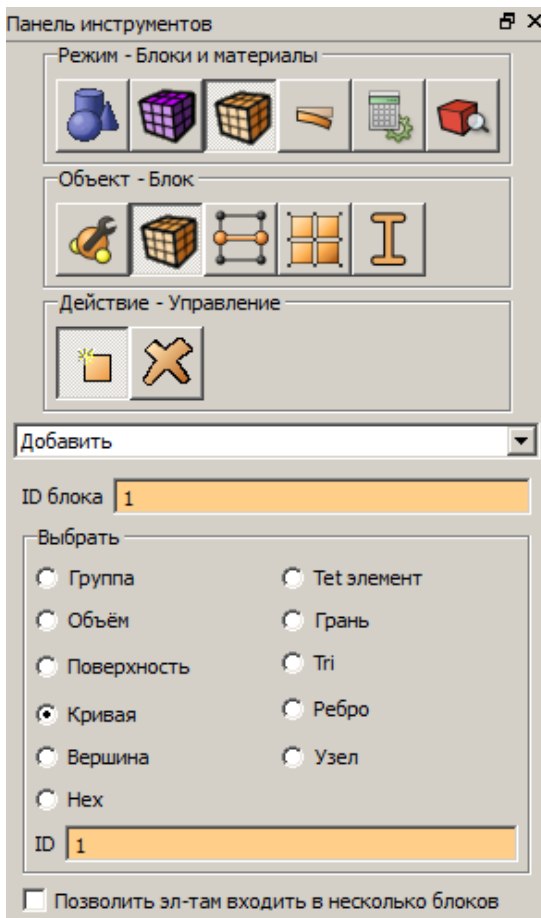
Задание материала и типа элемента

1. Создайте материал.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Материал**, Действие – **Создать материал**). Введите название для материала. Задайте следующие параметры:

- Модуль Юнга: $2e5$;
- Коэффициент Пуассона: 0.33;
- Коэфф. температур. расширения: $11.7e-6$.

Нажмите **Применить**.



2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Добавить**. Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Выберите объекты, которые будут объединены в блок:
Кривая;
- ID: 1 (или командой **all**).

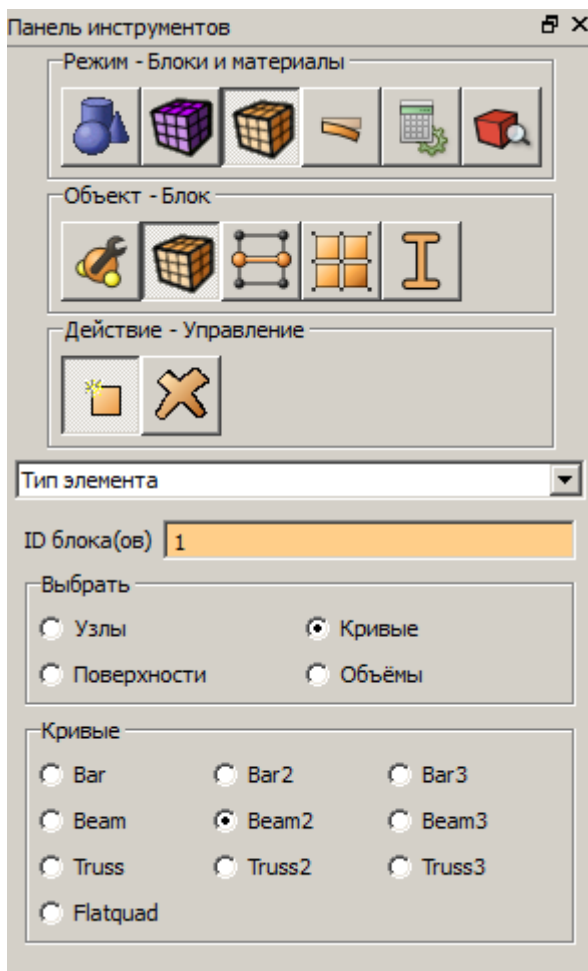
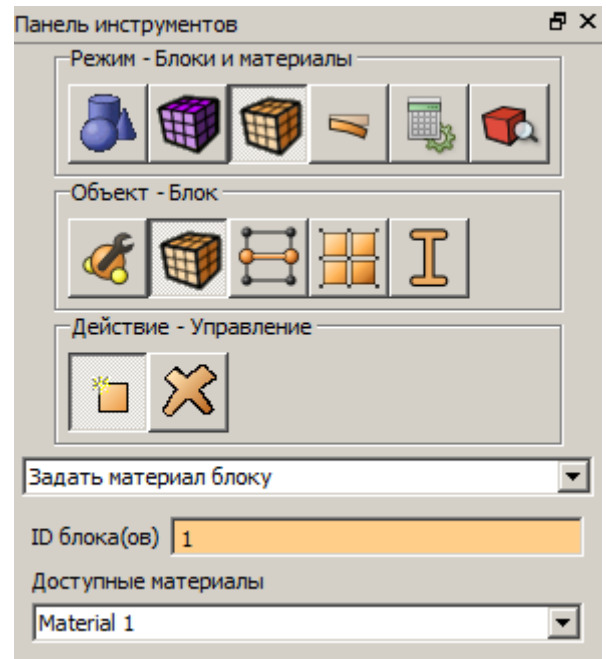
Нажмите **Применить**.

3. Присвойте материал блоку.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Задать материал блоку**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выберите из списка ранее созданный материал: Material 1.

Нажмите **Применить**.



4. Присвойте тип элемента.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Тип элемента**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выбрать: Кривые;
- Кривые: Beam2.

Нажмите **Применить**.

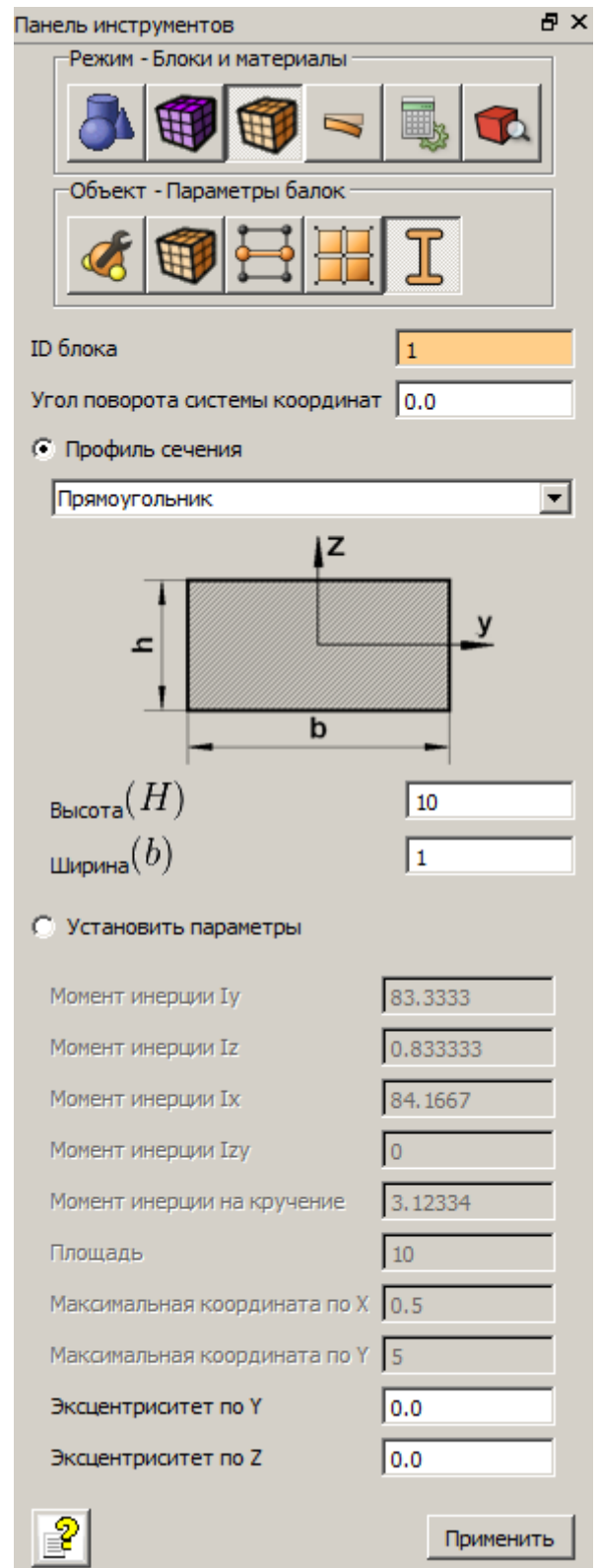
Задание профиля сечения балки

1. Задайте параметры балки.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Параметры балок**). Установите флажок в Профиль сечения. Из списка возможных профилей выберите **Прямоугольник**. Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Высота (H): 10;
- Ширина (b): 1.

Нажмите **Применить**.



Запуск расчёта

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Устойчивость**, Устойчивость – **Общие**). Оставьте все параметры по умолчанию.

Нажмите **Применить**.

2. Задайте параметры решателя.

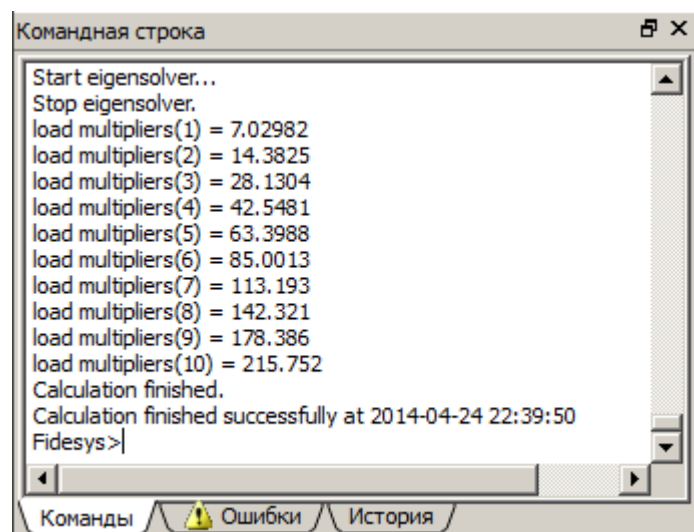
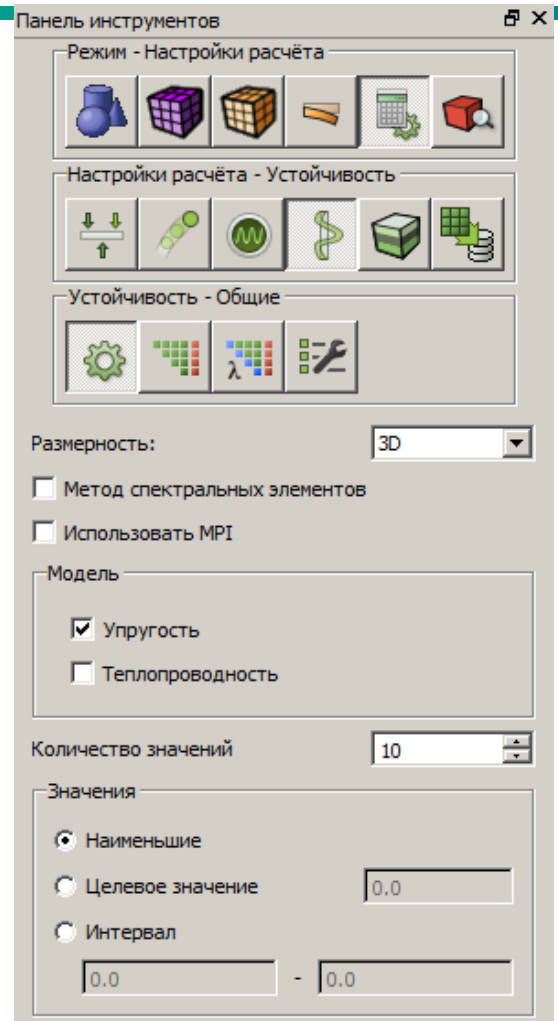
На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Устойчивость**, Устойчивость – **Решатель**). Выберите тип решателя (прямой или итерационный) и задайте параметры сходимости в случае выбора последнего. Либо оставьте все параметры по умолчанию.

Нажмите **Применить**.

Нажмите **Начать расчёт**.

3. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат, и введите название файла.

4. В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: “*Calculation finished successfully at <date> <time>*”, а также будут выведены требуемые значения коэффициентов нагружения.



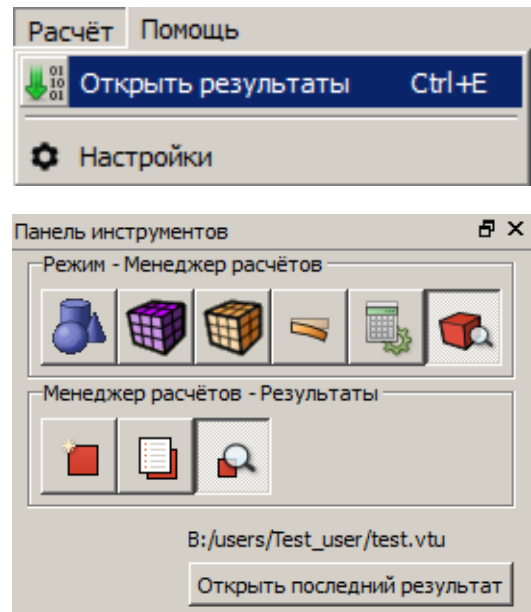
Анализ результатов

1. Сравните полученные результаты с результатами, приведенными в таблице.

№	Аналитич. решение	FIDESYS	
		Value, ° C	Error
1	7.028	7.02982	0.03%

2. Откройте файл с результатами. Это можно сделать тремя способами.

- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите **Расчёт** → **Результаты**. Нажмите **Открыть последний результат**.
- На панели команд выберите менеджер расчётов (Режим – **Менеджер расчётов**, Менеджер расчётов – **Результаты**). Нажмите **Открыть результаты**.



3. Отобразите 3D-вид модели (балка с толщиной).



В появившемся окне **Fidesys Viewer** кликните мышью по названию исходного файла в дереве объектов. После этого нажмите в стандартной строке кнопку 3D-вид.

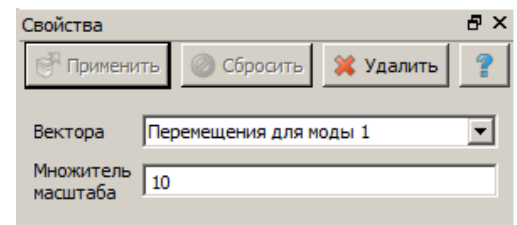
Должен открыться файл *_3D.pvd с 3D-изображением балки. К этому файлу (как и к исходному) можно применять различные фильтры и просматривать деформированный вид.



4. Отобразите фильтр **Деформировать по вектору**.

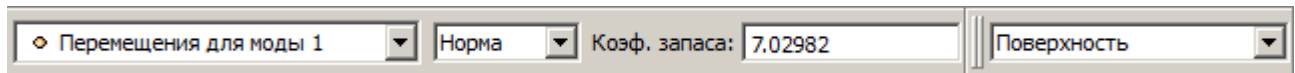
Выбрав в дереве объектов новый файл Beam_Stability_3D.pvd отобразите для него фильтр **Деформировать по вектору** со следующими значениями полей:

- **Вектора:** Перемещения для моды 1
- **Множитель масштаба:** 10



5. Отобразите Перемещения для моды 1.

На панели инструментов установите следующие параметры:

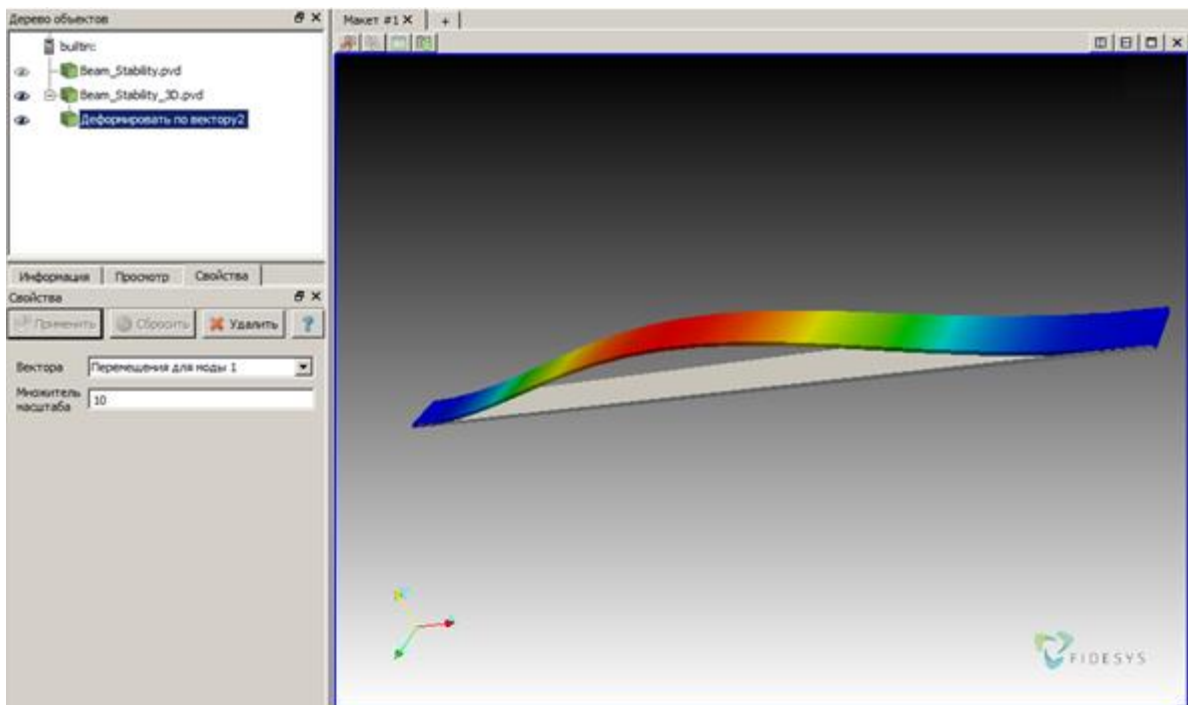


Удостоверьтесь, что в окне **Козф. запаса** отобразился искомый первый коэффициент критической температуры.

Для автоматического применения изменений всех фильтров нажмите на соответствующую кнопку **Автоматически применять изменения** на панели команд.

6. Просмотр результата.

В результате отобразится деформированное тело. Для того, чтобы посмотреть начальную модель, можно нажать на значок рядом с этой моделью в дереве объектов. На картинке ниже представлена деформированная (сплошная серая заливка) и исходная модель (с полем распределения Перемещений для моды 1).



7. Выгрузите числовые данные.

В главном меню выберите **Файл** → **Сохранить данные** либо нажмите **Ctrl+S**. Введите имя файла (формат *.csv), оставьте по умолчанию. Нажмите **ОК**. Сохранённый файл представляет собой обычную таблицу числовых данных, которую можно открыть любым текстовым редактором.

Использование консольного интерфейса

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса. Ниже приведён код программы, позволяющий выполнить шаги описанного выше руководства, , необходимо только **самостоятельно указать полный путь и название сохраняемого файла**.

Пример рабочего скрипта (файл сохраняется в D:/FidesysBundle/calc/example.pvd):


```

reset
set node constraint on
create curve location 0 0 0 direction 1 0 0 length 200
curve 1 interval 20
curve 1 scheme equal
curve 1 interval 20
curve 1 scheme equal
mesh curve 1
create displacement on vertex 1 2 dof all fix 0
create temperature on curve 1 value 1
undo group begin
create material "Material 1" property_group "CUBIT-FEA"
modify material "Material 1" scalar_properties "MODULUS" 2e+05 "POISSON" 0.33
"THERMAL_EXPANSION" 1.17e-05
undo group end
set duplicate block elements off
block 1 curve 1
block 1 material 'Material 1'
block 1 element type beam2
block 1 attribute count 14
block 1 attribute index 1 value 10 name 'A'
block 1 attribute index 2 value 3.12334 name 'It'
block 1 attribute index 3 value 84.1667 name 'Ix'
block 1 attribute index 4 value 83.3333 name 'Iy'
block 1 attribute index 5 value 0 name 'Iyz'
block 1 attribute index 6 value 0.833333 name 'Iz'
block 1 attribute index 7 value 0 name 'angle'
block 1 attribute index 8 value 0 name 'ey'
block 1 attribute index 9 value 0 name 'ez'
block 1 attribute index 10 value 0.5 name 'max_y'
block 1 attribute index 11 value 5 name 'max_z'
block 1 attribute index 12 value 0 name 'section_type'
block 1 attribute index 13 value 10 name 'geom_H'
block 1 attribute index 14 value 1 name 'geom_B'
analysis type stability elasticity dim3
eigenvalue find 10 smallest
spectralelement off
usempi off
solver method auto try_other off
solver method auto try_other offcalculation start path "D:/FidesysBundle/calc/example.pvd"

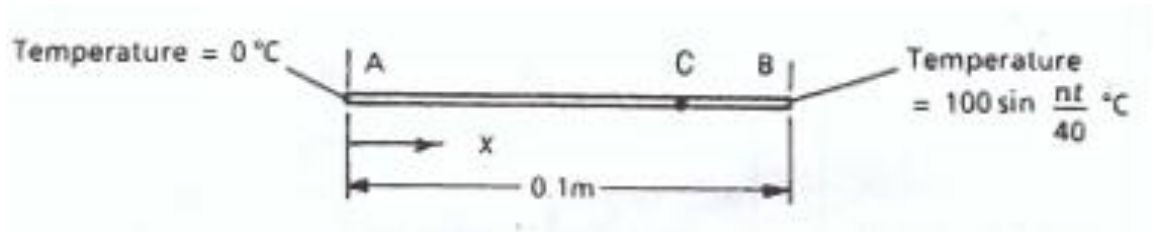
```



Также можно запустить файл *Example_13_Stability_Temperature_Beam.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

Динамическое нагружение: Нестационарная теплопередача (объёмная модель, неявная схема)

Рассматривается трёхмерная задача об одномерной нестационарной теплопередаче внутри балки. Геометрическая модель задачи представлена на рисунке ниже:



Длина балки - 0.1 м, сечение квадратное, 0.01x0.01м. Температура в точке А $T_A = 0$ °С, температура в точке В изменяется по гармоническому закону: $T_B = 100 \sin \frac{\pi t}{40}$ °С. Параметры материала: изотропный, $V = 35$ Вт/(м ·°С), $C = 440.5$ Дж/(кг ·°С), $\rho = 7\,200$ кг/м³.

Критерий прохождения теста: температура T в точке С (0.8;0;0) в момент времени $t = 32$ с равна 36.60 °С с погрешностью 2%.

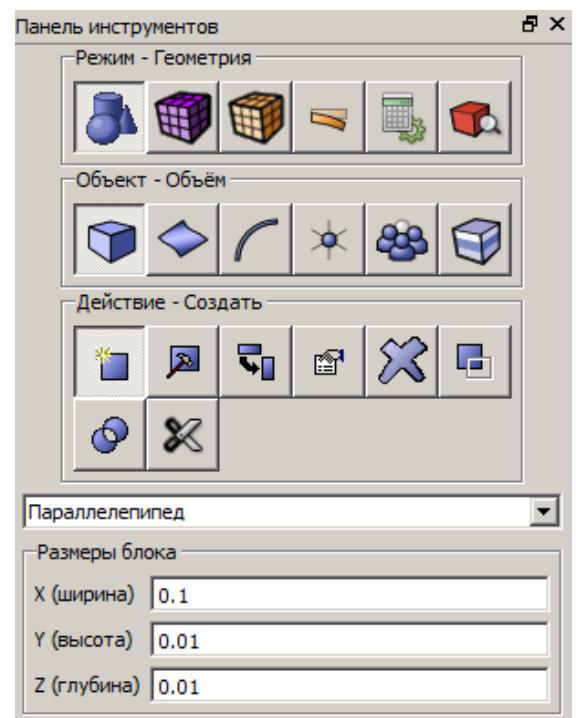
Построение модели

1. Создайте вытянутый параллелепипед.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Параллелепипед**. Задайте размеры блока:

- Ширина: 0.1;
- Высота: 0.01;
- Глубина: 0.01.

Нажмите **Применить**.

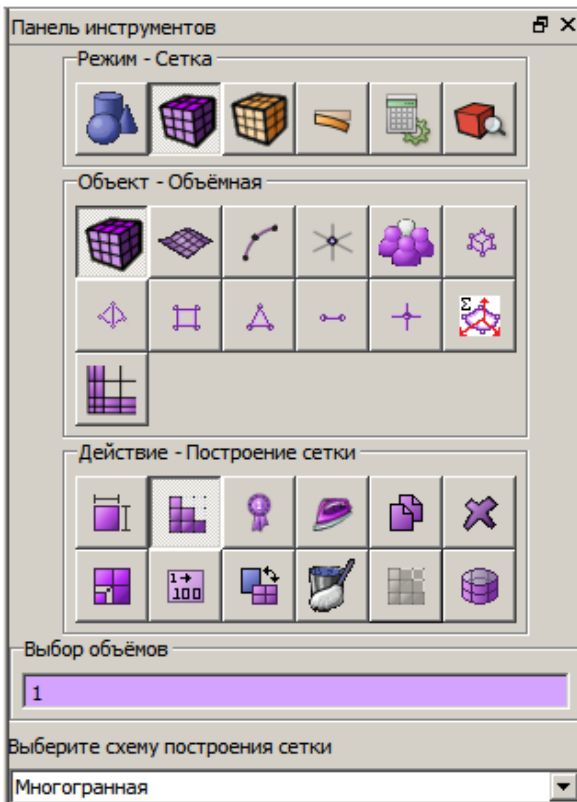
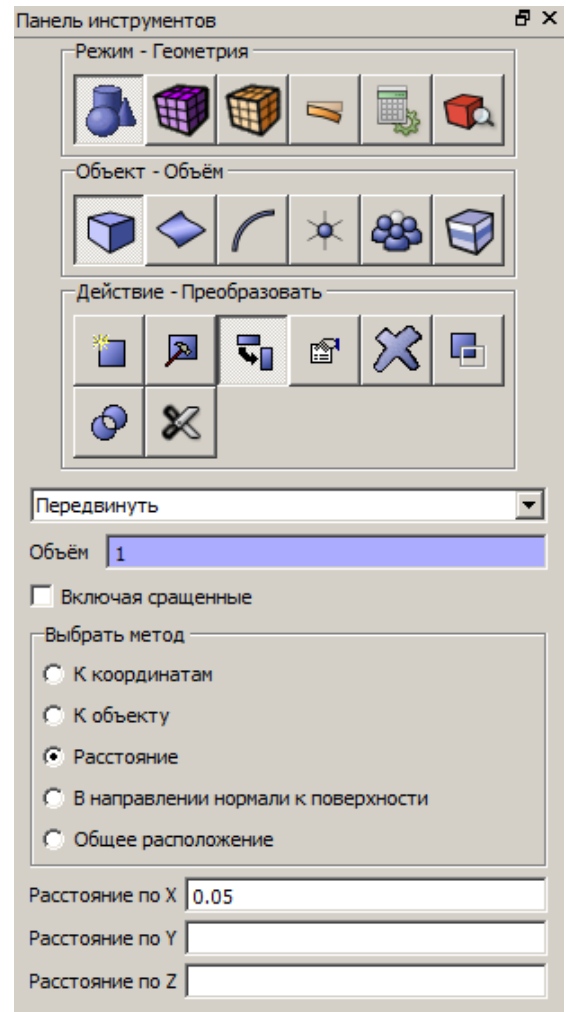


2. Совместите левый край балки с началом координат.

На панели команд выберите модуль преобразования объектов объемной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Преобразовать**). Из списка возможных действий выберите **Передвинуть**. Задайте следующие параметры:

- Объём: 1;
- Выбрать метод: Расстояние;
- Расстояние по X: 0.05.

Нажмите **Применить**.



Построение сетки

1. Постройте сетку из гексаэдров.

На панели команд выберите модуль построения объемной сетки (Режим – **Сетка**, Объект – **Объемная**, Действие – **Построение сетки**):

- Выберите объёмы (укажите их ID): 1 (или командой *all*);
- Способ построения сетки: Многогранная.

Нажмите **Применить схему**.

Нажмите **Построить сетку**.

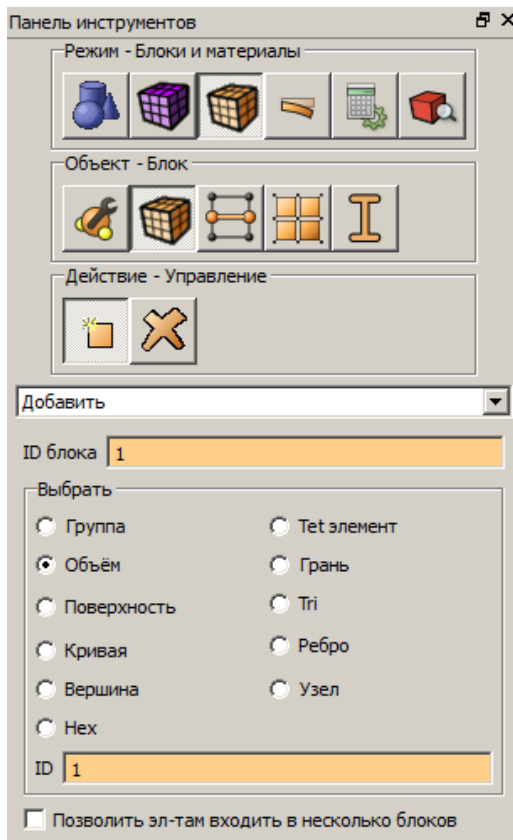
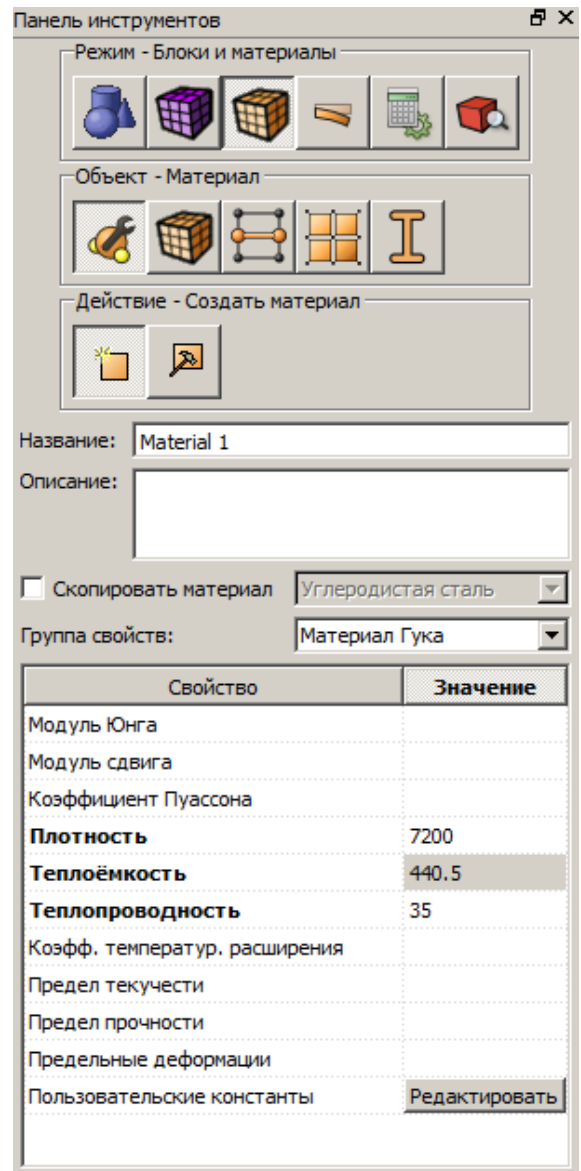
Задание материала и типа элемента

1. Создайте материал.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Материал**, Действие – **Создать материал**). Введите название для материала. Задайте следующие параметры:

- Плотность: 7200;
- Теплоёмкость: 440.5;
- Теплопроводность: 35.

