



# FIDESYS

система прочностного анализа

Версия 3.1

**Руководство пользователя**



## Содержание

Введение.....	10
О программе .....	10
Приступая к работе.....	11
Системные требования .....	11
Аппаратные требования .....	11
Операционная система.....	11
Установка .....	12
Microsoft Windows.....	12
Linux .....	15
Активация и пробный период.....	15
Пробный период.....	16
Активация .....	16
Информация о приобретённой лицензии.....	17
Удаление.....	17
Общие сведения о программе .....	18
Структура пакета .....	18
Запуск программного обеспечения.....	18
Главное окно программы.....	18
История версий.....	20
Версия 3.1.....	20
Версия 3.0.....	20
Версия 2.2.....	21
Версия 2.1.....	21
Версия 2.0.....	22
Версия 1.7.1.....	22
Версия 1.7.0.....	23
Версия 1.6 R2 .....	24
Версия 1.6.....	24
Версия 1.5 R2 .....	25
Версия 1.5.....	26
Версия 1.4.....	26
Версия 1.3.....	26
Версия 1.2.....	26
Версия 1.1.....	27
Работа с программой .....	28
Геометрия .....	28



Импорт геометрии.....	28
Создание геометрии.....	28
Построение сетки.....	29
Построение объёмной сетки.....	30
Построение конечно-элементной сетки.....	31
Многопоточное создание сетки.....	32
Метод построения гексаэдральной сетки Sculpt.....	32
Задание материала.....	34
Добавление материалов.....	34
Задание табличных зависимостей для материалов.....	36
Импорт/Экспорт материалов.....	38
Задание модели пластического течения.....	39
Критерий пластичности Мизеса.....	39
Критерий пластичности Друкера-Прагера.....	41
Полилинейное упрочнение.....	43
Типы элементов.....	45
Особенности настроек решателя.....	45
Работа с блоками.....	45
Задание свойств оболочек.....	49
Задание свойств балок.....	51
Касательные напряжения при изгибе балки с квадратным сечением.....	54
Задание свойств точечной массы.....	57
Задание свойств пружины.....	58
Задание граничных условий.....	60
Типы граничных условий.....	60
Задание начальных условий.....	61
Типы начальных условий.....	61
Зависимость от времени или координат.....	61
Задание контактного взаимодействия.....	64
Создание контакта.....	64
Автовыбор контакта.....	66
Контактный алгоритм.....	68
Типы элементов.....	69
Статус Kontakta.....	69
Запуск расчёта.....	70
Типы анализа.....	70
Модели задач.....	71
Многошаговые расчеты.....	72



Задание шагов для граничных условий .....	72
Задание шагов расчета для блоков (объемов) .....	74
Задание шагов расчета для материалов .....	75
Метод спектральных элементов .....	77
Краткое описание и преимущества МСЭ .....	77
Использование МСЭ .....	78
Параллельный расчёт на нескольких компьютерах с использованием технологии MPI.....	79
Краткое описание и преимущества MPI.....	79
Реализация MPI в CAE Fidesys .....	79
Установка MPI .....	79
Локальное использование MPI.....	79
Использование MPI на нескольких узлах .....	80
Требования для корректной работы .....	80
Настройка MPI на нескольких узлах.....	80
Регистрация перед первым использованием .....	82
Просмотр результатов расчета .....	82
Пример расчёта с использованием MPI .....	83
Расчёт эффективных свойств неоднородных материалов .....	84
Геометрия модели для расчёта эффективных свойств.....	84
Запуск на расчёт .....	86
Типы элементов .....	86
Расчёт эффективных свойств и его результаты .....	86
Обработка результатов и экспорт эффективного материала .....	90
Данные в формате SEG-Y.....	92
Линейно-спектральный анализ .....	95
Проведение модального анализа .....	95
Задание спектра отклика .....	95
Расчеты для Автомеханики (интеграция с Euler).....	97
Общие положения.....	97
Практическая реализация.....	97
Моделирование движения механической системы.....	98
Испытание «Переставка» .....	102
Результаты тестовых расчетов .....	103
Визуализация результатов и постпроцессинг.....	106
О программе Fidesys Viewer.....	106
Главное окно программы.....	106
Основные принципы работы .....	107
Отображение на модели полей данных и легенды .....	107



Выделение.....	107
Отображение информации.....	107
Просмотр деформированной модели.....	107
Сферические/цилиндрические системы координат.....	107
Построение графиков вдоль прямой линии.....	108
Построение графиков вдоль кривых.....	108
Построение графиков в зависимости от времени.....	108
Оценка качества сетки.....	108
Срез.....	108
Сечение.....	108
3D-отображение балок и оболочек.....	108
Запас прочности.....	108
Гармонический анализ.....	112
Сохранение данных.....	112
Пошаговое руководство пользователя.....	113
Статическое нагружение (объёмная модель).....	113
Построение модели.....	114
Построение сетки.....	117
Задание граничных условий.....	119
Задание материала и свойств блока.....	121
Запуск расчёта.....	123
Анализ результатов.....	124
Использование консольного интерфейса.....	126
Статическое нагружение (сила тяжести).....	128
Построение модели.....	129
Построение сетки.....	131
Задание граничных условий.....	132
Задание материала и свойств блока.....	133
Запуск расчёта.....	135
Анализ результатов.....	135
Использование консольного интерфейса.....	137
Статическое нагружение (балочная модель, силы реакции).....	138
Построение модели.....	138
Построение сетки.....	140
Задание граничных условий.....	140
Задание материала и свойств блока.....	141
Запуск расчёта.....	143
Анализ результатов.....	144



Использование консольного интерфейса .....	147
Статическое нагружение (оболочки).....	148
Построение модели .....	148
Построение сетки .....	148
Задание граничных условий .....	149
Задание материала и свойств блока .....	150
Запуск расчёта .....	152
Анализ результатов .....	153
Использование консольного интерфейса .....	157
Гидростатическое давление на цилиндр (задание ГУ от координат) .....	158
Построение модели .....	158
Построение сетки .....	163
Задание материала и свойств блока .....	165
Задание граничных условий .....	167
Запуск расчёта .....	170
Анализ результатов .....	170
Использование консольного интерфейса .....	173
Задача устойчивости (оболочечная модель) .....	174
Построение модели .....	174
Построение сетки .....	178
Задание граничных условий .....	180
Задание материала и свойств блока .....	181
Запуск расчёта .....	183
Анализ результатов .....	184
Использование консольного интерфейса .....	189
Анализ собственных частот (объёмная модель) .....	190
Построение модели .....	190
Построение сетки .....	191
Задание граничных условий .....	192
Задание материала и свойств блока .....	193
Запуск расчёта .....	195
Анализ результатов .....	195
Использование консольного интерфейса .....	197
Анализ собственных частот (оболочечная модель) .....	198
Построение модели .....	198
Построение сетки .....	198
Задание граничных условий .....	199
Задание материала и свойств блока .....	200



Запуск расчёта .....	202
Анализ результатов .....	203
Использование консольного интерфейса .....	204
Задача теплопроводности (объёмная модель, работа с двумя блоками).....	205
Построение модели .....	205
Построение сетки .....	208
Задание материала и свойств блока .....	209
Задание граничных условий .....	212
Запуск расчёта .....	213
Анализ результатов .....	213
Использование консольного интерфейса .....	215
Динамическое нагружение: Нестационарная теплопередача (объёмная модель, неявная схема) .....	216
Построение модели .....	216
Построение сетки .....	217
Задание материала и свойств блока .....	218
Задание граничных условий .....	220
Задание зависимости ГУ от времени .....	221
Запуск расчёта .....	222
Анализ результатов .....	222
Использование консольного интерфейса .....	226
Гармонический анализ (балочная модель) .....	227
Построение модели .....	227
Построение сетки .....	230
Задание материала и свойств блока .....	230
Задание граничных условий .....	232
Запуск расчёта .....	234
Анализ результатов .....	234
Использование консольного интерфейса .....	238
Моделирование связанного контакта .....	239
Построение модели .....	239
Построение сетки .....	240
Задание материала и свойств блока .....	243
Задание граничных условий .....	244
Запуск расчёта .....	247
Анализ результатов .....	247
Использование консольного интерфейса .....	249
История нагружения упруго-пластической пластины .....	250



Построение модели .....	250
Построение сетки .....	251
Задание материала и свойств блока .....	252
Задание граничных условий .....	253
Установите зависимость ГУ от времени и/или координат .....	254
Запуск расчёта .....	256
Анализ результатов .....	256
Использование консольного интерфейса .....	257
Последовательное добавление объемов в процессе расчета .....	259
Построение модели .....	259
Построение сетки .....	260
Задание материала и свойств блока .....	261
Задание граничных условий .....	263
Запуск расчёта .....	264
Анализ результатов .....	266
Использование консольного интерфейса .....	267
Последовательное удаление объемов в процессе расчета .....	268
Построение модели .....	269
Построение сетки .....	272
Задание материала .....	273
Задание граничных условий .....	274
Задание свойств блока .....	275
Запуск расчёта .....	276
Анализ результатов .....	277
Использование консольного интерфейса .....	279
Распространение сейсмических волн (получение результатов в формате SEG-Y) .....	280
Построение модели .....	280
Построение сетки .....	284
Задание материала и свойств блока .....	284
Задание граничных условий .....	286
Установить зависимость ГУ от времени и/или координат .....	288
Приёмники .....	288
Запуск расчёта .....	289
Анализ результатов .....	290
Использование консольного интерфейса .....	292
Пороупругопластическая модель скважины (2D) .....	293
Построение модели .....	293
Задание материала .....	295





Построение сетки .....	296
Задание граничных условий .....	298
Задание свойств блока .....	299
Запуск расчёта .....	300
Анализ результатов .....	300
Использование консольного интерфейса .....	303
Пример приложения распределенной по поверхности силы .....	305
Загрузка модели .....	305
Построение конечно-элементной сетки .....	306
Задание материала и свойств блока .....	306
Задание граничных условий .....	308
Запуск расчета .....	311
Анализ результатов .....	311
Анализ результатов .....	311
Использование консольного интерфейса .....	313
Задача со сменой материала .....	313
Геометрическая модель .....	314
Построение сетки .....	315
Задание материалов .....	316
Задание свойств блока .....	318
Задание граничных условий .....	320
Запуск расчёта .....	322
Анализ результатов .....	323
Использование консольного интерфейса .....	325
Симметричные граничные условия для цилиндра .....	327
Построение модели .....	327
Построение сетки .....	331
Задание граничных условий .....	331
Создание материала .....	333
Задание свойств блока .....	334
Запуск расчёта .....	335
Анализ результатов .....	335
Использование консольного интерфейса .....	337
Линейно-спектральный анализ балки при помощи спектра реакции .....	339
Построение модели .....	339
Построение сетки .....	340
Задание материала и свойств блока .....	341
Задание граничных условий .....	344



---

Запуск расчета .....	344
Анализ результатов .....	346
Вывод результатов .....	346
Использование консольного интерфейса .....	347
Контактная информация .....	349



## Введение

### О программе

**CAE Fidesys** — программный комплекс прочностного анализа. Комплекс позволяет проводить расчёты для задач следующих типов:

- статическое нагружение;
- динамическое нагружение;
- задача устойчивости;
- анализ собственных частот;
- гармонический анализ;
- расчёт эффективных свойств материалов;
- комбинация мод на основе спектрального анализа;
- топологической оптимизации моделей;
- расчет для Автомеханики.

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

- визуализации скалярных и векторных полей;
- работа с форматом SEG-Y;
- построения графиков и диаграмм
- построения зависимостей от частоты;
- 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 **CAE Fidesys** предъявляет следующие минимальные требования к программному обеспечению и оборудованию.

### Аппаратные требования

- Процессор: Dual-core 1,7 ГГц и выше.
- Оперативная память: не менее 4GB.
- Свободное место на диске: 5 GB.
- Видеокарта уровня NVIDIA GeForce GTX 460 или выше.
- Разрешение экрана: 1024×768 или выше.

### Операционная система

Поддерживаются следующие версии операционных систем (64-разрядные версии):

- Windows 7 Service Pack 1;
- Windows 8;
- Windows 8.1;
- Windows Server 2008 R2 SP1;
- Windows Server 2008 Service Pack 2;
- Windows Server 2012;
- Windows Server 2012 R2;
- Windows 10 ;
- Ubuntu 18.04
- CentOS 6;
- CentOS 7;
- Debian 9;
- RedHat 6;
- RedHat 7;
- Open SUSE Leap 15
- Alt Linux 7
- Alt Linux 8

## Установка

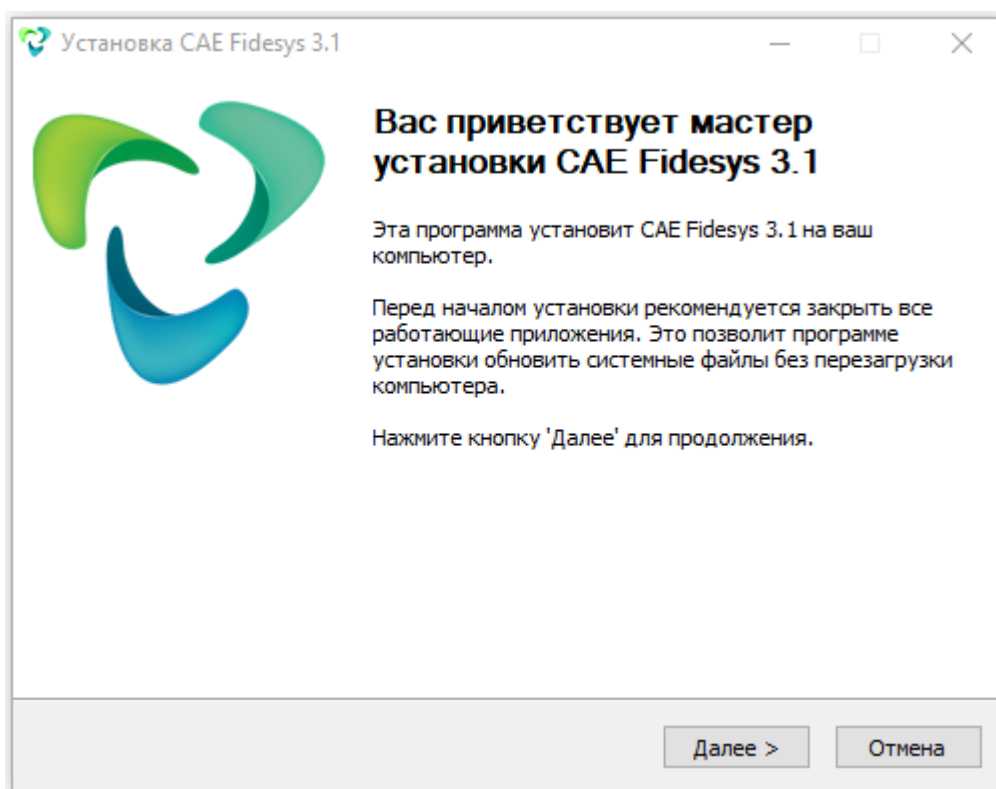
### Microsoft Windows

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

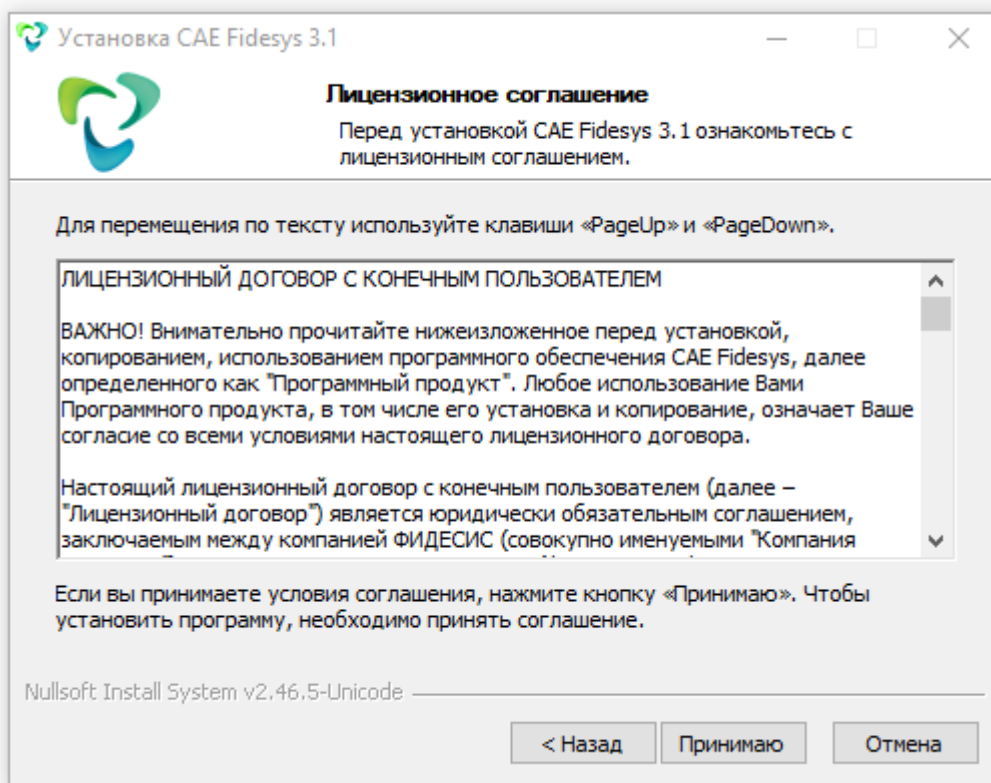
1. Скачайте установочный файл **CAE Fidesys** по ссылке <https://cae-fidesys.com> и запустите процесс установки.

*Если на компьютере уже была установлена какая-либо версия CAE Fidesys, то при запуске установочного файла будет предложено удалить ее или отменить установку.*

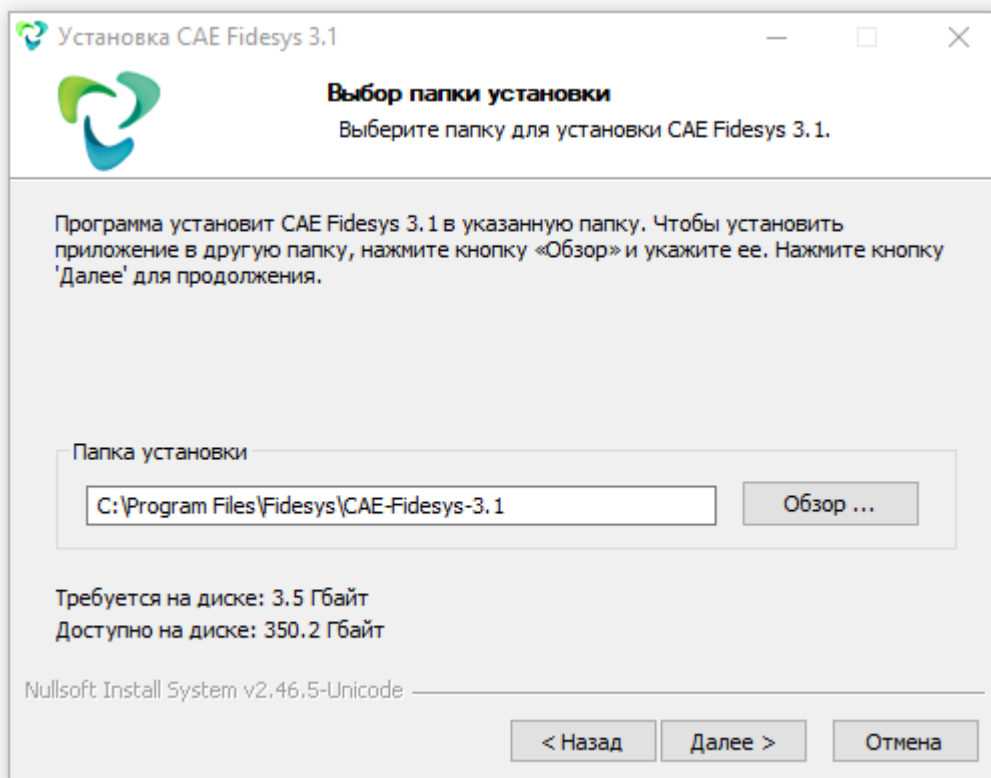
2. В появившемся окне нажмите **Далее**.



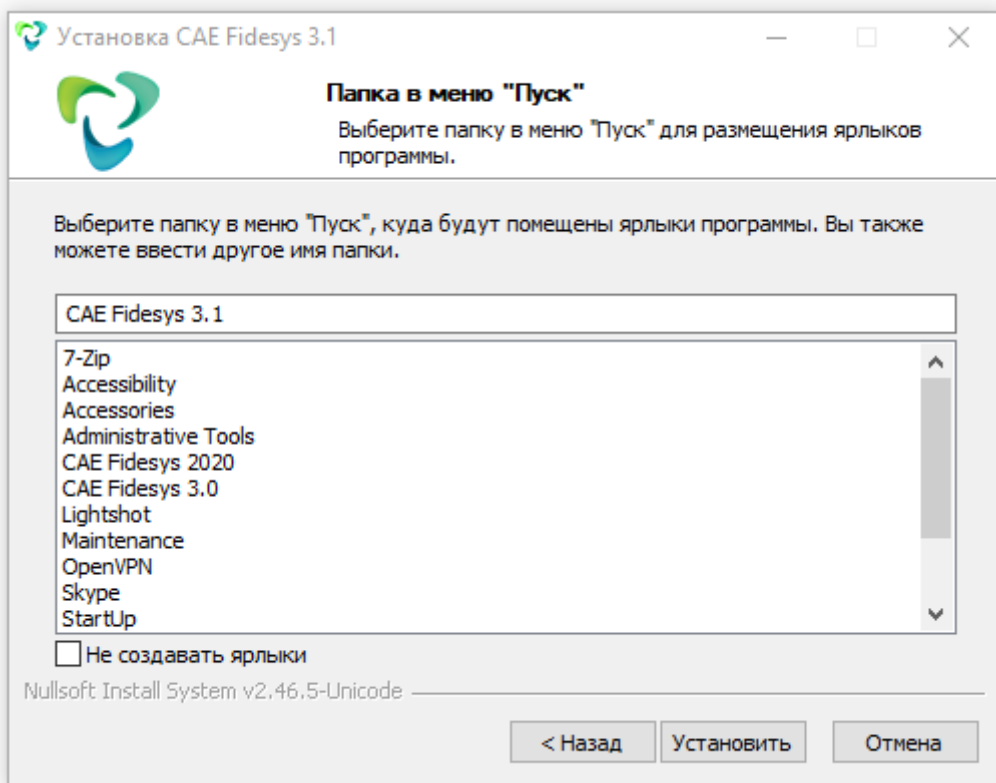
3. Внимательно ознакомьтесь с лицензионным договором. Если вы не согласны с какими-либо его пунктами, нажмите **Отмена**. Если вы полностью согласны с условиями, нажмите **Принимаю**.



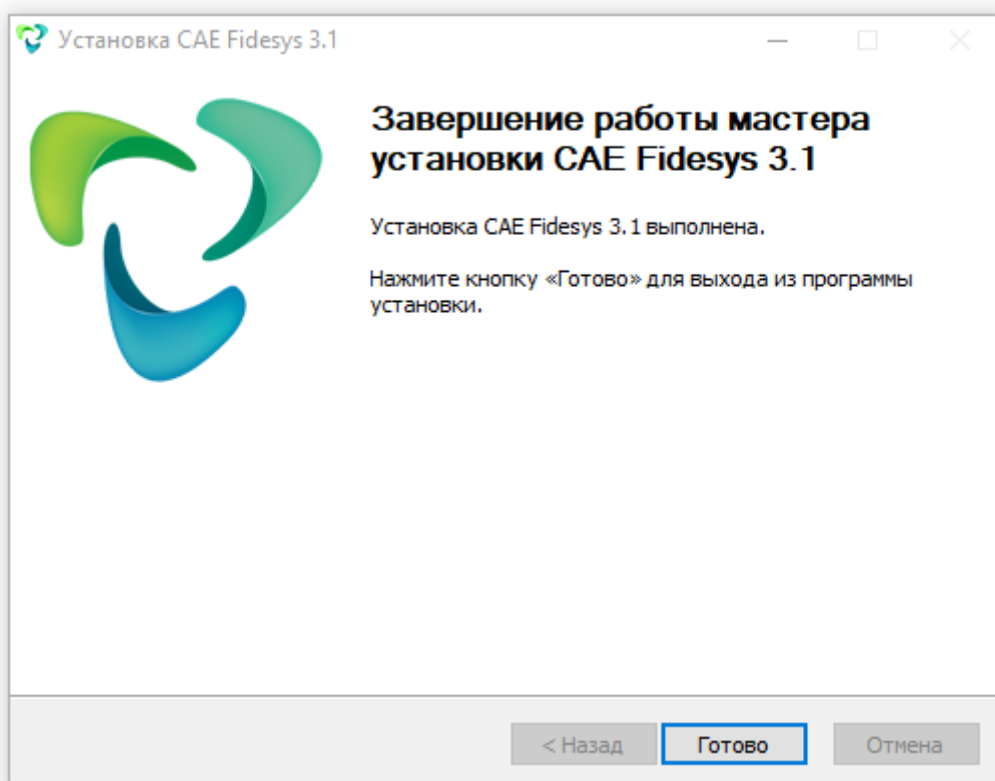
4. Выберите папку для установки программы и нажмите **Далее**.