Нажмите **Применить**.



2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Добавить**. Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Выберите объекты, которые будут объединены в блок: **Объём**;
- ID: 1 (или командой **all**).

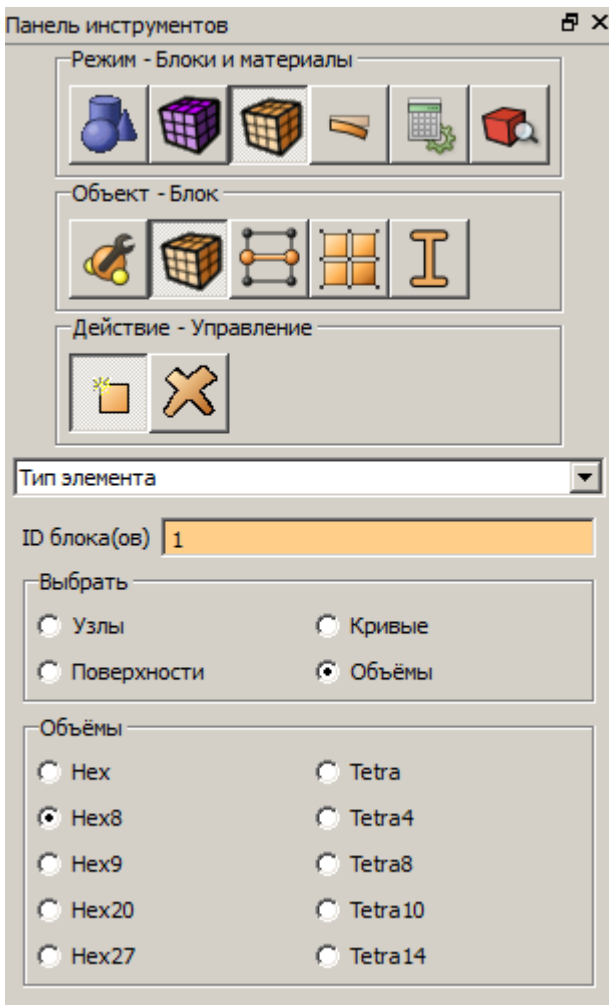
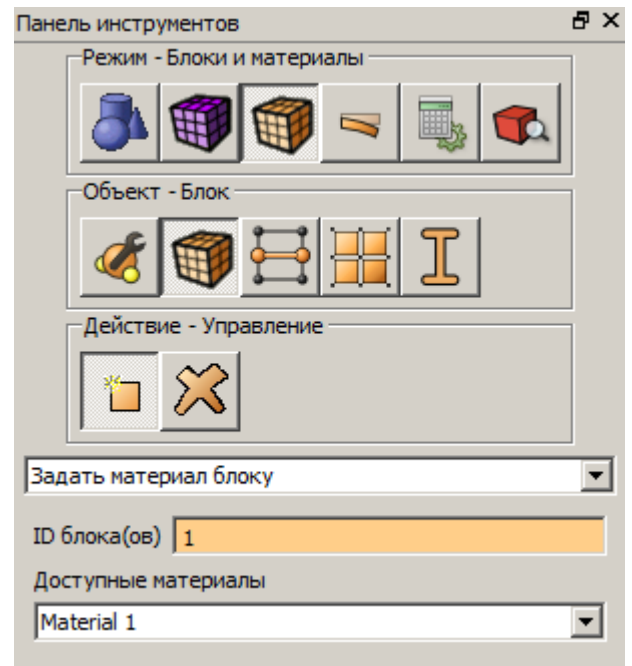
Нажмите **Применить**.

3. Присвойте материал блоку.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Задать материал блоку**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выберите из списка ранее созданный материал: Material 1.

Нажмите **Применить**.



4. Присвойте тип элемента.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Тип элемента**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выбрать: Объёмы;
- Объёмы: Hex8.

Нажмите **Применить**.

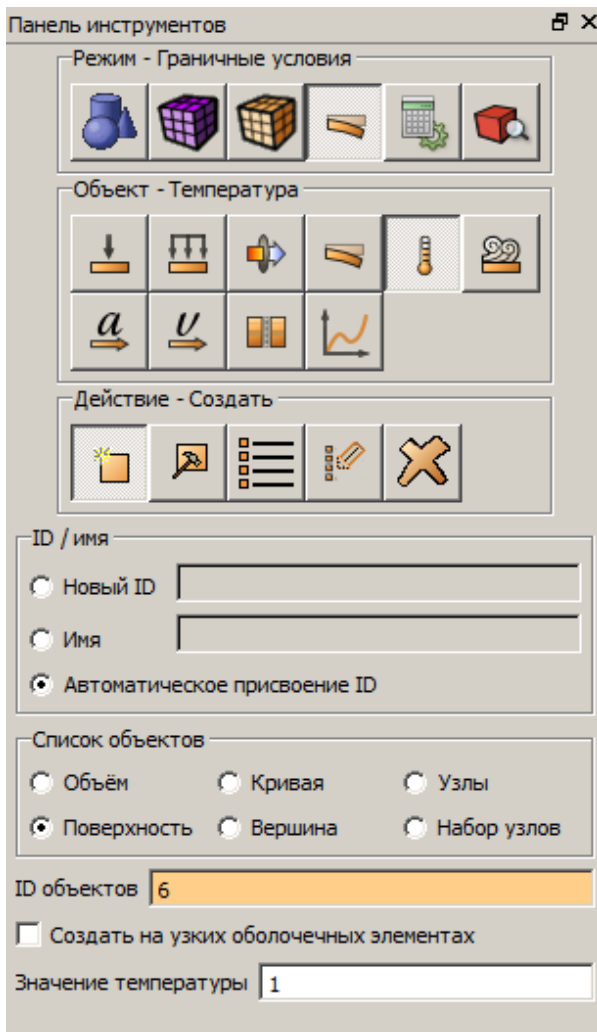
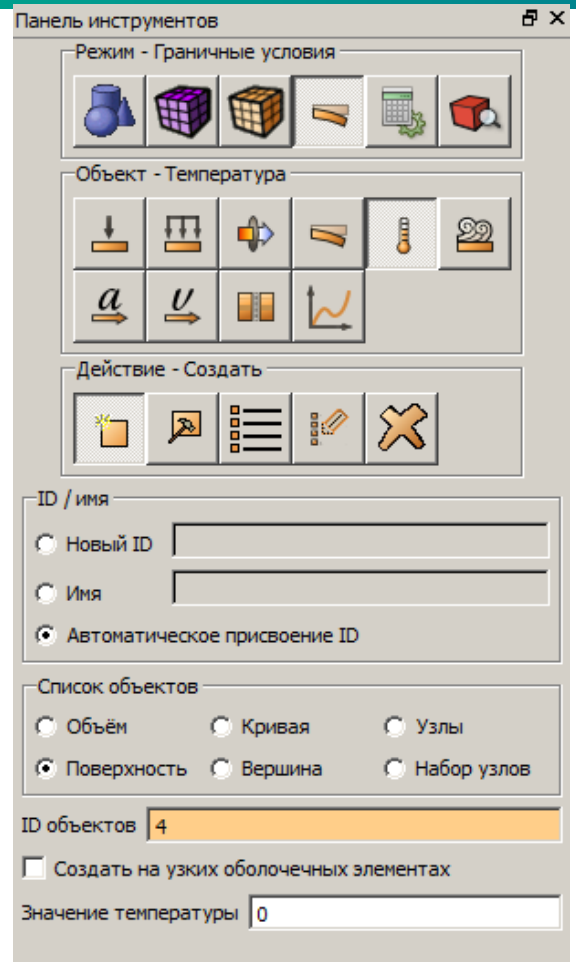
Задание граничных условий

1. Задайте значение температуры, приложенной к левой грани балки.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Температура**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 4;
- Значение температуры: 0.

Нажмите **Применить**.



2. Задайте значение температуры, приложенной к правой грани балки.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Температура**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 6;
- Значение температуры: 1.

Нажмите **Применить**.

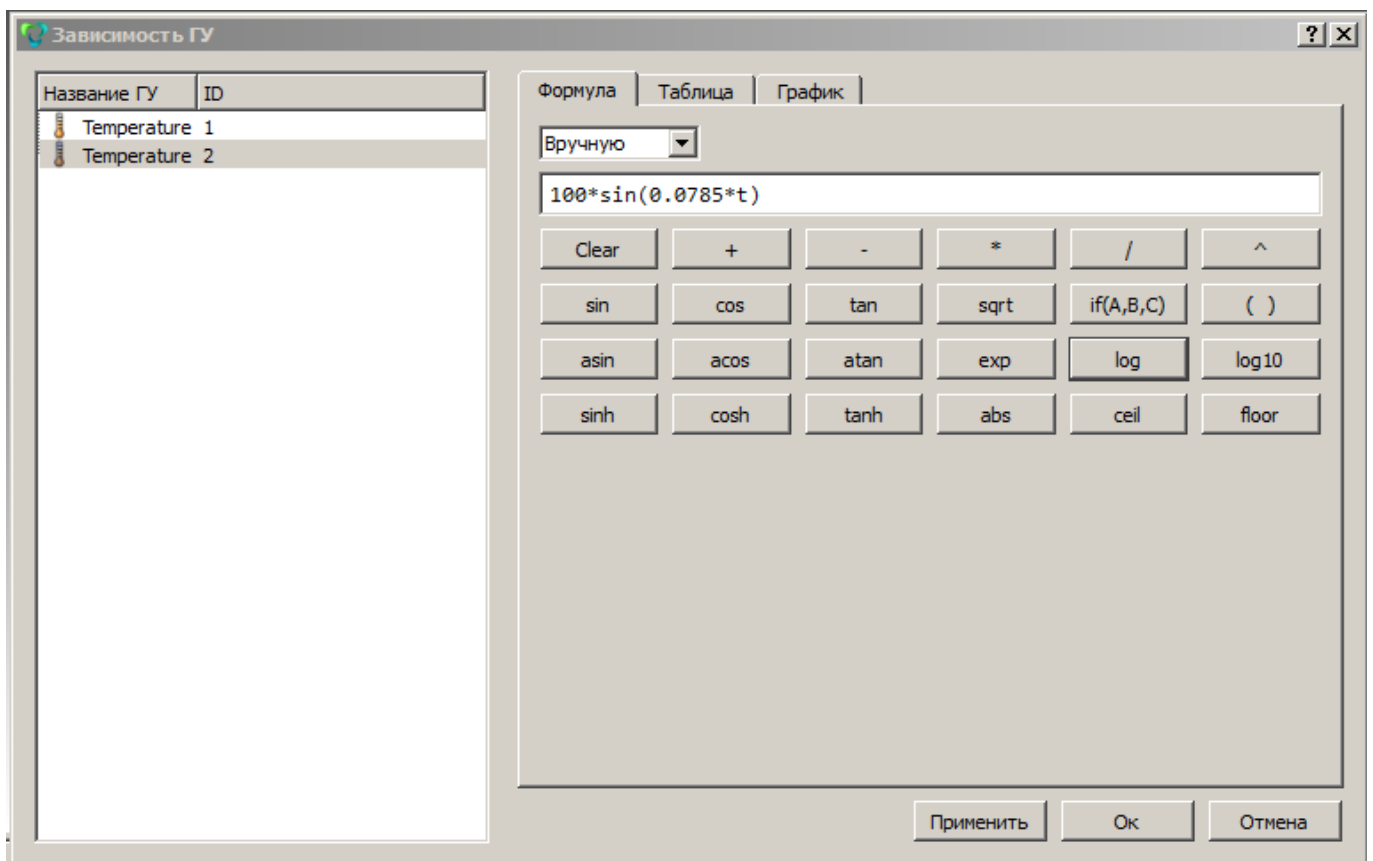
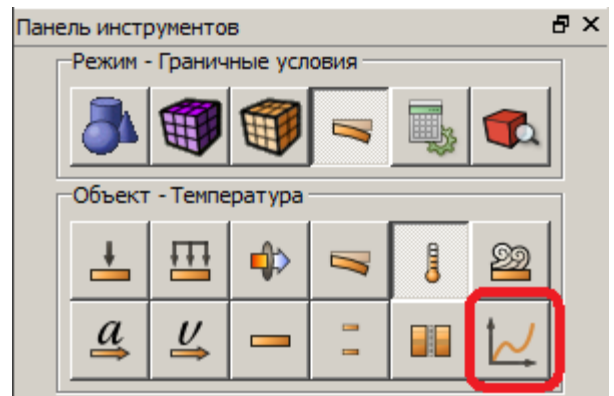
Задание зависимости ГУ от времени

1. Задайте зависимости от времени температуры, приложенной к правой грани балки.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**. Нажмите на кнопку **Зависимость от времени**. Появится всплывающее меню с настройками. Слева на панели выберите ГУ, для которого будет задана зависимость от времени: **Temperature 2**. Поставьте флажок напротив пункта **Формула**. Задайте следующие параметры:

- Тип зависимости от времени: Вручную;
- Введите формулу: $100*\sin(0.0785*t)$.

Нажмите **Ок**.



Запуск расчёта

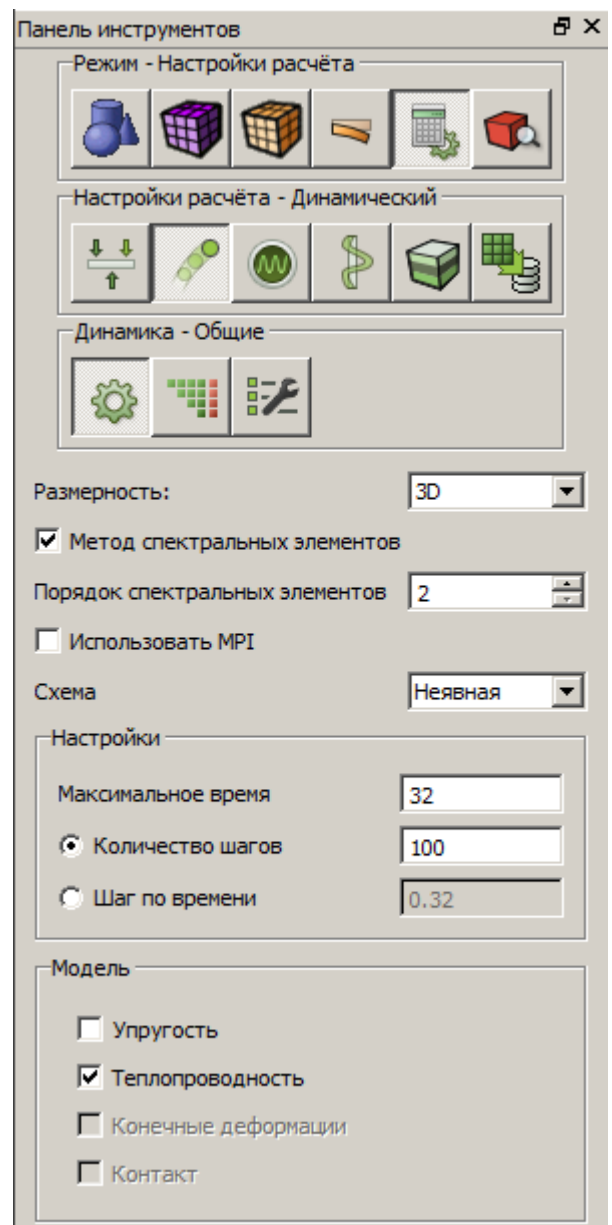
1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Динамический**, Динамика – **Общие**). Задайте следующие параметры расчёта:

- Размерность: 3D;
- Метод спектральных элементов;
- Порядок спектральных элементов: 2;
- Упругость: уберите галочку;
- Теплопроводность: поставьте галочку;
- Схема: Неявная;
- Максимальное время: 32;
- Количество шагов: 100.

Нажмите **Применить**.

Нажмите **Начать расчёт**.



2. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат, и введите название файла.

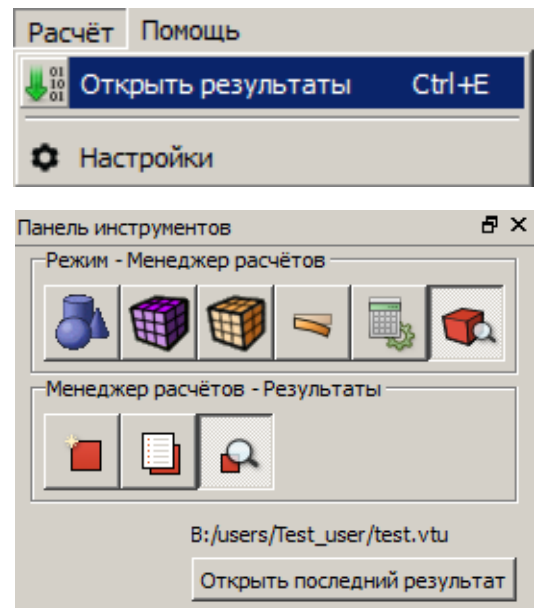
3. В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: *“Calculation finished successfully at <date> <time>”*.

Анализ результатов

1. Откройте файл с результатами.

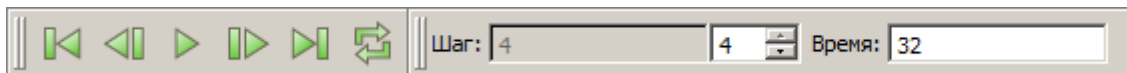
Это можно сделать тремя способами:

- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите **Расчёт** → **Результаты**. Нажмите **Открыть последний результат**.
- На панели команд выберите менеджер расчётов (Режим – **Менеджер расчётов**, Менеджер расчётов – **Результаты**). Нажмите **Открыть результаты**.



Появится окно **Fidesys Viewer**, в котором вы сможете ознакомиться с результатами расчёта.

2. На панели инструментов есть меню, с помощью которого можно просмотреть анимацию, составленную из последовательности решений, рассчитанных для каждого конкретного момента времени. Нажмите кнопку «Последний кадр», чтобы рассмотреть модель в последний момент времени $t = 32$ с.




3. Отобразите компоненту Температура.

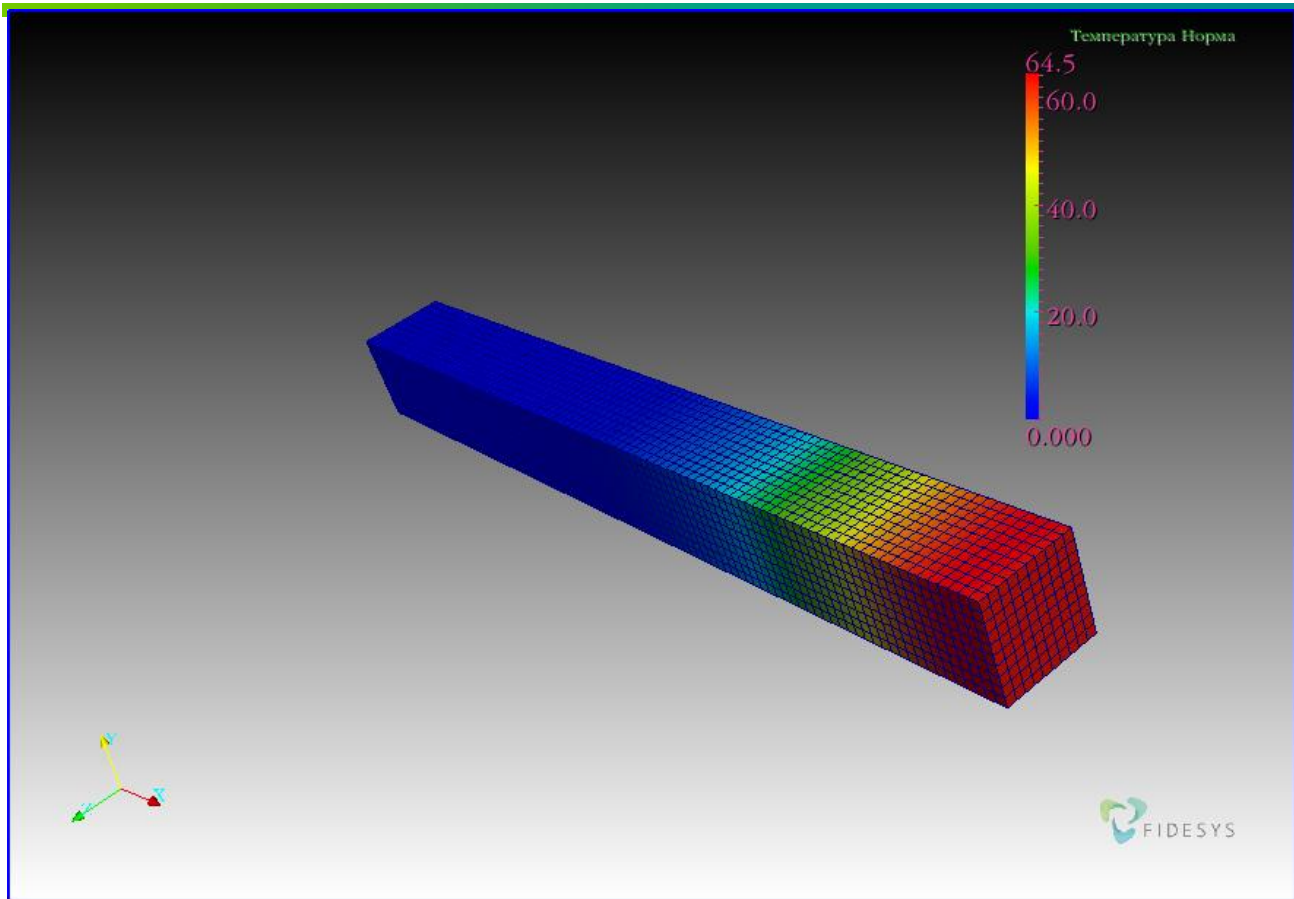
На панели инструментов установите следующие параметры:

- Поле отображения: Температура;
- Тип отображения: Поверхность с рёбрами.



На модели отобразятся полученная в результате применения метода спектральных элементов сетка и поле распределения температуры.

 Для отображения шкалы цветовой легенды нажмите на кнопку **Переключатель видимости цветовой легенды** на панели команд.



4. Постройте график вдоль одного из рёбер балки.

В главном меню выберите фильтр **Построить график вдоль линии**. Во вкладке **Свойства** установите координаты точек, задающих линию:

- Источник: Линия высокого разрешения;
- Показать линию;
- Точка 1 (координаты): 0 -0.005 0.005;
- Точка 2 (координаты): 0.1 -0.005 0.005;
- Разрешение: 100;
- Пропускать частичные массивы.

Нажмите **Применить**.



Для автоматического применения изменений всех фильтров нажмите на соответствующую кнопку **Автоматически применять изменения** на панели команд.

Кликните на окно с графиком, появившееся в правой части экрана.

5. Отобразите на графике изменение температуры.

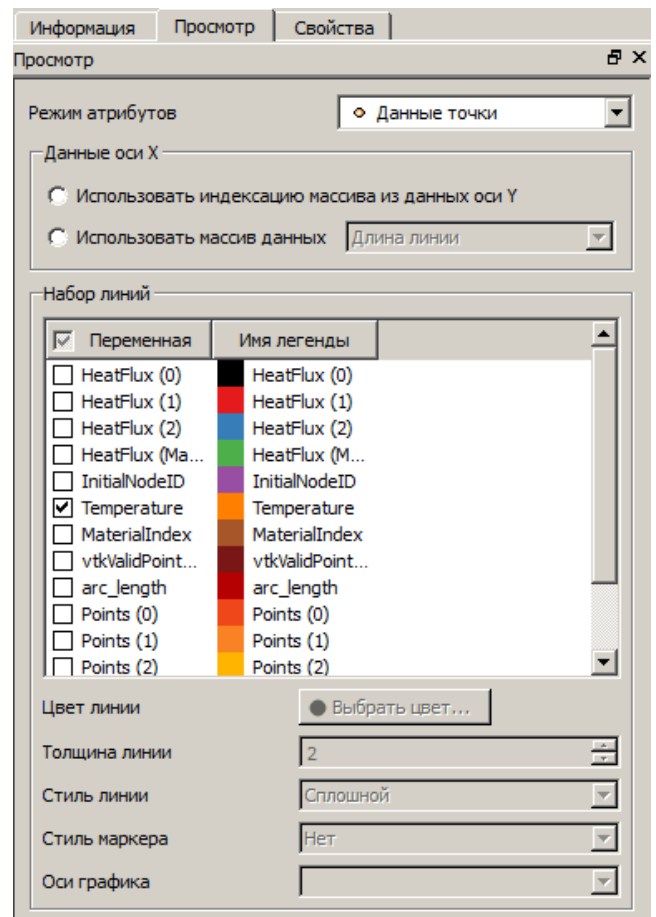
Кликните по окну с графиком, затем перейдите к вкладке «Просмотр» в панели управления фильтра.

Установите Режим атрибутов - Данные точки

Затем в поле «Набор линий» расставьте метки напротив тех параметров, которые хотите отобразить на графике.

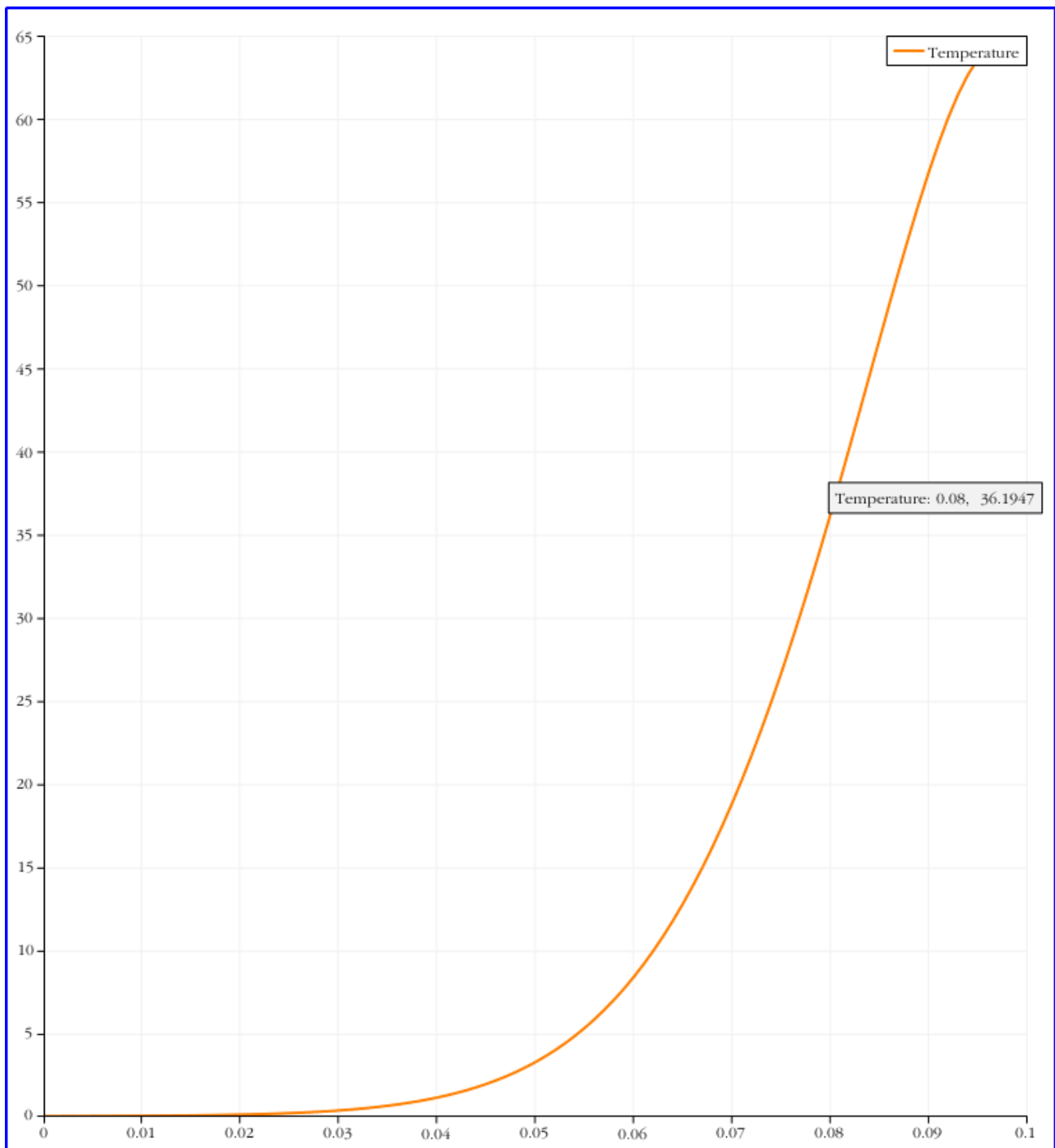
Уберите метки со всех параметров, кроме Temperature.

На графике отобразится зависимости температуры в точках, принадлежащих ребру балки, от координат этих точек.



6. Проверьте численное значение температуры T в точке (0.08;0;0).

Подведите курсор к требуемой точке на графике. Появится всплывающая подсказка, на которой вы сможете увидеть значение температуры.



Полученное значение 36.1947 отличается от требуемого 36.60 на 1.11%.

7. Выгрузите числовые данные.

В главном меню выберите **Файл** → **Сохранить данные** либо нажмите **Ctrl+S**. Введите имя файла (формат *.csv), оставьте по умолчанию. Нажмите **OK**. Сохранённый файл представляет собой обычную таблицу числовых данных, которую можно открыть любым текстовым редактором.

Использование консольного интерфейса

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса. Ниже приведён код программы, позволяющий выполнить шаги описанного выше руководства, , необходимо только **самостоятельно указать полный путь и название сохраняемого файла**.

Пример рабочего скрипта (файл сохраняется в D:/FidesysBundle/calc/example.pvd):

```

reset
create curve location 0 0 0 direction 1 0 0 length 200
curve 1 interval 20
curve 1 scheme equal
curve 1 interval 20
curve 1 scheme equal
mesh curve 1
create displacement on vertex 1 2 dof all fix 0
create temperature on curve 1 value 1
undo group begin
create material "Material 1" property_group "CUBIT-FEA"
modify material "Material 1" scalar_properties "MODULUS" 2e+05 "POISSON" 0.33
"THERMAL_EXPANSION" 1.17e-05
undo group end
set duplicate block elements off
block 1 curve 1
block 1 material 'Material 1'
block 1 element type beam2
block 1 attribute count 14
block 1 attribute index 1 value 10 name 'A'
block 1 attribute index 2 value 3.12334 name 'It'
block 1 attribute index 3 value 84.1667 name 'Ix'
block 1 attribute index 4 value 83.3333 name 'Iy'
block 1 attribute index 5 value 0 name 'Iyz'
block 1 attribute index 6 value 0.833333 name 'Iz'
block 1 attribute index 7 value 0 name 'angle'
block 1 attribute index 8 value 0 name 'ey'
block 1 attribute index 9 value 0 name 'ez'
block 1 attribute index 10 value 0.5 name 'max_y'
block 1 attribute index 11 value 5 name 'max_z'
block 1 attribute index 12 value 0 name 'section_type'
block 1 attribute index 13 value 10 name 'geom_H'
block 1 attribute index 14 value 1 name 'geom_B'
analysis type stability elasticity dim3
eigenvalue find 10 smallest
spectralelement off
usempi off
solver method auto try_other off
calculation start path "D:/FidesysBundle/calc/example.pvd"

```



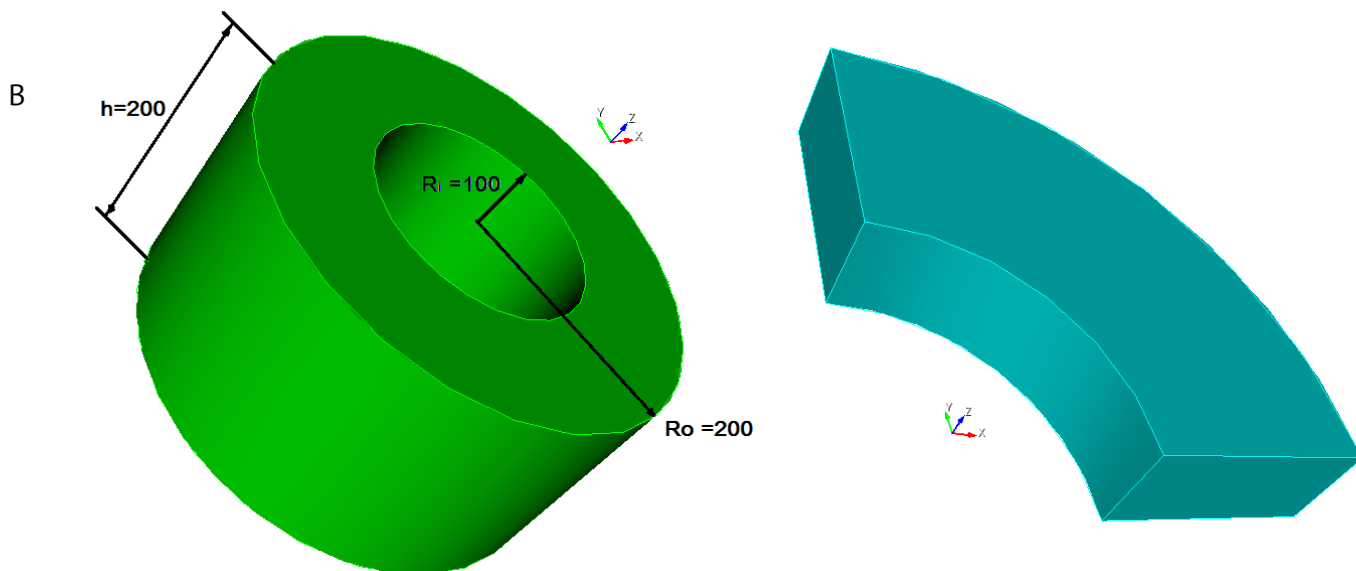
Также можно запустить файл *Example_14_Dynamic_3D_Conduction_Spectr.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

Статическое нагружение с учетом пластичности (объёмная модель)

NAFEMS Understanding Non-linear Finite Element Analysis Through Illustrative Benchmarks, Pressured cylinder plasticity benchmark p.51.

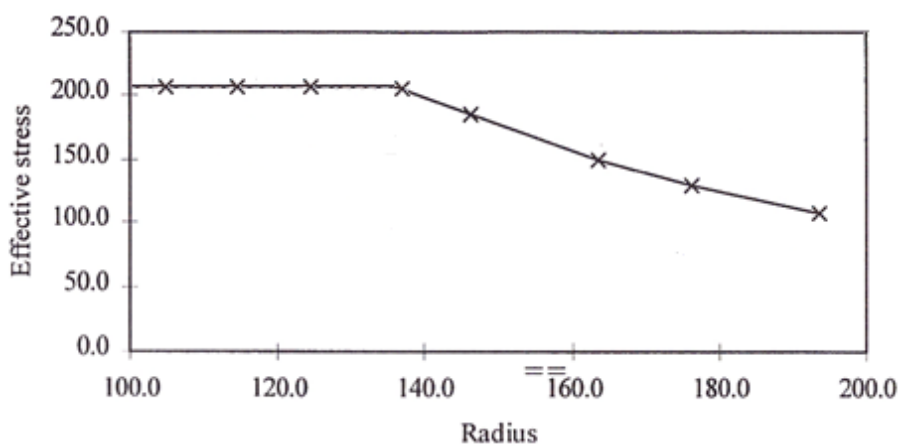
Решается задача о статическом нагружении цилиндра с учетом идеальной пластичности.

Геометрическая модель задачи представлена на рисунках ниже:



виду симметрии рассматривается 1/8 часть цилиндра. Модель закреплена также из условия симметрии. На внутреннюю грань приложено давление 140 Па. Параметры материала: модуль Юнга $E = 207000$ Па, коэффициент Пуассона $\nu = 0.3$, предел текучести $\sigma_y = 208$. В процессе решения нагрузка разбивается на 14 шагов нагружения.

Критерий прохождения теста: графики напряжений $\sigma_{\text{Мизес}}$ для $P=140$ совпадает с изображенными на картинке:



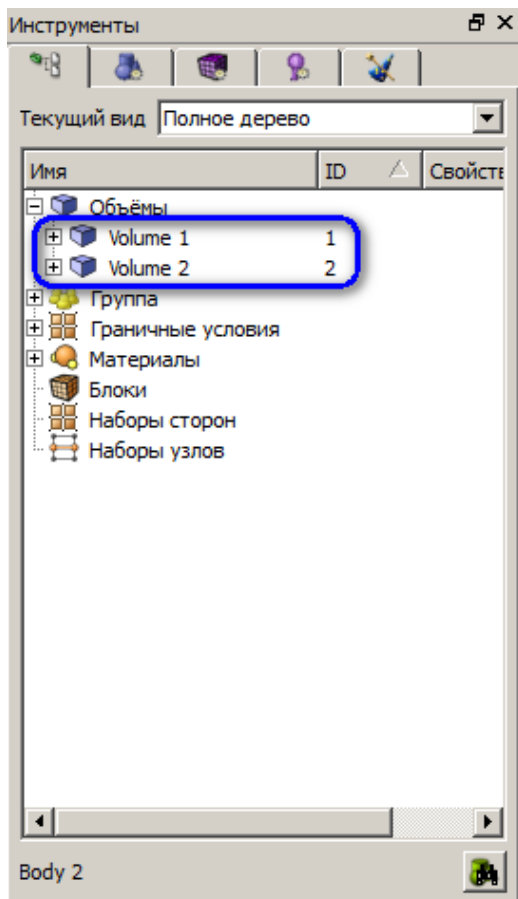
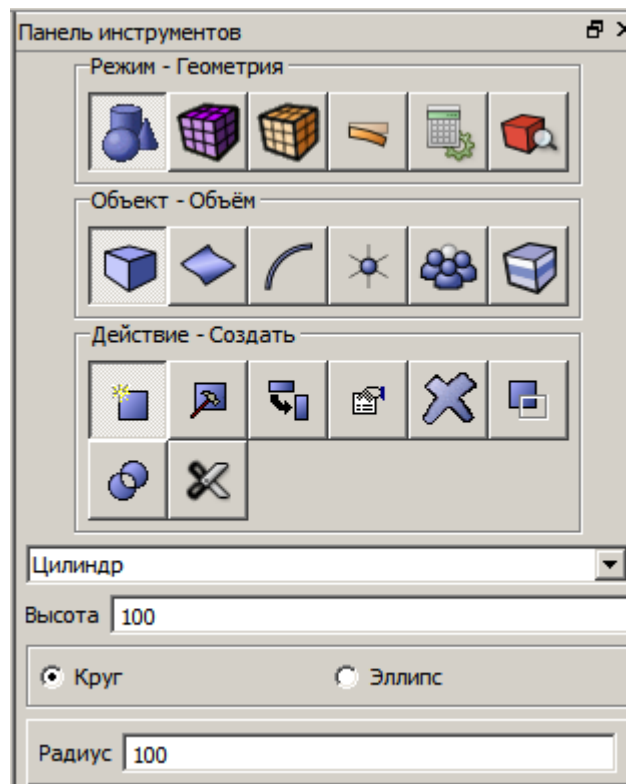
Построение модели

1. Создайте первый цилиндр.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Цилиндр**. Задайте размеры цилиндра:

- Высота: 100;
- Сечение: Круг;
- Радиус: 100;

Нажмите **Применить**.



2. Создайте второй цилиндр.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Цилиндр**. Задайте размеры цилиндра:

- Высота: 100;
- Сечение: Круг;
- Радиус: 200;

Нажмите **Применить**.

В результате в дереве объектов отобразятся два только что созданных объекта (Volume 1 и Volume 2).

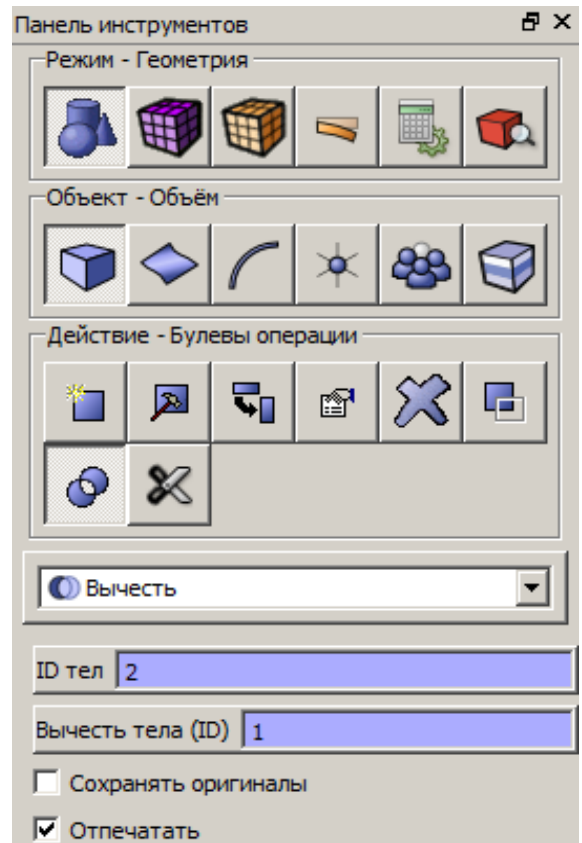
3. Вычтите первый цилиндр из второго.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Булевы операции**). Из списка операций выберите **Вычесть**. Задайте следующие параметры:

- ID тел: 2 (объёмы, из которых будут вычтены другие объёмы);
- Вычесть тела (ID): 1 (объёмы, которые будут вычтены);
- Отпечатать.

Нажмите **Применить**.

В результате в дереве объектов останется только один объём (Volume 2).



4. Оставьте четверть объёма (симметрия задачи).

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Разрез**). Из списка возможных видов разрезов выберите **Плоскость**. Задайте следующие параметры:

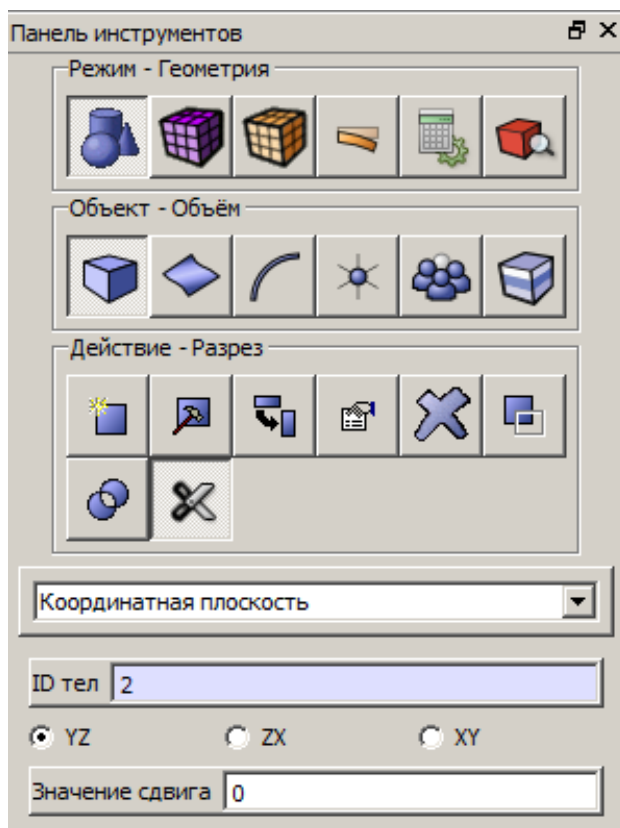
- ID объёмов: 2 (объём, который будет разрезан);
- Разрезать: Плоскость YZ;
- Значение сдвига: 0;
- Отпечатать.

Нажмите **Применить**.

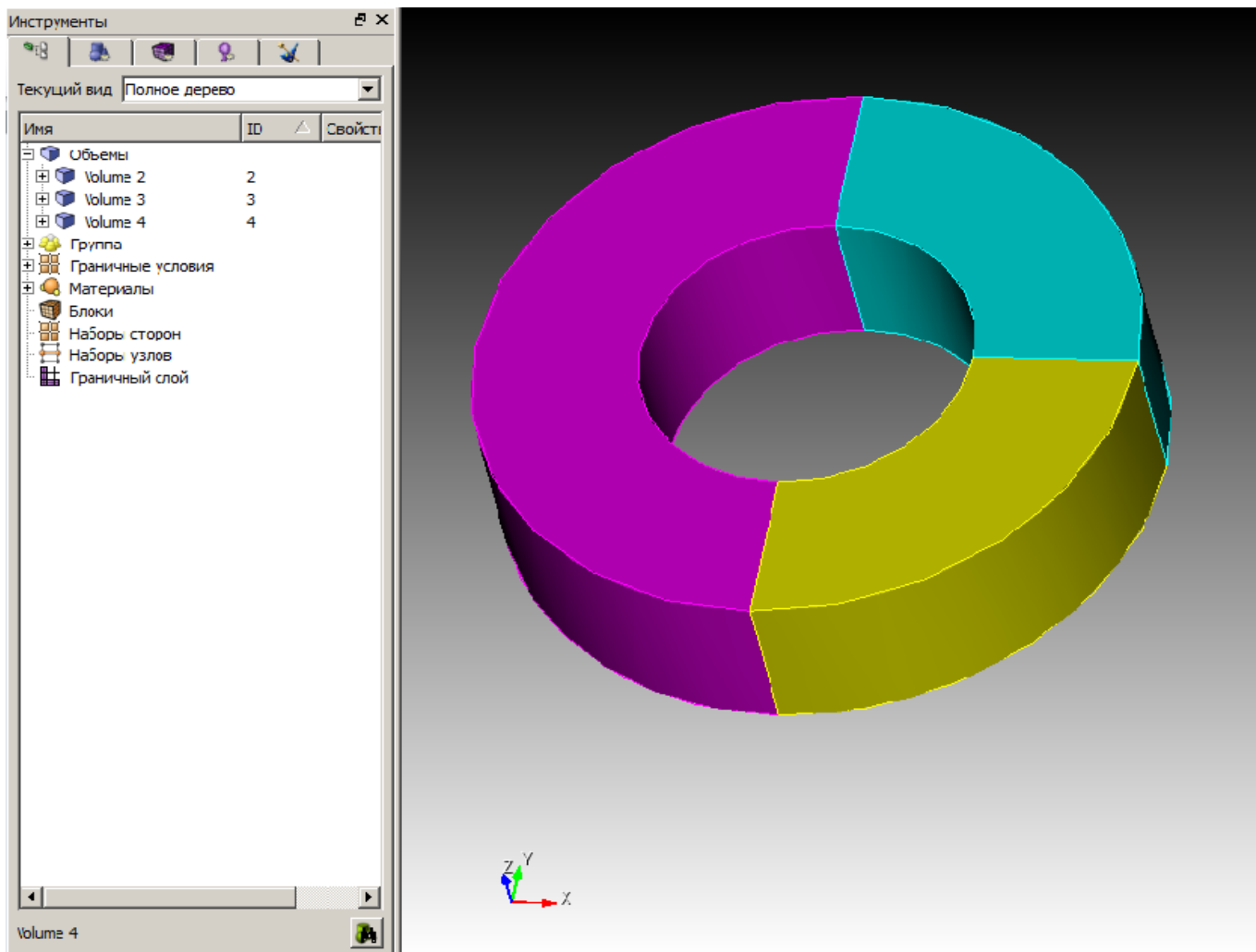
Проделайте то же самое, но в плоскости XZ:

- ID объёмов: 1 (объём, который будет разрезан);
- Разрезать: Плоскость XZ;
- Значение сдвига: 0;
- Отпечатать.

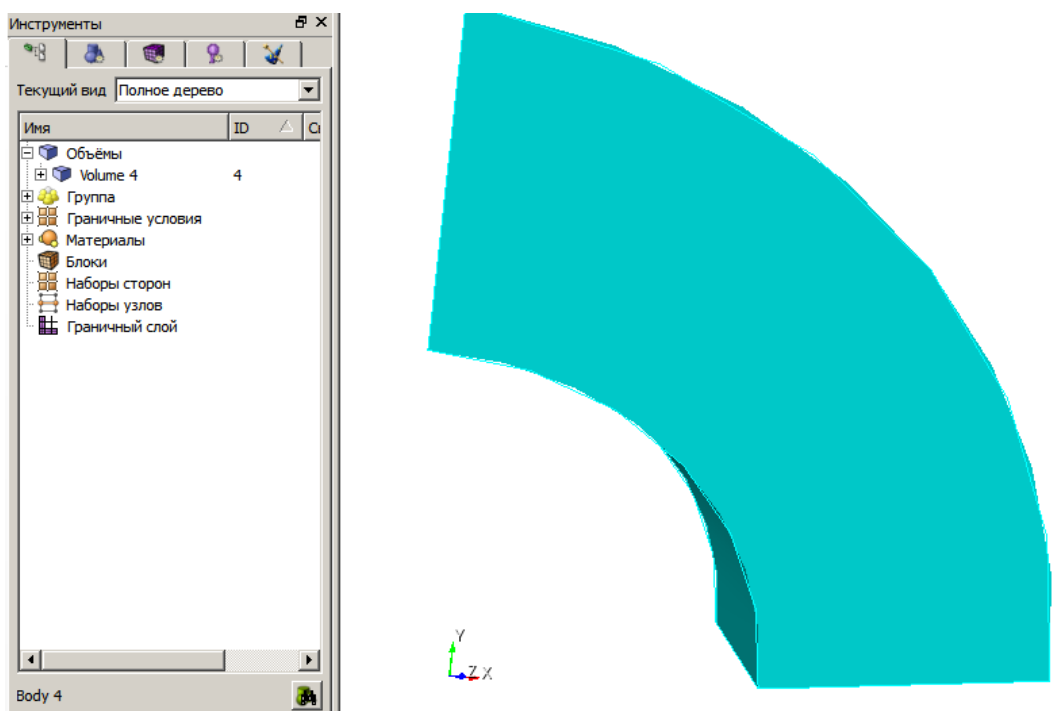
Нажмите **Применить**.



В результате исходный объём в дереве объектов будет поделён на четыре (Volume 2, Volume 3 и Volume 4).



Удалите объёмы 2 и 3. Для этого, удерживая клавишу Ctrl, выберите в дереве объектов эти объёмы и в контекстном меню нажмите **Удалить**. В результате останется четверть Первоначального объёма (Volume 4):

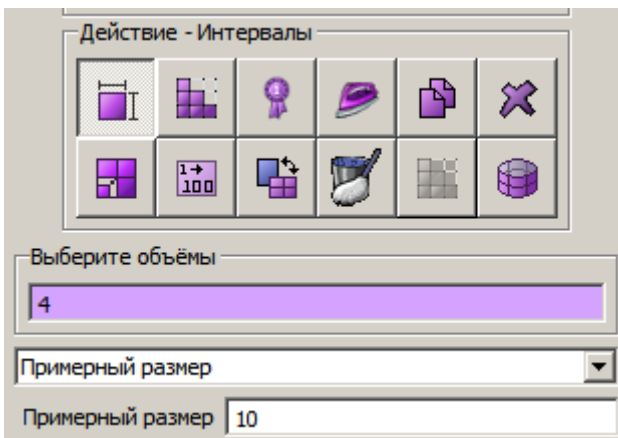
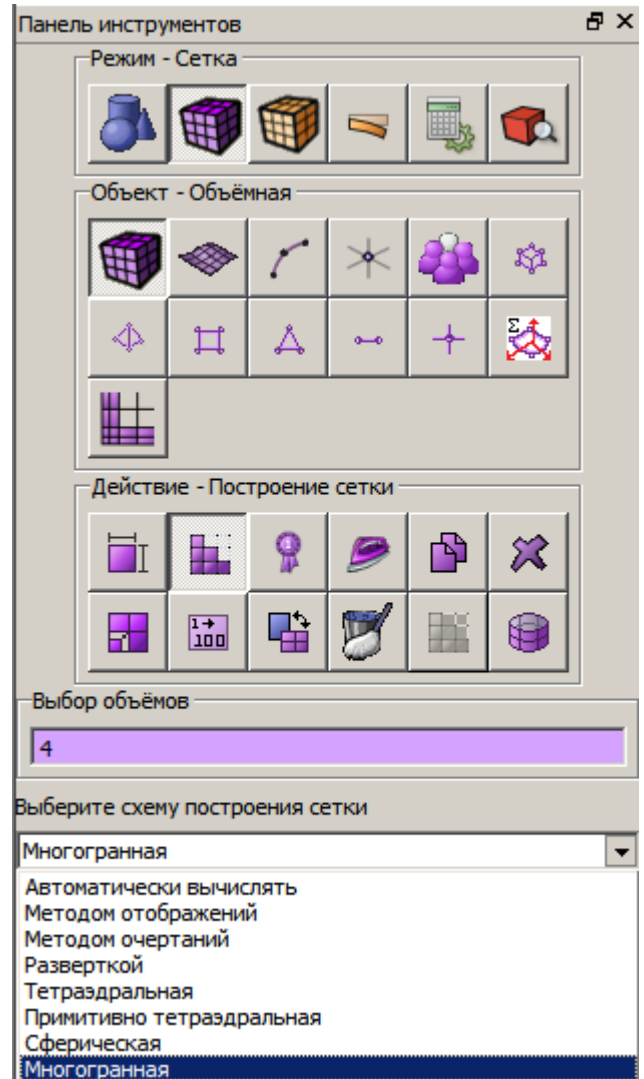


Построение сетки

1. На панели команд выберите модуль построения объемной сетки (Режим – **Сетка**, Объект – **Объемная**, Действие – **Построение сетки**). Укажите следующие параметры:

- Выбор объемов: 4;
- Выберите схему построения сетки: Многогранная;

Нажмите **Применить схему**.



2. На панели команд перейдите в модуль Интервалы (Режим – **Сетка**, Объект – **Объемная**, Действие – **Интервалы**). Укажите следующие параметры:

- Выбор объемов: 4;
- Выберите схему построения сетки: Примерный размер;
- Примерный размер: 10

Нажмите **Применить**.

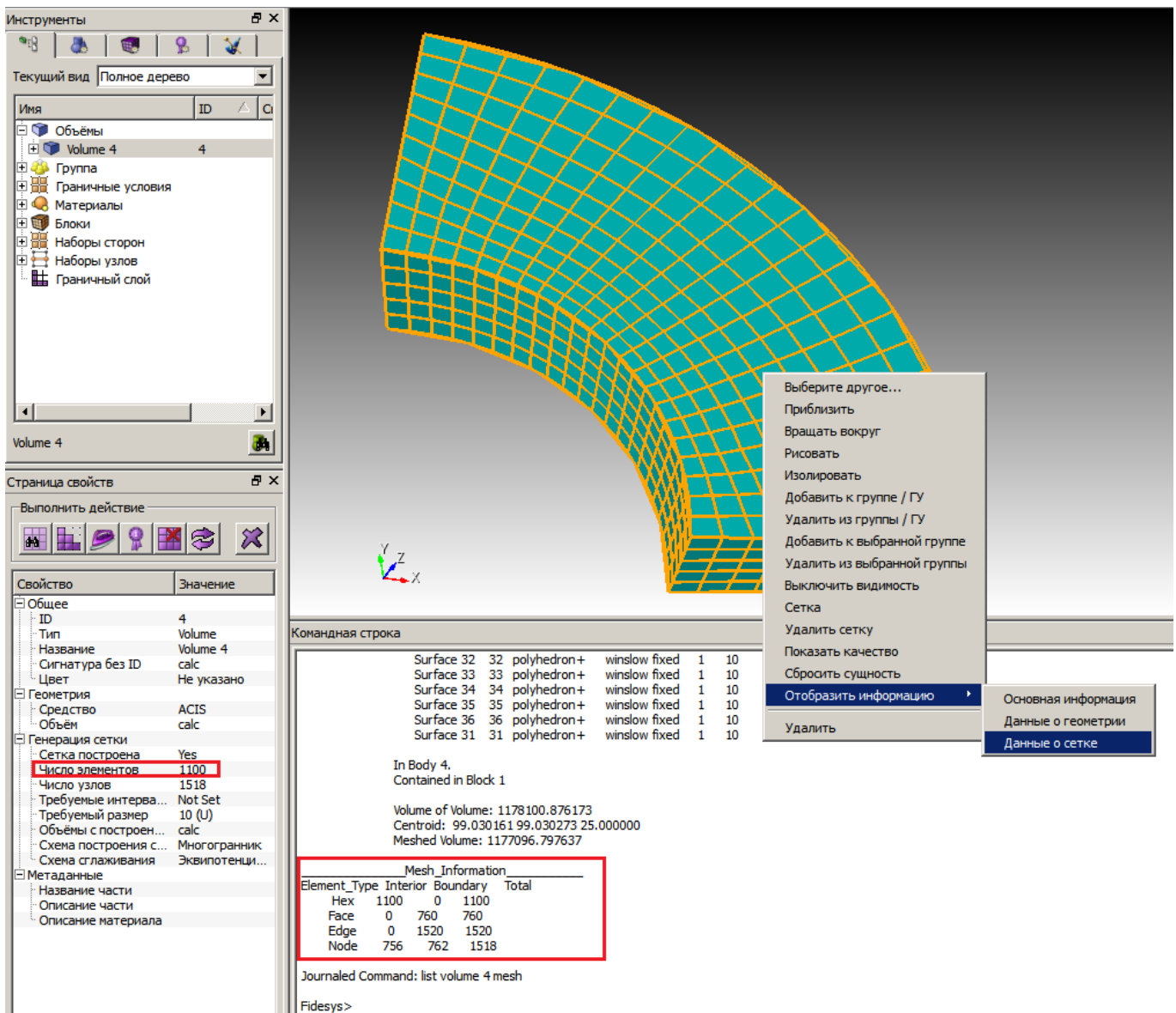
Нажмите **Построить сетку**.

Полученное количество элементов можно посмотреть на странице свойств, кликнув на надпись Volume 4 в дереве объектов слева.