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**.



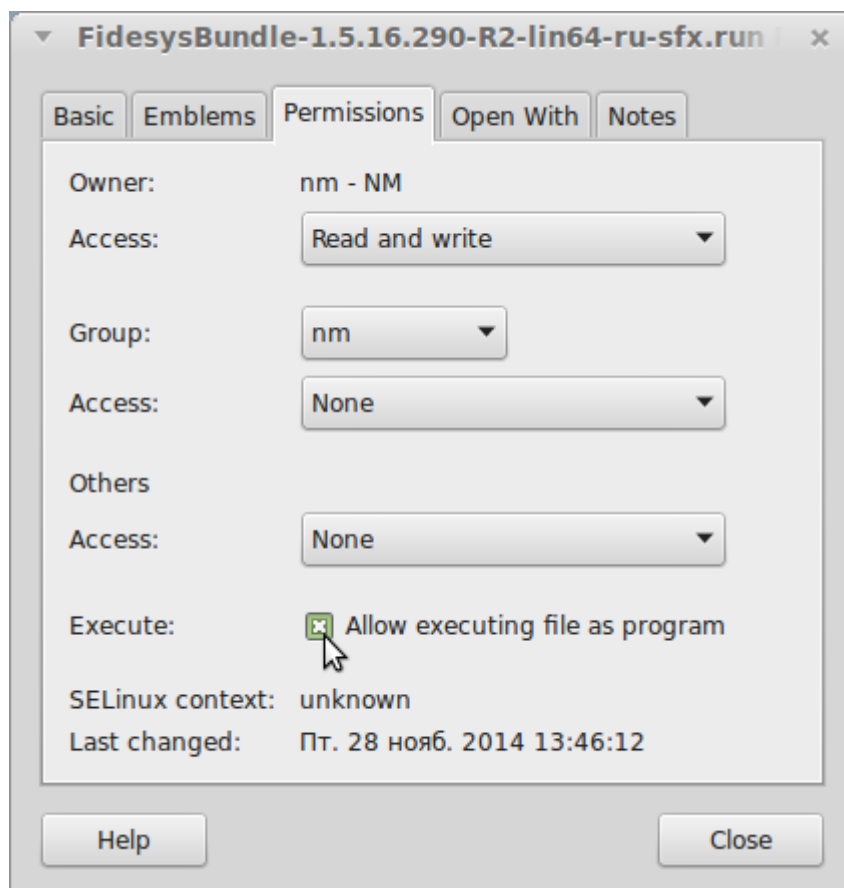
6. Процесс установки может занять некоторое время. После завершения установки нажмите **Готово**.



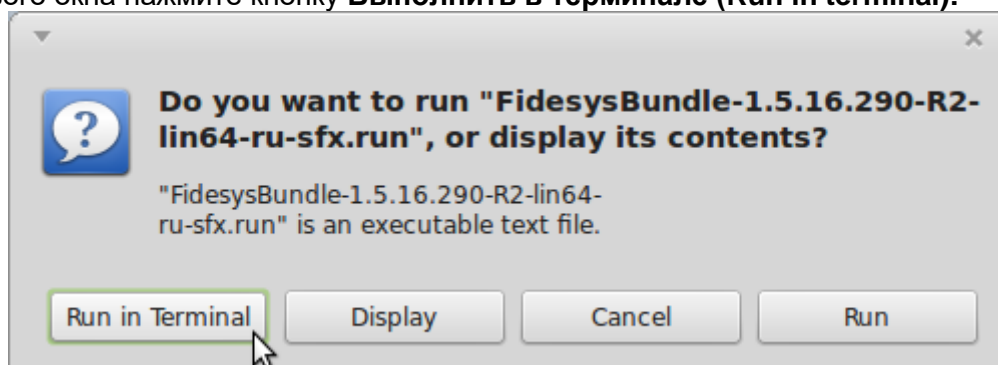
## Linux

Установочный файл **CAE Fidesys** для Linux доступен для скачивания только в браузере операционной системы Linux.

1. Скачайте установочный файл **CAE Fidesys** по ссылке <https://www.cae-fidesys.com>.
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.

При использовании USB-ключа активация выполняется автоматически.



## 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 **CAE Fidesys** **###.#**, где **###.#** — номер версии программы. 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 **CAE Fidesys** состоит из трех основных компонентов:

- **Fidesys** — препроцессинг и проведение расчета;
- **FidesysCalc** – проведение расчетов;
- **Fidesys Viewer** — постпроцессинг и анализ результатов;

### Запуск программного обеспечения

Программу можно запустить двумя способами:

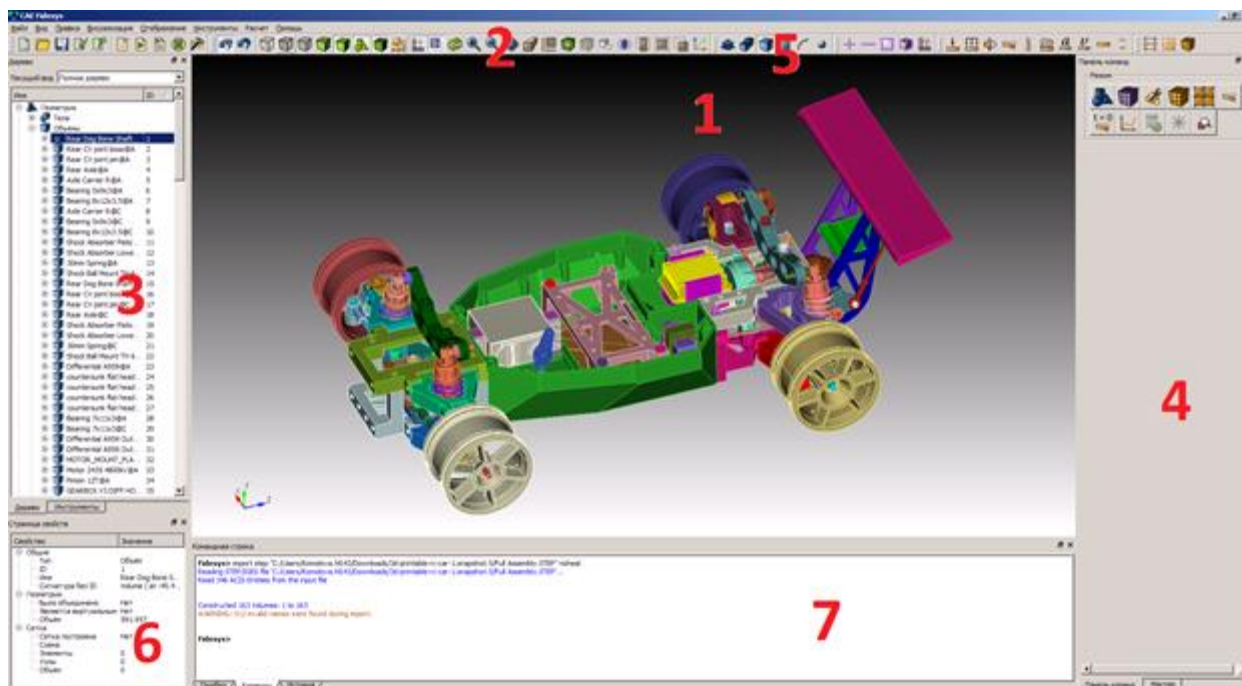
- через меню «Пуск» (если при установке было выбрано создание ярлыков в нём): выбрать **Fidesys** в папке, куда была установлена программа);
- через любой файловый менеджер для Windows из каталога, куда была установлена программа (по умолчанию **C:\Program Files\Fidesys\Fidesys-3.1**): запустить файл **fidesys.exe** (находится в папке **preprocessor\bin**).

На одном ПК может быть одновременно запущено несколько экземпляров программы.

Если для программы активирована коммерческая 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

**CAE Fidesys** 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 **CAE Fidesys** и вывода сообщений пользователю.

## История версий

### Версия 3.1

Выпущена: ноябрь 2020

#### Дополнения и улучшения функционала:

- Добавлен новый тип элементов - ламинатные оболочки
- Добавлен расчет эффективных механических характеристик материалов с учетом нелинейных эффектов
- Добавлена возможность решения нестационарных задач на неконформных сетках с использованием метода спектральных элементов
- Добавлена возможность многошагового расчета тел с изменяемыми на шагах граничными условиями
- Добавлена возможность проведения топологической оптимизации моделей
- Добавлена возможность использовать локальные координаты в препроцессоре
- Добавлен расчет для Автомеханики (интеграция с ПК Euler)
- Улучшен алгоритм работы с условиями циклической симметрии
- Улучшен алгоритм расчета контактного взаимодействия для составных CAD-моделей и различных типов анализа
- Улучшена работа фильтра Линейно-спектральный анализ

#### Дополнения и улучшения в препроцессоре:

- Добавлено отображение 3Д-сечений балок в препроцессоре.
- Улучшен процесс задания свойств блокам
- Улучшен алгоритм для построения треугольной и тетраэдральной сетки.
- Добавлены новые возможности для выбора объектов.
- Добавлена новая опция для стягивания углов.
- Новые опции для удаления поверхностей.
- Представлена новая технология согласования интервалов при построении сетки.
- Новая команда для удаления полостей в объемных телах.
- Улучшена команда для стягивания углов с использованием вершины.
- Добавлена команда удаления накладывающихся объемов.
- Новые возможности в контекстном меню.
- Улучшена технология Sculpt Automatic All-hex Meshing.
- Добавлена новая опция для импорта геометрии с сеткой.

### Версия 3.0

Выпущена: май 2020

#### Дополнения и улучшения функционала:

- Добавлен генератор неструктурированных гексаэдральных сеток и сеток с преобладанием гексаэдров.
- Улучшен алгоритм для построения треугольной и тетраэдральной сетки.
- Добавлены новые методы для оценки качества сетки.
- Добавлен новый инструмент для поиска пересечений сетки.
- Возможность построения геометрии из наборов узлов.
- Сохранение данных о качестве при экспорте сетки.
- Создание элементов «призма» на основе треугольных элементов.
- Функции построения сетки теперь включает в себя алгоритм Sculpt auto hex.
- Задание закона пластического течения при помощи графика Напряжение/Деформация.



- Реализован спектральный метод решения линейных динамических задач,использующий спектр реакции.

#### **Добавлены новые виды граничных условий:**

- Жесткие связи (движение абсолютно твердого тела).
- Граничное условие Источник тепла, Объемный источник тепла, Поток жидкости.

#### **Дополнения и улучшения в препроцессоре:**

- Добавлена возможность редактировать материал из Дерева.
- Модернизированы инструменты для работы с геометрией.

#### **Дополнения и улучшения в постпроцессоре**

- Добавлен фильтр Комбинация мод.

## **Версия 2.2**

*Выпущена: октябрь 2019*

#### **Дополнения и улучшения функционала:**

- Добавлена возможность проведения расчетов составных CAD-моделей с зазорами/нахлестами между телами для всех типов анализа, включая динамический прямым интегрированием.
- Добавлена возможность изменения свойств материалов в блоках при многошаговом нагружении.
- Для балочных элементов повышена точность отображения результатов в 3D виде
- Повышена точность и скорость проведения расчетов динамических задач методом прямого интегрирования

#### **Добавлены новые виды граничных условий:**

- Связи по направлению для задания граничных условий по нормали или касательной.
- Периодические граничные условия для моделирования циклосимметрии и периодических структур.
- Граничное условие Излучение для задач теплопроводности и термоупругости.

#### **Дополнения и улучшения в препроцессоре:**

- Добавлена панель инструментов с вариантами отображения модели вдоль осей координат.
- Кнопки управления расчетом Старт/Стоп/Пауза вынесены на панель инструментов.

#### **Дополнения и улучшения в постпроцессоре**

- Улучшена работа фильтра Система координат.

## **Версия 2.1**

*Выпущена: июнь 2019*



- Ускорена работа с геометрическими моделями, состоящими из большого количества элементов. В частности, сокращено время загрузки и препроцессорной обработки таких моделей.
- Добавлена автоматическая запись результатов динамических расчетов (перемещения, скорости, давление, главные напряжения) в виде сейсмограмм в SGY-файлы для балочных и оболочечных элементов.

## **Версия 2.0**

*Выпущена: февраль 2019*

### **Добавлен расчет многошагового нагружения**

- Доступно задание активных граничных условий для каждого шага нагружения (добавление/удаление граничных условий на шагах)
- Доступно задание значений граничных условий для каждого шага нагружения в виде табличной зависимости (изменение граничных условий на шагах)
- Доступно задание активных блоков в модели для каждого шага нагружения (добавление/удаление блоков на шагах)

### **Запись и чтение файла в формате SEG-Y**

- Добавлена автоматическая запись результатов динамических расчетов (перемещения, скорости, давление, главные напряжения) в виде сейсмограмм в SGY-файлы для заданного набора приемников.
- В Fidesys Viewer добавлена возможность открытия и анализа SGY-файлов.

### **Дополнения и улучшения в препроцессоре**

- Добавлена поддержка формульных и табличных зависимостей для констант материала при импорте и экспорте материалов.
- Добавлена отрисовка графиков для табличных зависимостей
- Включена возможность создания моделей в препроцессоре независимо от типа лицензионного ключа. Например, можно создать модель для нелинейного расчета, имея только ключ для версии CAE Fidesys Standard и затем произвести расчет на той рабочей станции, где доступен ключ для версии CAE Fidesys Professional.

## **Версия 1.7.1**

*Выпущена: сентябрь 2018*

### **Новые виды граничных условий**

- связанный контакт (возможность решения больших сборок на неконформных сетках разного порядка)
- излучение
- источник тепла
- объемный источник тепла
- поровое давление
- поток жидкости
- источник жидкости
- объемный источник жидкости

### **Новые виды анализа**

- пьезопроводность
- расчёт эффективных коэффициентов температурного расширения



## **Добавлена возможность задания начальных условий**

- начальное перемещение
- начальная скорость
- начальная угловая скорость
- начальная температура
- начальное поровое давление

## **Новые свойства материалов**

- полилинейное упрочнение (Мизес)
- преднапряжение
- пьезоупругопластичность

## **Дополнения и улучшения в препроцессоре**

- новый удобный механизм задания материалов

## **Дополнения и улучшения в постпроцессоре**

- улучшена работа программного интерфейса

## **Версия 1.7.0**

*Выпущена: август 2017*

### **Новые типы элементов**

- пружины
- точечные массы
- балочные элементы второго порядка (с промежуточными узлами)

### **Новые виды граничных условий**

- распределенная сила
- жесткие связи
- гравитация
- угловая скорость
- неотражающие граничные условия и начальные условия в динамическом анализе

### **Новые виды анализа**

- гармонический анализ
- метод суперпозиции модальных форм, включая задание параметров демпфирования, для решения динамических задач
- Добавлена возможность задания зависимостей параметров материала от координат/температуры.
- Добавлена возможность расчёта эффективных масс и коэффициентов участия собственных форм конструкции.
- Для балочных элементов добавлены новые профили сечений.
- Улучшена работа генератора неструктурированных расчётных сеток, включая случай гибридных сеток.
- Добавлена поддержка форматов CATIA v5, v6.

## **Дополнения и улучшения в препроцессоре**

- Повышена стабильность работы.





### **Дополнения и улучшения в процессоре (расчетном модуле)**

- Упругопластическое деформирование по модели Друкера-Прагера
- Гармонический анализ
- Возможность моделировать связи

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

- Улучшена работа программного интерфейса на основе Python Shell.

## **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 CAE Fidesys.

## **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 быстропотекающих 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 плосконапряжённое 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 **CAE Fidesys** 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

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

### Импорт геометрии

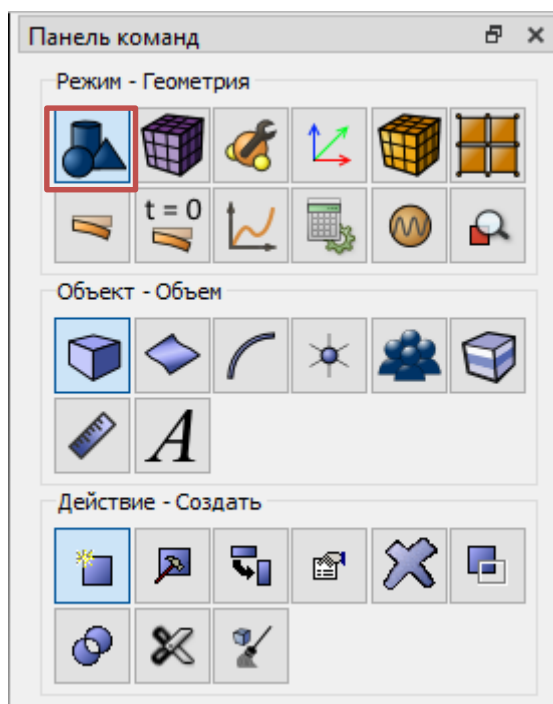
Для импорта геометрии выберите в главном меню **Файл – Импорт**. **CAE Fidesys** поддерживает импорт следующих форматов:

- ACIS (\*.sat, \*.sab);
- IGES (\*.igs, \*.iges);
- STEP (\*.stp, \*.step);
- Warefront Object (\*.obj);
- Stanford Polygon (\*.ply);
- Assimp;
- GAMBIT Real Geometry (\*.dbs);
- Catia (\*.CATPart, \*.CATProduct, \*.ncgm);
- Parasolid (\*.x\_t, \*.x\_b);
- SolidWorks (\*.sldprt, \*.sldasm);
- ProE (\*.ptr, \*.asm);
- Abaqus (\*.inp);
- STL Files (\*.stl);
- Fluent (\*.msh);
- GAMBIT Neutral (\*.neu);
- Ideas (\*.unv);
- Nastran (\*.bdf);
- Patran (\*.pat, \*.neu, \*.out);
- Cubit files (\*.cub);
- Trelis (\*.trelis);
- CATIA v4 (\*.model);
- Fidesys Case (\*.fc).

### Создание геометрии

В качестве средств для создания геометрии **CAE Fidesys** 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

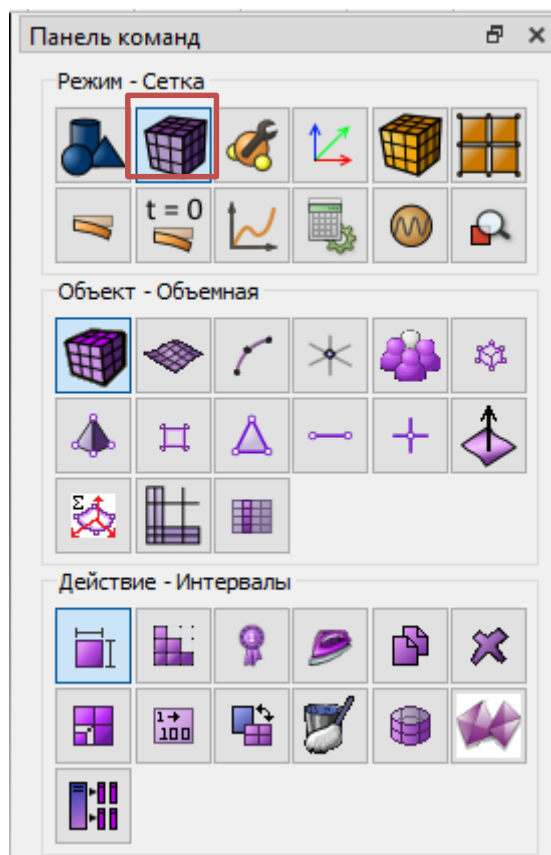
**CAE Fidesys** поддерживает следующие виды конечных элементов для сеток:

- объёмные: SOLID (тетраэдры, гексаэдры, пирамиды, призмы)
- плоские: PLANE (треугольники, четырёхугольники)
- оболочечные: SHELL (треугольники, четырёхугольники)
- балочные: BEAM
- пружины: SPRING
- точечные массы: LUMPMASS

Порядок всех элементов, кроме пружин и точечных масс, может варьироваться от 1-го до 9-го. При этом порядок элемента выше второго означает использование метода спектральных элементов.

## Построение объёмной сетки

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



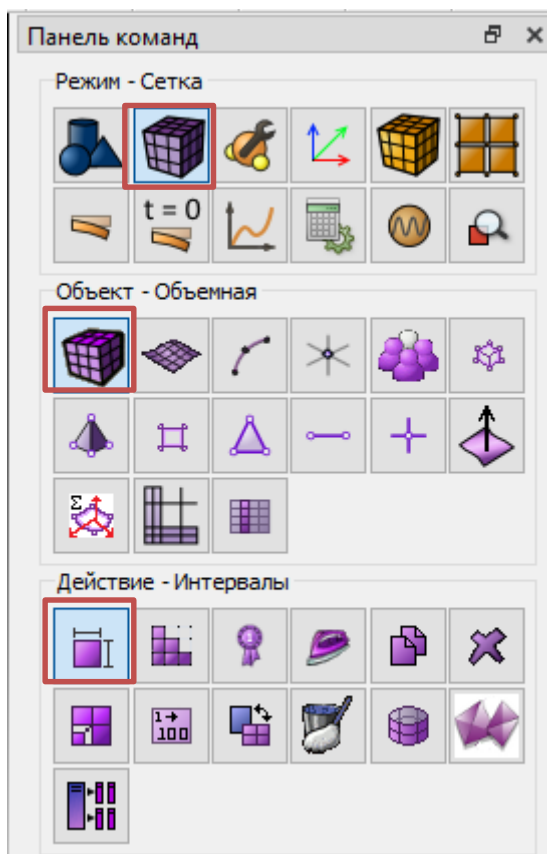
1. Укажите степень измельчения сетки (Действие — **Интервалы**) каждого объёма:
  - выберите объёмы (укажите их ID). Несколько объёмов можно перечислить через пробел, все объёмы можно задать командой **all**;
  - выберите способ построения сетки (автоматический, задание примерного размера элементов, 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 конечно-элементной сетки

Для построения конечно-элементной сетки выполните следующие действия.

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



2. Укажите степень измельчения сетки (Действие — **Интервалы - Задать размер**) каждой поверхности:

- выберите объёмы (укажите их ID). Несколько объемов можно перечислить через пробел, все объемы можно задать командой **all**;
- укажите Примерный объем;
- 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.

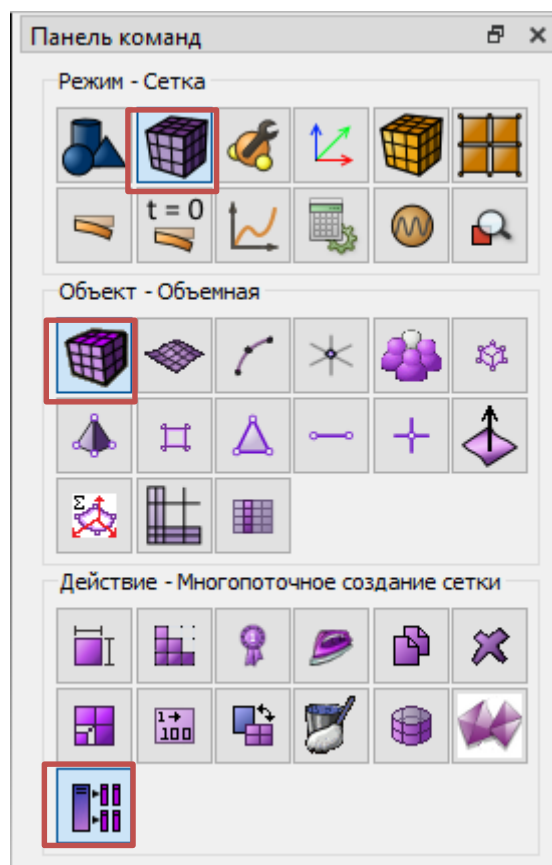
С помощью функционала, доступного через панель команд, можно также:

- 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.