Также для просмотра свойств сетки можно выполнить следующие действия:

- Выделите всю модель
- Кликните правой кнопкой мыши по модели

- В появившемся меню выберите Отобразить информацию – Данные о сетке
- В командной строке появится информация о сетке



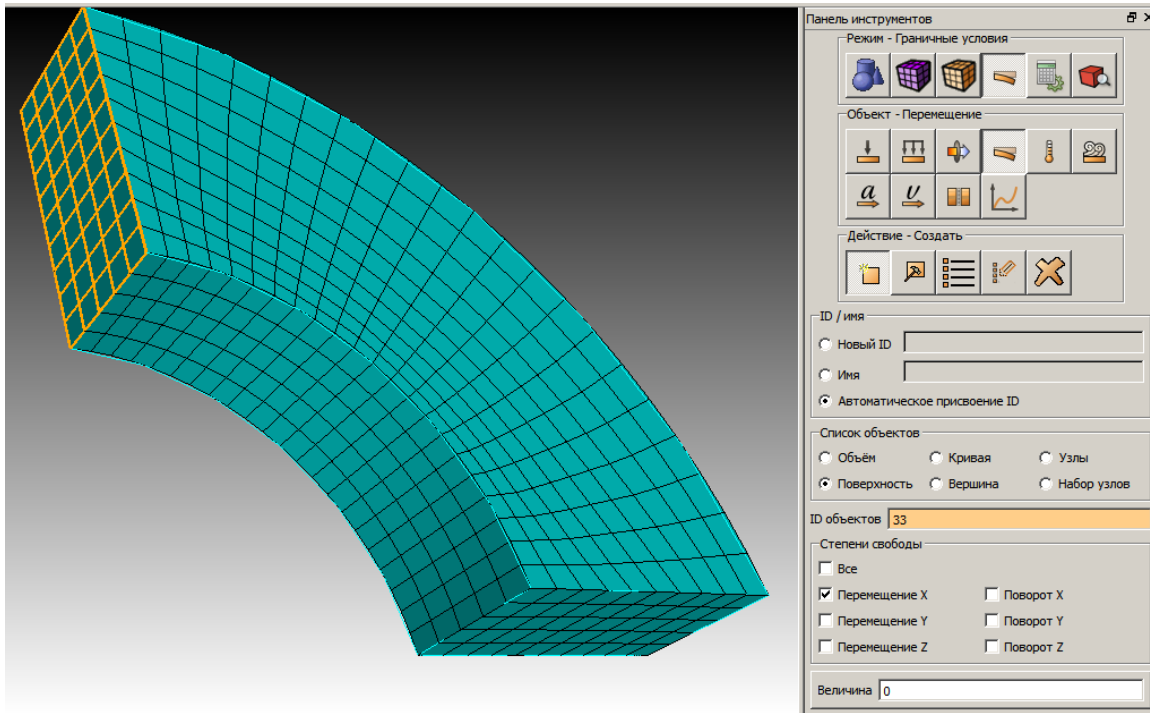
Задание граничных условий

1. Закрепите одну боковую грань (срез) в направлении X.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 11 (или *кликните по левому срезу*);
- Степени свободы: Компонента X;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

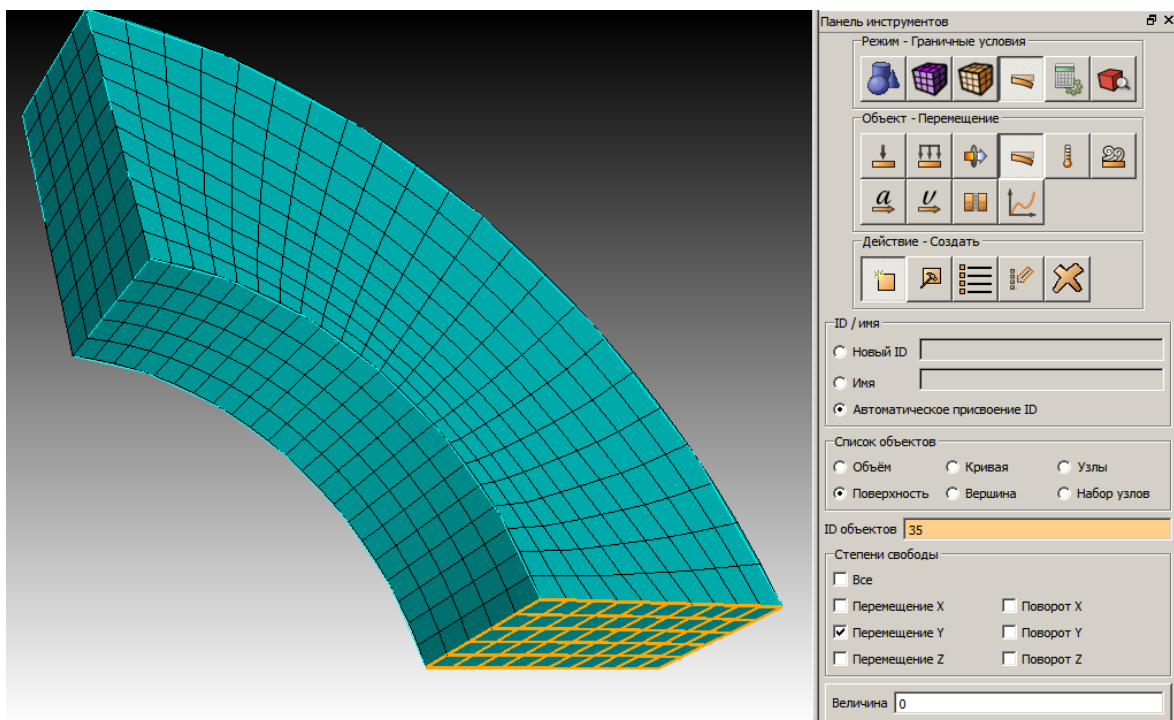


2. Аналогично закрепите одну боковую грань (срез) в направлении Y.

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 27 (или *кликните по нижнему срезу*);
- Степени свободы: Компонента Y;
- Величина: 0.

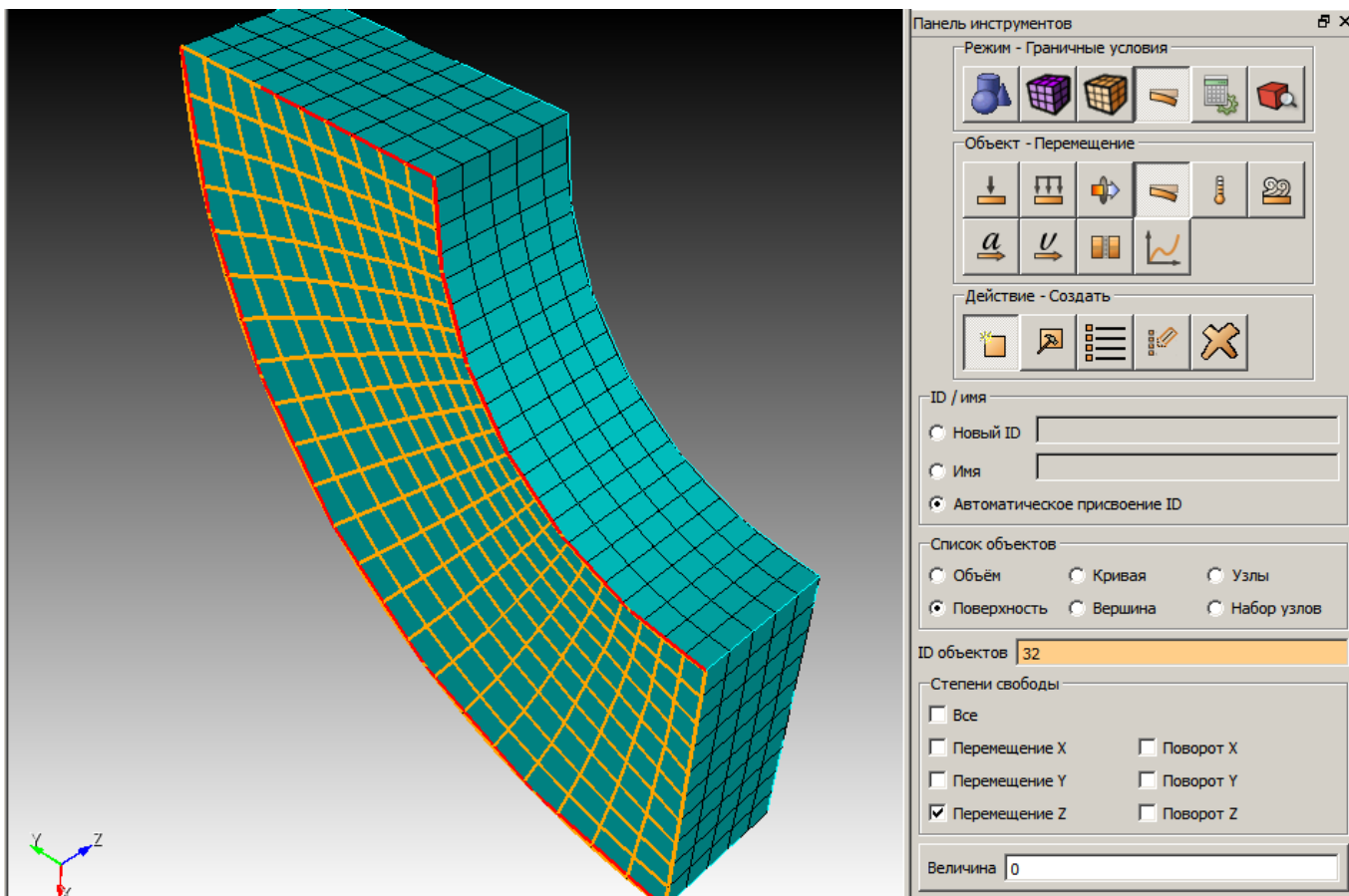
Нажмите **Применить**.



3. Аналогично закрепите нижнюю поверхность в направлении На панели команд выберите Режим – Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 29 (или кликните по нижней грани модели);
- Степени свободы: Компонента Z;
- Величина: 0.

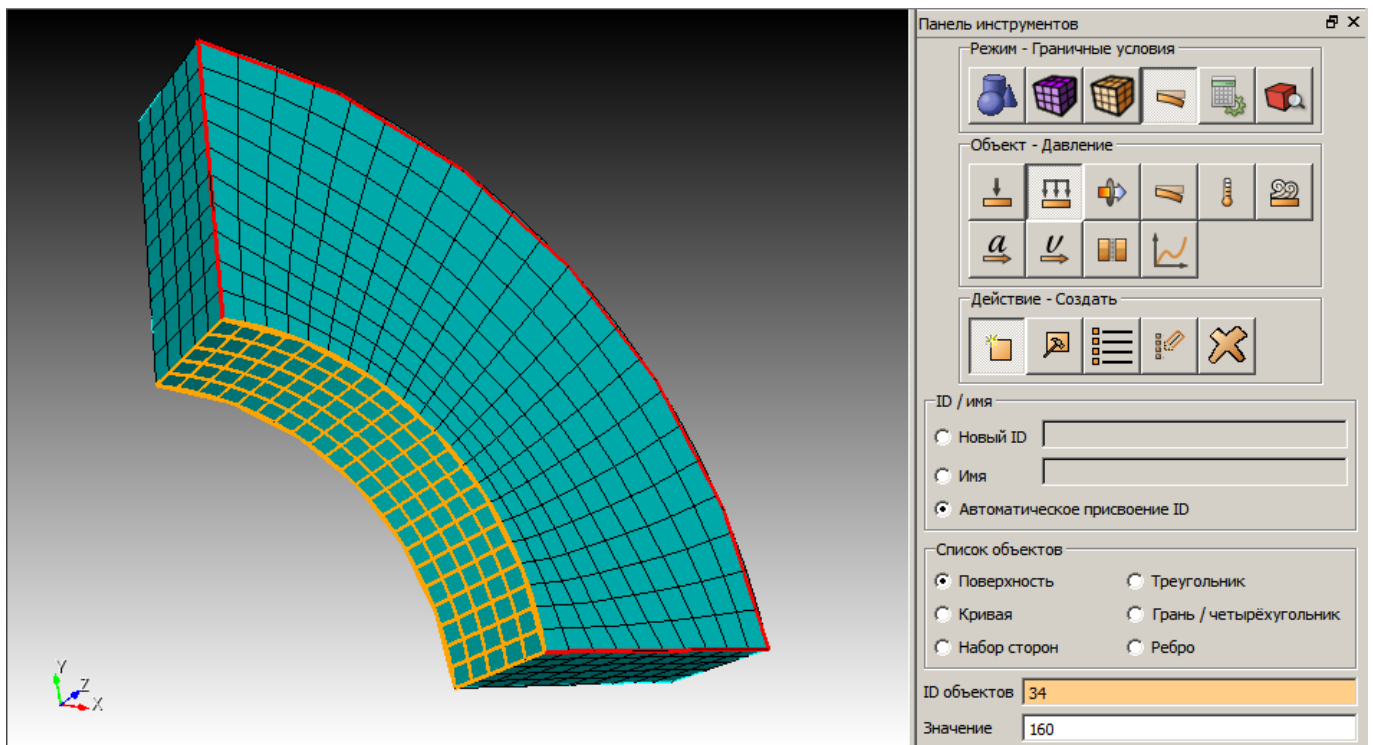
Нажмите **Применить**.



4. Приложите давление к внутренней грани.

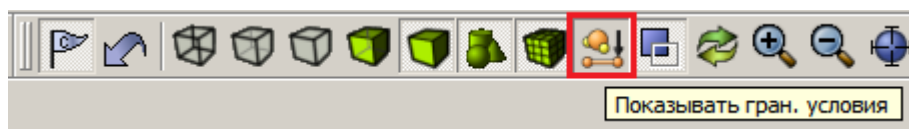
На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Давление**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 30 (или кликните по внутренней поверхности цилиндра);
- Значение: 160
- Нажмите **Применить**.



Все приложенные граничные условия должны отображаться в дереве объектов слева. Кроме того, граничные условия доступны для редактирования из дерева объектов.

Для просмотра всех приложенных граничных условий также нажмите кнопку Показать ГУ на верхней панели.



Задание материала и типа элемента

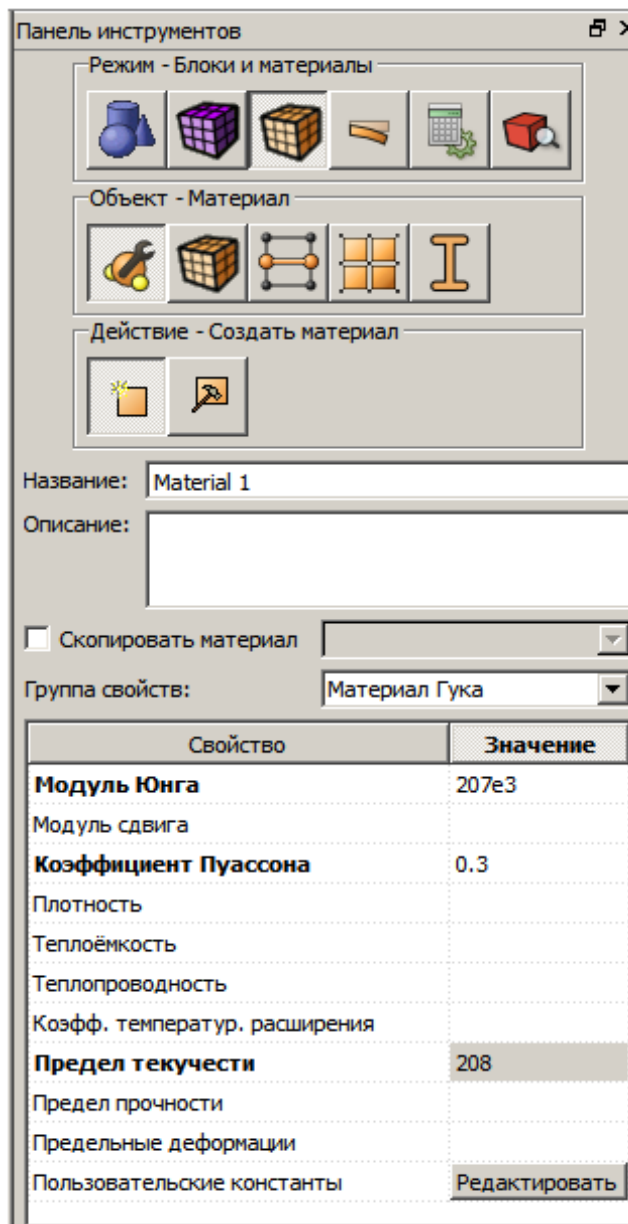
1. Создайте материал.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Материал**, Действие – **Создать материал**). Задайте следующие параметры:

- Название: Material1;
- Описание: Материал Гука
- Группа свойств: Материал Гука;
- Модуль Юнга: 207e3;
- Коэффициент Пуассона: 0.3;
- Предел текучести: 208.

Нажмите **Применить**.

Важно: Т.к рассматривается случай идеальной пластичности, то предел прочности и предельные деформации не вводятся.

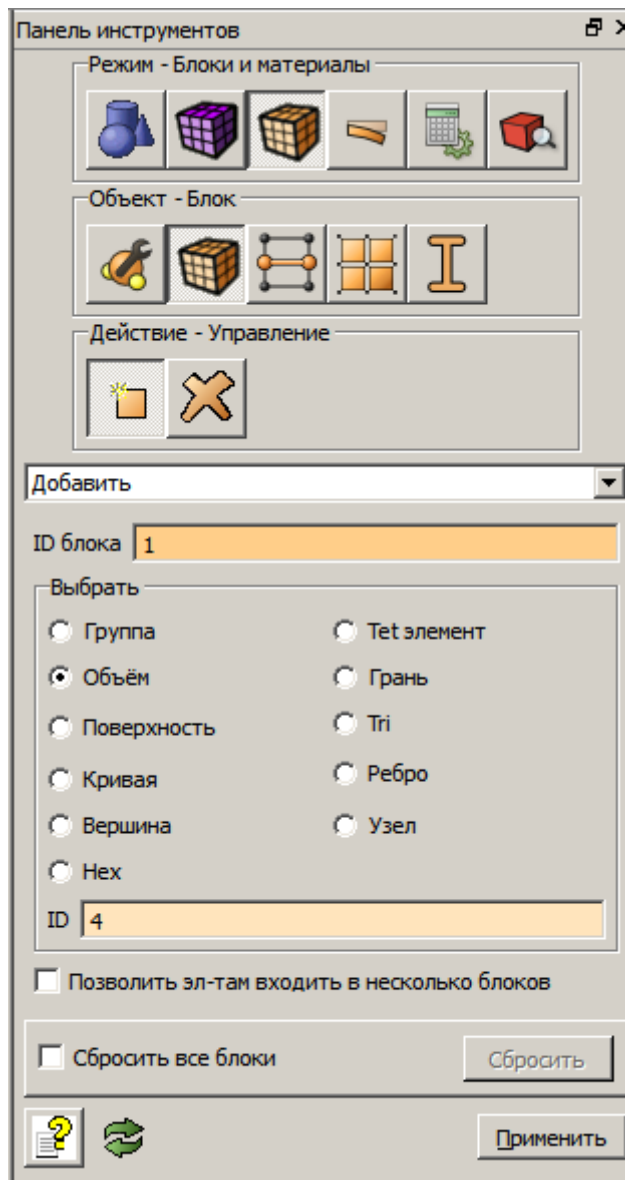


2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Добавить**. Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Выберите объекты, которые будут объединены в блок: Объём;
- ID: 4 (или командой *all*).

Нажмите **Применить**.

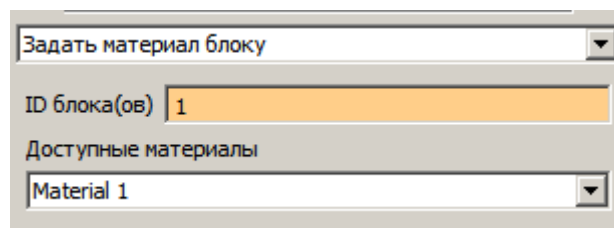


3. Присвойте материал блоку.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Задать материал блоку**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выберите из списка ранее созданный материал: Material 1.

Нажмите **Применить**.

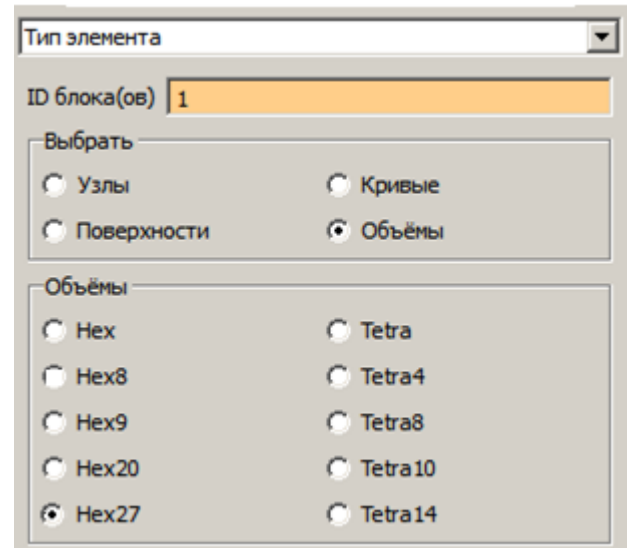


4. Присвойте тип элемента.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Тип элемента**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выбрать: Объёмы;
- Объёмы: HEX27.

Нажмите **Применить**.



Запуск расчёта

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

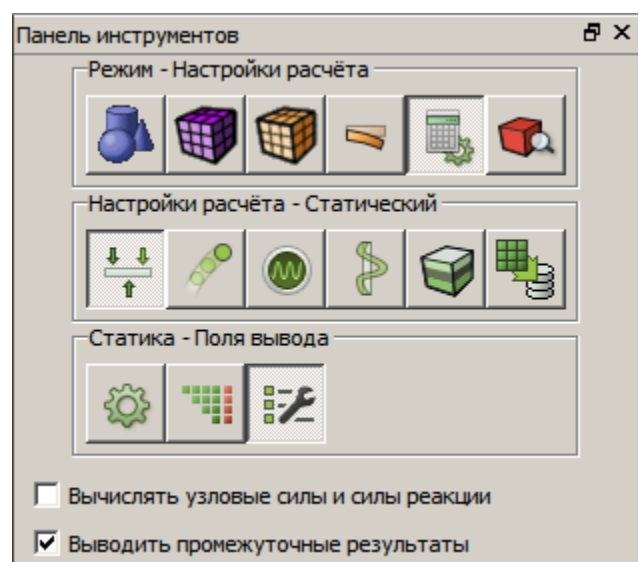
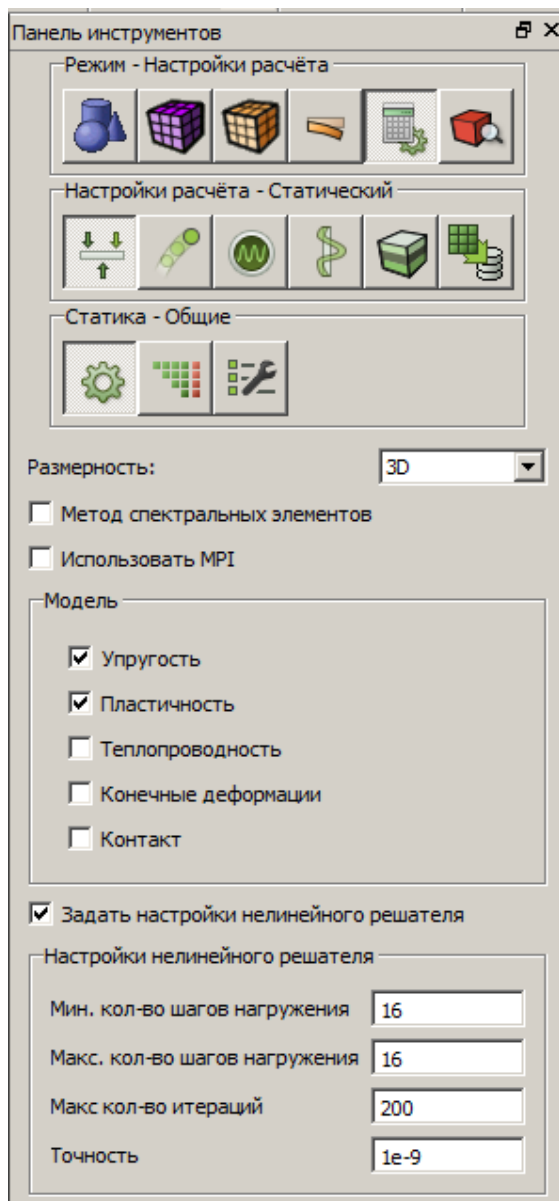
На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Статический**, Статика – **Общие**). Выберите:

- Размерность: 3D;
- Модель: Упругость;
- Модель: Пластичность.
- Настройки нелинейного решателя. Укажите следующие параметры:
- Максимальное количество итераций: 200;
- Количество шагов нагружения: 16;
- Точность: 1e-9.

Нажмите **Применить**.

2. Настройте Поля вывода.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Статический**, Статика – **Поля вывода**). Для нелинейных задач доступен вывод результатов на каждом шаге нагружения. Убедитесь, что флаг Выводить промежуточные результаты включен.



Нажмите **Начать расчёт**.

3. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат, и введите название файла. В данном случае, сохраните расчет в файл test.pvd.
4. В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: *"Calculation finished successfully at <date> <time>"*.
5. Для нелинейных задач сходимость итераций на каждом шаге по нагружению можно проверить в файле Convergence.txt. Данный файл выгружается в папку test, которая создается рядом с файлом test.pvd.

Name ^	Date modified	Type	Size
test	25-Apr-14 12:03 PM	File folder	
test.pvd	25-Apr-14 12:10 PM	PVD File	2 KB

Откройте файл test\Convergence.txt:

Убедитесь, что на каждом шаге нагружения достигнута сходимость с заданной точностью.

CONVERGENCE ITERATIONS

```

LoadTime  Residual
0.071429  50700.241485535989000
0.071429  0.00000000915691
-----
0,142857  50700,241485575054000
0,142857  0,00000001017351
-----
0,214286  50700,241485579267000
0,214286  0,00000001169061
-----
0,285714  50700,241485585524000
0,285714  0,00000001352515
-----
0,357143  50700,241485593193000
0,357143  0,00000001542185
-----
0,428571  50700,241485601844000
0,428571  0,00000001740132
-----
0,500000  50700,241485610350000
0,500000  0,00000001895954

```

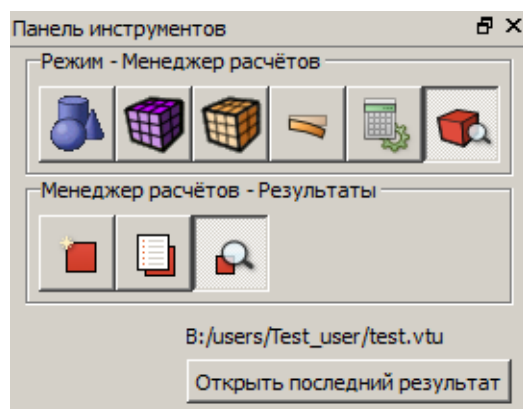
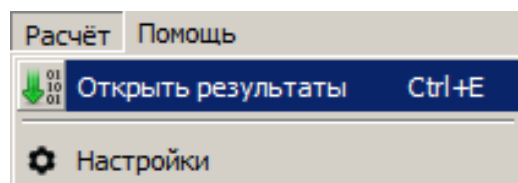
Анализ результатов

- Откройте файл с результатами. Это можно сделать тремя способами.
 - Нажмите Ctrl+E.
 - В главном меню выберите **Расчёт** → **Результаты**. Нажмите **Открыть последний результат**.
 - На панели команд выберите менеджер расчётов (Режим – **Менеджер расчётов**, Менеджер расчётов – **Результаты**). Нажмите **Открыть результаты**.



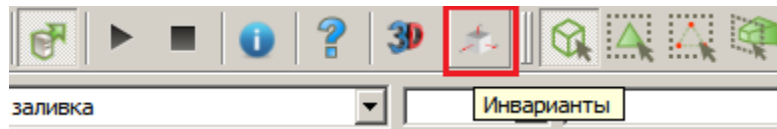
Для автоматического применения изменений всех фильтров нажмите на соответствующую кнопку

Автоматически применять изменения на панели команд.

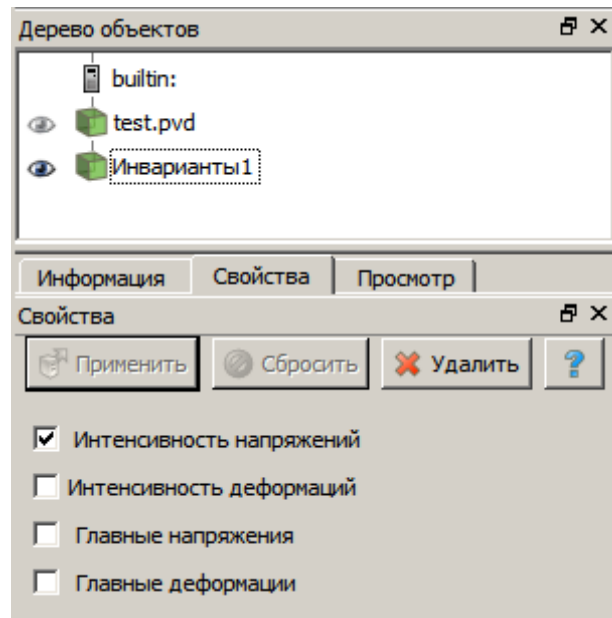


- Отобразите поле напряжения $\sigma_{\text{Мизес}}$ и сетку на модели.

Для этого вызовите фильтр Инварианты по кнопке быстрого доступа на панели Fidesys Viewer



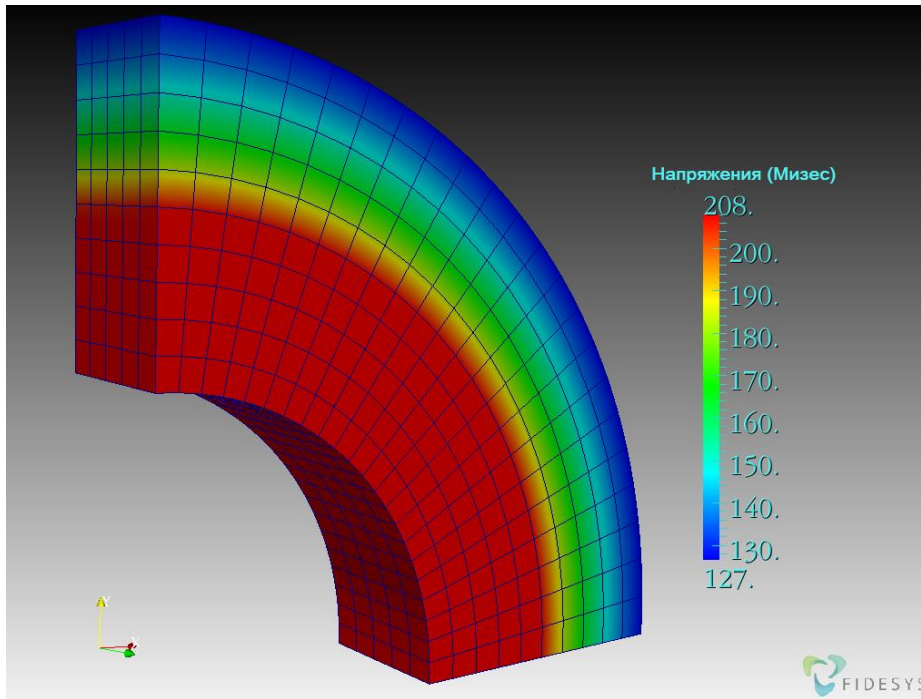
В дереве объектов для этого фильтра во вкладке Свойства оставьте только флаг Интенсивность напряжений



На панели инструментов **Fidesys Viewer** установите следующие параметры:

- Тип отображения: Поверхность с ребрами;
- Поле отображения: Напряжения(Мизес);
- Поверхность с ребрами.