## Многопоточное создание сетки

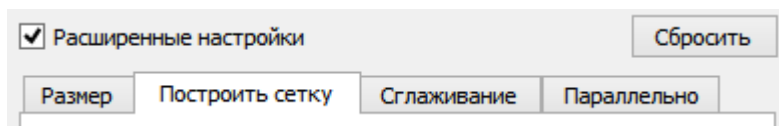
В некоторых случаях, когда память или ограничения по времени являются критическими, может потребоваться многопоточное построение сетки. В настоящее время CAE Fidesys предоставляет возможность параллельной работы на настольных компьютерах или на кластерных машинах. В этих случаях CAE Fidesys можно использовать в качестве препроцессора для управления геометрией и настройки для создания сетки, однако фактическая процедура создания сетки выполняется как отдельный процесс или на другом компьютере.



## Метод построения гексаэдральной сетки *Sculpt*

*Sculpt* - это отдельное многопоточное приложение, разработанное для генерации гексаэдральной сетки на сложных геометриях при минимальных действиях со стороны пользователя.

Параметры метода *Sculpt* делятся на четыре области: Размер, Сетка, Сглаживание и Параллельность.



Метод создания полностью гексаэдральной сетки, используемый *Sculpt*, часто упоминается в литературе как *overlay-grid* или *mesh-first* методы. Это существенно отличается от алгоритмов, используемых в схемах Протяжка (*Sweeping*) и Кусочная карта (*Mapping*), которые классифицируются как методы, основанные на геометрии. Схемы построения сетки Протяжка и Кусочная карта отталкиваются от геометрии, и в процессе тщательно подбираются логические группировки гексаэдров для соответствия выбранной топологии. Метод *Sculpt* начинается с

построения базовой декартовой сетки, охватывающей геометрию, которая используется в качестве основы для этой сетки. Геометрические объекты «вырезаны» или «вылеплены» из декартовой сетки, а границы сглажены для создания гексаэдральной сетки. Очевидное преимущество метода Sculpt (mesh-first) по сравнению с методами Кусочная карта и Протяжка (geometry-first) заключается в том, что нет необходимости разделять геометрию на части или подходящие для протяжки компоненты, процесс. Этот процесс, как известно, часто может занимать много времени, утомителен и иногда просто невозможен. Для Sculpt можно использовать любую геометрию, независимо от особенностей и сложности.

Основная процедура Sculpt проиллюстрирована на рисунке 1. Начиная с декартовой сетки в качестве базовой сетки, показанной на рисунке 1 (а), накладывается геометрическое изображение. Узлы из базовой сетки, которые находятся вблизи границ, проецируются на геометрию, локально искажая соседние гексаэдральные ячейки (рисунок 1 (б)). Затем на поверхности вставляется вспомогательный слой с гексаэдрами, дублируя узлы интерфейса по обе стороны от границ и заполняя слой гексаэдрами (рисунки 1 (с) и (d)). Закрепляя расположение узлов на границах, далее применяются процедуры сглаживания для улучшения качества сетки соседних гексаэдров (рисунок 1 (е)).

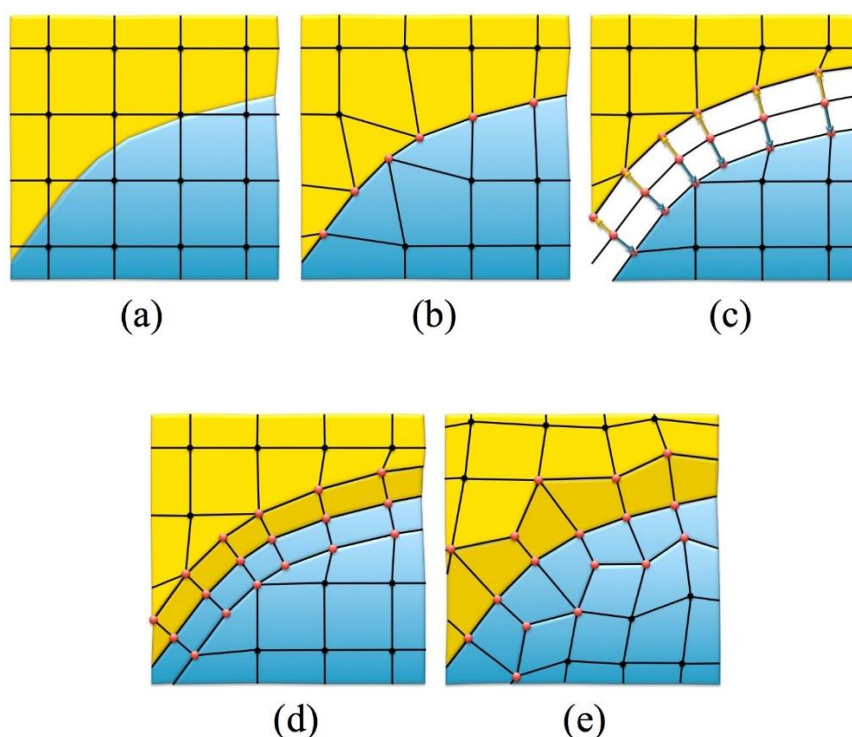


Рисунок 1. Процедура создания гексаэдральной сетки с использованием метода Sculpt

Новые возможности построения сетки при помощи sculpt позволяют вырезать сетку наложения с использованием определения геометрии STL. Это полезно, когда определение блока в исходной сетке не точно совпадает с геометрией STL. Кроме того, новая опция compute\_ss\_stats будет сообщать статистику площади поверхности результирующих боковых частей в сетке исхода. Это часто полезно для микроструктур, где важно знать площадь поверхности раздела между материалами.

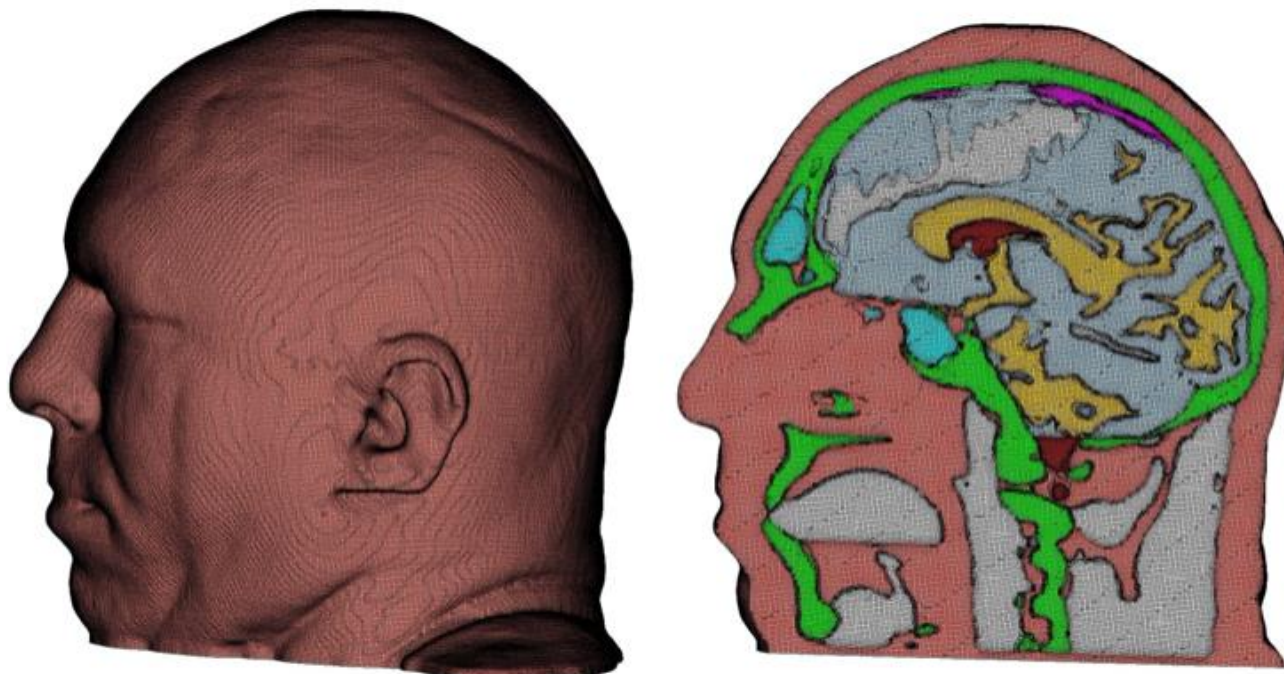


Рисунок 2. Новые возможности создания гексаэдральной сетки с использованием метода Sculpt

## Задание материала

### Добавление материалов

CAE Fidesys поддерживает следующие материалы:

- Материал Гука;
- Ортотропный материал;
- Трансверсально изотропный материал;
- Материал Муни-Ривлина;
- Материал Блеца-Ко;
- Материал Мурнагана;
- Упругопластический материал (Критерий Мизеса, Друкера-Прагера, обобщенный критерий Хилла);
- Термоупругий материал;
- Пороупругий материал (Модель Био).

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  $\nu$ :

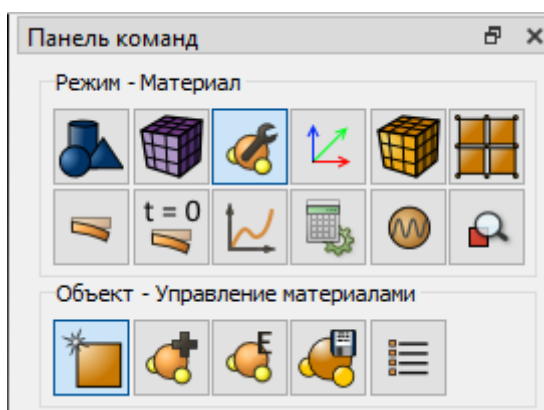
$$D = \frac{C_1 + C_2}{1 - 2\nu}$$

Потенциал Мурнагана:

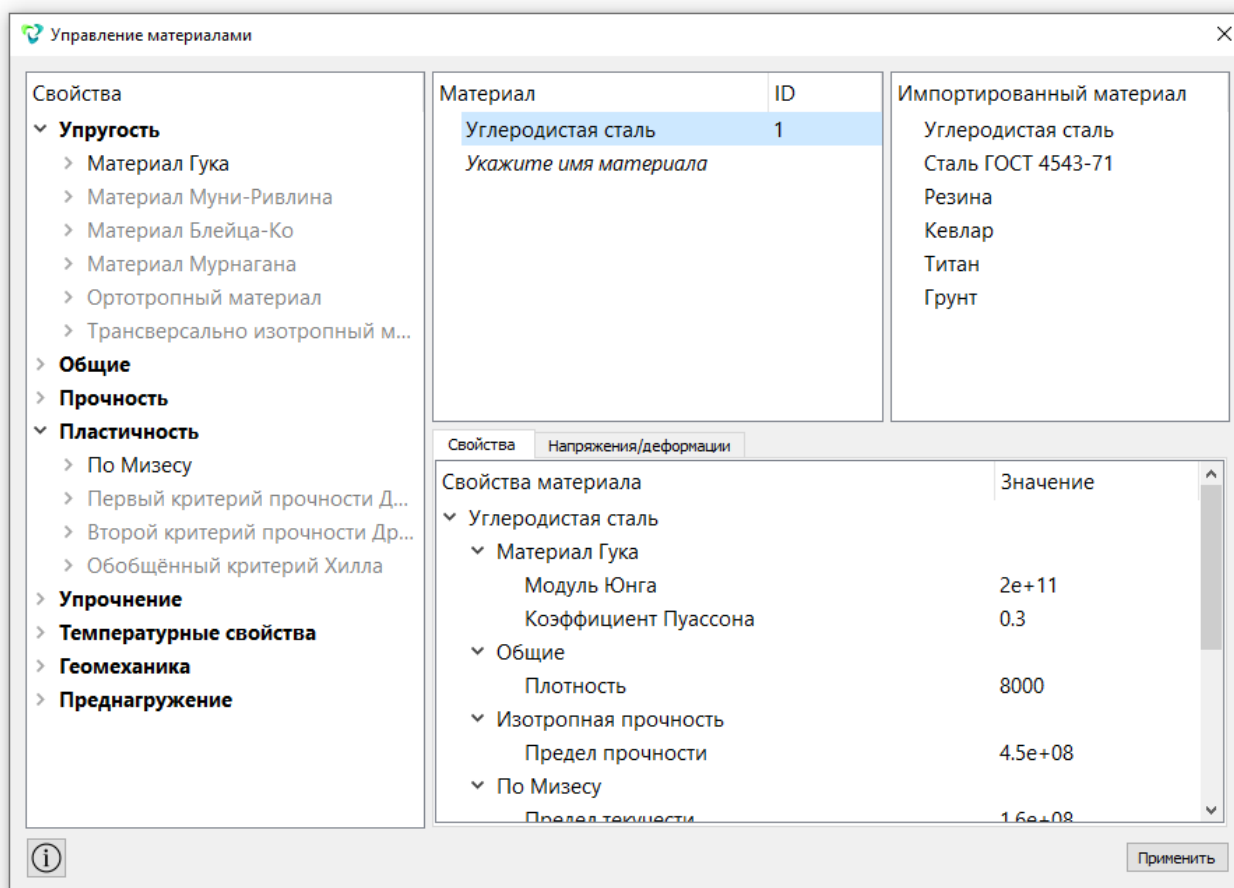
$$\Sigma_{0,n} = \lambda(\varepsilon \cdot I)I + 2G\varepsilon + 3C_3(\varepsilon \cdot I)^2 I + C_4(\varepsilon \cdot I)^2 I + 2C_4(\varepsilon \cdot I)\varepsilon + 3C_5\varepsilon^2$$

где  $\lambda$ ,  $G$ ,  $C_3$ ,  $C_4$ ,  $C_5$  - константы материала Мурнагана.

Чтобы создать новый материал, выберите на панели команд модуль задания свойств материала (Режим – **Материал**, Объект – **Управление материалами**).



Свойства материалов задаются в виджете Управление материалов.

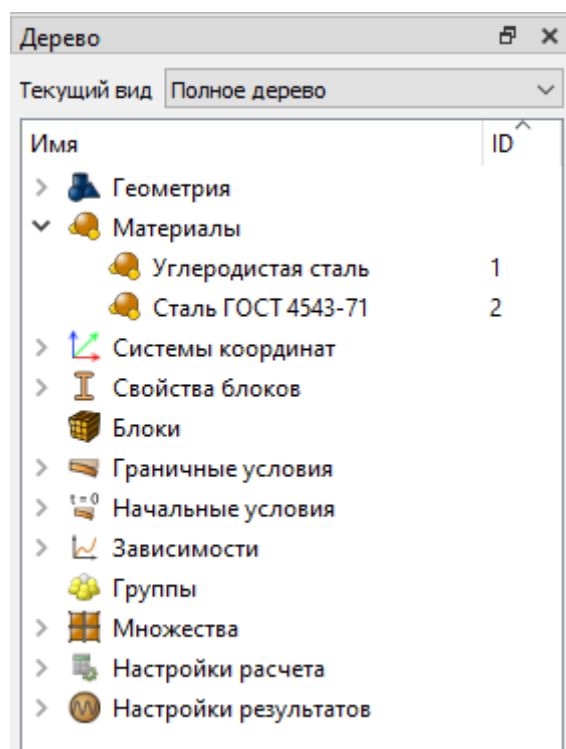


Далее, используя технологию “drag&drop”, добавьте необходимые характеристики из левой колонки в колонку Свойства материала.

Выберите мышкой нужную характеристику. Удерживая левую кнопку мыши, перетащите надпись в Свойства материала. Дважды кликните в поле Значение напротив появившегося свойства и укажите корректное значение.

В правой колонке отображаются предустановленные материалы. Для использования этих материалов в расчете также перетащите мышкой интересующий материал в колонку Материалы (где располагаются активные материалы). Нажмите кнопку **Применить**.

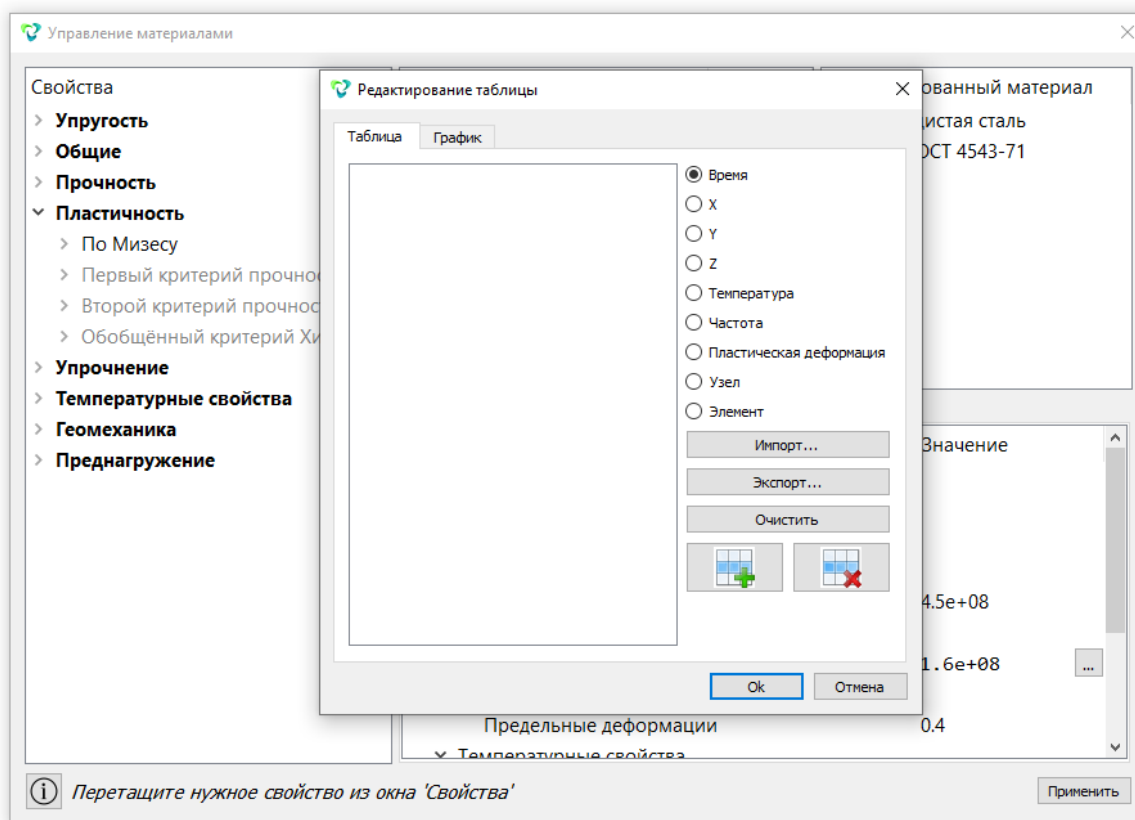
При успешном добавлении созданные материалы должны отобразиться в Дереве объектов в разделе Материалы.



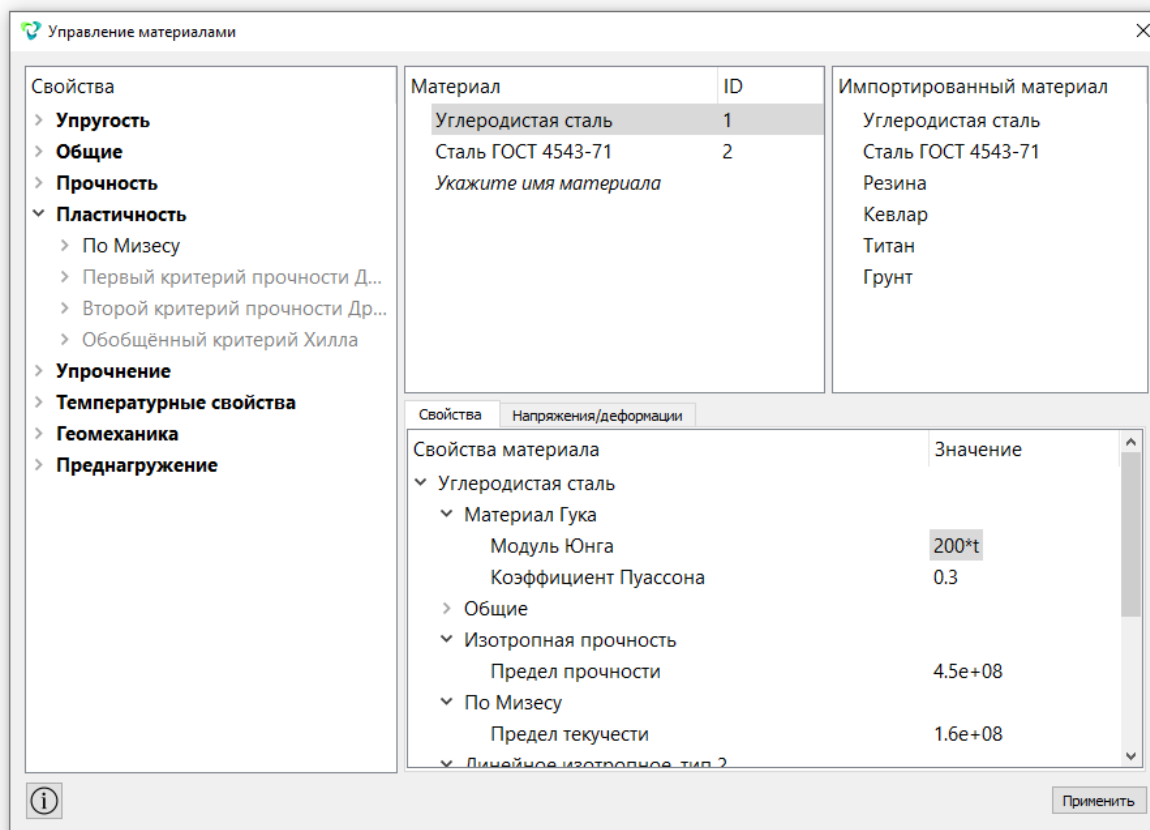
**Важно:** Для того, чтобы связать материал и модель, используется **Блок**.

### **Задание табличных зависимостей для материалов**

Для создания табличных зависимостей для характеристик материала дважды кликните в поле Значение напротив интересующего свойства. Появится кнопка с троеточием. Кликните мышкой по этой кнопке. Откроется виджет Редактирование таблиц, где и предусмотрена возможность задания табличной зависимости.



Для задания формульной зависимости просто впишите соответствующую формулу в поле Значение и нажмите **Применить**.



## Импорт/Экспорт материалов

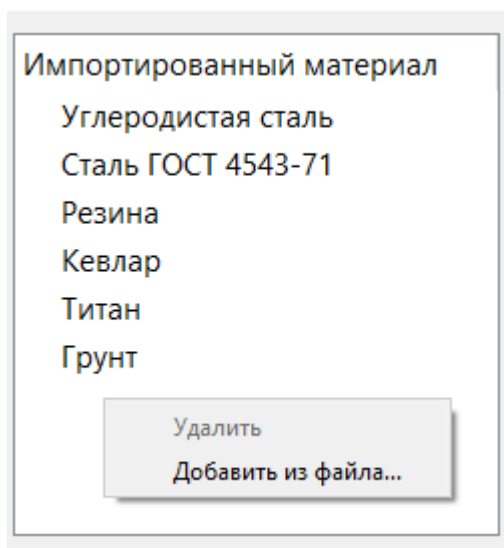
Для импорта материалов кликните правой кнопкой мыши в колонке Импортированный материала. Появится контекстное меню, в котором необходимо выбрать **Добавить из файла**. Укажите путь до импортируемого материала.

Настройки панели **Для уже существующего материала** изменяются, если добавляемый материал с таким именем уже существует в ранее импортированных материалах:

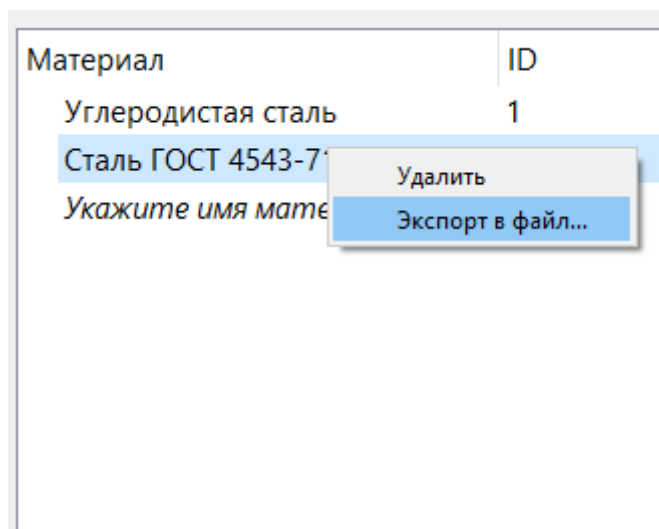
- Если допускается его перезаписать, то поставить галку **Перезаписать**.
- Если необходимо добавить рядом с уже существующим, то поставить галку **Добавить**, и материал добавится с переименованием.
- По умолчанию установлена галка **Игнорировать** - материал не импортируется, остается предыдущий материал.

Нажмите **Применить**. Далее, перетащите импортированный материал в колонку с активными материалами (Материал). Нажмите **Применить**.

**CAE Fidesys** поддерживает импорт материала в формате XML.



Для экспорта созданного материала кликните правой кнопкой мыши по названию материала, в контекстном меню выберите **Экспорт в файл**. Укажите путь для сохранения в файл, нажмите **Применить**.



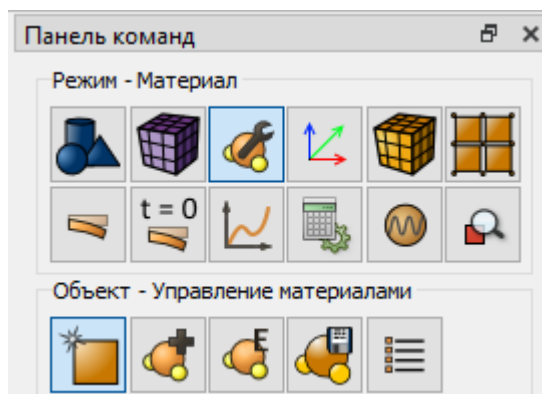
Если значение какого-либо свойства не вводится, то по умолчанию оно принимается равным нулю (кроме модуля сдвига, который определяется автоматически на основе введенных значений  $E$  и  $\nu$ ).

## 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 **CAE 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.

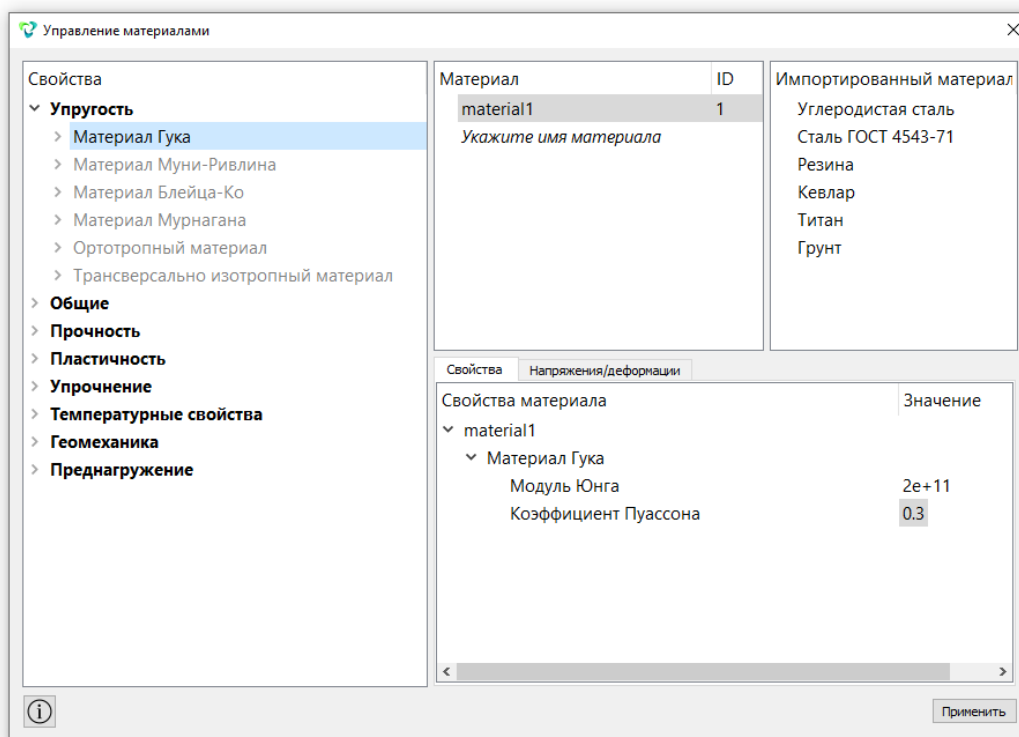
### Критерий пластичности Мизеса

Для того, чтобы добавить в материал Гука пластичность по Мизесу, выберите на панели команд модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки**, Объект – **Управление материалами**).

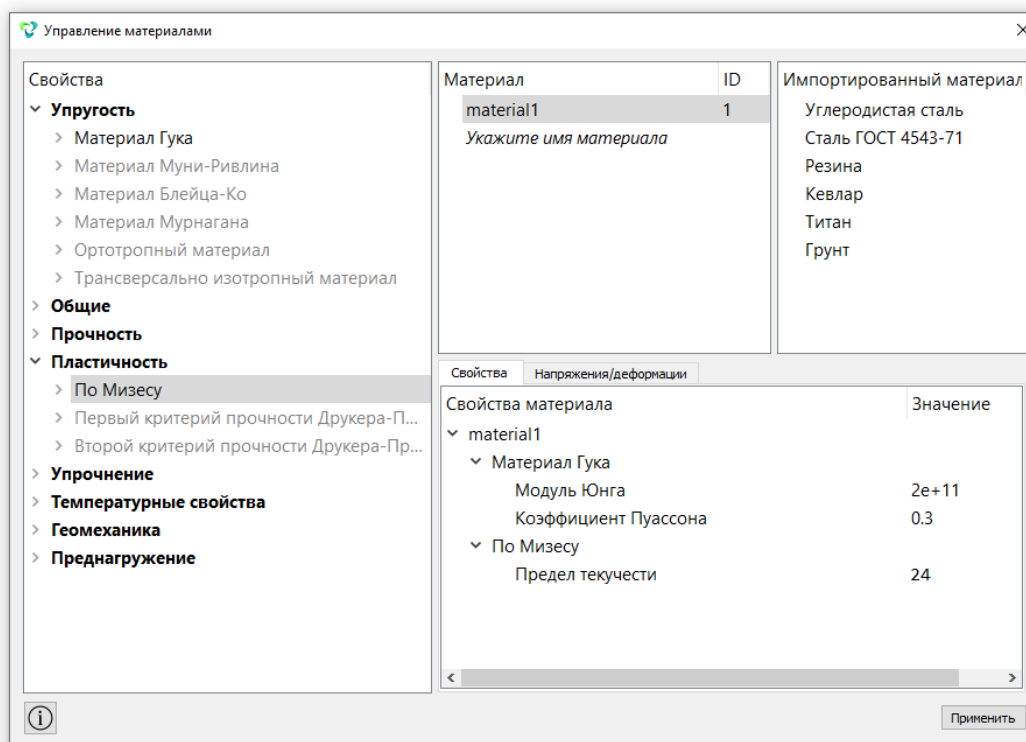


Укажите имя материала. Из левой колонки перетащите надпись Материал Гука в колонку Свойства материала. Заполните поля Значения соответствующим образом:

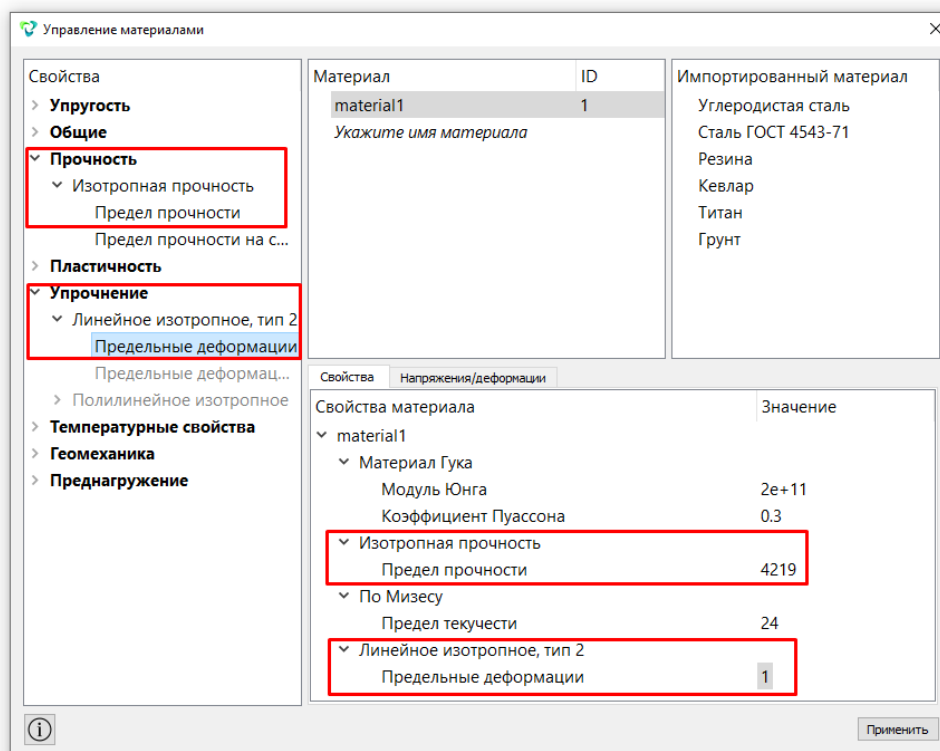




Для того, чтобы добавить в выбранный материал Гука пластичность по Мизесу без упрочнения, добавьте в него упругие свойства, а затем свойство «**Предел текучести**»:



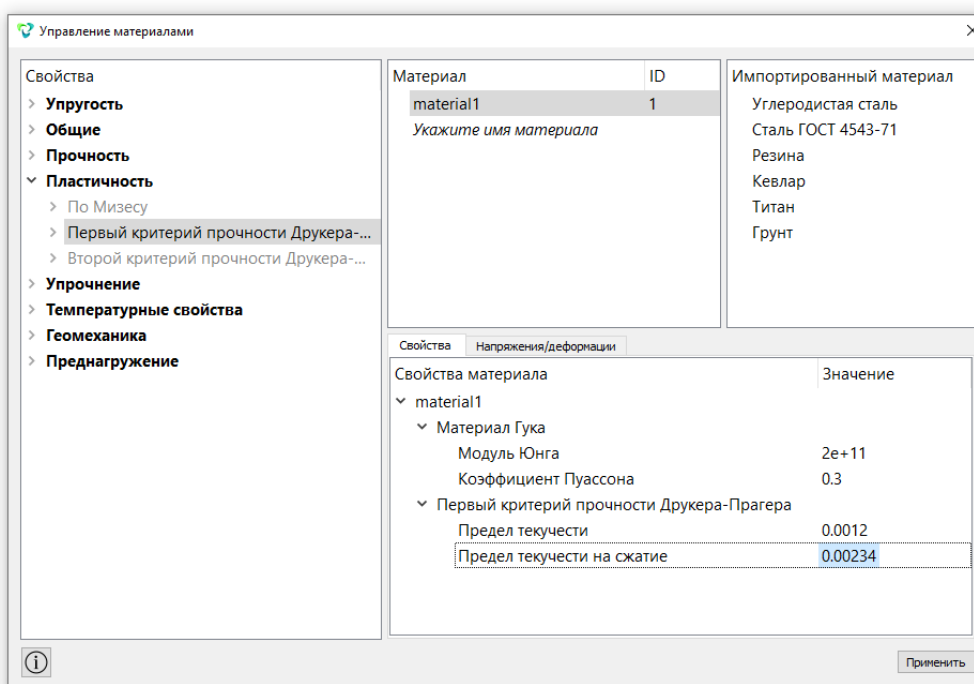
Для получения модели с пластичностью Мизеса с линейным упрочнением, необходимо также ввести предел прочности на растяжение и предельные пластические деформации на растяжение:



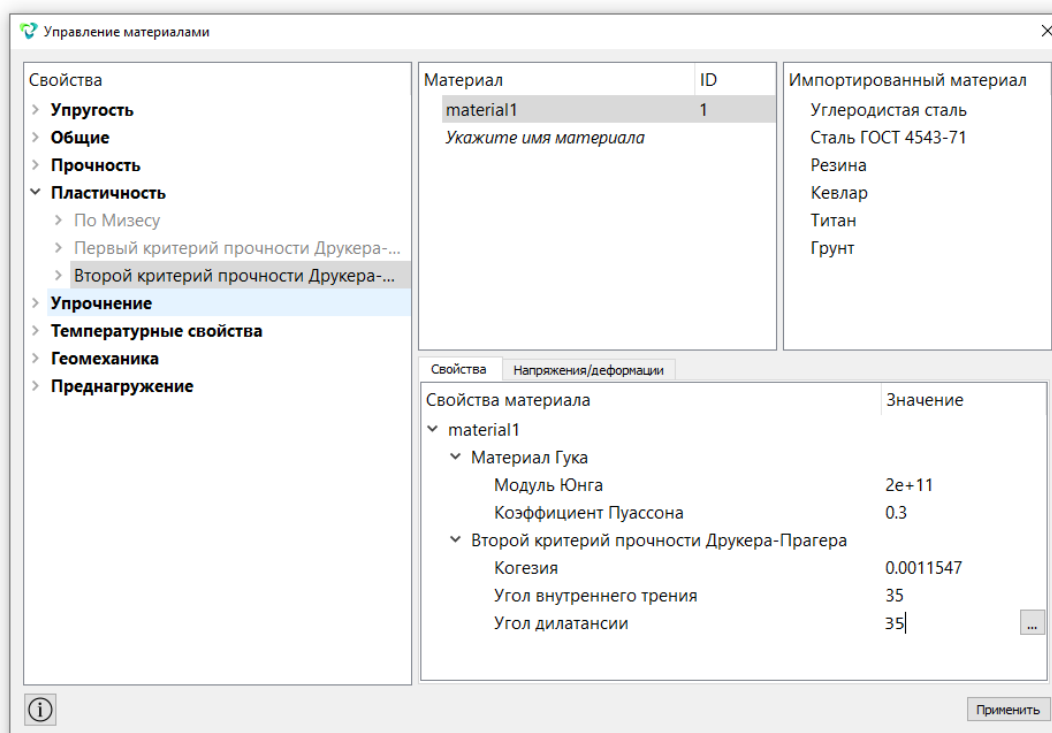
### Критерий пластичности Друкера-Прагера

Для задания пластической модели Друкера-Прагера без упрочнения в программном комплексе **CAE Fidesys** существуют два способа – «**Первый критерий прочности Друкера-Прагера**», «**Второй критерий прочности Друкера-Прагера**», которые становятся доступны в виджете «Управление материалами» после задания упругих констант.

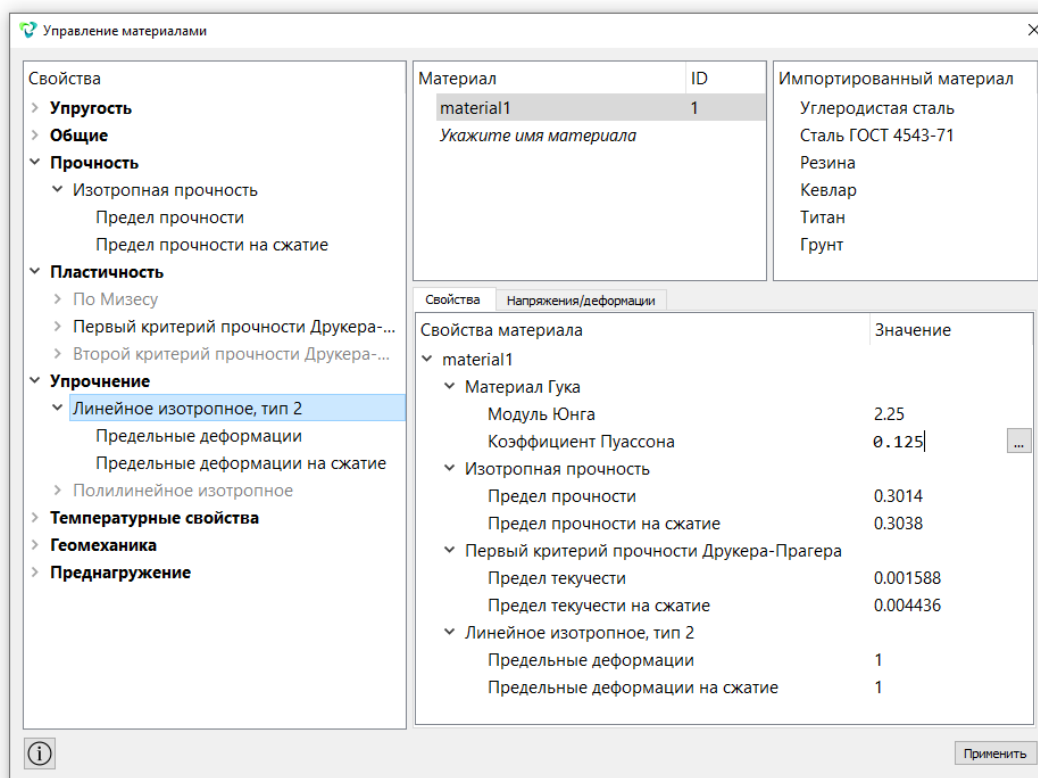
«**Первый критерий прочности Друкера-Прагера**» предполагает задание свойств материала «**Предел текучести**», «**Предел текучести на сжатие**»:



Для использования «Второго критерия прочности Друкера-Прагера» необходимо ввести свойства материала «Когезия», «Угол внутреннего трения», «Угол дилатансии»:



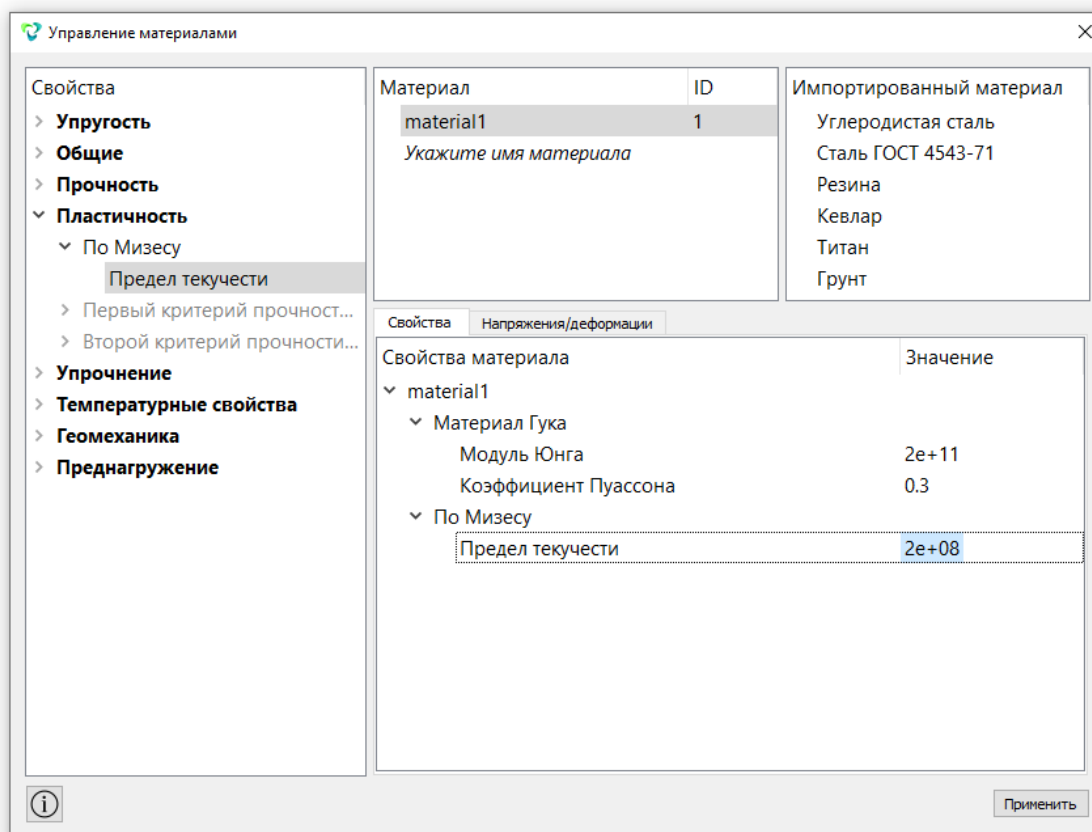
Чтобы получить модель пластичности Друкера-Прагера с упрочнением, задайте также пределы прочности и предельные деформации на растяжение и на сжатие (доступно как для первого, так и для второго критерия пластичности по Друкеру-Прагеру):



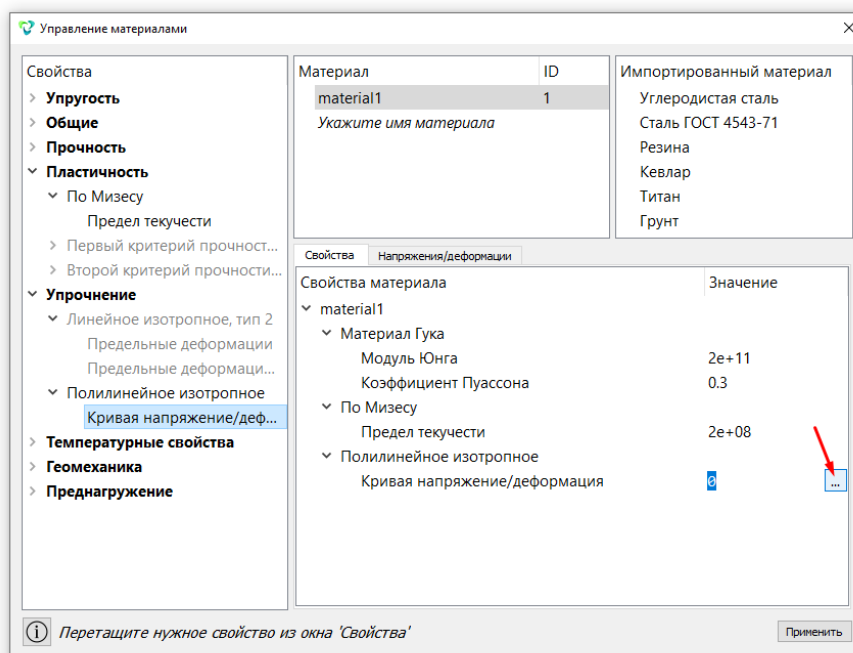
## Полилинейное упрочнение

Также с пластичностью Мизеса в **CAE Fidesys** доступен более общий вид упрочнения - полилинейное упрочнение, для задания которого необходимо заполнить таблицу-свойство материала «**Кривая сигма/эпсилон**» (в таблице задаются пары значений из опыта на одноосное растяжение «пластическая компонента деформаций  $\varepsilon_{11}$ » - «истинное напряжение  $\sigma_{11}$ »):

Для задания полилинейного упрочнения необходимо создать материал и задать упругие свойства. Из раздела Пластичность → По Мизесу добавьте в свойства вашего материала предел текучести и задайте величину.



Из раздела Упрочнение-> Полилинейное упрочнение добавьте кривую напряжение/деформация.