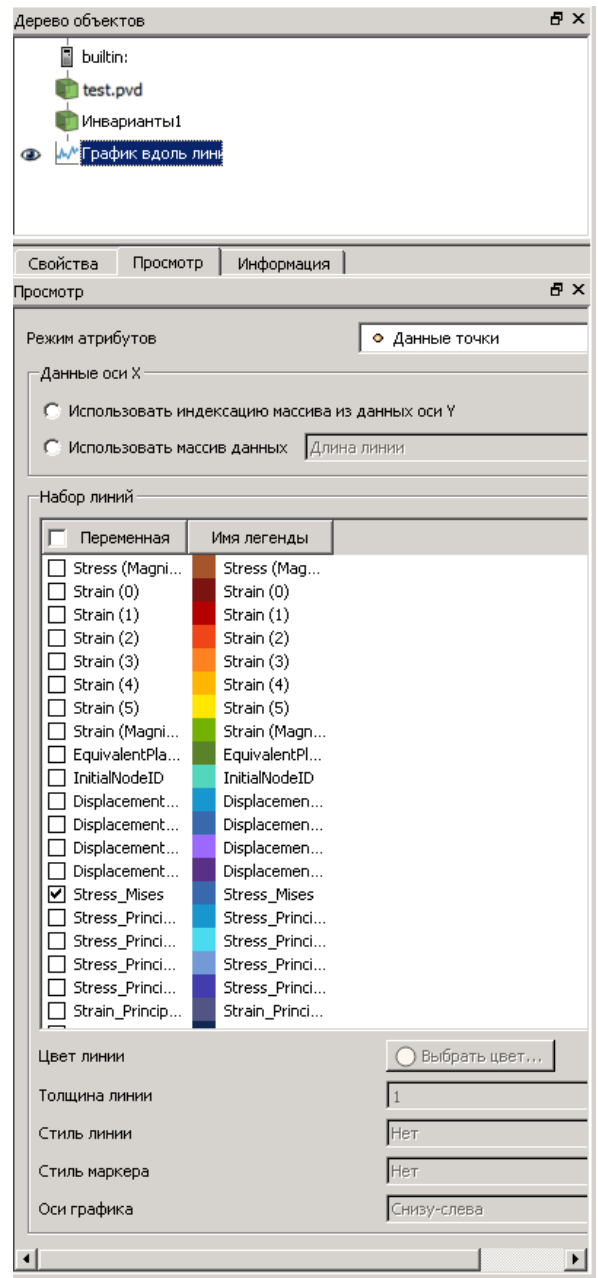
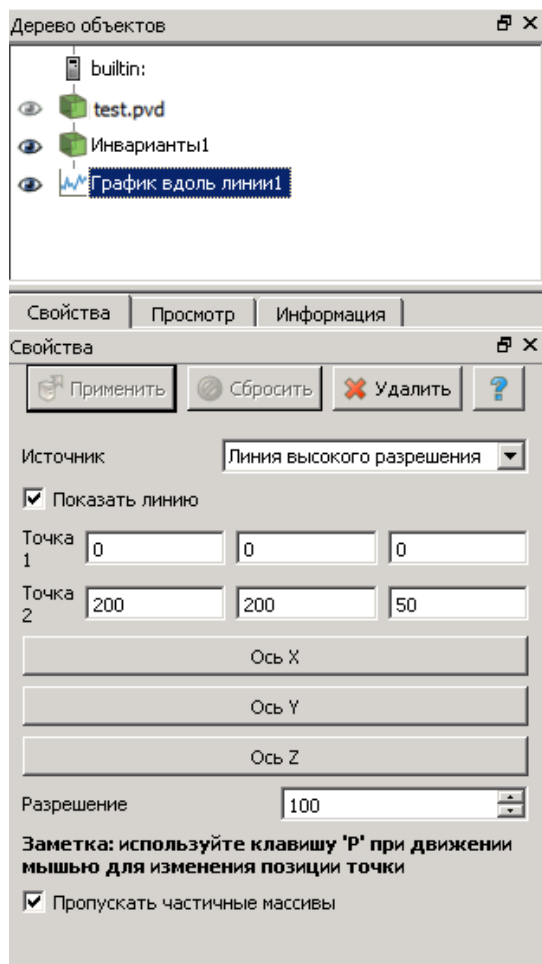




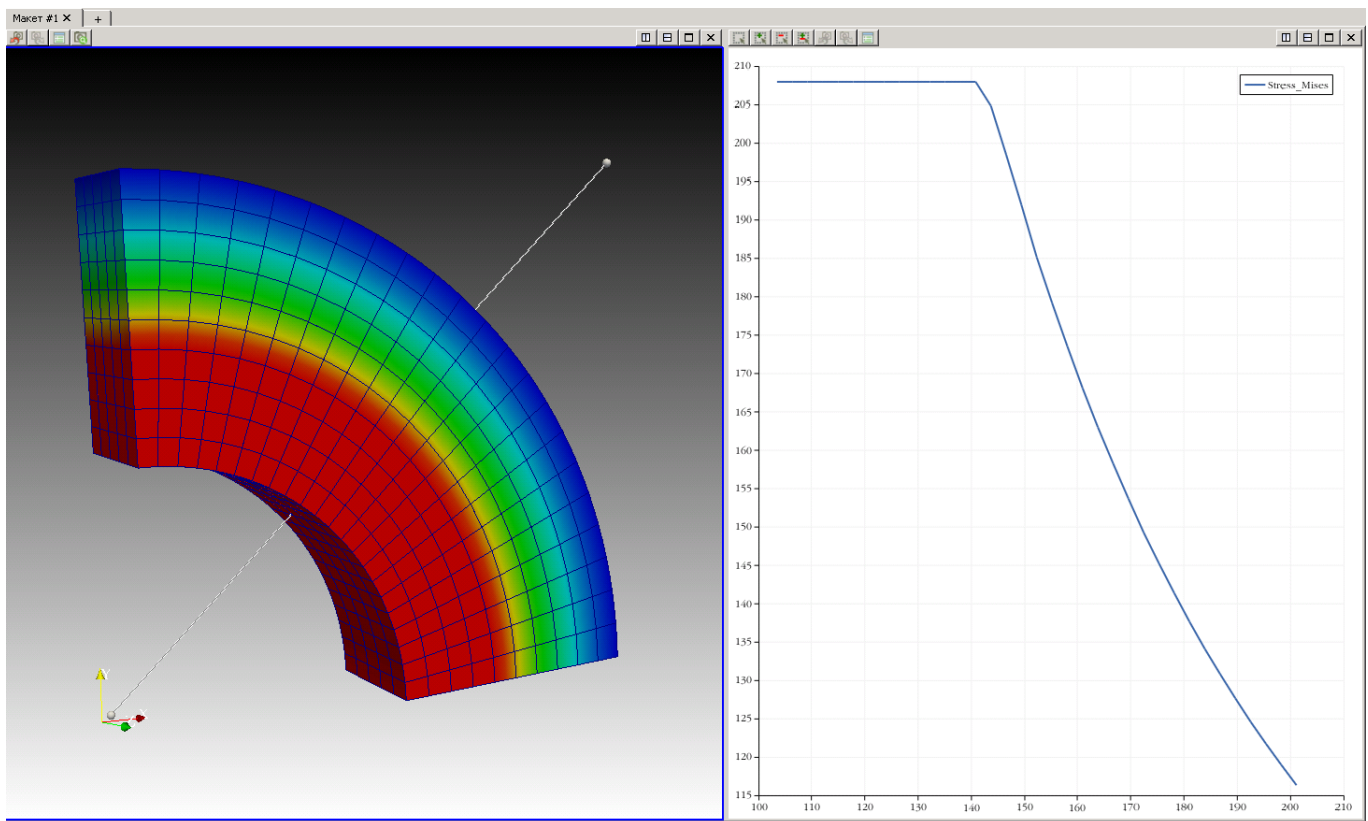
3. Постройте распределение Напряжения (Мизес) вдоль радиуса цилиндра.

Для этого вызовите **Фильтр – Алфавитный указатель – Построить график вдоль линии**.

Во вкладке Свойства для фильтра График вдоль линии1 поставьте параметры, как указано на картинке ниже. После этого перейдите во вкладку Просмотр и выберите для отображения только поле Stress_Mises:



В результате, на графике справа появится график распределения поля Напряжение (Мизес) вдоль радиуса цилиндра.



4. Выгрузите числовые данные.

В главном меню выберите **Файл** → **Сохранить данные** либо нажмите **Ctrl+S**. Введите имя файла (формат *.csv), оставьте по умолчанию. Нажмите **OK**. Сохранённый файл представляет собой обычную таблицу числовых данных, которую можно открыть любым текстовым редактором.

Использование консольного интерфейса

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса. Ниже приведён код программы, позволяющий выполнить шаги описанного выше руководства, необходимо только **самостоятельно указать полный путь и название сохраняемого файла**.

Пример рабочего скрипта (файл сохраняется в D:/FidesysBundle/calc/example.pvd)

```

reset
create Cylinder height 100 radius 200
create Cylinder height 100 radius 100
subtract body 2 from body 1
webcut body 1 with plane xplane offset 0
webcut body 1 with plane yplane offset 0
webcut body 4 with plane zplane offset 0
delete Body 5
delete Body 1
delete Body 3
volume 4 scheme Auto
volume 4 size 10
mesh volume 4
create material "Material 1" property_group "CUBIT-FEA"
modify material "Material 1" scalar_properties "MODULUS" 207e3 "POISSON" 0.3
"YIELD_STRENGTH" 208
set duplicate block elements off
    
```

```

block 1 volume 4
block 1 material 'Material 1'
create displacement on surface 32 dof 3 fix
create displacement on surface 33 dof 1 fix
create displacement on surface 35 dof 2 fix
create pressure on surface 34 magnitude 140
block 1 element type HEX27
analysis type static elasticity plasticity dim3
nonlinearopts maxiters 1000 loadsteps 10 tolerance 1e-3
calculation start path "\\ns25\calc_MPI\nointerface1.pvd"
calculation start path "D:/FidesysBundle/calc/example.pvd"
    
```

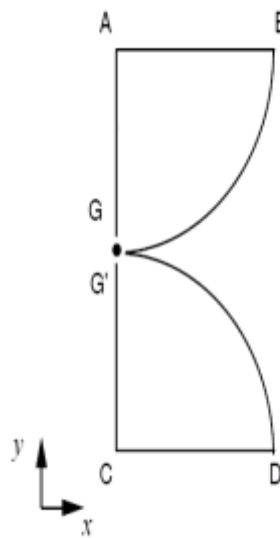


Также можно запустить файл *Example_15_Plasticity_3D.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

Моделирование контактного взаимодействия (объёмная модель)

G. DUMONT: "Method of the active stresses applied to the unilateral contact" Note HI-75/93/016 (http://www.code-aster.org/V2/doc/v10/en/man_v/v1/v1.01.246.pdf)

Решается задача Герца для двух полуфер. Геометрическая модель задачи представлена на рисунках ниже:



В виду симметрии рассматривается 1/4 часть полуфер. Модель закреплена также из условия симметрии. На верхнюю грань первой полуферы приложено перемещение $U_y = -2$ мм, на нижнюю грань второй полуферы приложено перемещение $U_y = 2$ мм. Параметры материала: модуль Юнга $E = 2e4$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0.3$.

Критерий прохождения теста: в точке G $\sigma_{yy} = -2798.3$ МПа

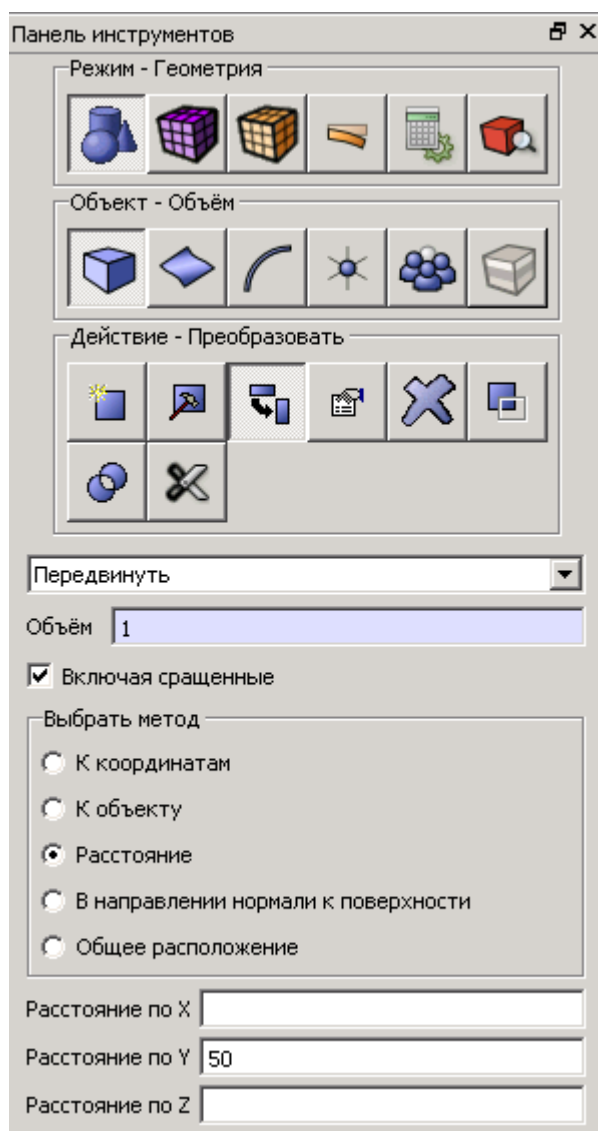
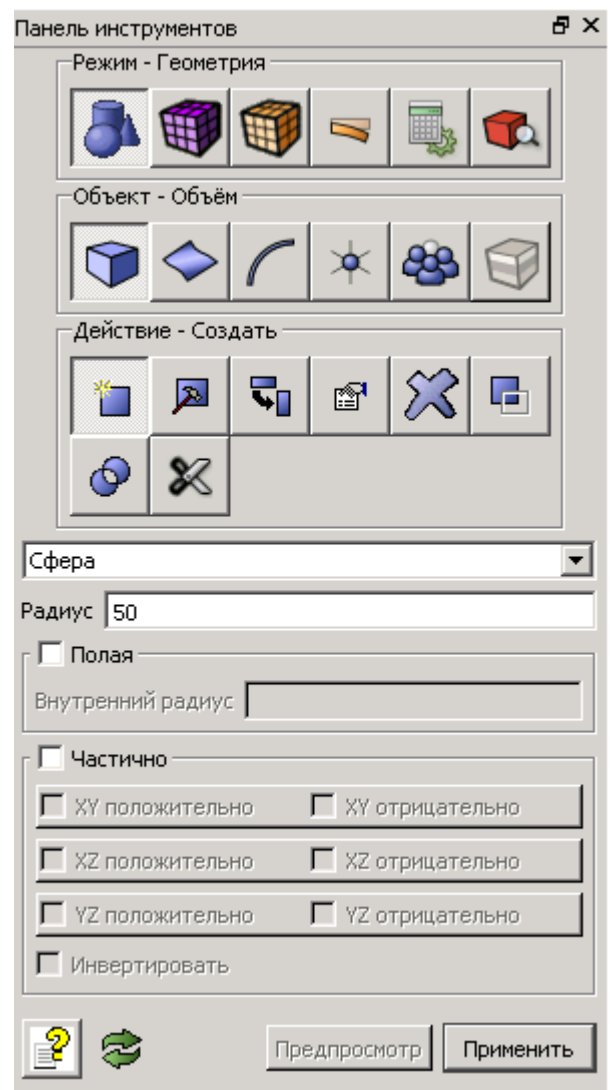
Построение модели

1. Создайте первую сферу.

На панели инструментов выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Сфера**. Задайте размеры сферы:

- Радиус: 50;

Нажмите **Применить**.



2. Перенесите полученную сферу по оси Oy.

На панели инструментов выберите Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Преобразовать**. Задайте следующие параметры:

- В выпадающем списке выберите: **Передвинуть**;
- Объем (ID): 1 (или *кликните мышью по созданной сфере*);
- Выбрать метод: **Расстояние**;
- Расстояние по Y: 50.

3. Создайте вторую сферу.

На панели инструментов выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Сфера**. Задайте размеры сферы:

- Радиус: 50;

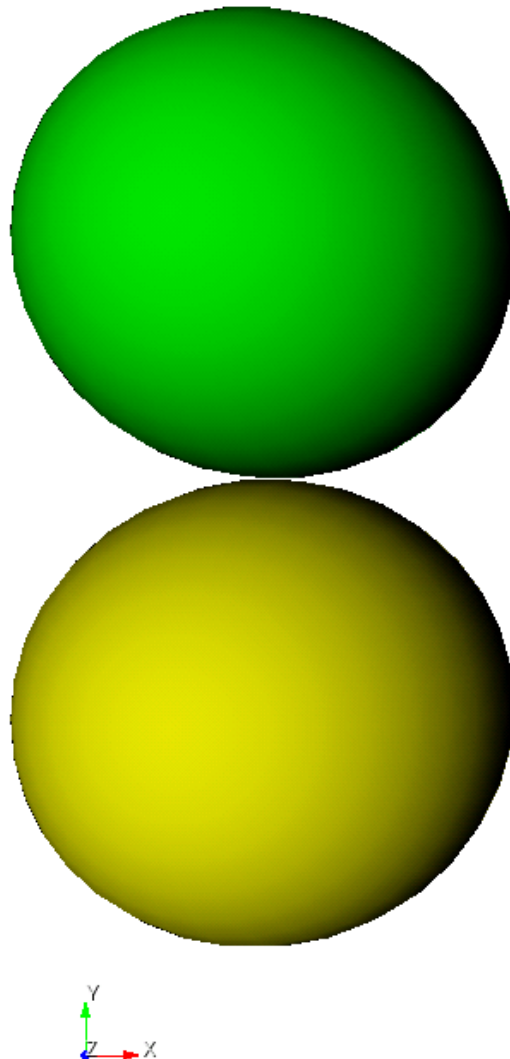
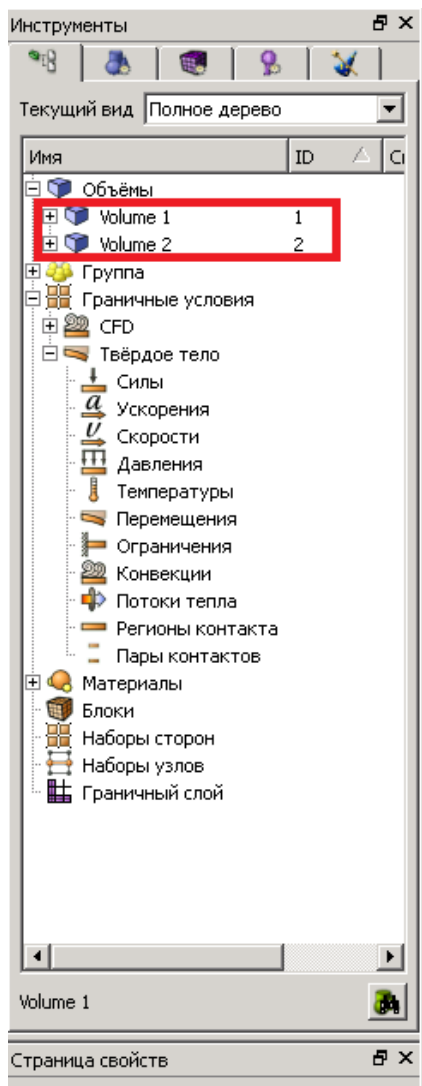
Нажмите **Применить**.

4. Перенесите вторую сферу по оси Oy.

На панели инструментов выберите Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Преобразовать**. Задайте следующие параметры:

- В выпадающем списке выберите: Передвинуть;
- Объем (ID): 1 *(или кликните мышью по созданной сфере)*;
- Выбрать метод: Расстояние;
- Расстояние по Y: -50.

В результате в дереве объектов отобразятся два только что созданных объекта (Volume 1 и Volume 2). При этом обе сферы соприкасаются в точке (0,0,0).



5. Оставьте половину первой сферы.

Для этого разрежьте первую (верхнюю) сферу плоскостью ZX по центру. На панели команд выберите Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Разрез**. Из списка операций выберите **Координатная плоскость**. Задайте следующие параметры:

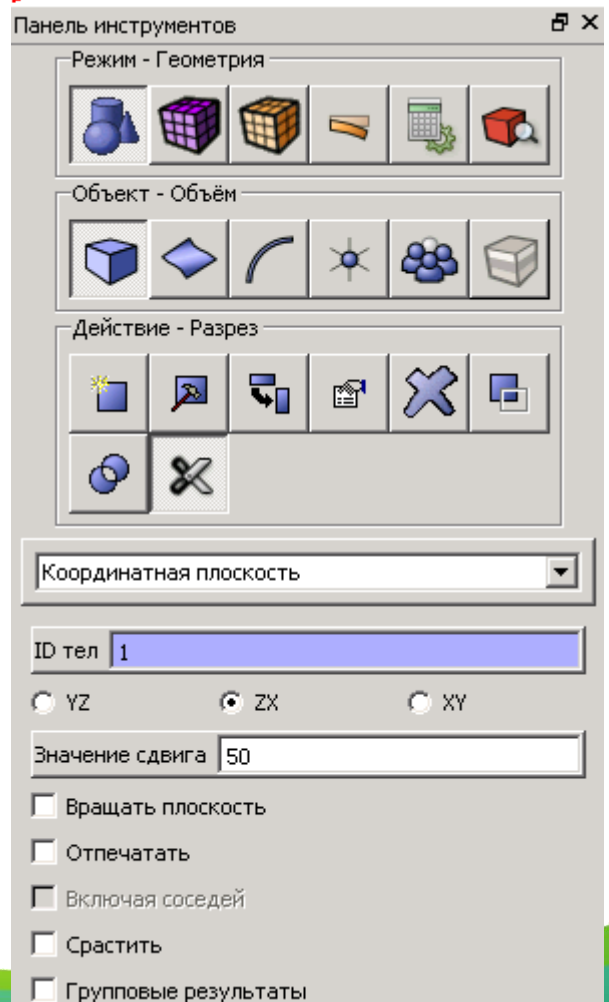
- ID тел: 1 (или кликните мышью по верхней сфере);
- Установите флаг ZX;
- Значение сдвига: 50.

Нажмите **Применить**.

В результате верхняя сфера должна разделиться на две части.

6. Оставьте половину второй сферы.

Для этого разрежьте вторую (верхнюю) сферу плоскостью ZX по центру. На панели команд выберите Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие –

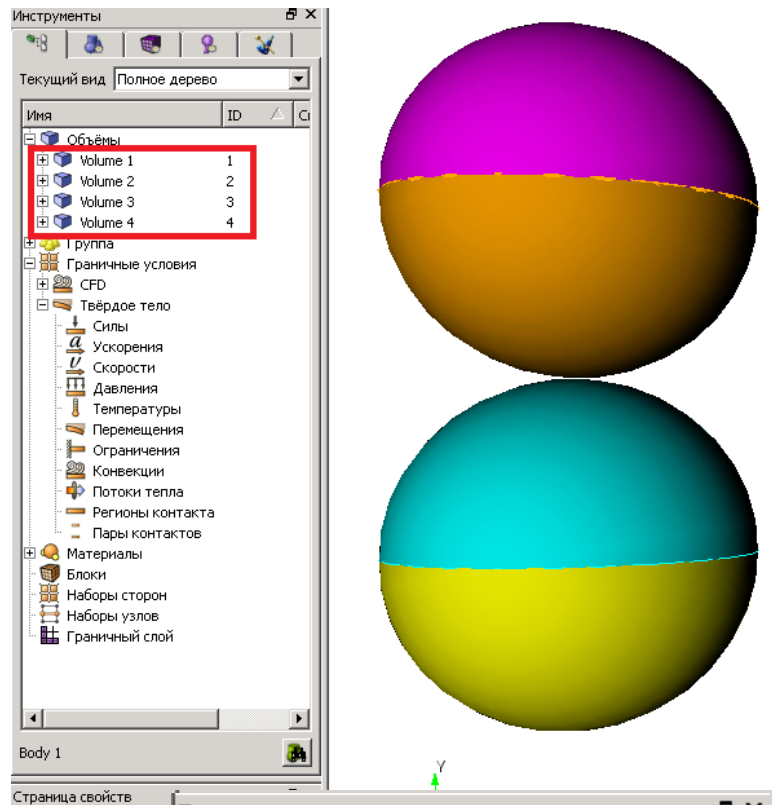


Разрез. Из списка операций выберите **Координатная плоскость**. Задайте следующие параметры:

- ID тел: 1 (или кликните мышью по верхней сфере);
- Установите флаг ZX;
- Значение сдвига: -50.

Нажмите **Применить**.

В результате нижняя сфера должна разделиться на две части.



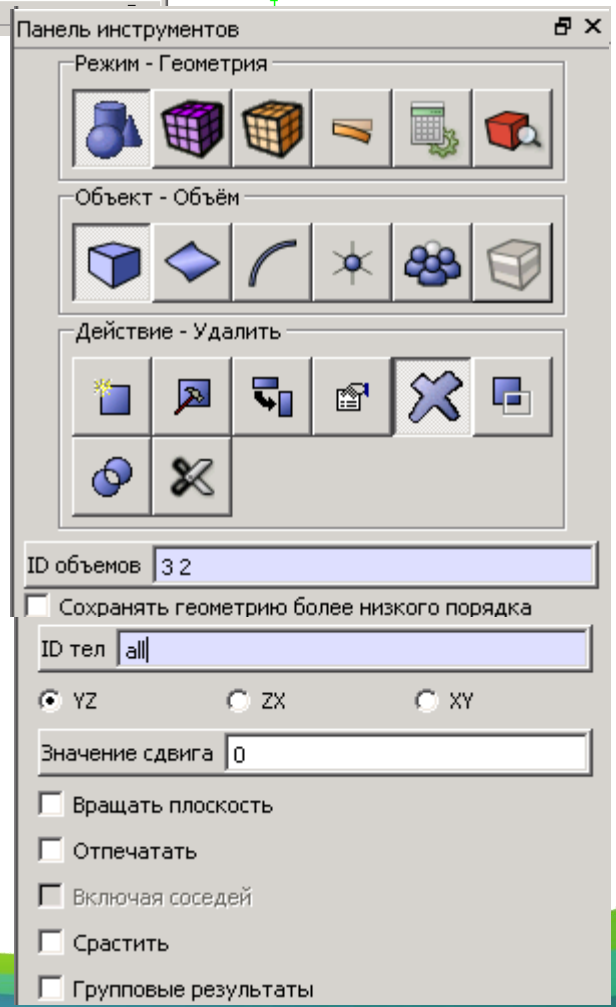
В дереве объектов слева должно отобразиться 4 полученных объема

7. Удалите лишние объемы.

Необходимо удалить самый верхний и самый нижний объемы. На панели команд выберите Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Удалить**. Задайте следующие параметры:

- ID тел: 3 2 (или кликните мышью по самому верхнему и самому нижнему объему, зажимая клавишу CTRL);

Нажмите **Применить**.



8. Оставьте четверть сфер (симметрия задачи).

На панели команд выберите модуль построения объемной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Разрез**). Из списка возможных видов разрезов выберите **Координатная Плоскость**. Задайте следующие параметры:

- ID объемов: all (*объемы которые будут разрезаны*);
- Разрезать: Плоскость YZ;
- Значение сдвига: 0;

Нажмите **Применить**.

Проделайте то же самое, но в плоскости XZ:

- ID объемов: all (*объемы которые будут разрезаны*);
- Разрезать: Плоскость XZ;
- Значение сдвига: 0;
- Отпечатать.

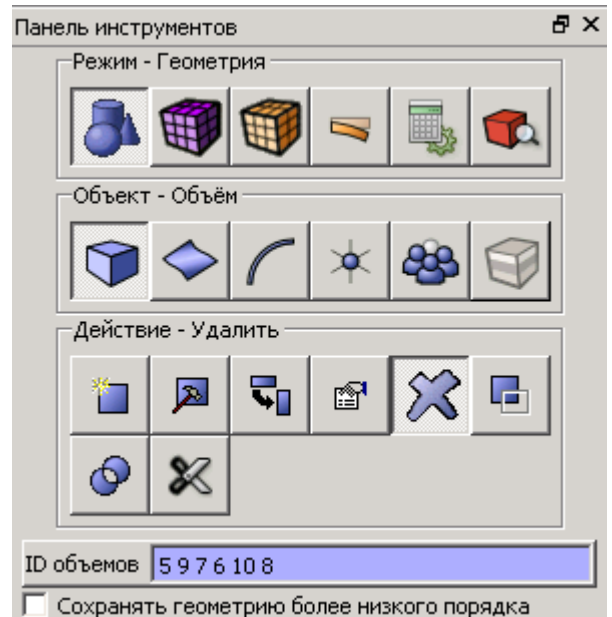
Нажмите **Применить**.

9. Удалите лишние объемы.

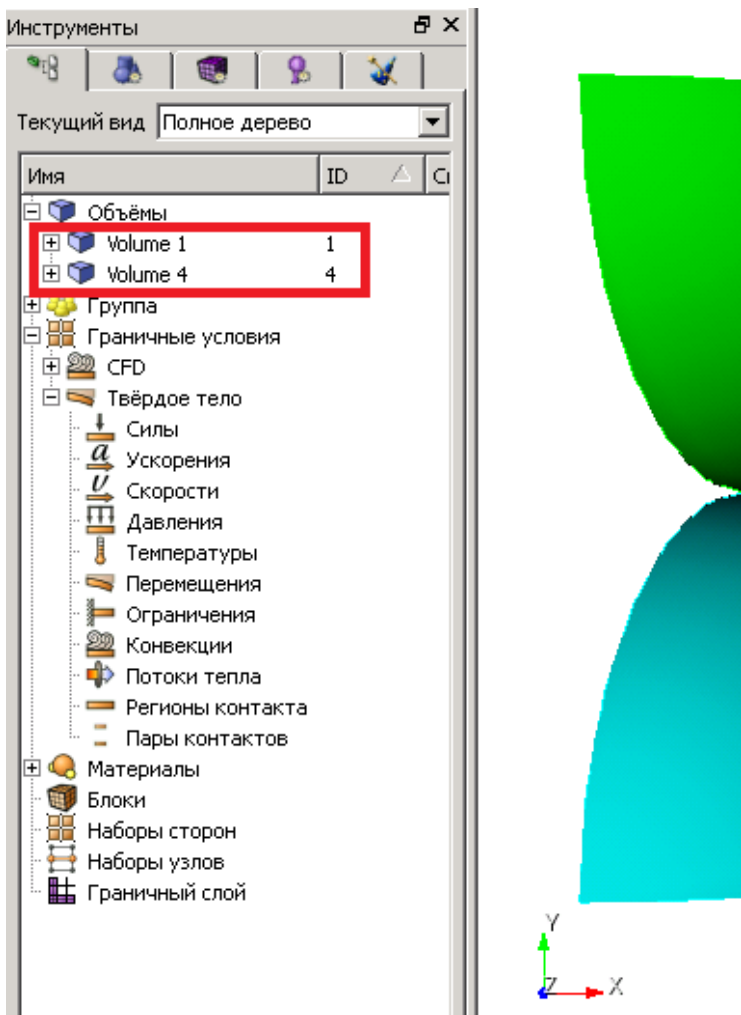
На панели команд выберите Режим – **Геометрия**, Объект – **Объём**, Действие – **Удалить**. Задайте следующие параметры:

- ID тел: 5 9 7 6 10 8 (или, зажимая клавишу CTRL, последовательно кликните мышью по всем объемам, кроме тех, что находятся в первой и восьмой координатной четвертях);

Нажмите **Применить**.