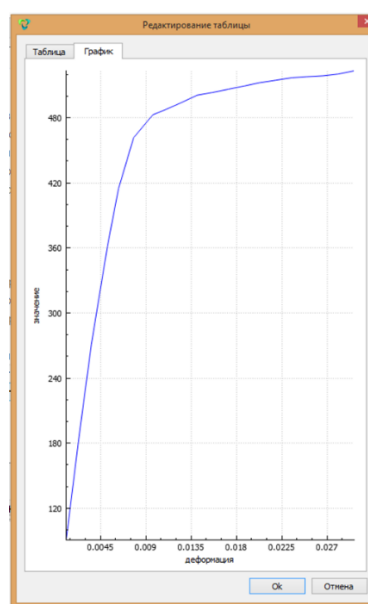
По умолчанию значение равно 0, поэтому необходимо вручную задать величины напряжений  $\sigma$  и деформаций  $\epsilon$  с экспериментальной кривой выбранного материала. (Под экспериментальной кривой подразумевается одноосное растяжение образца из выбранного материала). Дважды кликните левой клавишей мыши на значение «0» и далее кликните на многоточие, появившееся рядом с «0».

В окне Редактирование таблицы во вкладке Таблица необходимо ввести данные в табличном виде. Во вкладке График после заполнения таблицы будет отображаться кривая  $\sigma$ - $\epsilon$ .

Необходимо установить флаг Пластическая деформация на панели справа и добавить строки в таблицу при помощи кнопки Добавить строку. На примере экспериментальной кривой заполните таблицу. В столбец Деформация необходимо добавить значения относительной деформации, в столбец Значение необходимо добавить значения напряжений.

Далее откройте вкладку «График» и проанализируйте получившуюся кривую  $\sigma$ - $\epsilon$ .

Деформация	Значение
0.0011	90.8
0.0023	180.6
0.0036	271.1
0.0052	361.7
0.0063	414.8
0.0078	461.7
0.0097	482.7
0.011	487.7
0.0125	493.8
0.0141	500.8
0.0156	503.3
0.0172	506.3
0.0188	509.3
0.0203	512.3
0.0219	514.6
0.0235	516.9
0.025	517.9
0.0266	518.7
0.0281	520.3
0.0297	523.3



Нажмите Ok в окне Управления материалами. В результате задан материал с полилинейным упрочнением.



## Типы элементов

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

- Объемные элементы (3D);
- Плоские элементы (2D).

## Особенности настроек решателя

- Точность вычислений не может быть больше 0.1. В случае установки пользователем точность грубее, чем 0.1, в оценке сходимости будет участвовать число 0.1.
- В случае возникновения проблем со сходимостью в соответствии с требованием метода бисекции необходимо увеличить максимальное количество подшагов нагружения и максимальное число итераций.

## Работа с блоками

Блок должен содержать тип элемента, ID геометрической модели и название материала. Рекомендуется создавать несколько блоков, если в расчете используются несколько материалов или несколько типов геометрических сущностей.

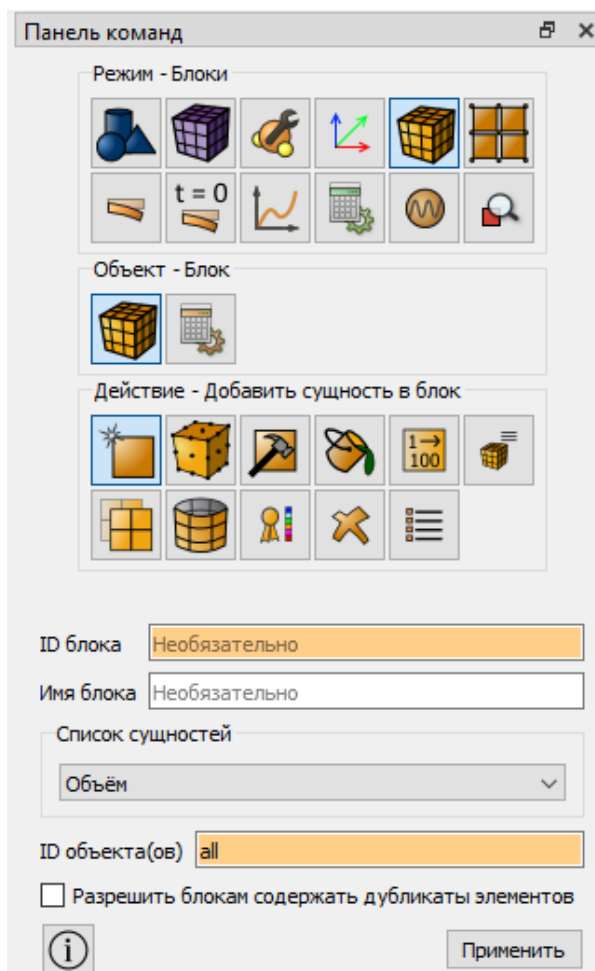
Например, если конструкция содержит твердотельные и оболочечные элементы, необходимо создать блок для каждого типа элементов. Если конструкция состоит из балок с разным типом сечений, то для каждого типа сечения необходимо создать свой блок.

Последовательность работы с блоками можно схематично представить следующим образом:

- создать блок с указанием ID геометрического объекта;
- присвоить свойства блоку (материал, тип элемента, порядок элемента).

Рассмотрим эти пункты подробнее.

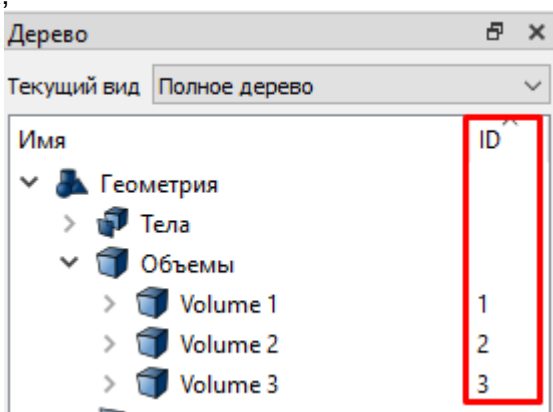
1. Чтобы создать новый блок, перейдите в Режим – **Блоки**, Объект – **Блок**, Действие – **Управление**. На панели ниже выберите Действие – **Добавить сущность в блок**, выберите тип геометрических объектов, которые войдут в блок.



Нажмите **Применить**.

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

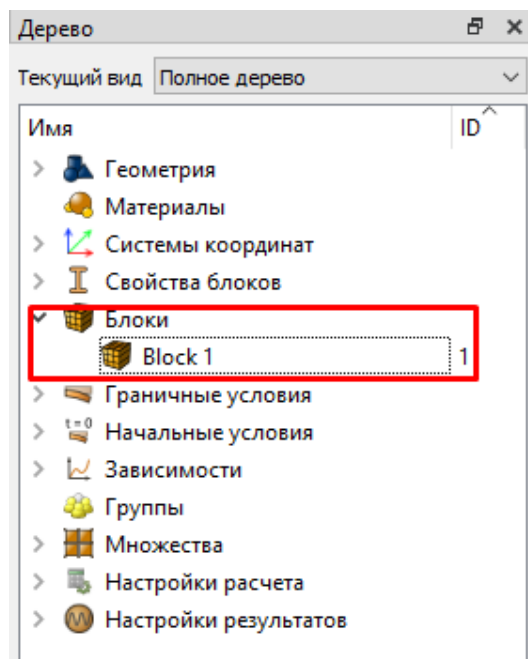
- в дереве объектов слева;



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

Поле ID блока необходимо указать порядковый номер.

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



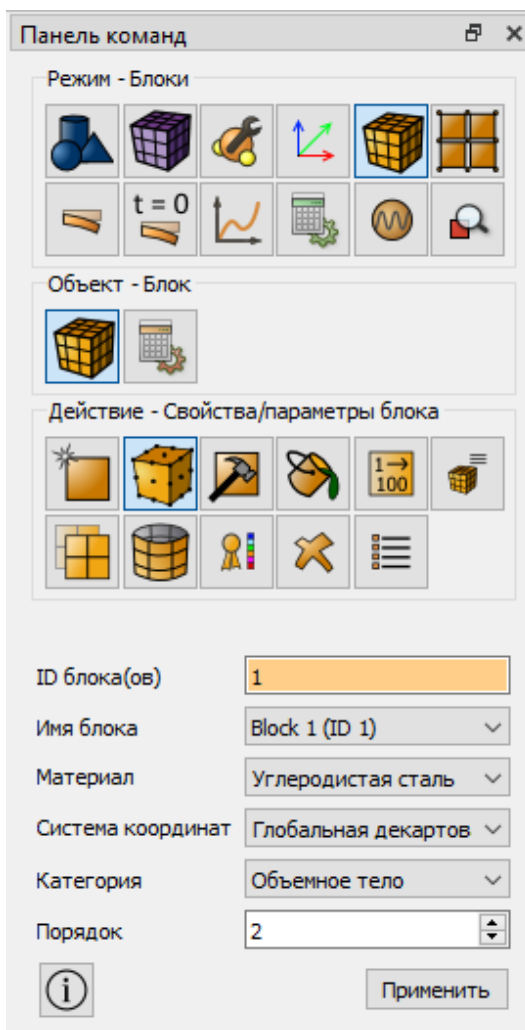
Чтобы посмотреть список геометрических объектов, которые вошли в блок, в командной строке введите

List block 1

В консоли вы увидите список объектов, вошедших в блок.

2. Чтобы задать свойства блоку, выберите **Блок – Свойства\параметры блока**.





Укажите:

- ID блока (можно ввести вручную, либо щелкнуть мышью по соответствующему геометрическому объекту)
- Имя блока (указывается автоматически при вводе ID блока)
- Доступный материал выбирается из выпадающего списка
- Систему координат
- Категорию
- Порядок элемента

Нажмите **Применить**.

**Важно:** Можно выбрать блок, используя его имя в выпадающем списке. Тогда ID блока определится автоматически.

В поле Категория выберете пункт, который соответствует сущности, добавленной в блок. Укажите порядок элемента. При этом порядок можно выбрать с 1 по 9.

**Важно:** Порядок 2 соответствует выбору элемента второго порядка, где добавляются промежуточные узлы на гранях. Порядок элемента 3 и далее означает, что расчет будет проводиться методом спектральных элементов соответствующего порядка.

Доступны следующие категории для соответствующих типов элементов:

- **Точечная масса:** LUMPMASS.

- **Пружина:** SPRING.
- **Балка:** BEAM.
- **Оболочка:** SHELL.
- **Плоскость (2D):** PLANE.
- **Объемное тело:** SOLID.

Если для блока тип элементов не назначен, программа выбирает его по умолчанию на основании типа геометрического объекта, содержащегося в блоке. При этом используются следующие правила:

- В объемах генерируются сетки из элементов SOLID.
- На поверхностях генерируются сетки из элементов SHELL или PLANE.
- На кривых генерируются сетки из элементов BEAM или SPRING.
- Вершинам соответствуют одноузловые элементы LUMPMASS.

Узлы, соответствующие более высокому порядку аппроксимации, располагаются в соответствии с искривленной геометрией по умолчанию. Для изменения этого правила можно использовать команду:

#### **set node constraint [ON | off | smart]**

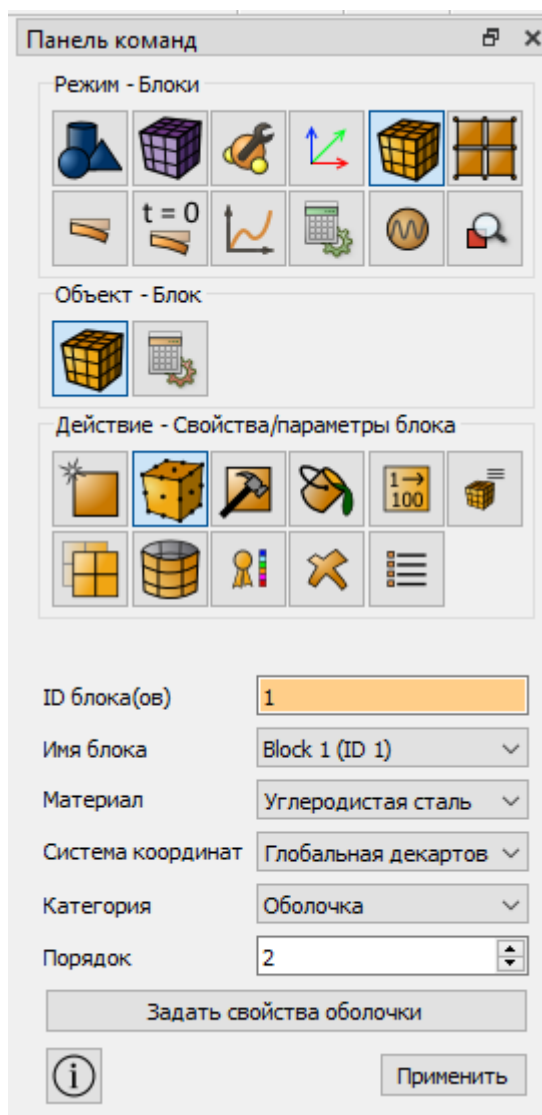
Настройка **off** соответствует расположению узлов более высокого порядка без учета искривленной геометрии; они занимают средние позиции между угловыми узлами элементов: на серединах прямолинейных ребер, в центрах плоских граней и т.п. Настройка **smart** обеспечивает учет искривления только в том случае, когда это не ухудшает качество элементов.

В зависимости от выбранной категории элемента ниже может появиться специальная кнопка для задания конкретных свойств [балок](#), [оболочек](#), [пружин](#) или [точечных масс](#). При нажатии на кнопку должно появиться новое окно с полями для ввода свойств указанных элементов.

## **Задание свойств оболочек**

**CAE Fidesys** поддерживает оболочечные элементы SHELL.

Чтобы задать свойства оболочек – толщину и коэффициент лобта – перейдите в Режим – **Блоки**, Действие – **Свойства\параметры блока**. Выберите категорию элементов Оболочка. Ниже появится кнопка Задать свойства оболочки, нажав на которую откроется окно для задания свойств.



В появившемся окне укажите:

- Толщину оболочки (если оболочка однослойная)
- Материал (доступный из выпадающего списка)
- Угол
- Систему координат
- Эксцентриситет

**Важно:** Эксцентриситет для оболочечного элемента изменяется от 0 до 1 и определяет расстояние между поверхностью оболочки, рассматриваемой в рамках геометрической или сеточной модели, и срединной поверхностью оболочки (фактически, смещение по толщине срединной поверхности относительно верхней поверхности оболочки в долях). По умолчанию эксцентриситет установлен 0.5.





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

Для задания многослойной оболочки добавьте в таблицу еще одну строку и заполните так, как требует условие задачи.

Задать свойства оболочки ✕


	Толщина	Материал	Угол	Система координат
2	0.1	Углеродистая сталь	0	Глобальная декартова
1	0.1	Углеродистая сталь	0	Глобальная декартова

Очистить  

Толщина

Эксцентриситет

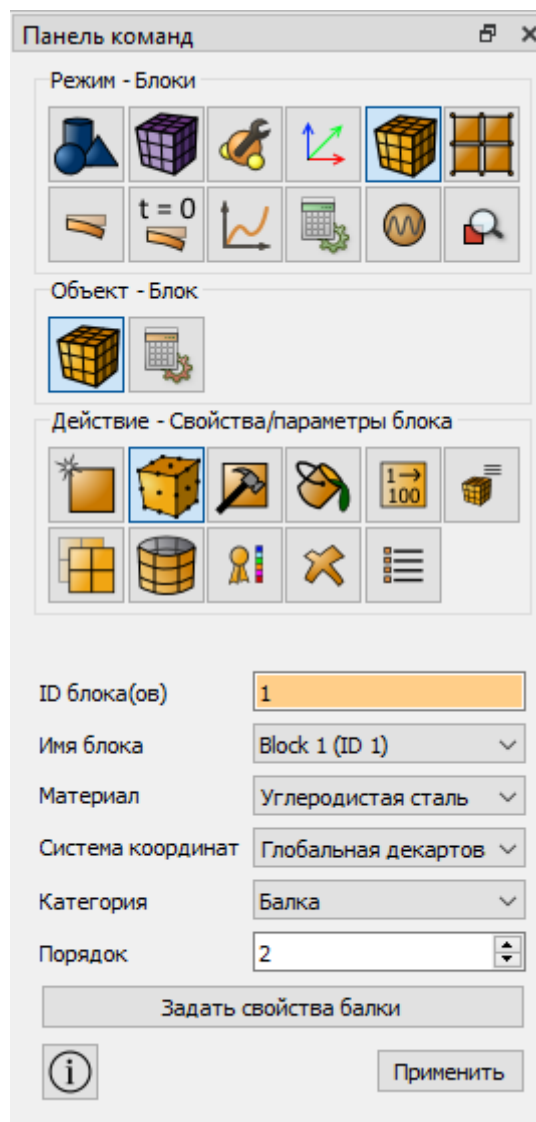
Инvertировать направление слоев

 Применить

## Задание свойств балок

**CAE Fidesys** поддерживает балочные элементы BEAM.

Чтобы задать свойства оболочек – толщину и коэффициент лофта – перейдите в Режим – **Блоки**, Действие – **Свойства\параметры блока**. Выберите категорию элементов Балка. Ниже появится кнопка Задать свойства балки, нажав на которую откроется окно для задания свойств.



На появившемся окне укажите:

- угол поворота система координат;
- качество сетки сечения;
- профиль сечения и соответствующие размеры к нему.

Нажмите **Применить**.

Задать свойства балки

Угол поворота системы координат: 0.0

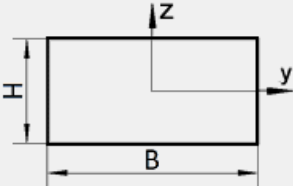
Рассчитать относительно: Центр масс

Качество сетки сечения:

Грубо  Точно

С учётом деформации

Профиль сечения: Прямоугольник



Высота ( $H$ ): 0.1

Ширина ( $B$ ): 0.1

Эксцентриситет по Y: 0.0

Эксцентриситет по Z: 0.0

Вычисленные характеристики:


Момент инерции  $I_y$ : 8.33333e-06

Момент инерции  $I_z$ : 8.33333e-06

Момент инерции  $I_p$ : 1.66667e-05

Момент инерции на кручение: 1.40833e-05

Площадь: 0.01



**CAE Fidesys** поддерживает сечения балок следующих типов:

- прямоугольник;
- эллипс;
- двутавр;
- швеллер;
- уголок;
- тавр;
- Z-сечение;
- полый прямоугольник;
- корытный профиль;
- круг со смещенным отверстием.
- задание сечения с помощью моментов инерции



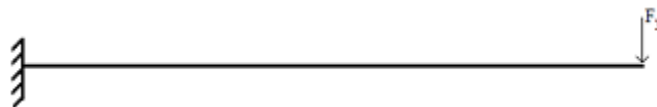
В препроцессоре просмотр сечения балки в 3D-виде возможен при нажатии кнопки Показать 3D-вид балки в стандартной строке.



В постпроцессоре просмотр сечения балки в 3D-виде возможен при нажатии кнопки 3D-вид в стандартной строке после выполнения расчета.

### Касательные напряжения при изгибе балки с квадратным сечением

Рассматривается задача об изгибе консольной балки квадратного сечения (сторона 0.1 м). Материал балки - сталь. Один конец балки закреплен, на другой действует сила  $F_y=1000$  Н.



В упрощенном случае максимальное касательное напряжение  $\sigma_{xz\_max}$  возникает на горизонтальной оси симметрии сечения, постоянно вдоль ребра, и равно результату элементарной теории

$$\sigma_{xz\_max} = \frac{3P}{2A}$$

$$\sigma_{xz\_max} = \frac{3 \cdot 1000}{2 \cdot 0.01} = 1.5 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

В этом случае при выводе формул коэффициент Пуассона полагается равным нулю. Строго говоря, это не так, и учет коэффициента Пуассона вносит существенные поправки в решение.

В Теории упругости (Тимошенко С. П., Гудьер Дж) [1] рассматривается решение задачи с коэффициентом Пуассона 0.25

В этом случае максимальное касательное напряжение  $\sigma_{xz\_max}$  возникает на горизонтальной оси симметрии сечения и изменяется вдоль ребра в соответствии с параболическим законом. Максимальное значение равно произведению результата элементарной теории  $3P/(2A)$  на коэффициент, зависящий от соотношения сторон прямоугольного сечения ( $b/a$ ). В данном случае, это соотношение равно 1.

Точки	$\frac{a}{b} =$	2	1	1/2	1/4
$x=0$	Точное значение	1,033	1,126	1,396	1,988
$y=0$	Приближенное значение	1,040	1,143	1,426	1,934

Итоговое значение напряжений:

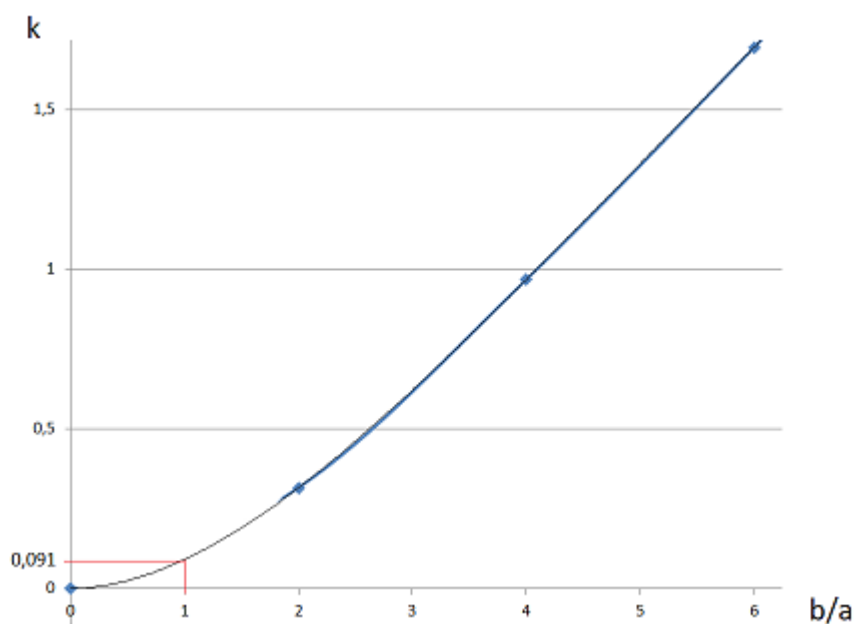
$$\sigma_{xz\_max} = k \frac{3P}{2A}$$

$$\sigma_{xz\_max} = 1.126 \cdot 1.5 \cdot 10^5 = 1.689 \cdot 10^5$$

Касательные напряжения  $\sigma_{yz\_max}$  определяются аналогично напряжениям  $\sigma_{xz\_max}$  - произведением результата элементарной теории на коэффициент, полученный из таблицы 9 (стр 370)[1] для случая ( $b/a$ )=1.

$\frac{b}{a}$	$\frac{(\tau_{xz})_{x=0, y=b}}{3P/2A}$	$\frac{(\tau_{yz})_{x=a, y=\eta}}{3P/2A}$	$\frac{b-\eta}{2a}$	$\frac{b}{a}$	$\frac{(\tau_{xz})_{x=0, y=b}}{3P/2A}$	$\frac{(\tau_{yz})_{x=a, y=\eta}}{3P/2A}$	$\frac{b-\eta}{2a}$
0	1,000	0,000	0,000	10	3,770	3,226	0,810
2	1,39(4)	0,31(6)	0,31(4)	15	5,255	5,202	0,939
4	1,988	0,968	0,522	20	6,740	7,209	1,030
6	2,582	1,695	0,649	25	8,225	9,233	1,102
8	3,176	2,452	0,739	50	15,650	19,466	1,322

Для получения этого значения проведено полиномиальное аппроксимирование значений из таблицы.