В результате в дереве объектов слева должны остаться 2 объема – Volume 1 и Volume 4

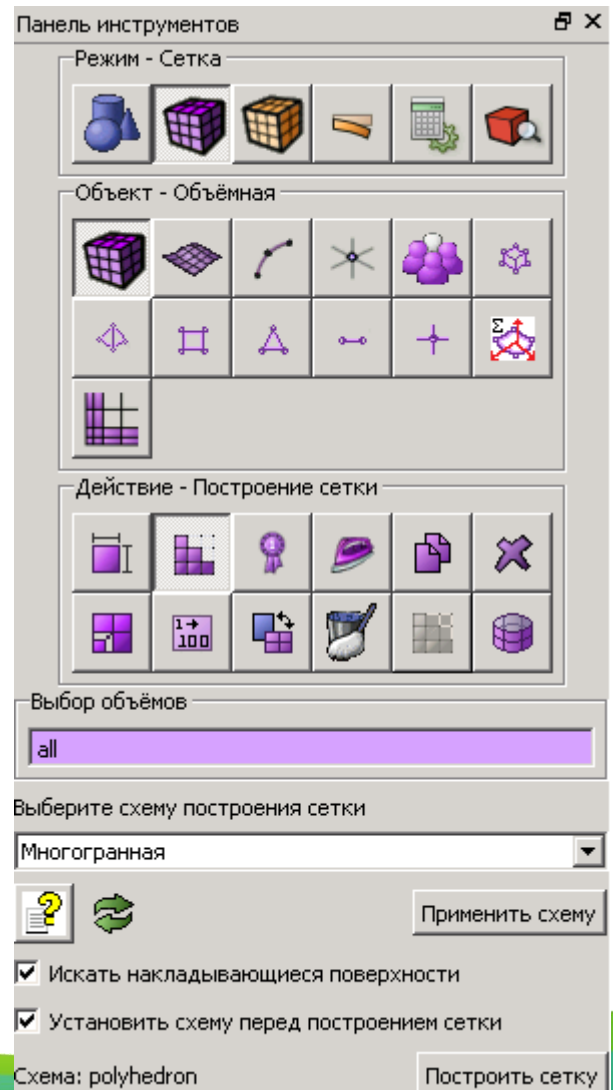


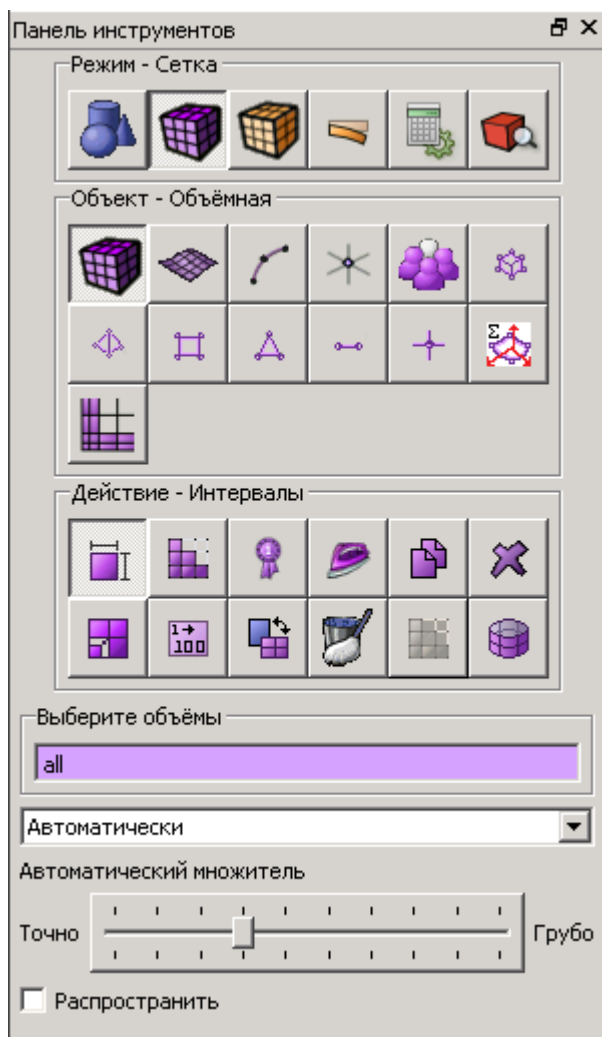
Построение сетки

1. На панели команд выберите модуль построения объемной сетки (Режим – **Сетка**, Объект – **Объемная**, Действие – **Построение сетки**). Укажите следующие параметры:

- Выбор объемов: *all*;
- Выберите схему построения сетки: Многогранная;

Нажмите **Применить схему**.





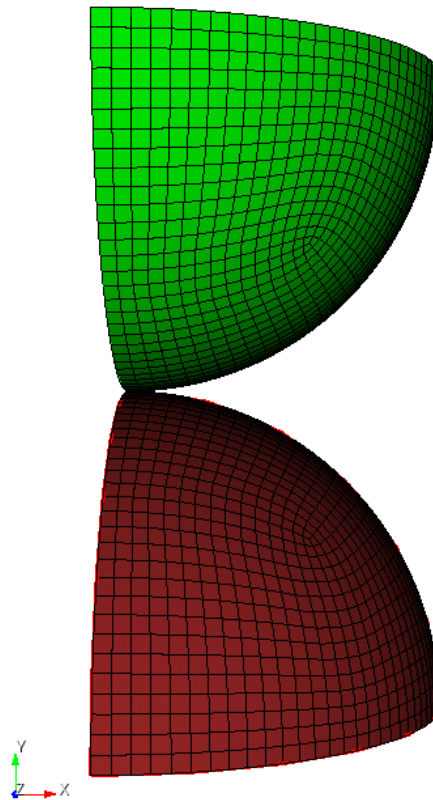
2. На панели команд перейдите в модуль Интервалы (Режим – **Сетка**, Объект – **Объемная**, Действие – **Интервалы**). Укажите следующие параметры:

- Выбор объемов: all;
- Выберите схему построения сетки: Автоматически;
- Сдвиньте ползунок на одно деление влево

Нажмите **Применить**.

Нажмите **Построить сетку**.

Результатом проделанных действий должно быть следующее разбиение модели на конечные элементы:



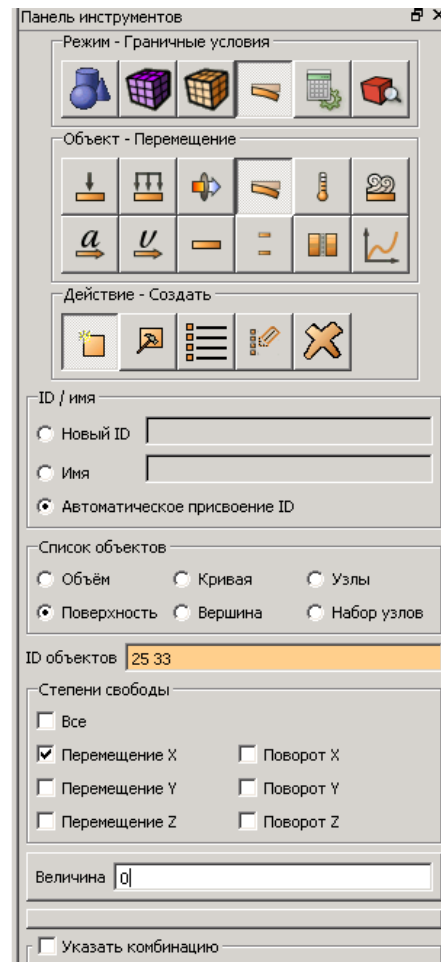
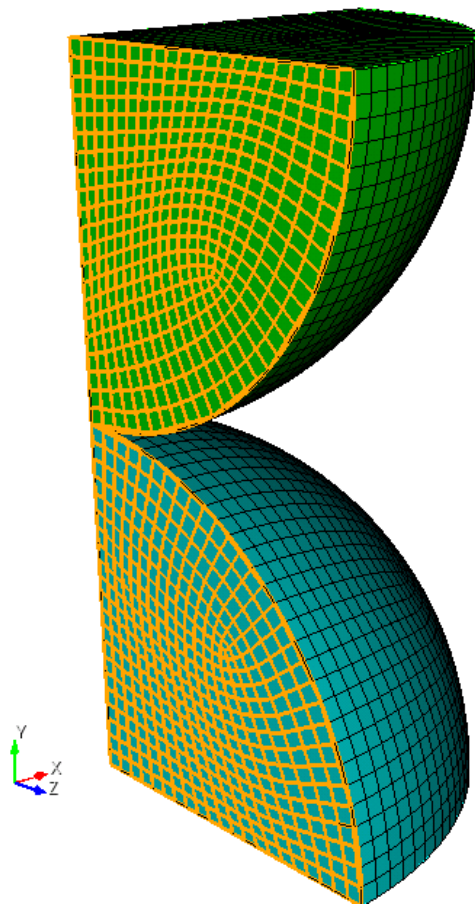
Задание граничных условий

1. Закрепите боковые грани в направлении X.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Перемещение**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 25 33 (или выделите мышью поверхности, как указано на рисунке ниже);
- Степени свободы: Компонента X;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

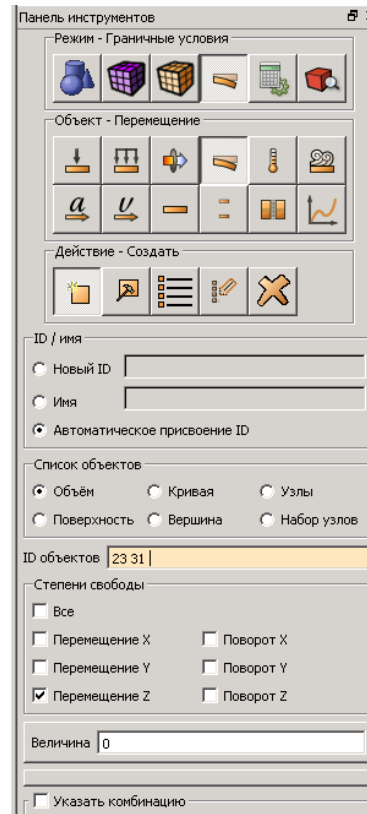
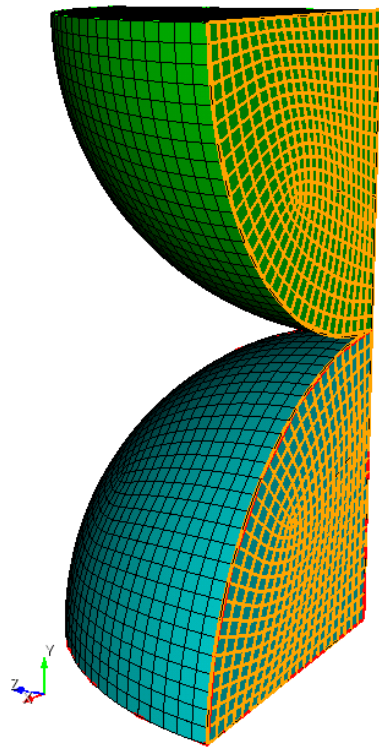


2. Аналогично закрепите боковые грани в направлении Z

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 23 31 (или выделите мышью поверхности, как указано на рисунке ниже);
- Степени свободы: Компонента Y;
- Величина: 0.

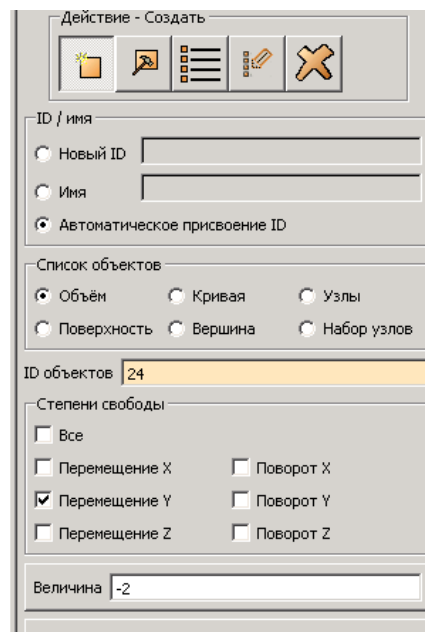
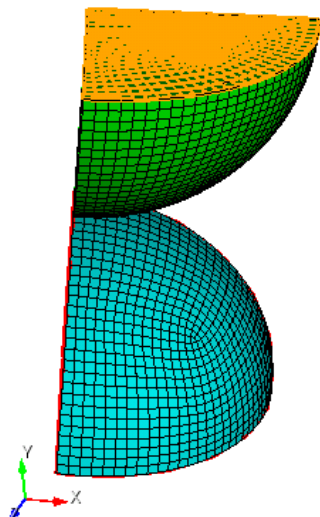
Нажмите **Применить**.



3. Аналогично задайте перемещения $U_y = -2$ на верхней грани первой полусферы
 Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 24 (или *кликните по верхней грани верхней полусферы*);
- Степени свободы: Компонента Y;
- Величина: -2.

Нажмите **Применить**.



4. Аналогично задайте перемещения $U_y = 2$ на нижней грани второй полусферы

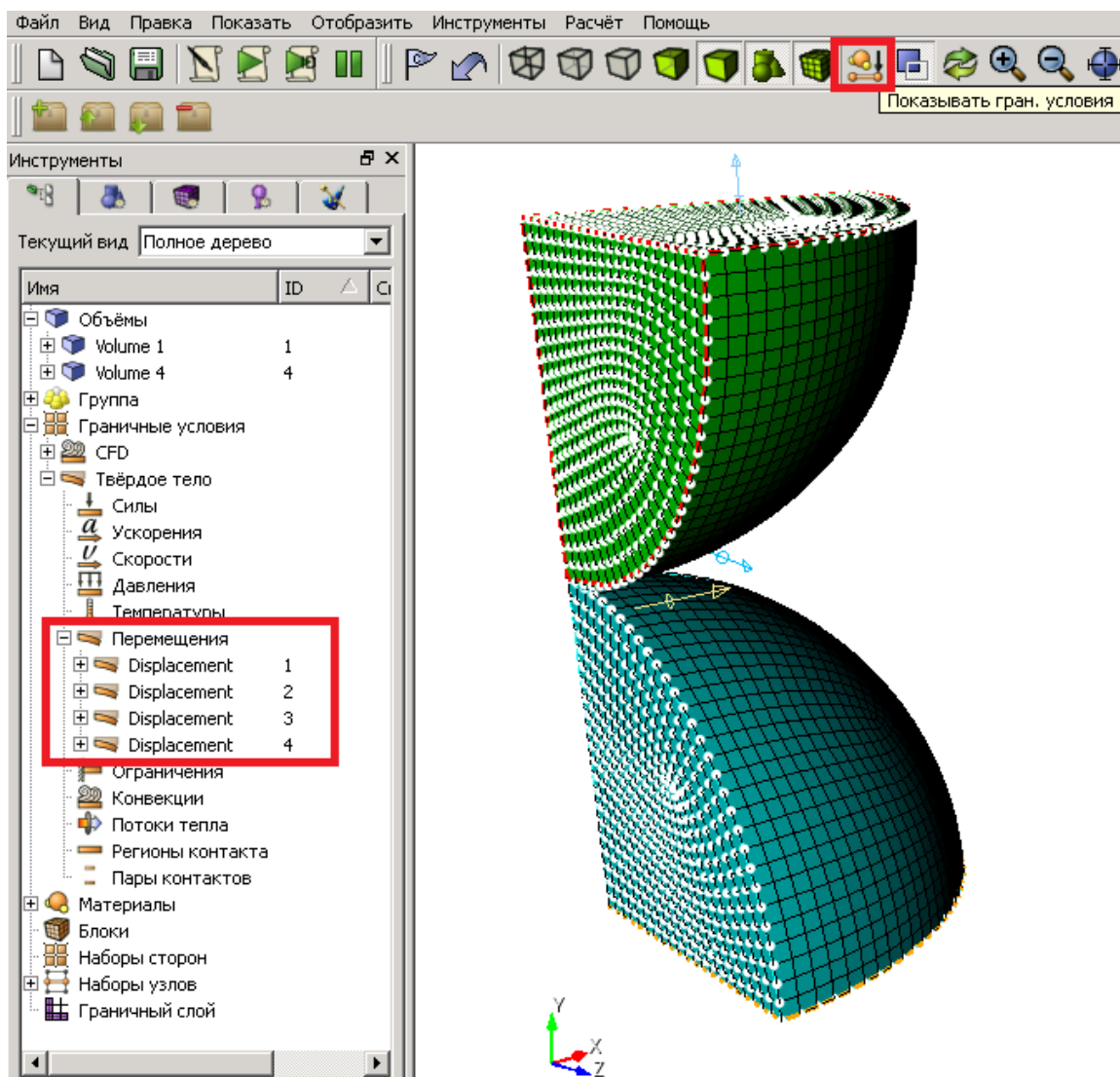
Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 34 (или кликните по нижней грани нижней полусферы);
- Степени свободы: Компонента Y;
- Величина: 2.

Нажмите **Применить**.

Все приложенные граничные условия должны отобразиться в дереве объектов слева. Кроме того, граничные условия доступны для редактирования из дерева объектов.

Для просмотра всех приложенных граничных условий также нажмите кнопку Показать ГУ на верхней панели.



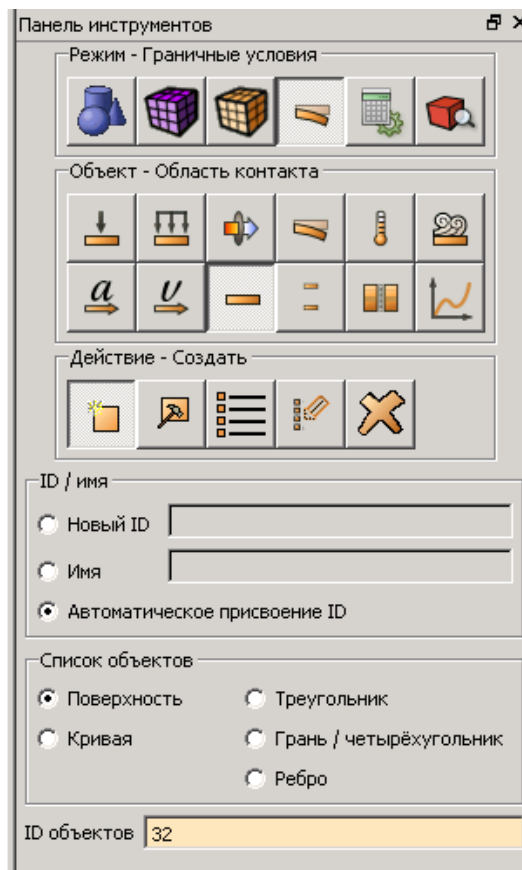
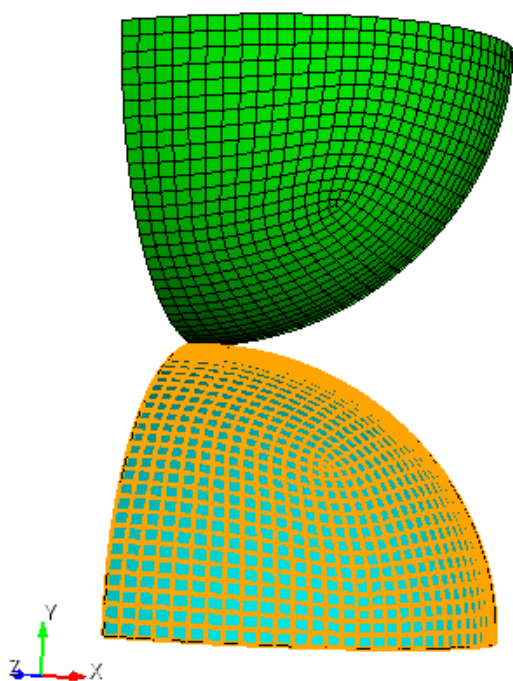
Задание контактного взаимодействия

1. Задайте Регион контакта 1.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Регион контакта**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 32 (или выделите мышью выпуклую поверхность нижней полусферы);

Нажмите **Применить**.



2. Задайте Регион контакта 2.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Регион контакта**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 26 (или выделите мышью выпуклую поверхность верхней полусферы);

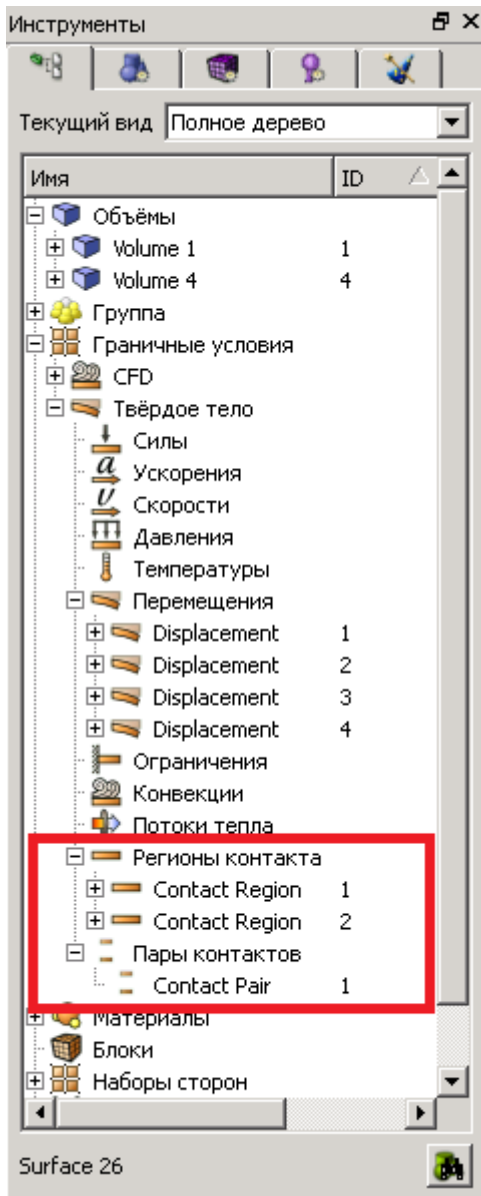
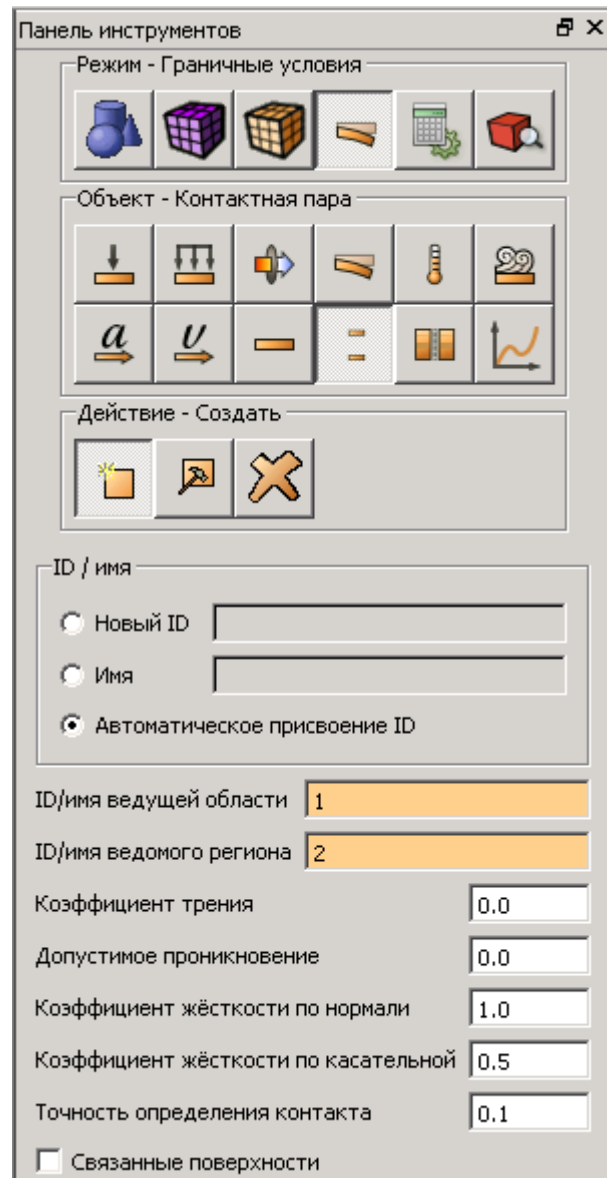
Нажмите **Применить**.

3. Задайте Контактную пару.

На панели команд выберите Режим – **Граничные условия**, Объект – **Контактная пара**, Действие – **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- ID/имя ведущего региона: 1 (*нижняя полусфера*);
- ID/имя ведомого региона: 2 (*верхняя полусфера*);
- Остальные настройки контактной пары оставьте по умолчанию

Нажмите **Применить**.



Регионы контакта и Контактная пара должны отображаться в дереве объектов слева

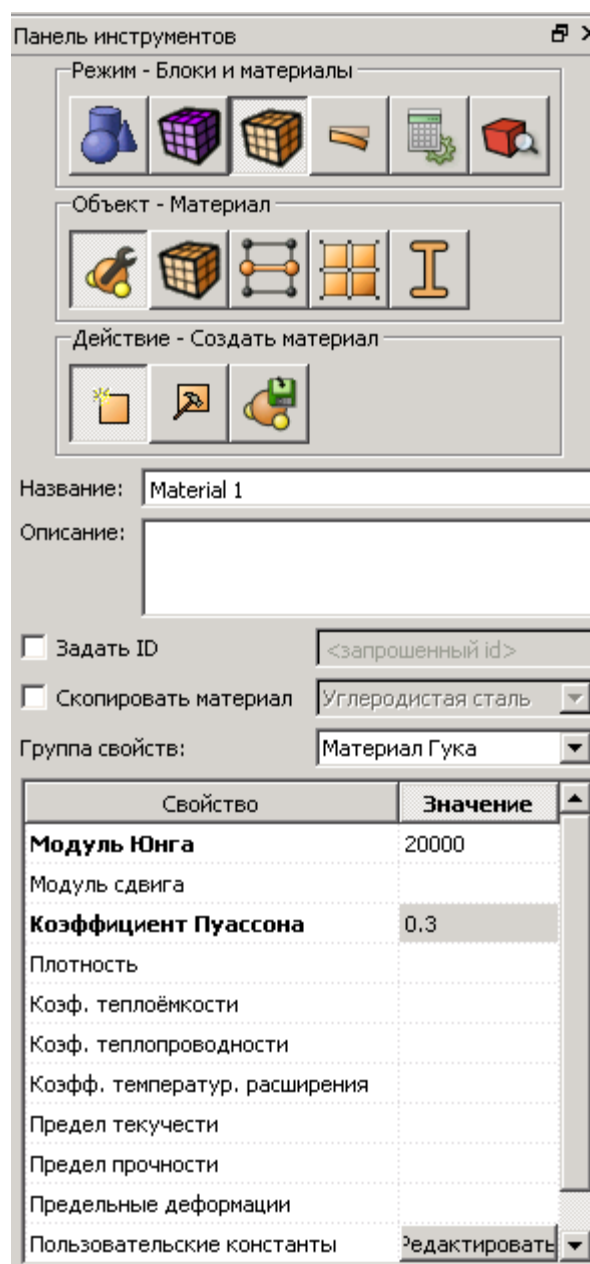
Задание материала и типа элемента

1. Создайте материал.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Материал**, Действие – **Создать материал**). Задайте следующие параметры:

- Название: Material 1;
- Описание: Материал Гука
- Группа свойств: Материал Гука;
- Модуль Юнга: 20 000;
- Коэффициент Пуассона: 0.3;

Нажмите **Применить**.

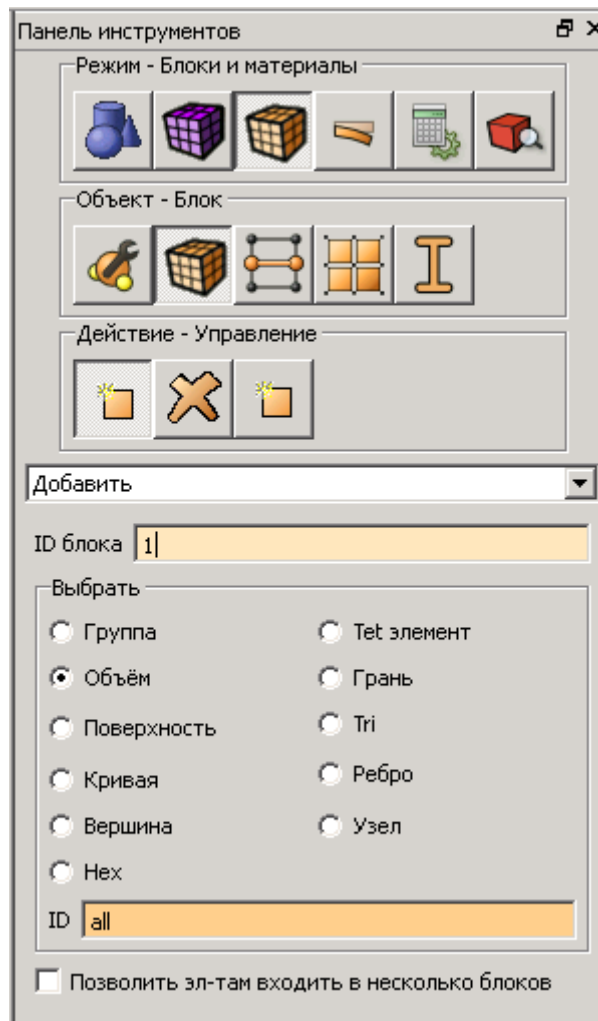


2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Добавить**. Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Выберите объекты, которые будут объединены в блок: Объём;
- ID: all.

Нажмите **Применить**.

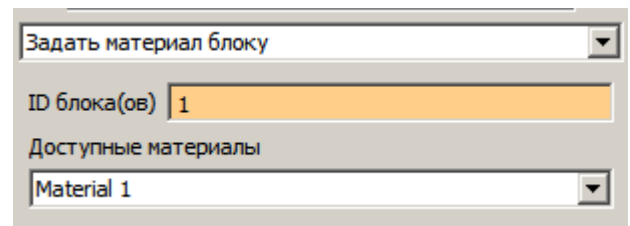


3. Присвойте материал блоку.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Задать материал блоку**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выберите из списка ранее созданный материал: Material 1.

Нажмите **Применить**.

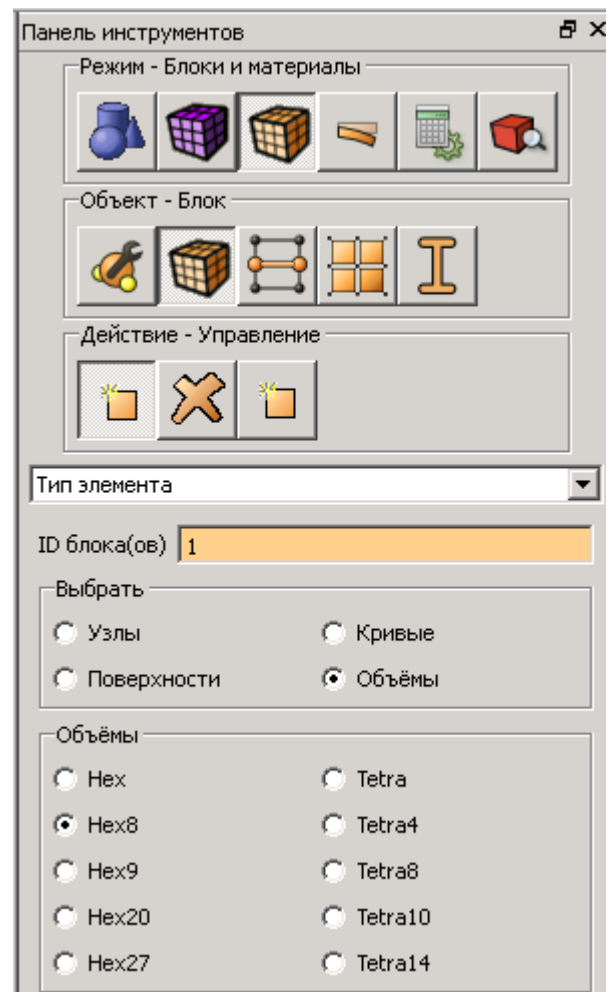


4. Присвойте тип элемента.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Тип элемента**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выбрать: Объёмы;
- Объёмы: HEX8.

Нажмите **Применить**.



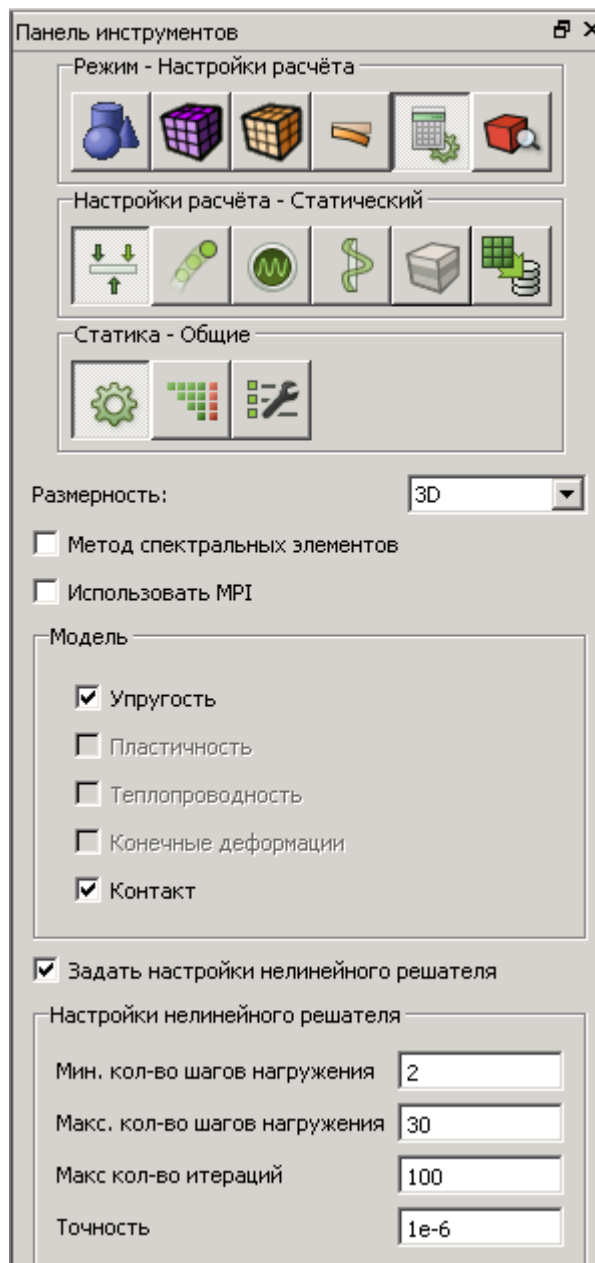
Запуск расчёта

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим – **Настройки расчёта**, Настройки расчёта – **Статический**, Статика – **Общие**). Выберите:

- Размерность: 3D;
- Модель: Упругость;
- Модель: Контакт.
- Настройки нелинейного решателя: Оставьте значения по умолчанию.

Нажмите **Применить**.



Нажмите **Начать расчёт**.

2. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат, и введите название файла. В данном случае, сохраните расчет в файл test.pvd.
3. В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: *“Calculation finished successfully at <date> <time>”*.

Для нелинейных задач сходимость итераций на каждом шаге по нагружению можно проверить в файле Convergence.txt. Данный файл выгружается в папку test, которая создается рядом с файлом test.pvd.

Name ^	Date modified	Type	Size
test	25-Apr-14 12:03 PM	File folder	
test.pvd	25-Apr-14 12:10 PM	PVD File	2 KB

Откройте файл test\Convergence.txt:

Убедитесь, что на каждом шаге нагружения достигнута сходимость с заданной точностью.

CONVERGENCE ITERATIONS

CONVERGENCE ITERATIONS

```

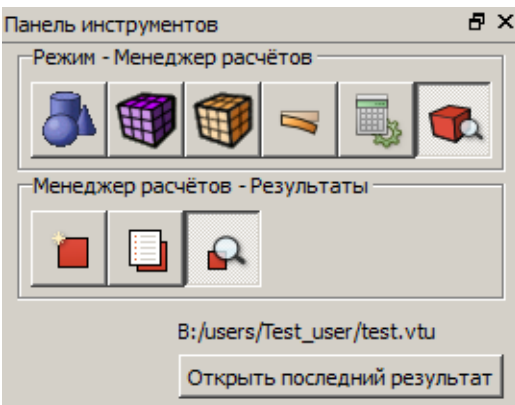
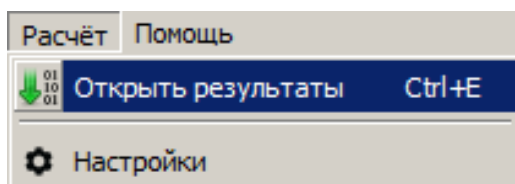
LoadTime Residual
0.500000 234474484.859693200000000
0.500000 0.000000001649635
-----
1.000000 807631243.628153320000000
1.000000 463217.315709784280000
1.000000 20885.849428797028000
1.000000 557.717737451076910
-----


```

Анализ результатов

1. Откройте файл с результатами. Это можно сделать тремя способами.

- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите **Расчёт** → **Результаты**. Нажмите **Открыть последний результат**.
- На панели команд выберите менеджер расчётов (Режим – **Менеджер расчётов**, Менеджер расчётов – **Результаты**). Нажмите **Открыть результаты**.



 Для автоматического применения изменений всех фильтров нажмите на соответствующую кнопку

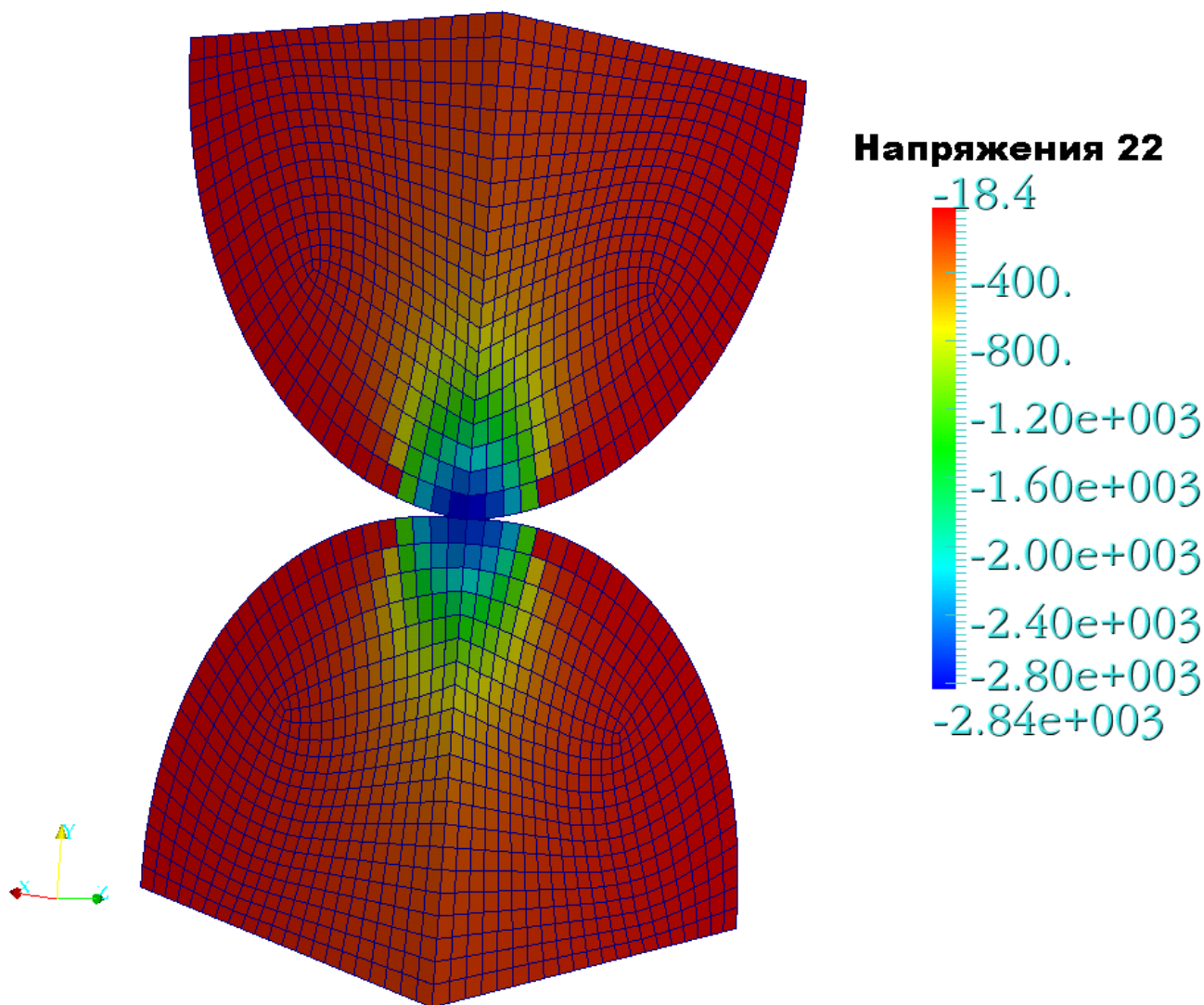
Автоматически применять изменения на панели команд.

2. Отобразите поле напряжения σ_{yy} и сетку на модели.

На панели инструментов установите следующие параметры:

- Поле отображения: Напряжение;
- Компонента: 22;
- Тип отображения: Поверхность с рёбрами.





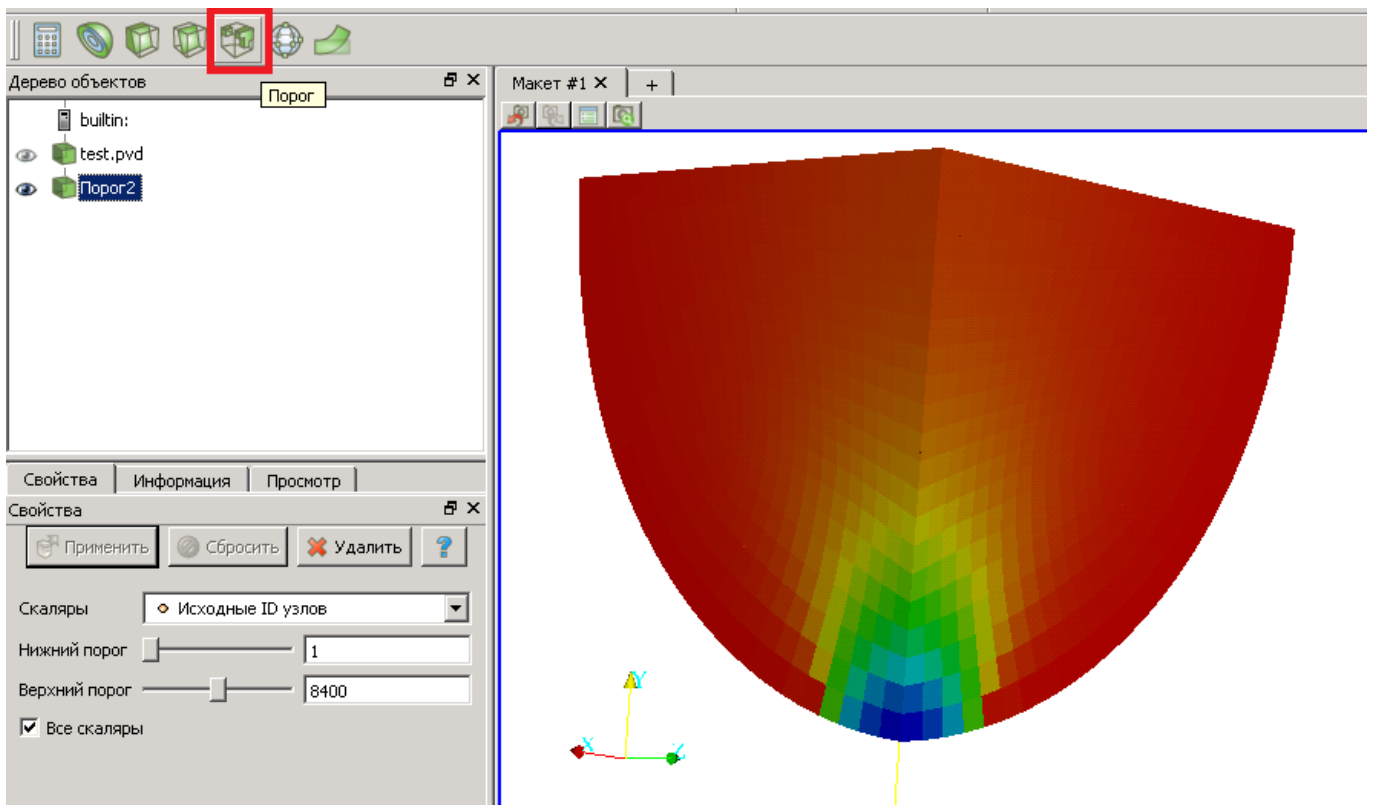
3. Определите напряжение в указанной точке G.

Данная точка принадлежит верхней полусфере, поэтому отсечем нижнюю полусферу.

Для этого вызовите **Фильтр – Алфавитный указатель – Порог**. Либо кликните на соответствующую кнопку на верхней панели Fidesys Viewer.

Для фильтра Порог во вкладке Свойства установите следующие параметры:

- Скаляры: ID узлов;
- Нижний порог: Оставьте без изменения;
- Верхний порог: 8500.

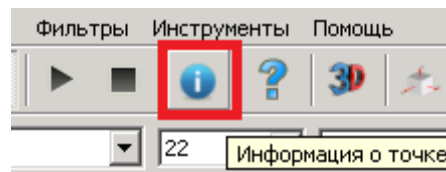


Таким образом, осталась только верхняя полусфера.

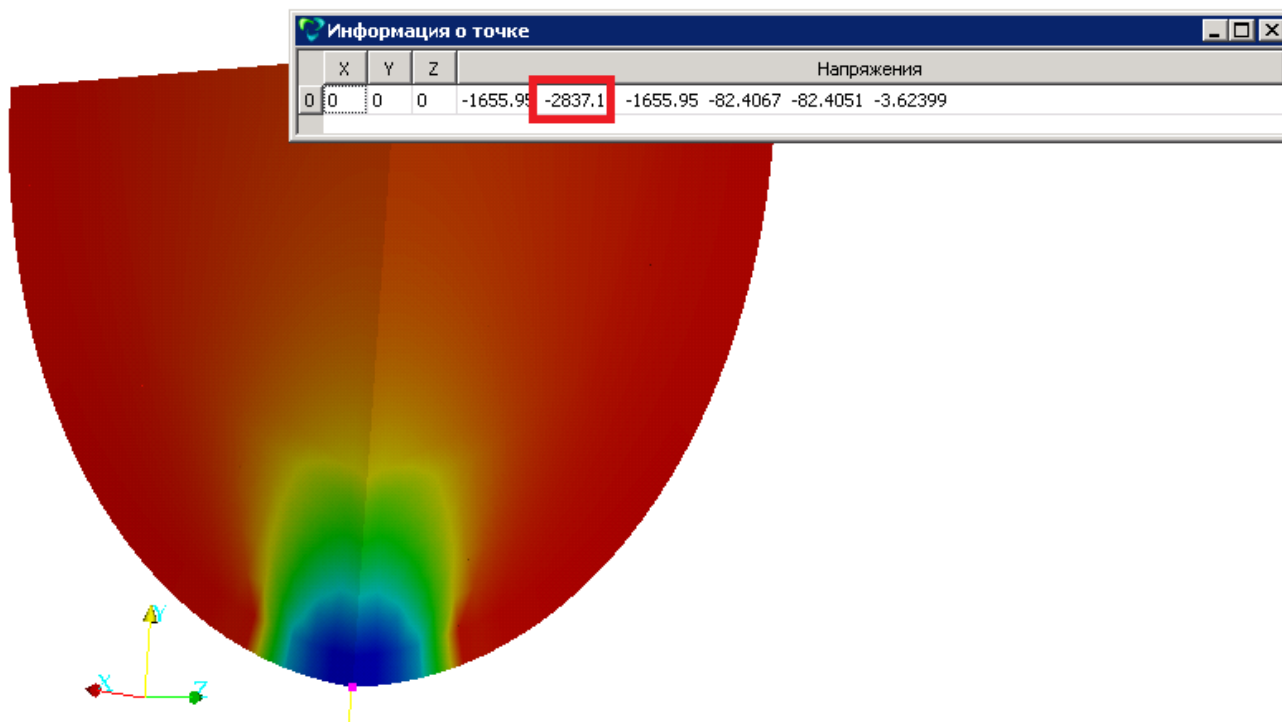
Выделите нижнюю точку полусферы, используя соответствующие инструменты Fidesys Viewer.



Используйте кнопку Информация о точке



В результате в появившемся окне Информация о точке должны отобразиться компоненты поля Напряжения для выбранной точки G.



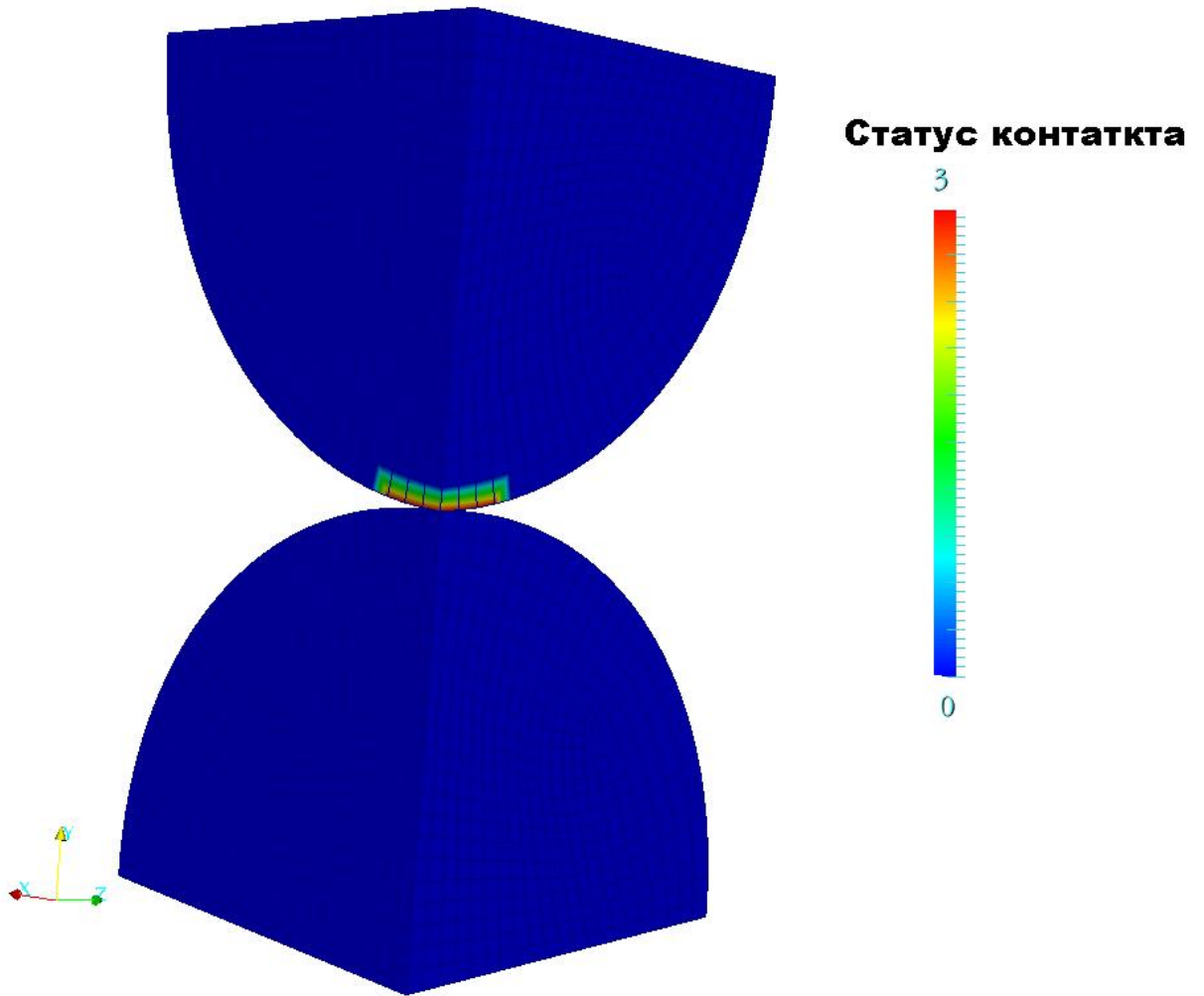
Сравните значение второй компоненты поля напряжения и исходное значение -2798.3 МПа. Полученное в результате решения значение -2837.1 отличается от исходного на 1.4%.

4. Отобразите поле Статус контакта и сетку на модели.

В дереве объектов слева верните фокус на название расчета test.pvd. На панели инструментов установите следующие параметры:

- Поле отображения: Статус контакта;
- Компонента: 1;
- Тип отображения: Поверхность с рёбрами.



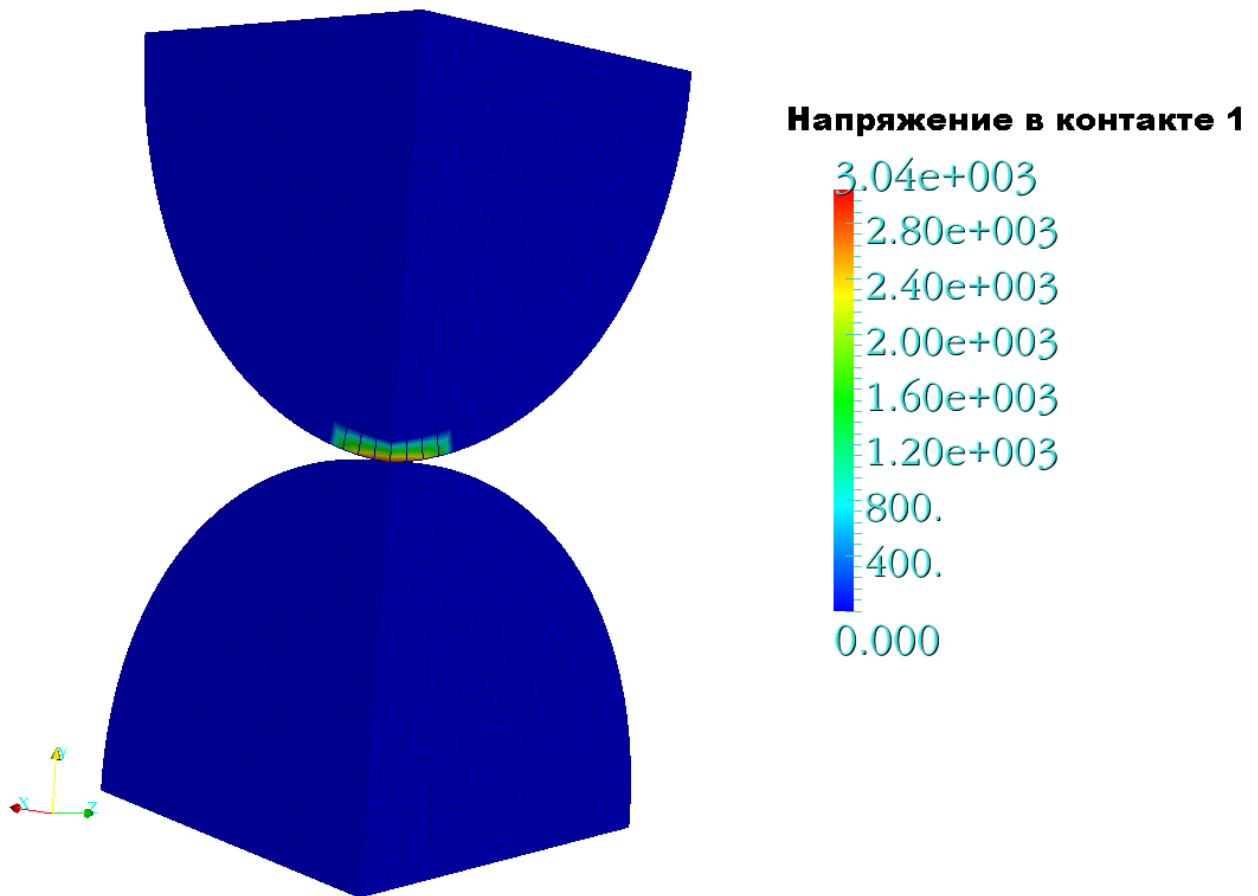


5. Отобразите поле Напряжение в контакте и сетку на модели.

На панели инструментов установите следующие параметры:

- Поле отображения: Напряжение в контакте;
- Компонента: 11;
- Тип отображения: Поверхность с рёбрами.





6. Выгрузите числовые данные.

В главном меню выберите **Файл** → **Сохранить данные** либо нажмите **Ctrl+S**. Введите имя файла (формат *.csv), оставьте по умолчанию. Нажмите **ОК**. Сохранённый файл представляет собой обычную таблицу числовых данных, которую можно открыть любым текстовым редактором.

Использование консольного интерфейса

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса. Ниже приведён код программы, позволяющий выполнить шаги описанного выше руководства, необходимо только **самостоятельно указать полный путь и название сохраняемого файла**.

Пример рабочего скрипта (файл сохраняется в D:/FidesysBundle/calc/test.pvd)

```

reset
create sphere radius 50
create sphere radius 50
move Volume 1 y 50 include_merged
move Volume 2 y -50 include_merged
webcut body all with plane yplane offset 50
webcut body all with plane yplane offset -50
delete volume 3 2
webcut body all with plane xplane offset 0
webcut body all with plane zplane offset 0
delete volume 5 9 7 6 10 8
volume all scheme Polyhedron
volume all size auto factor 4 #14850
    
```

```

mesh volume all
create displacement on surface 23 31 dof 3 fix 0
create displacement on surface 25 33 dof 1 fix 0
create displacement on surface 24 dof 2 fix -2
create displacement on surface 34 dof 2 fix 2
create contact region on surface 32
create contact region on surface 26
create contact pair 1 master contact region 1 slave contact region 2 friction 0.0
tolerance 0.0 tied off
cpairdata id 1 normal_stiffness 1.0 tangent_stiffness 0.5 detection_tolerance 0.1
create material "Material 1" property_group "CUBIT-FEA"
modify material "Material 1" scalar_properties "MODULUS" 2e+04 "POISSON" 0.3
block 1 volume all
block 1 material 'Material 1'
block 1 element type hex8
analysis type static elasticity contact dim3
nonlinearopts maxiters 100 minloadsteps 2 maxloadsteps 30 tolerance 1e-6
spectralelement off
usempi off
calculation start path "D:/FidesysBundle/calc/test.pvd"
    
```



Также можно запустить файл *Example_16_Contact_3D.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

Расчет эффективных свойств композита

Кристенсен Р. Введение в механику композитов. – М., «Мир», 1982. – 334 с.

Решается задача о нахождении эффективных свойств материала для двуслойного слоисто-волокнутого композита. Модель имеет следующие параметры: диаметр нити 6.0 мм, угол наклона нитей 30°, шаг нитей 8.0 мм, толщина слоя 16.0 мм. При этом геометрия генерируется автоматически средствами интерфейса с указанными параметрами. Граничные условия – периодические. Свойства материала нитей (блок 1): модуль Юнга 200000, коэффициент Пуассона 0.25. Свойства материала матрицы (блок 2): модуль Юнга 2.0, коэффициент Пуассона 0.49..

Критерий прохождения теста: в результате решения получаются следующие константы материала:

$C_{1111} = 24\ 852.4$ МПа, $C_{1122} = 8\ 281.54$ МПа, $C_{2222} = 2\ 763.12$ МПа, $C_{1212} = 8\ 283.5$ МПа с точностью 3%.

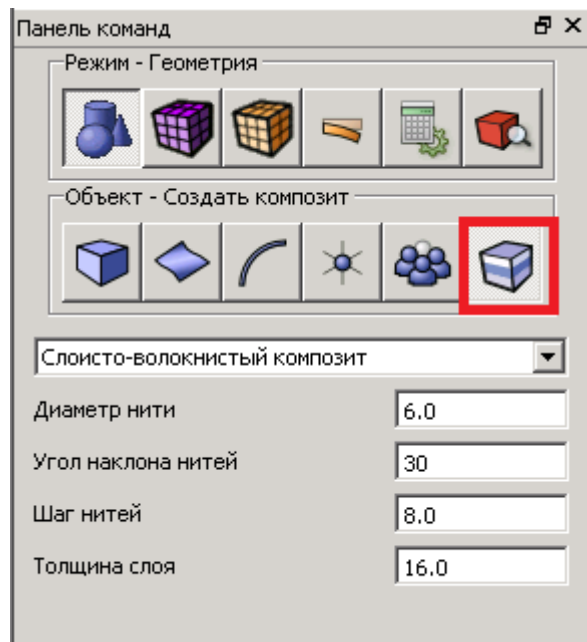
Построение модели

1. Создайте композит.