Таким образом, получено значение  $k=0.091$ , соответствующее соотношению  $(b/a)=1$ . Итоговое значение напряжение  $\sigma_{yz\_max}$

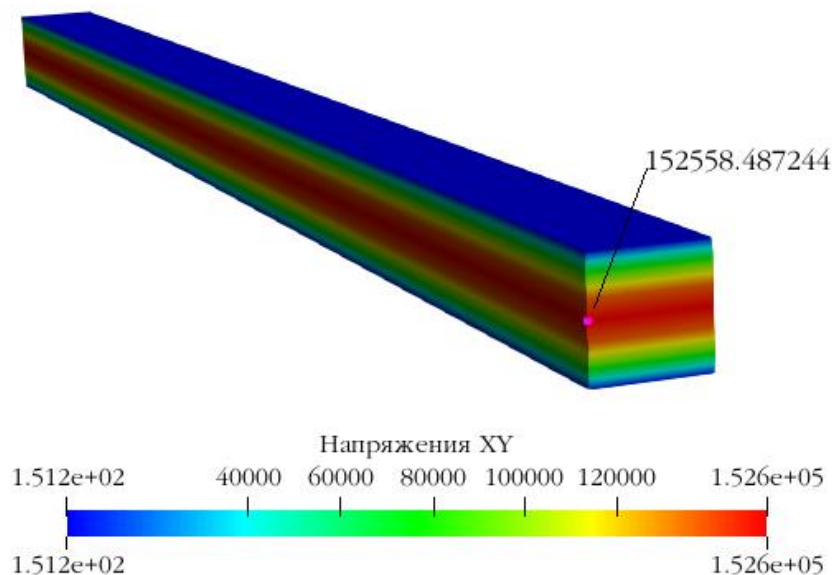
$$\sigma_{yz\_max} = 0.091 \frac{3P}{2A}$$

$$\sigma_{xz\_max} = 0.091 \cdot 1.5 \cdot 10^5 = 1.365 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

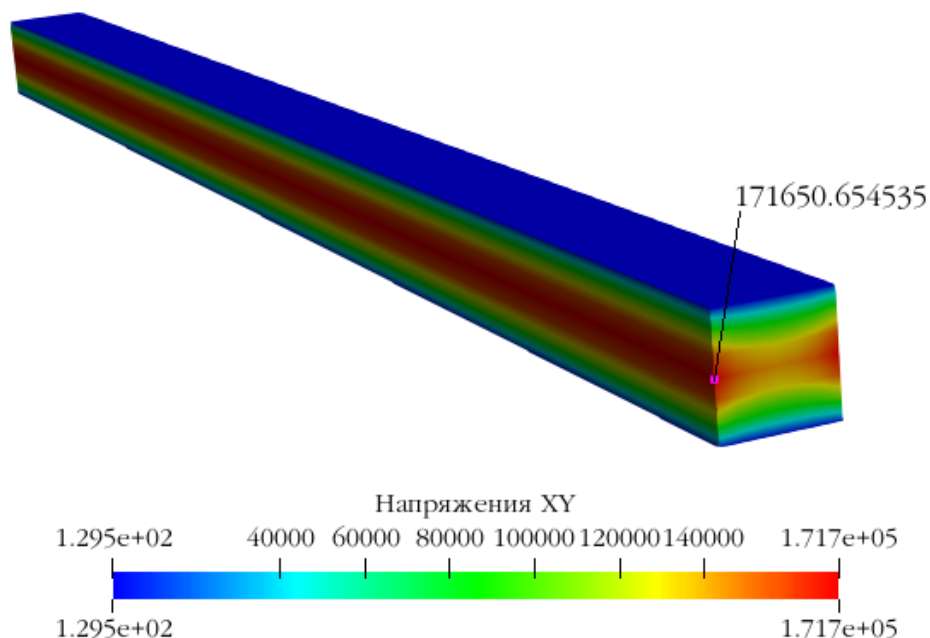
Приведем ниже результаты вычислений CAE Fidesys при помощи балочных элементов второго порядка beam3.

Решение для нулевого коэффициента Пуассона





Решение для коэффициента Пуассона 0.25



В последнем случае разница в решении составляет 1.6%, что является допустимой погрешностью.

Таким образом, балочная теория, реализованная в CAE Fidesys, учитывает влияние коэффициента Пуассона, что позволяет получать более точные решения для касательных напряжений.

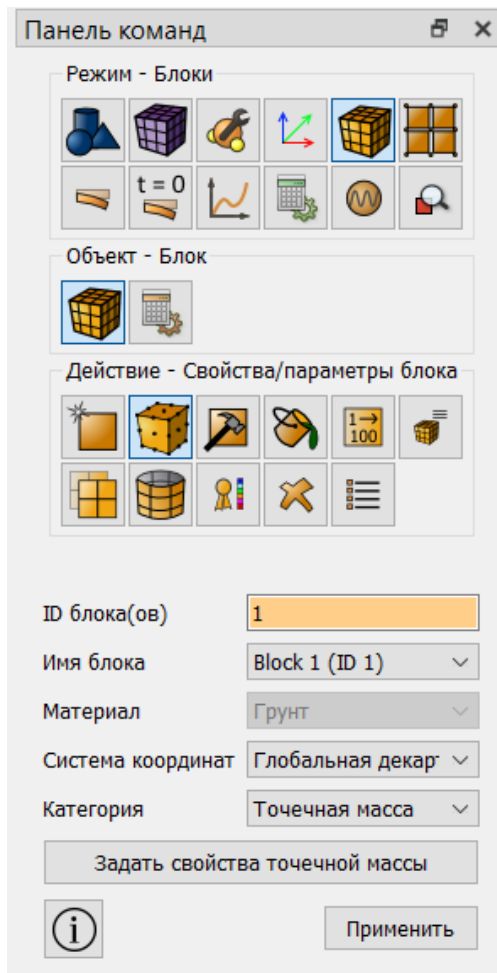
#### Список литературы:

[1] Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости: Пер. с англ./Под ред. Г. С. Шапиро.— 2-е изд.— М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979, 560 с. (364-370)

## Задание свойств точечной массы

CAE Fidesys поддерживает точечные массы LUMPMASS.

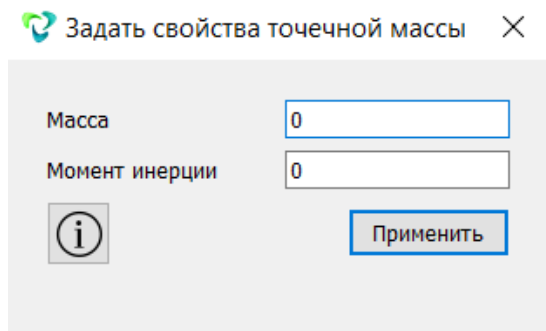
Чтобы задать свойства точечной массы, перейдите в Режим – **Блоки**, Действие – **Свойства\параметры блока**. Выберите категорию элементов Точечная массы. Ниже появится кнопка Задать свойства точечной массы, нажав на которую откроется окно для задания свойств.



На появившемся окне укажите:

- Массу;
- Момент инерции.

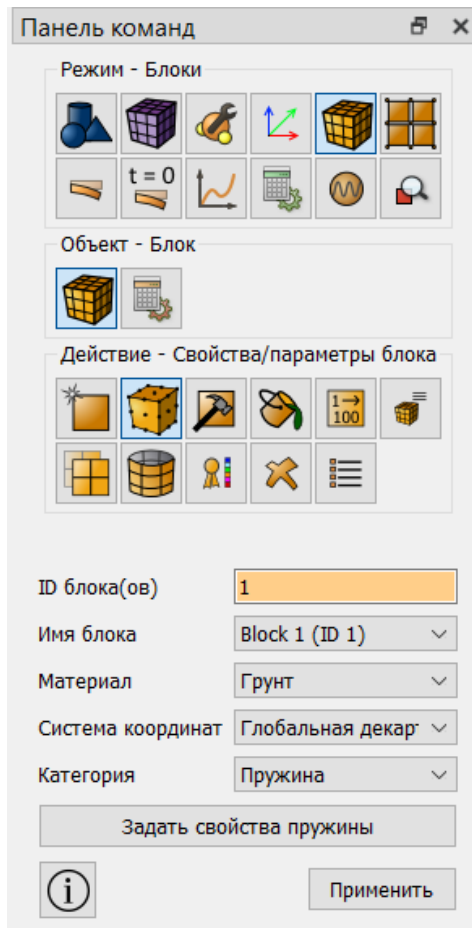
Нажмите **Применить**.



## Задание свойств пружины

CAE Fidesys поддерживает пружины SPRING.

Чтобы задать свойства точечной массы, перейдите в Режим – **Блоки**, Действие – **Свойства\параметры блока**. Выберите категорию элементов Пружина. Ниже появится кнопка Задать свойства пружины, нажав на которую откроется окно для задания свойств.



На появившемся окне укажите:

- Тип пружины;
- Значения, соответствующие типу пружины.



Нажмите **Применить**.

Задать свойства пружины ×

Тип пружины:

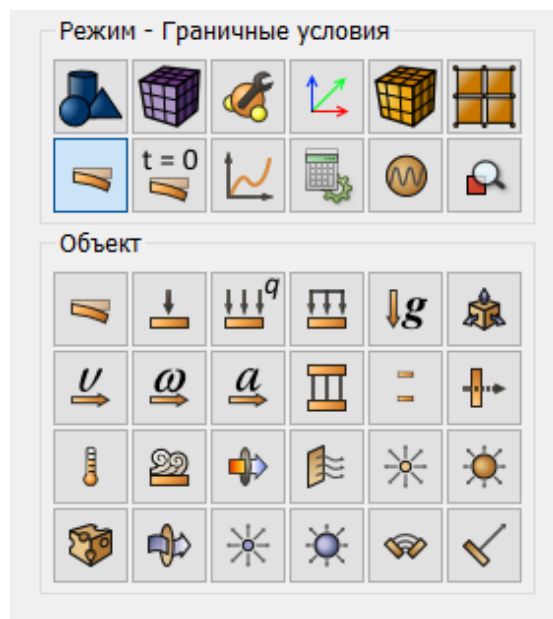
Жёсткость на растяжение	<input type="text" value="0"/>
Жёсткость на кручение	<input type="text" value="0"/>
Коэффициент постоянного демпфирования	<input type="text" value="0"/>
Линейный коэффициент демпфирования	<input type="text" value="0"/>
Масса	<input type="text" value="0"/>

## Задание граничных условий

### Типы граничных условий

CAE Fidesys поддерживает граничные условия следующих типов:

- точечная сила
- давление
- перемещение
- распределенная сила
- гравитация
- напряжение
- ускорение
- скорость
- угловая скорость
- связи
- контакт
- неотражающее ГУ
- тепловой поток
- конвекция
- температура
- поровое давление
- связь по направлению
- периодические граничные условия
- излучение (для температурных задач или для задач теплопроводности);
- источник тепла;
- объемный источник тепла;
- поток жидкости;
- объемный источник жидкости;
- источник жидкости.



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**.

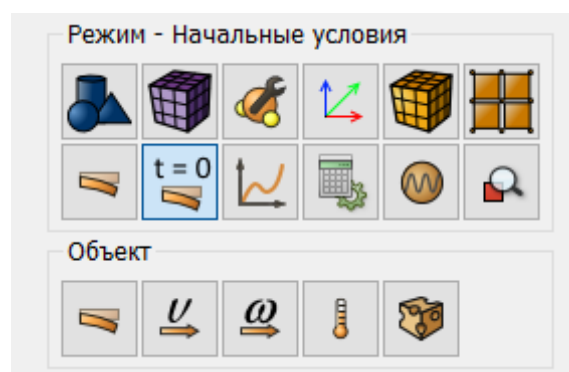
С помощью функционала, доступного через панель команд, можно также просмотреть список заданных граничных условий, изменить и удалить заданное ранее граничное условие.

## Задание начальных условий

### Типы начальных условий

CAE Fidesys поддерживает начальные условия следующих типов:

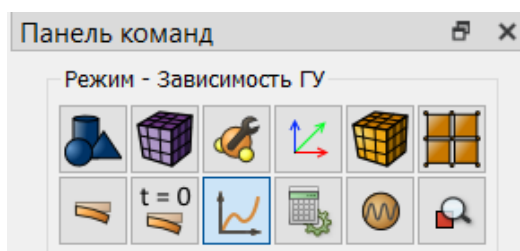
- перемещение;
- скорость;
- угловая скорость;
- температура;
- поровое давление;
- начальное напряжение (задается в Управлении материалами).



## 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.

Зависимость ГУ

Тип ГУ	Имя ГУ	ID
Перемещение		1
Перемещение		2
Перемещение		3
Давление		1

Формула Таблица График

Вручную

$-100 * \sin(x)$

Очистить + - \* / ^

sin cos tan sqrt if(A,B,C) ( )

asin acos atan exp log log10

sinh cosh tanh abs ceil floor

Доступные переменные: t (время), x (x-координата), y (y-координата), z (z-координата), T (температура), w (частота)

Применить

Стандартные формулы для зависимости от времени:

Зависимость ГУ

Тип ГУ	Имя ГУ	ID
Перемещение		1
Перемещение		2
Перемещение		3
Давление		1

Формула Таблица График

Вручную

Вручную

Экспонента

Рикер

Берлаге

Гармоническая

Дельта

+ - \* / ^

cos tan sqrt if(A,B,C) ( )

asin acos atan exp log log10

sinh cosh tanh abs ceil floor

Доступные переменные: t (время), x (x-координата), y (y-координата), z (z-координата), T (температура), w (частота)

Применить

Зависимость ГУ

Тип ГУ	Имя ГУ	ID
	Перемещение	1
	Перемещение	2
	Перемещение	3
	Давление	1

Формула    Таблица    График

X	Значение
-0.5	47.9426
-0.484848	46.6074
-0.469697	45.2616
-0.454545	43.9054
-0.439394	42.5391
-0.424242	41.163
-0.409091	39.7775
-0.393939	38.3829
-0.378788	36.9795
-0.363636	35.5675
-0.348485	34.1474
-0.323232	33.5442

Время  
 X  
 Y  
 Z  
 Температура  
 Частота  
 Узел  
 Элемент

Импорт...  
Экспорт...  
Очистить

Применить

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

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

Зависимость ГУ

Тип ГУ	Имя ГУ	ID
	Перемещение	1
	Перемещение	2
	Перемещение	3
	Давление	1

Формула    Таблица    График

давление

X

Задать диапазон

Применить

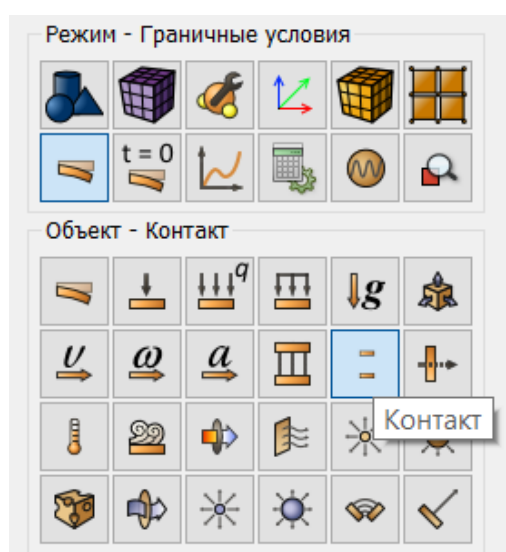


## Задание контактного взаимодействия

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.

### Создание контакта

Для задания областей контакта выберете модуль задания Kontakta (Режим — Граничные условия, Объект — Контакт)



В **CAE Fidesys** 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.

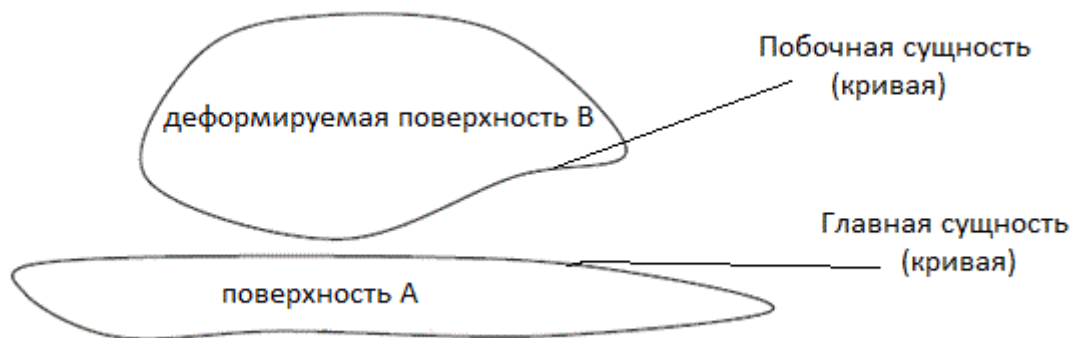
Укажите, какая из сущностей будет Главной (master), а какая – Побочной (slave).

При этом следует отметить, что Главная сущность моделируется поверхностями, а Побочная – узлами.

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

Рекомендации по выбору Главной и Побочной сущностей:

- Если одна поверхность (A) является плоской или вогнутой, а другая поверхность (B) является острым ребром или выпуклостью, то поверхность A должна быть Главной (master).
- Если обе контактирующие поверхности выпуклые, то главной (master) поверхностью принимается менее выпуклая.
- Если обе поверхности являются плоскими, выбор Побочной и Главной сущности произволен.
- Если одна контактная поверхность имеет острое ребро, а другая не имеет его, то первая принимается побочной (slave) поверхностью.
- Если одно из контактирующих тел абсолютно жесткое, то его поверхность принимается главной (master).
- В некоторых случаях полезно создавать симметричный контакт. При этом каждая поверхность определяется и как главная, и как побочная. Так можно моделировать, например, контакт двух областей, имеющих острые рёбра или рифленые (волнообразные) поверхности

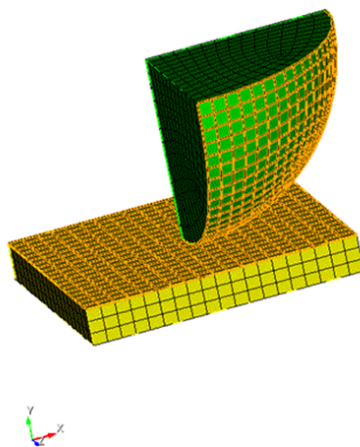
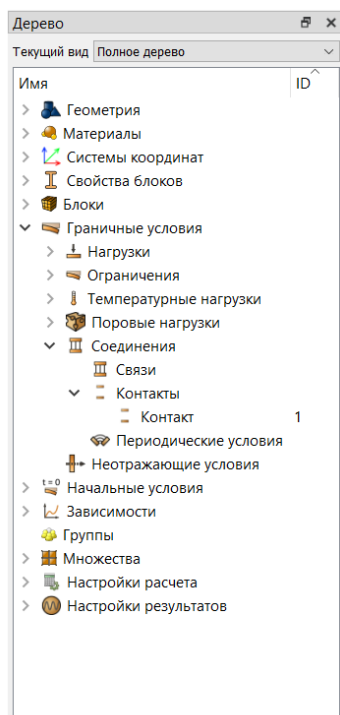


## Автовывбор контакта

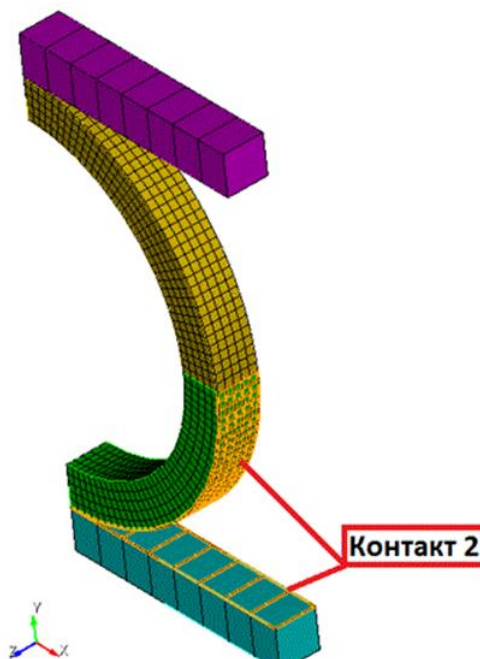
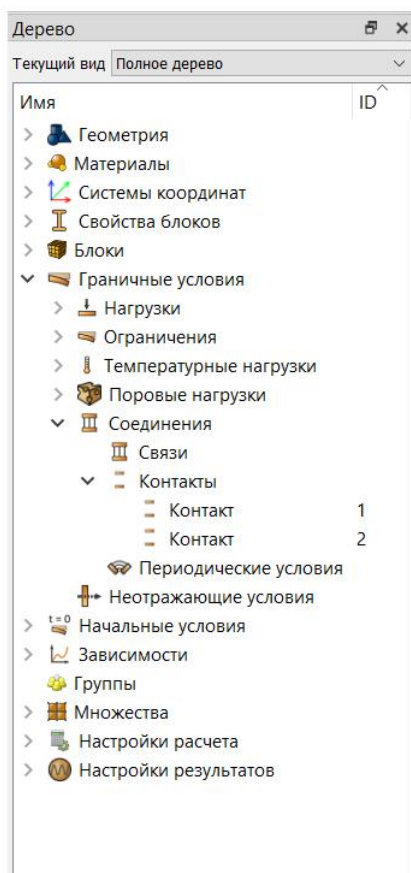
В **CAE Fidesys** реализовано автоматическое задание контакта. Для этого необходимо в выпадающем списке указать Автовывбор и на панели Геометрия сущности выбрать соответствующий объект.

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


Точность - это расстояние между телами, при котором начинается контактное взаимодействие (в абсолютных величинах). Можно рассматривать, как размер жесткой вставки между контактирующими телами. В английском варианте "offset".



Каждой контактной паре присваивается 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 оранжевым цветом.



В **CAE Fidesys** доступны следующие настройки контактной пары:

Точность	<input type="text" value="0.0005"/>
Тип	<input type="text" value="Общий"/>
Коэффициент трения	<input type="text" value="0.0"/>
Преднатяг	<input type="text" value="0.0"/>
Зазор	<input type="text" value="0.0005"/>
<input type="checkbox"/> Игнорировать начальный нахлест	
Метод	<input type="text" value="Автовыбор"/>
<input type="checkbox"/> Задать настройки поиска	
	<input type="button" value="Применить"/>

Для моделирования неразрывной связи выберите тип контакта **Связанный**, тогда Главные и Побочные сущности 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 Главной сущности в Побочную. В этих случаях в контактных элементах возможно появление чрезмерно больших сил реакции, а это может привести к ухудшению сходимости решения и увеличению времени расчета, либо решение нелинейной задачи может разойтись.

Поэтому определение начального контакта представляет собой, возможно, наиболее важный аспект построения модели для контактного анализа.

### **Контактный алгоритм**

В **CAE Fidesys** реализованы следующие контактные алгоритмы:

- Метод штрафов (penalty);
- Многоточечное ограничение (MPC).

При выборе метода Авто, программа в автоматическом режиме выбирает один из перечисленных алгоритмов для решения контактной задачи.

Метод Штрафов *требует* настройки, как для нормальной, так и для касательной жесткости (см. Настройки контактной пары). Основным недостатком 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.

Метод MPC накладывает требования непроникновения и равенства нормальных напряжений, для применения которых используется метод прямого исключения (Direct elimination). Такой подход не требует подбора жесткости и дает решение за одну итерацию (если зона контакта не меняется).

### Типы элементов

Расчетные алгоритмы **CAE Fidesys** 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 **CAE Fidesys** решение контактных задач поддерживается для следующих типов уже существующих конечных элементов:

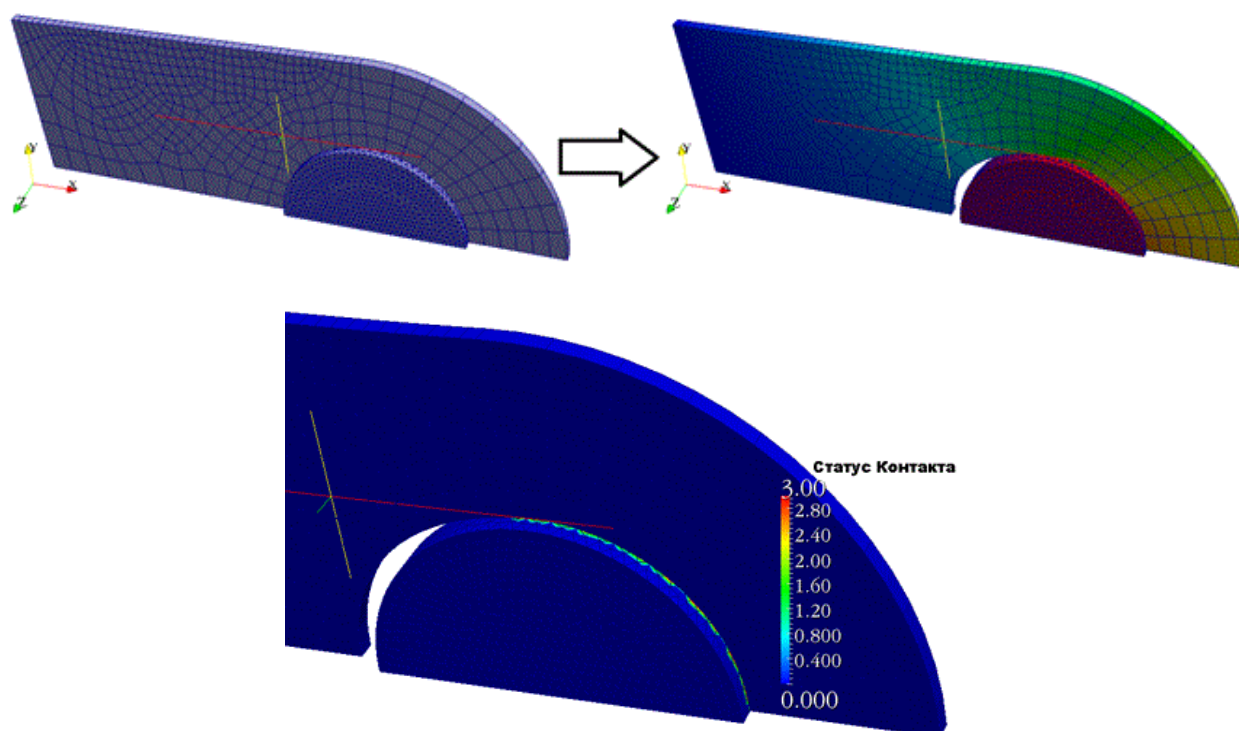
- Объемные элементы (3D);
- Плоские элементы (2D).

### 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).

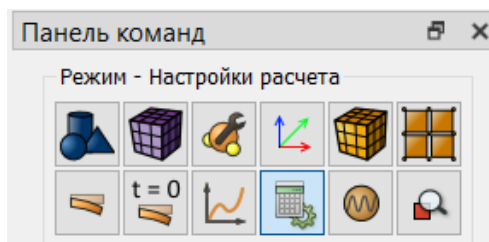
Данное поле имеет одну компоненту, которая может принимать следующие значения:

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



## Запуск расчёта

### Типы анализа



CAE Fidesys включает в себя следующие типы анализа:

- статическое нагружение;
- динамическое нагружение;
- модальный анализ;
- гармонический анализ;
- расчет на устойчивость;
- расчёт эффективных характеристик композитных материалов;
- расчет для Автомеханики;
- топологическая оптимизация.

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 настройки выбранного типа анализа: тип решателя, систему координат, поля вычислений, тип схемы, временные параметры (для динамического анализа) и т.д.
4. Нажмите **Применить**.
5. 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 один из двух методов расчета:

- явный;
- неявный.

## Модели задач

Для расчёта доступны следующие модели задач:

- упругость;
- пластичность;
- геометрическая нелинейность;
- теплопроводность;
- пьезопроводность.

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

Для улучшения сходимости нелинейных задач доступны следующие настройки:

Настройки нелинейного решателя	
Мин. число подшагов нагружения	10
Макс. число подшагов нагружения	30
Макс. число итераций	100
Точность	1e-3
Целевое число итераций	5
<input type="checkbox"/> Линейный поиск	
<input type="checkbox"/> Метод окаймляющих дуг	

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



## Многошаговые расчеты

### Задание шагов для граничных условий


В **CAE Fidesys** возможно задать многошаговое нагружение через табличную зависимость от времени или через явное присвоение шагов.

Табличная зависимость задается в разделе Задание зависимостей от времени или координат, при этом необходимо выставить настройку зависимости от времени. Задание нагрузки в виде

Время	Значение
1	5
2	0

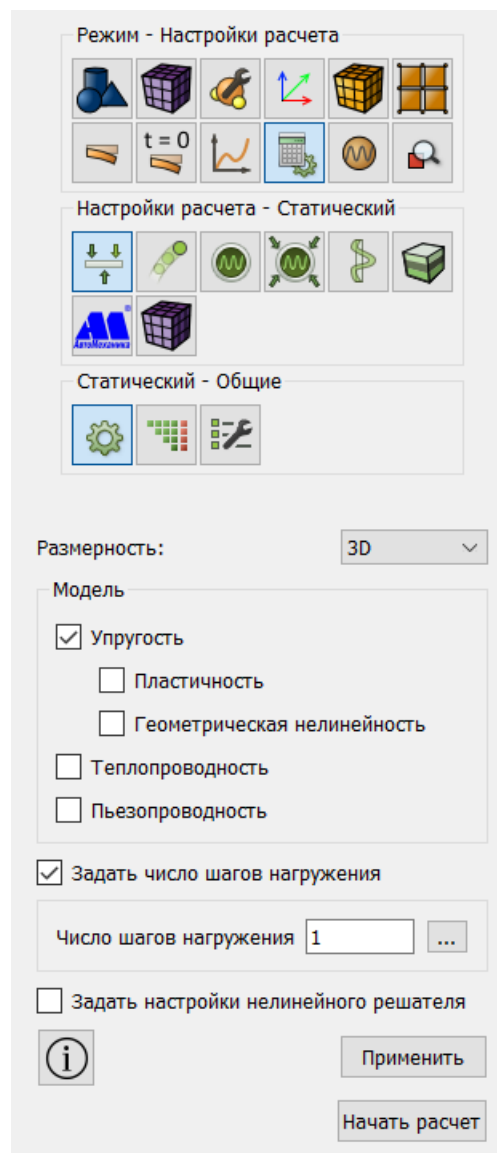
означает линейное убывание значения от 5 до 0.

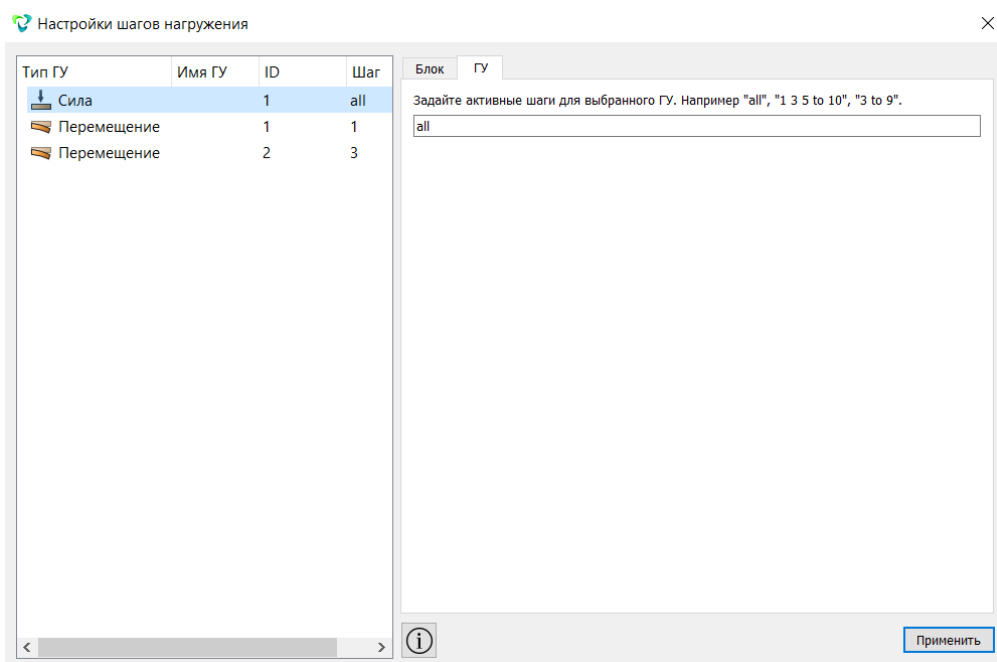
Явное присвоение шагов для граничных условий происходит в окне Настройки шагов нагружения (Режим - Настройки расчета - Статический - Задать число шагов нагружения).

Введите требуемое число шагов расчета. Для открытия окна настроек шагов нагружения нажмите на значок 

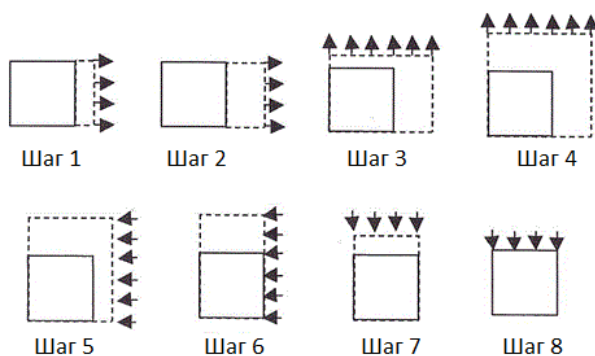
Далее, укажите требуемые настройки:

- Выберите вкладку ГУ
- Кликните в левой колонке по граничному условию, для которого необходимо задать активные шаги расчета.
- Задайте активные шаги расчета для выделенного граничного условия в соответствующем поле.
- Задание активных шагов возможно в следующем формате: "all", "1 2 3 to 5", "1 to 5".
- Нажмите **Применить**.

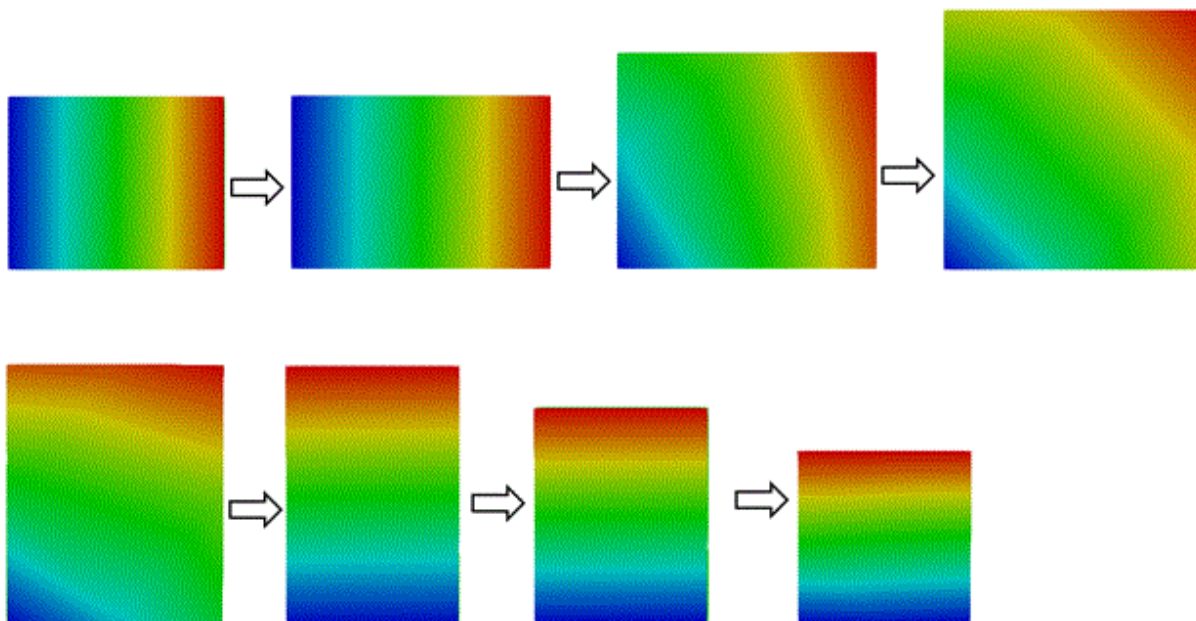




Пример задачи с использованием активных шагов расчета для граничных условий (на каждом шаге добавляется новое перемещение):



[Решение этой же задачи в CAE Fidesys:](#)



## Задание шагов расчета для блоков (объемов)

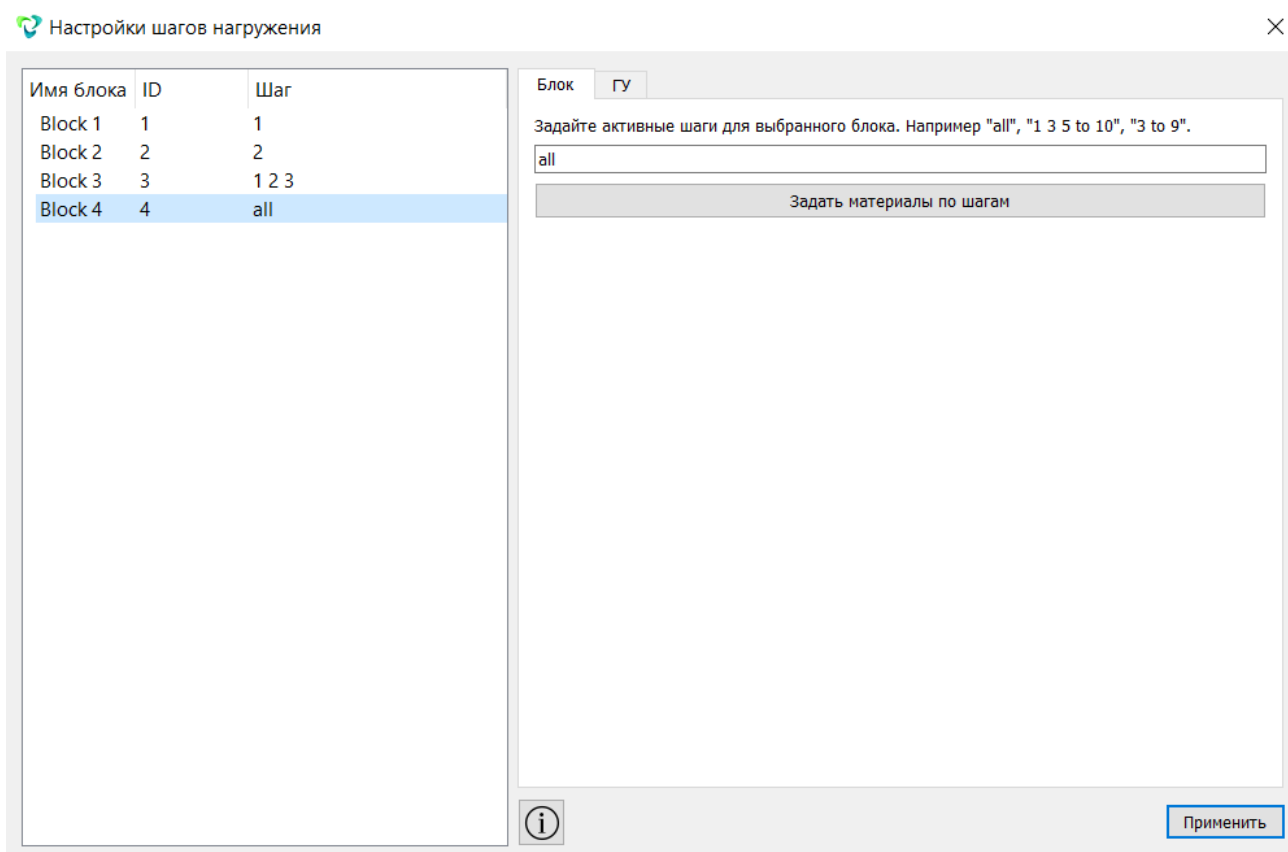
**CAE Fidesys** позволяет добавлять или удалять блоки (объемы/поверхности, состоящие в блоке) на заданных шагах нагружения.

Добавление или исключение блоков в процессе расчета происходит в окне Настройка шагов нагружения (Режим - Настройки расчета - Статический - Задать число шагов нагружения). При этом все операции происходят на основе блоков, поэтому для всех геометрических сущностей должен быть заранее создан блок(и).

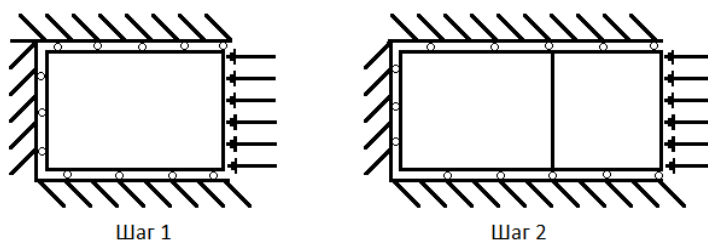
Перейдите в окно Настройки шагов нагружения. На панели общих настроек решателя введите требуемое число шагов расчета и нажмите на значок

Далее, укажите требуемые настройки:

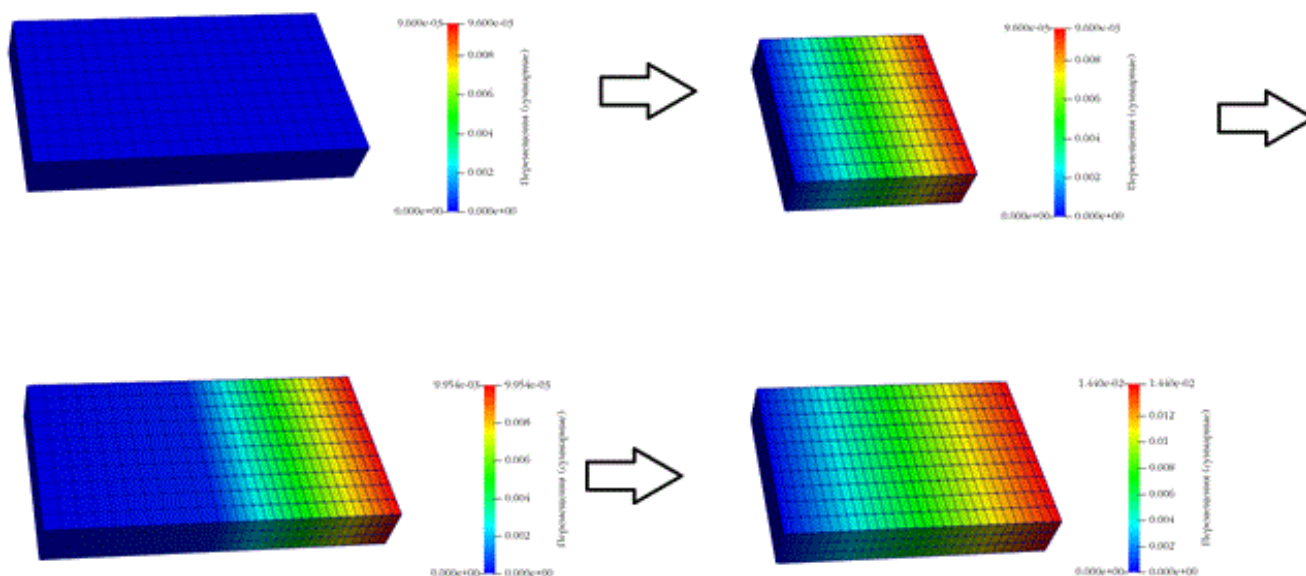
- Выберите вкладку Блоки
- Кликните в левой колонке по блоку.
- Задайте активные шаги расчета для выделенного блока в соответствующем поле.
- Задание активных шагов возможно в следующем формате: "all", "1 2 3 to 5", "1 to 5".
- Нажмите **Применить**.



Пример задачи с использованием активных шагов расчета для граничных условий (на первом шаге модель сжимается, на втором шаге убирается одно из закреплений, к деформированной модели добавляется новый объем, происходит совместное сжатие теперь уже двух объемов):



### Решение этой же задачи в CAE Fidesys:




Подробные примеры приведены ниже в разделе Пошаговое руководство пользователя.

### ***Задание шагов расчета для материалов***

**CAE Fidesys** позволяет присваивать материал блокам на шагах нагружения.

Присваивание материалов блокам в процессе расчета происходит в окне Настройка шагов нагружения (Режим - Настройки расчета - Статический - Задать число шагов нагружения – Задать материалы по шагам). При этом все операции происходят на основе блоков, поэтому для всех геометрических сущностей должен быть заранее создан блок(и).

Перейдите в окно Настройки шагов нагружения. На панели общих настроек решателя введите требуемое число шагов расчета и нажмите на значок 

В левой колонке выберите блок, кликнув по нему. Далее, нажмите на кнопку Задать материалы по шагам.

Блок | ГУ |

Задайте активные шаги для выбранного блока. Например "all", "1 3 5 to 10", "3 to 9".

Задать материалы по шагам

Далее, укажите в табличном виде номер шага и выберите из списка материал.

Задать материалы по шагам

Шаг	Материал
1	Алюминий
2	Алюминий
3	Медь

Очистить

+

-

OK Отмена

## Метод спектральных элементов

Уникальная особенность **CAE Fidesys** 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 и MPI.

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  $1 \times 1$ .

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%.

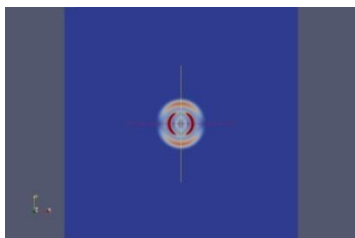


Рис.1. Распределение поля модуля перемещений  $U$  по пластине на момент времени  $t_1$

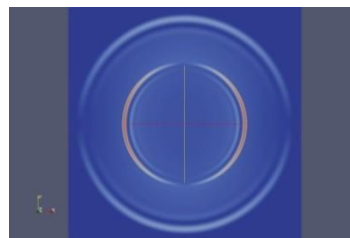
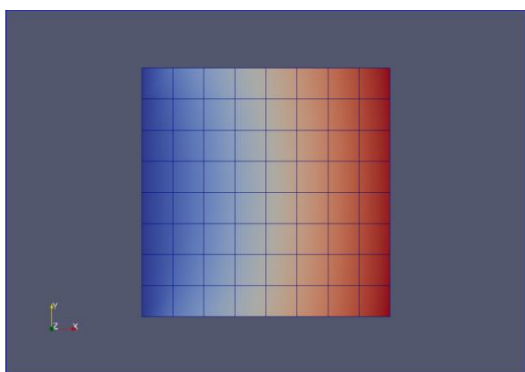
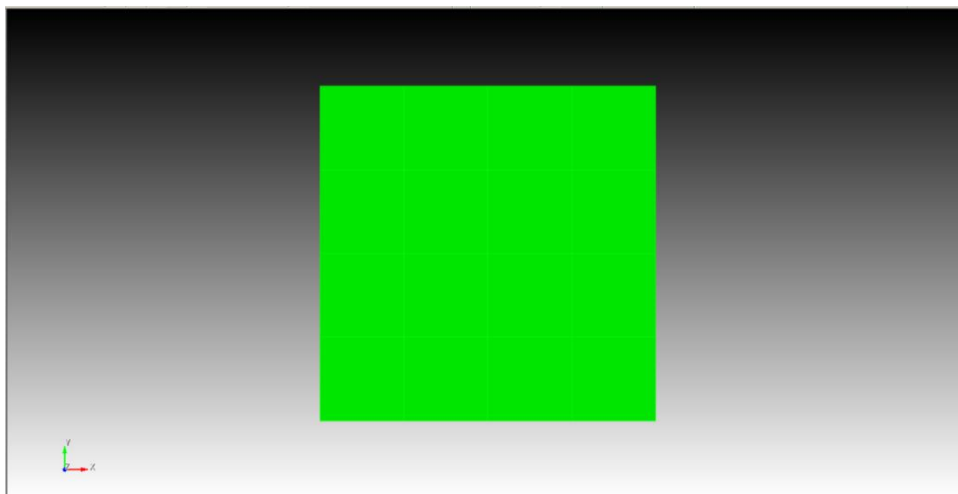
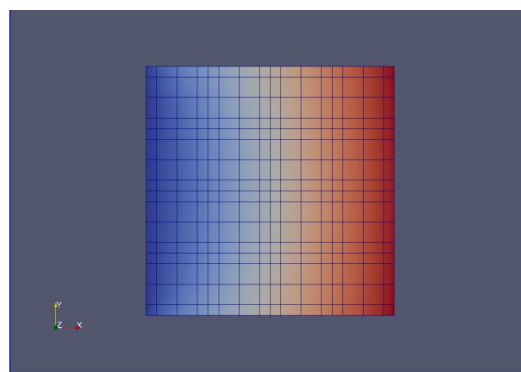


Рис.2. Распределение поля модуля перемещений  $U$  по пластине на момент времени  $t_2$

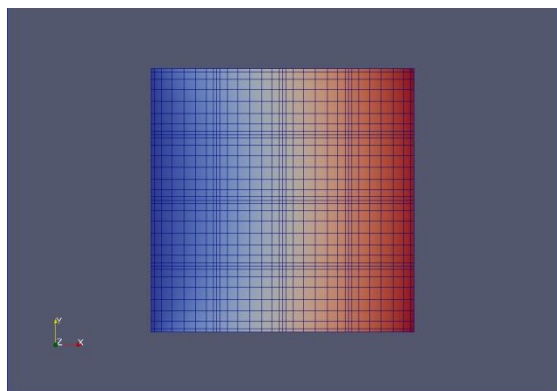
Примеры сетки в файле с результатом расчета методом спектральных элементов с использованием различного порядка элементов:



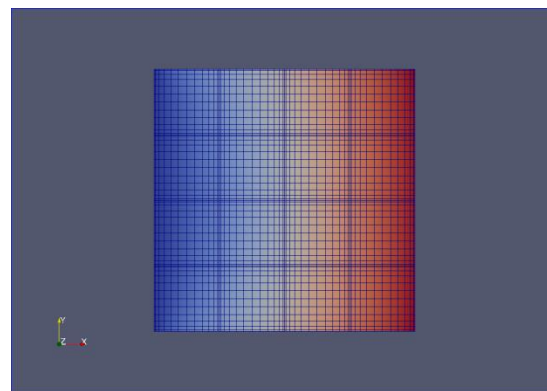
МСЭ с элементами порядка 2



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, при задании типа элемента для блока поставьте порядок элемента 3 и выше.