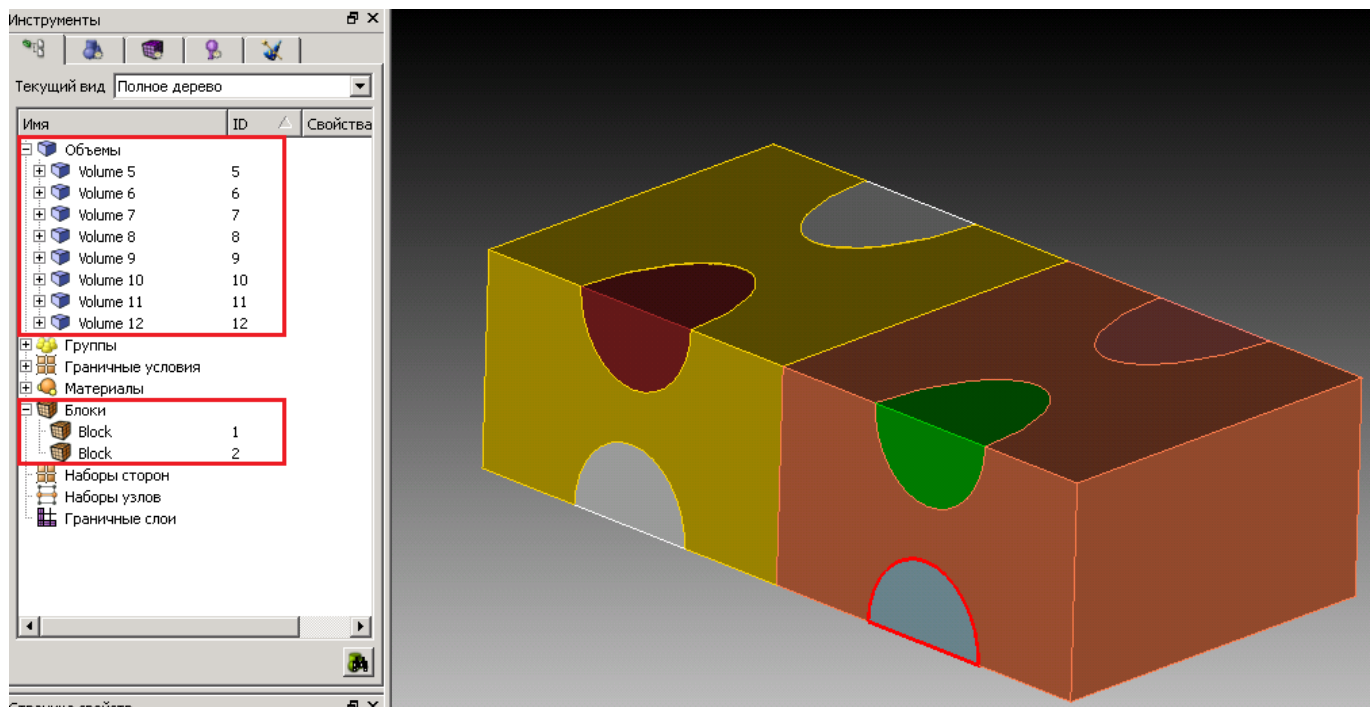
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим – **Геометрия**, Объект – **Создать композит**). Из выпадающего списка выберите **ЦилиндрСлоисто-волоконный композит**. Задайте следующие параметры:

- Диаметр нити: 0.6;
- Угол наклона нитей: 30 (град.);
- Шаг нитей: 8;
- Толщина слоя: 16.

Нажмите **Создать**.



В результате автоматически сгенерировалась геометрия для двуслойного композита с указанными параметрами. Слева в дереве объектов должны отобразиться все построенные объемы и соответствующие им блоки (блок 1 – нити, блок 2 - матрица).



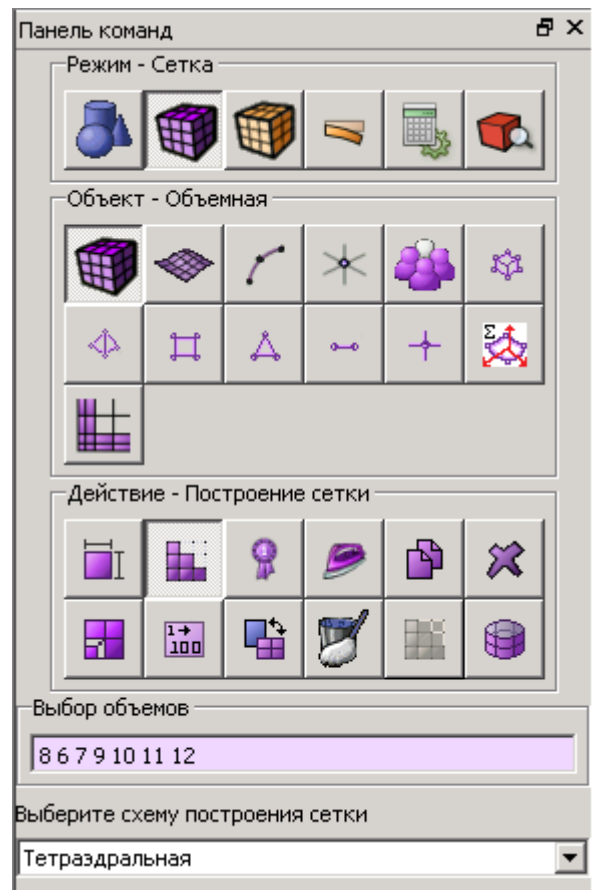
Построение сетки

1. На панели команд выберите модуль построения объёмной сетки (Режим – **Сетка**, Объект – **Объёмная**, Действие – **Построение сетки**).

- Выберите объёмы (укажите их ID): 5 6 7 8 9 10 11 12 (или командой **all**);
- Выберите схему построения сетки: Тетраэдральная;
- Остальные параметры оставьте по умолчанию.

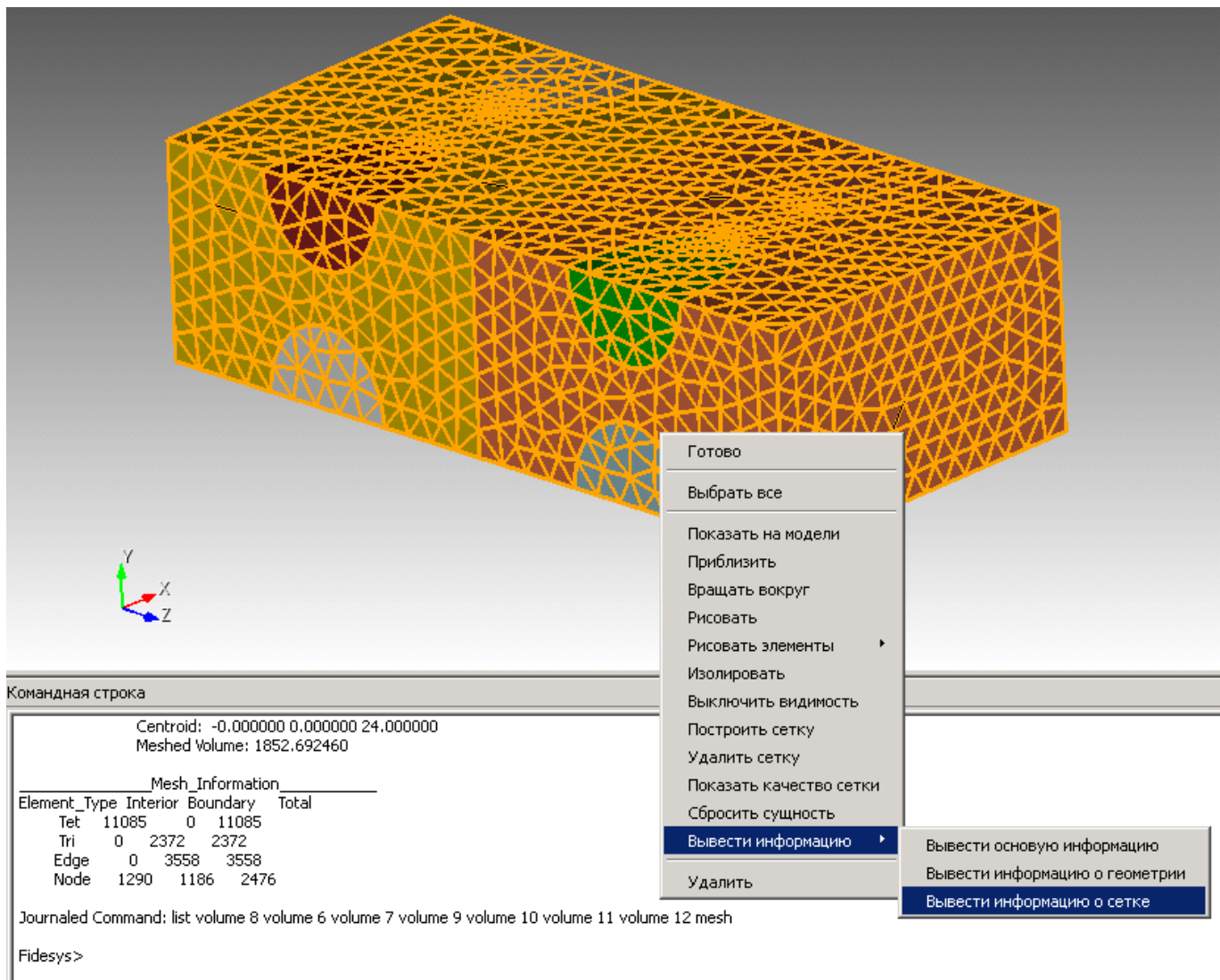
Нажмите **Применить схему**.

Нажмите **Построить сетку**.



Полученное количество элементов можно выполнить следующие действия:

- Выделите всю модель (левой кнопкой мыши, нажав клавишу Ctrl);
- Кликните правой кнопкой мыши по модели;
- В появившемся меню выберите **Вывести информацию – Вывести информацию о сетке**;
- В командной строке появится информация о сетке.



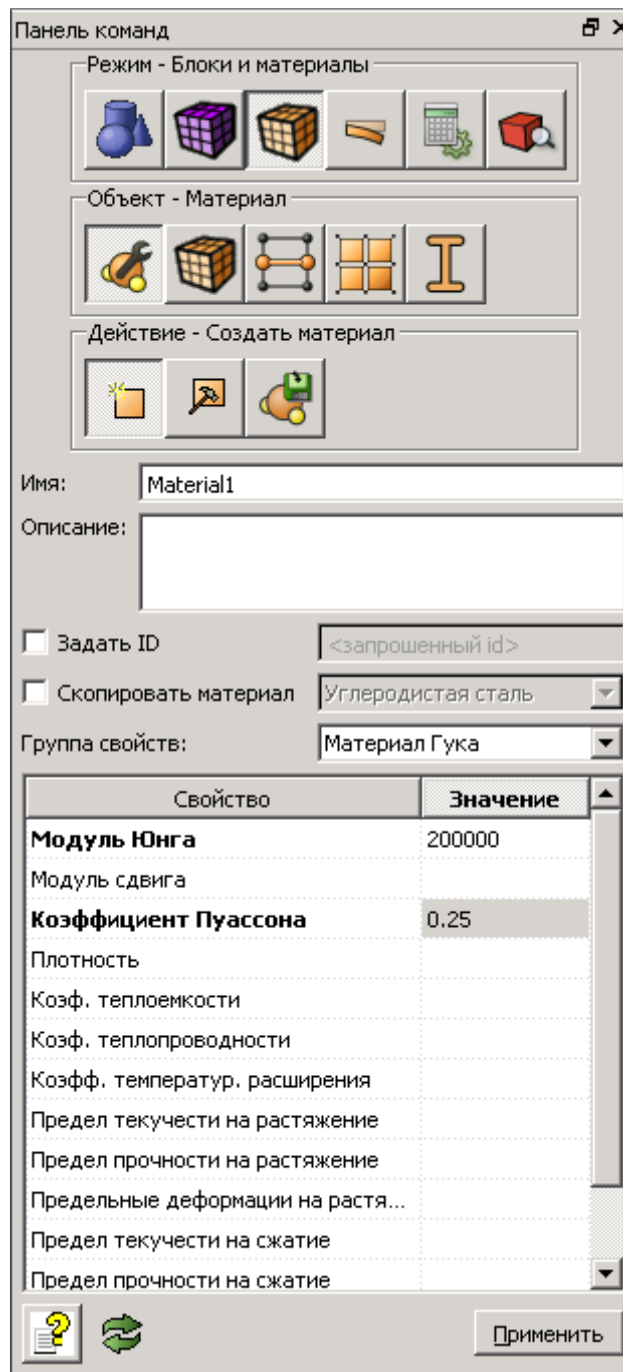
Задание материала и типа элемента

1. Создайте материал нитей.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Материал**, Действие – **Создать материал**). Задайте следующие параметры:

- Название: Material1;
- Группа свойств: Материал Гука;
- Модуль Юнга: 200 000;
- Коэффициент Пуассона: 0.25.

Нажмите **Применить**.



2. Аналогично создайте материал матрицы.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Материал**, Действие – **Создать материал**). Задайте следующие параметры:

- Название: Material2;
- Группа свойств: Материал Гука;
- Модуль Юнга: 2;
- Коэффициент Пуассона: 0.49.

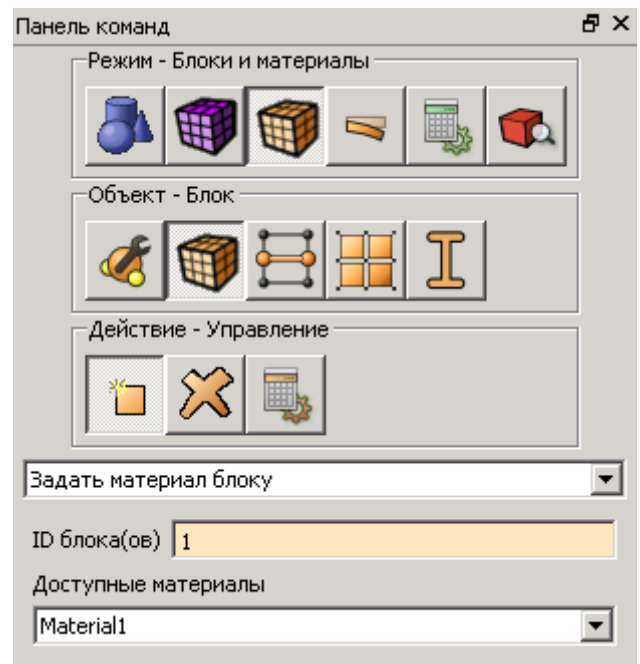
Нажмите **Применить**.

3. Присвойте материал нитей (Material1) блоку 1.

Блок 1 был создан автоматически при генерации геометрии для композита. На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Задать материал блоку**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Выберите из списка ранее созданный материал: Material1.

Нажмите **Применить**.



4. Аналогично присвойте материал матрицы (Material2) блоку 2.

Блок 2 был создан автоматически при генерации геометрии для композита. На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Задать материал блоку**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 2;
- Выберите из списка ранее созданный материал: Material2

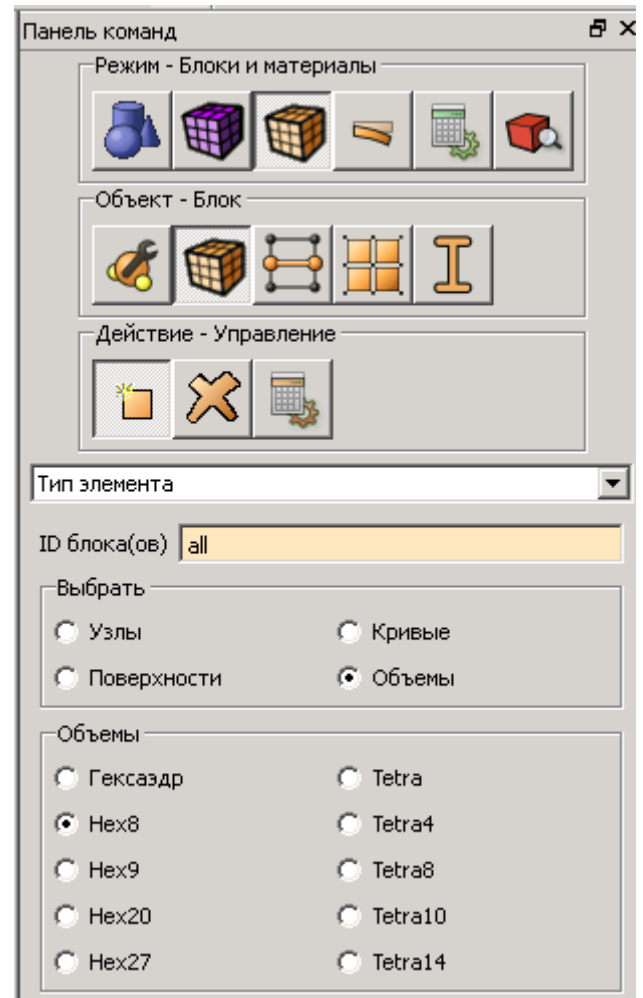
Нажмите **Применить**

5. Присвойте тип элемента.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки и материалы**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**). Из списка возможных операций выберите **Тип элемента**. Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1 2 (или all);
- Выбрать: Объёмы;
- Объёмы: TETRA4.

Нажмите **Применить**.



Задание граничных условий и запуск расчета

1. Тип граничных условий задается непосредственно в настройках расчета. На панели команд выберите Режим – **Настройки расчета**, Настройки расчета – **Эффективные свойства**, Эффективные свойства – **Общие**.

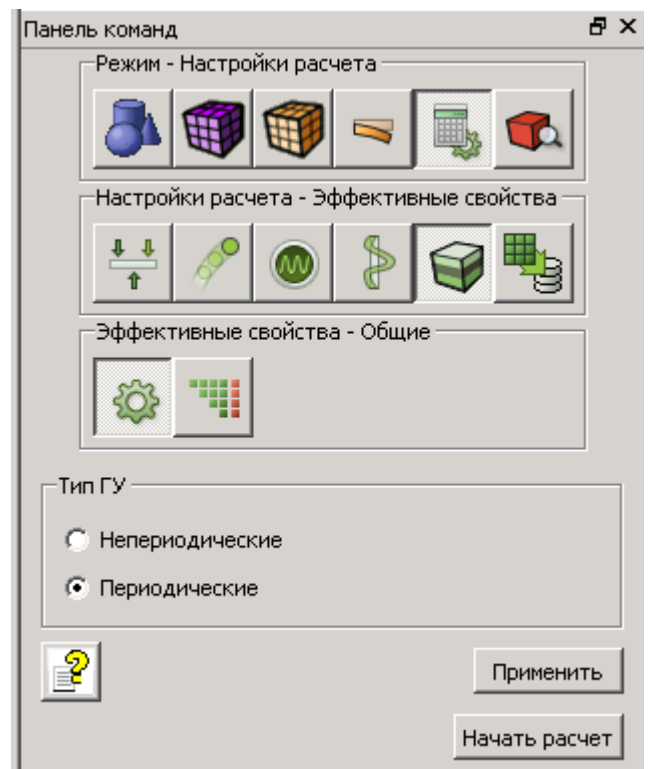
На панели **Тип ГУ** выберите:

- Периодические.

Нажмите **Применить**.

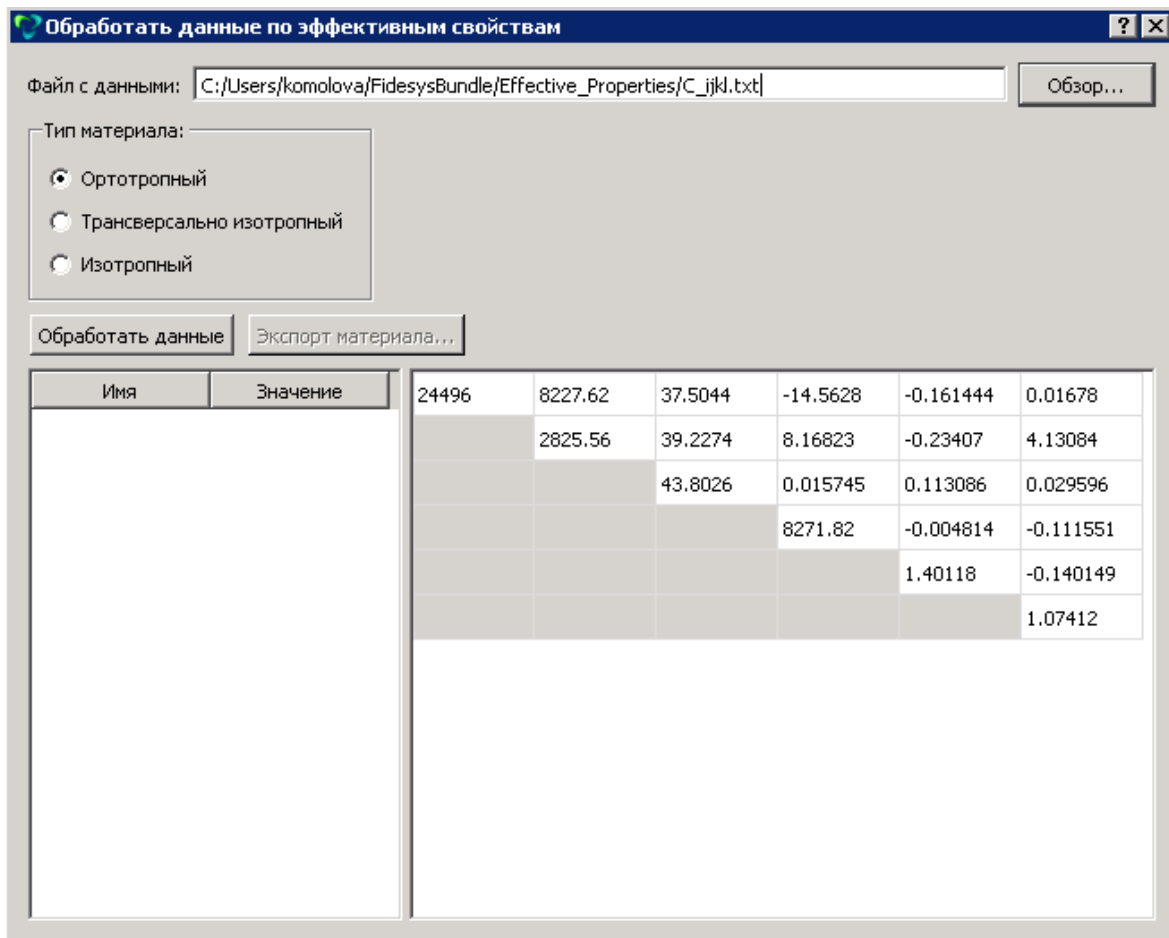
Запустите расчет, нажав **Начать расчет**.

2. В случае успешно проведенного расчёта в консоли отобразится сообщение: *“Calculation finished successfully at <date> <time>”*.

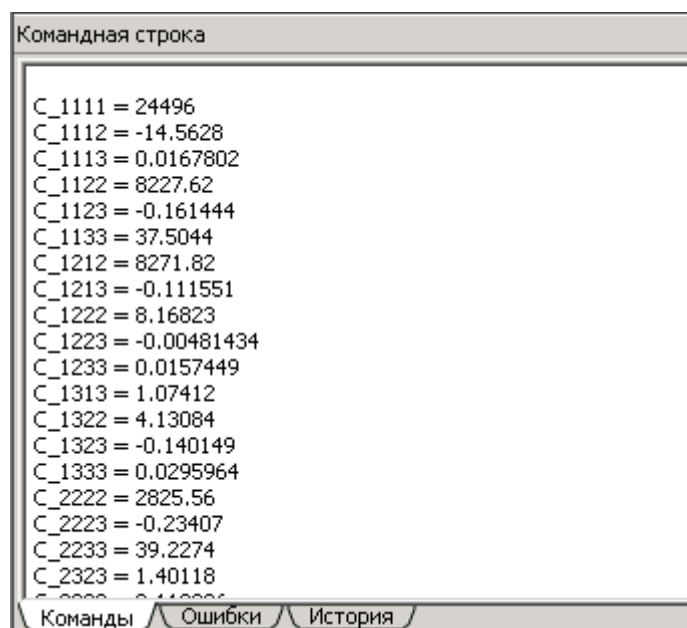


Анализ результатов

1. Результаты расчета эффективных свойств композита будут отображены в появившемся окне **Обработать данные по эффективным свойствам**.



Результаты расчета также выводятся в командной строке.



2. Определите искомые константы материала.

- $C_{1111} = 24\,496$ отличается от исходного $24\,852.4$ МПа на 1.5%;
- $C_{1122} = 8\,227.62$ отличается от исходного $8\,281.54$ МПа на 0.7%;
- $C_{2222} = 2\,825.56$ отличается от исходного $2\,763.12$ МПа на 2.2%;
- $C_{1212} = 8\,271.82$ отличается от исходного $8\,283.5$ МПа на 0.1%.

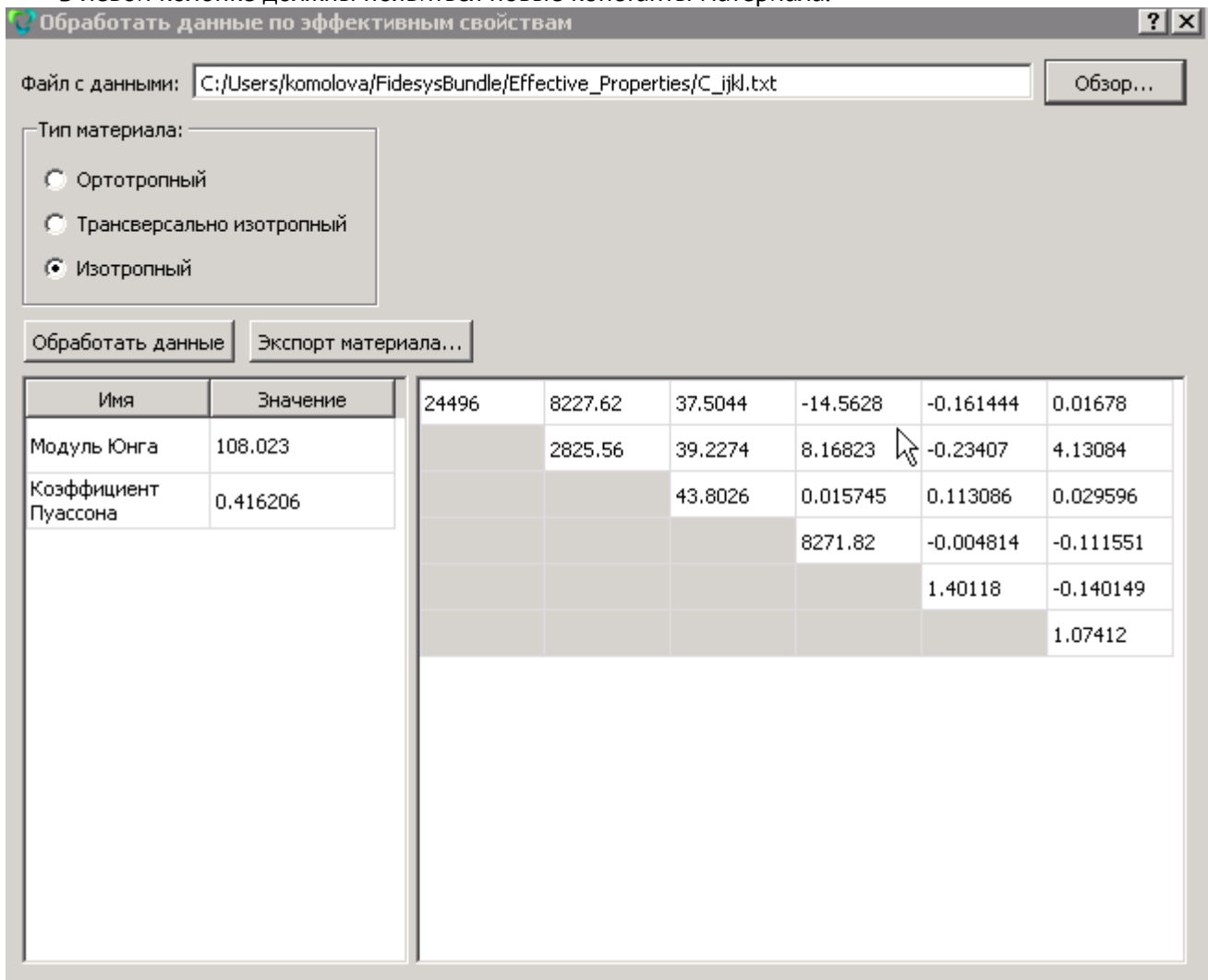
3. Обработайте полученные данные.

В окне **Обработать данные по эффективным свойствам** выберите:

- Тип материала: Изотропный

Нажмите **Обработать данные**.

В левой колонке должны появиться новые константы материала.



4. Экспорт результатов расчета.

Для экспорта материала в файл XML нажмите кнопку **Экспорт материала**.

Необходимо выбрать имя для эффективного материала и имя файла XML, в который будет осуществляться экспорт.

Использование консольного интерфейса

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса. Ниже приведён код программы, позволяющий выполнить шаги описанного выше руководства, необходимо только **самостоятельно указать полный путь и название сохраняемого файла**.

Пример рабочего скрипта (файл сохраняется в D:/FidesysBundle/calc/test.pvd)

```

reset
create brick width 16 depth 9.2376 height 16
create cylinder height 50.4752 radius 3
volume 2 rotate 90.0 about y
volume 2 rotate 30 about z
volume 2 move y -9.2376
create cylinder height 50.4752 radius 3
volume 3 rotate 90.0 about y
volume 3 rotate 30 about z
volume 3 move y 0
create cylinder height 50.4752 radius 3
volume 4 rotate 90.0 about y
volume 4 rotate 30 about z
volume 4 move y 9.2376
intersect volume 1 2 keep
intersect volume 1 3 keep
intersect volume 1 4 keep
delete volume 2
delete volume 3
delete volume 4
subtract volume 5 6 7 from volume 1 keep
delete volume 1
volume all move z 8
volume all move z 16 copy
volume 9 10 11 12 reflect 1.0 0.0 0.0
imprint volume all
merge volume all
block 1 volume 5 6 7 9 10 11
block 2 volume 8 12
volume all scheme Tetmesh
set tetmesher interior points on
set tetmesher optimize level 3 overconstrained off sliver off
set tetmesher boundary recovery off
volume all tetmesh growth_factor 1.0
delete mesh volume all propagate
volume all scheme Tetmesh
set tetmesher interior points on
set tetmesher optimize level 3 overconstrained off sliver off
set tetmesher boundary recovery off
volume all tetmesh growth_factor 1.0
mesh volume all
create material "Material1" property_group "CUBIT-FEA"
modify material "Material1" scalar_properties "MODULUS" 2e+05 "POISSON" 0.25
create material "Material2" property_group "CUBIT-FEA"
modify material "Material2" scalar_properties "MODULUS" 2 "POISSON" 0.49
block 1 material 'Material1'
block 2 material 'Material2'
analysis type effectiveprops elasticity dim3
nonlinearopts maxiters 100 minloadsteps 1 maxloadsteps 10 tolerance 1e-6
spectralelement off

```

```
usempi off  
periodicbc on  
calculation start path 'D:/FidesysBundle/calc/test.pvd'
```

Контактная информация

<http://www.cae-fidesys.com>

support@cae-fidesys.com

+7 (495) 930-87-53