## 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 CAE Fidesys

**CAE 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 **CAE Fidesys**. Если на вашем компьютере уже стоит версия Intel MPI и вы не хотите заменять её, обратитесь в службу поддержки **CAE 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:

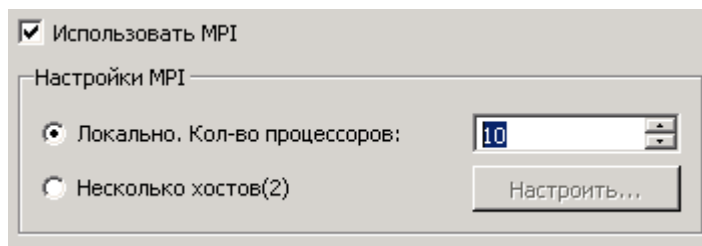
- Локально – расчёт будет проведён на локальной машине с использованием указанного количества процессоров. Этот режим даёт выигрыш по сравнению с расчётами без MPI только для локальной конфигурации с большим количеством ядер.
- Несколько хостов. В этом режиме расчёт будет запущен сразу на нескольких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



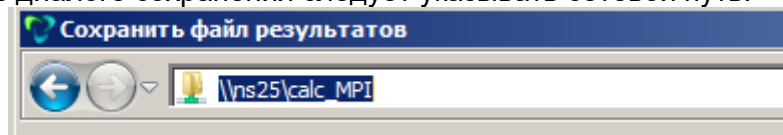
**Локально** и выберите количество процессоров в специальном окне. После этого можно начинать расчёт, никаких дополнительных настроек для локального использования MPI не требуется.



## Использование MPI на нескольких узлах

### Требования для корректной работы

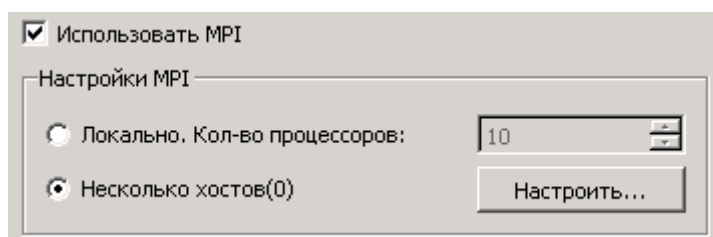
1. Убедитесь в том, что настройки брандмауэра на всех компьютерах допускают корректную работу MPI.
2. На всех компьютерах, задействованных в параллельных расчётах, рекомендуется отключить фаервол;
3. **CAE Fidesys** должен быть установлен по одинаковому пути на всех используемых компьютерах. Этот путь **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:



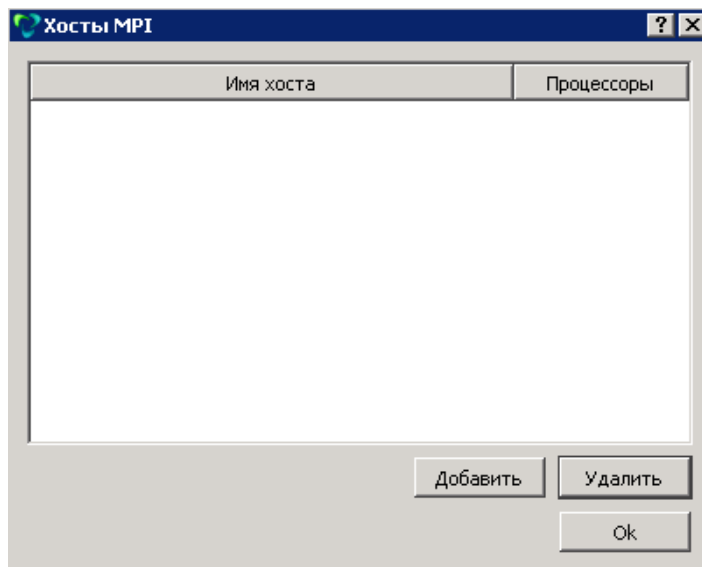
6. Специальных ограничений на скорость соединения между узлами нет, но учтите, что при очень медленной скорости соединения расчёт с использованием MPI может занять столько же или даже больше времени, чем расчёт без MPI, т.к. всё сэкономленное время уйдёт на обмен данными между узлами.
7. Ограничений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

### Настройка MPI на нескольких узлах

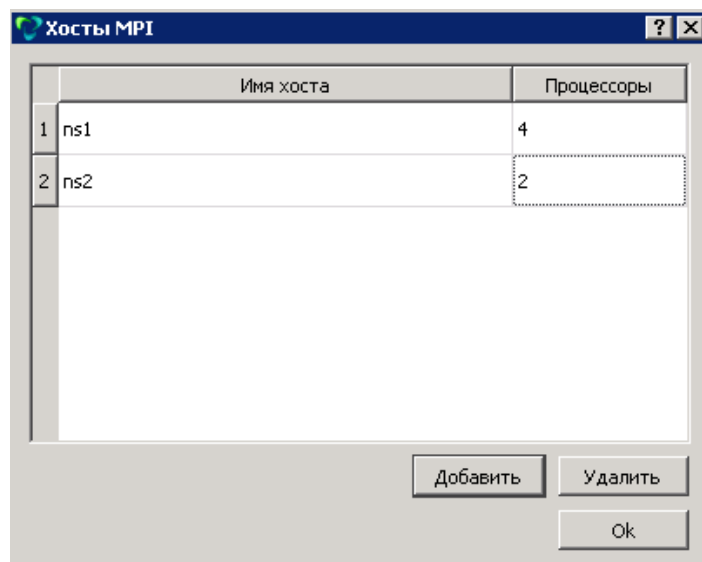
Убедившись, что все вышеперечисленные требования соблюдены, зайдите в панель настроек MPI (**Настройки Расчёта – Статический – Общие – Использовать MPI**). Поставьте флажок напротив пункта **Несколько хостов** и нажмите кнопку **Настроить...**:



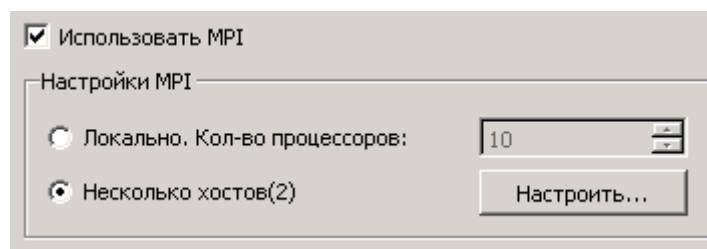
Появится следующее окно:



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



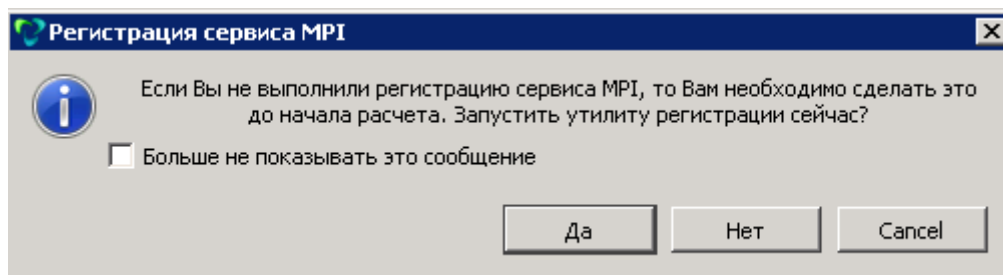
После этого количество хостов, указанное в скобках после слов **Несколько хостов** на панели настроек MPI, должно измениться:



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 **mpirexec –register**. После этого нужно будет ввести логин и пароль, точно так же, как и при регистрации с использованием всплывающего окна Fidesys.

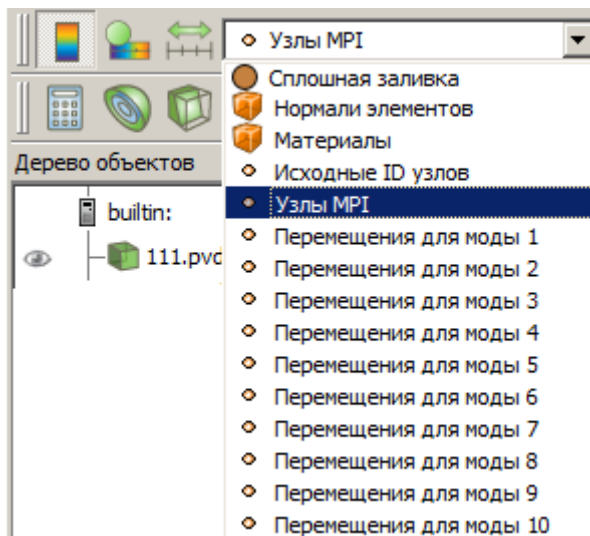
Если вы уже зарегистрировали сервис, поставьте галочку **Больше не показывать это сообщение**.



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

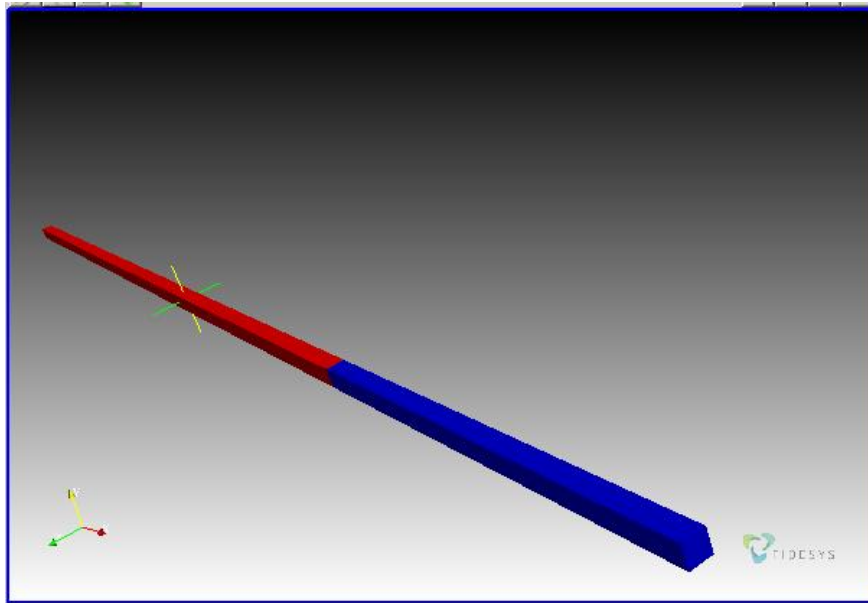
## Просмотр результатов расчета

В постпроцессоре **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

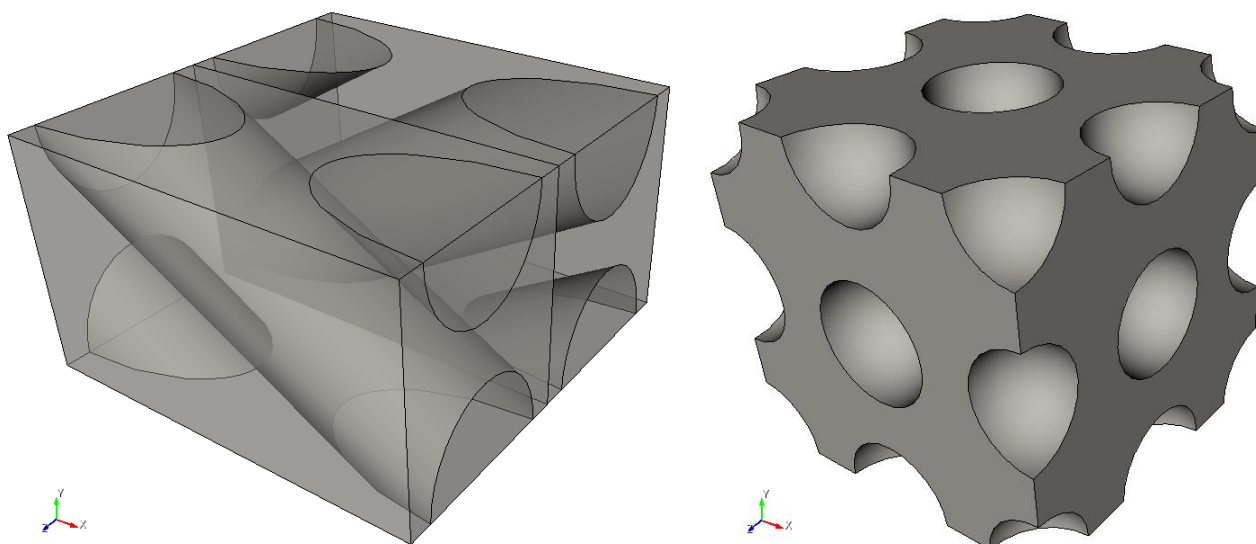
В **CAE Fidesys** существует возможность расчёта эффективных свойств неоднородного материала – например, композита или пористого материала.

### Геометрия модели для расчёта эффективных свойств

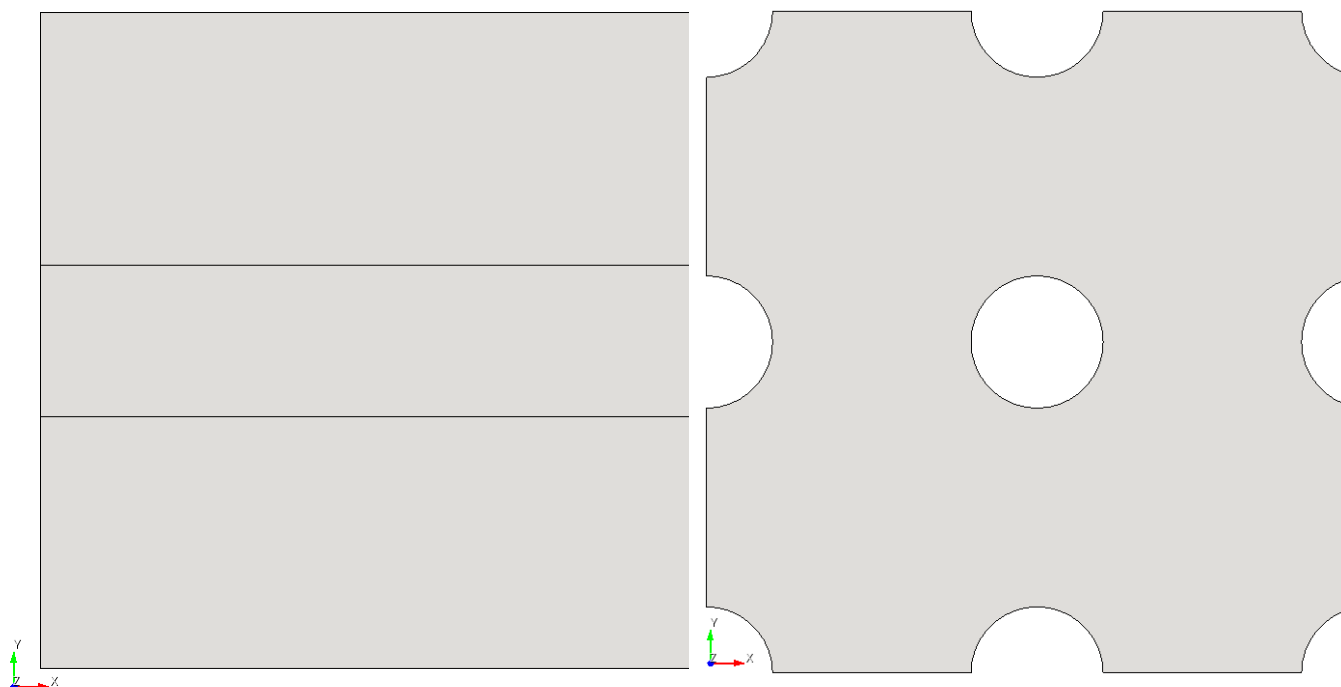
Геометрической моделью для расчёта эффективных свойств материала неперриодической структуры является представительный объём – т.е. минимальный объём материала, на котором можно провести численные эксперименты, результаты которых позволят судить о поведении материала в целом. Обычно это означает, что 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 в трёхмерном случае 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. В двумерном случае аналогично моделью для расчёта всегда должен являться фрагмент материала, «вырезанный» из него по форме **прямоугольника**. Стороны прямоугольника должны быть параллельны координатным осям. 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.

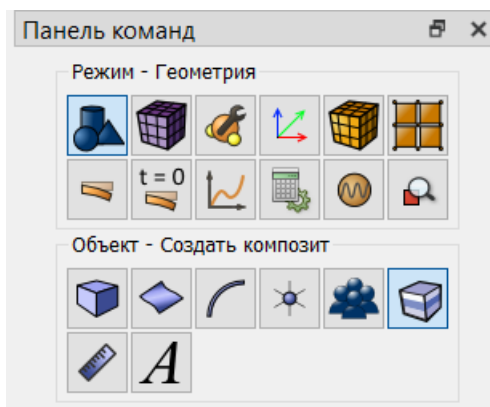
Примеры правильных трёхмерных моделей для расчёта эффективных свойств показаны на рисунках ниже. Если исследуемый материал – сплошной (рисунок слева), то и модель для расчёта его эффективных свойств должна быть сплошным прямоугольным параллелепипедом с гранями, параллельными координатными плоскостями. 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).



Аналогично показаны примеры двумерных моделей для расчёта эффективных свойств.



Генерация геометрии трёхмерных ячеек периодичности некоторых композиционных материалов периодической структуры в **CAE Fidesys** 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-волоконный (двуслойный) композит;
- однослойный волоконный;
- однослойный волоконный 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 **CAE Fidesys**. 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 **CAE Fidesys**.

## Запуск на расчёт

После создания геометрии необходимо провести те же действия, что и при статическом расчёте: 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 прикладываются ряд типов граничных условий, для каждого типа решается статическая задача, 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 непериодические граничные условия.

### Типы элементов

В **CAE Fidesys** расчёт эффективных свойств поддерживается для следующих типов конечных элементов:

- Объёмные элементы (3D)
- Плоские элементы (2D)

Для балочных и оболочечных элементов расчёт эффективных свойств не поддерживается.

## Расчёт эффективных свойств и его результаты

В **CAE Fidesys** поддерживается возможность расчёта следующих видов эффективных свойств:

- 1) модули упругости;
- 2) плотность;
- 3) коэффициенты температурного расширения;
- 4) коэффициенты теплопроводности.

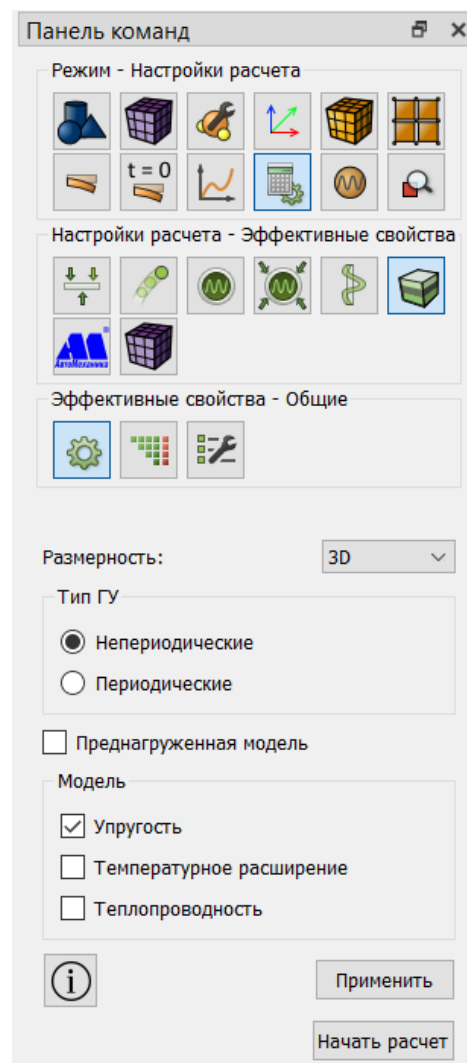
### 1. Эффективные модули упругости

Расчёт эффективных линейно-упругих свойств задаётся в настройках расчёта эффективных свойств галочкой «Упругость». С целью расчёта эффективных модулей упругости 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:



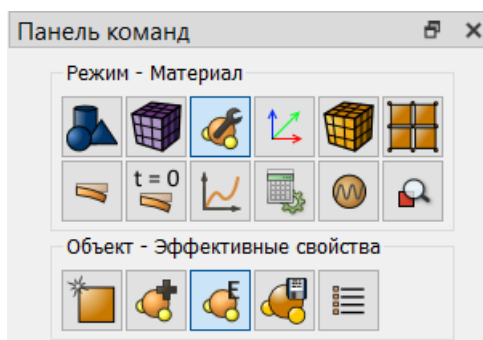
$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl}$$

Результатом расчёта являются эффективные модули упругости  $C_{ijkl}$ , выводимые в командную строку и в JSON-файл с названием EffProps.json, находящийся в рабочей директории. Модули вычисляются в той системе координат, в которой проводился расчёт (координатным плоскостям/осям которой параллельны грани/стороны расчётной модели).

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

Если вычисленные эффективные модули упругости являются нефизическими – сразу после открытия окна обработки данных появляется окно с соответствующим предупреждением, что матрица  $C_{ijkl}$  не является симметричной с достаточной точностью либо не является положительно определённой. В этом случае следует ещё раз проверить правильность выбора модели для расчёта: является ли она прямоугольным параллелепипедом с гранями, параллельными координатным плоскостям (в двумерном случае – прямоугольником со сторонами, параллельными координатным осям), и является ли она ячейкой периодичности в случае расчёта с периодическими граничными условиями. Если модель построена правильно – вероятно, необходимо улучшить (измельчить) сетку.

Окно обработки данных по эффективным свойствам по завершению расчёта появляется автоматически. Если пользователь его закрыл, заново можно открыть в режиме **Материалы** -> **Эффективные свойства**.



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 упругих свойств «Ортотропный» и нажать кнопку «Обработать данные», в результате чего будут посчитаны девять констант ортотропного материала. Если материал не является ортотропным с достаточной точностью либо если ортотропные константы получились нефизическими – при нажатии кнопки «Обработать данные» откроется окно с соответствующим предупреждением.

Если ортотропные константы не зависят от направления (т.е., например, разные модули Юнга одинаковы либо отличаются друг от друга в пределах приемлемой погрешности) – тогда можно выбрать тип материала «Изотропный» и снова нажать кнопку «Обработать данные». Будут посчитаны две константы изотропного материала – модуль Юнга и коэффициент Пуассона. Если материал не является изотропным с достаточной точностью либо если модуль Юнга и/или коэффициент Пуассона получились нефизическими – при нажатии кнопки «Обработать данные» откроется окно с соответствующим предупреждением.

## 2. Эффективная плотность

Плотность является аддитивной величиной. Поэтому эффективная плотность вычисляется как масса модели, делённая на эффективный объём (т.е. включая поры и пустоты в материале). Плотность вычисляется автоматически при любом расчёте эффективных модулей упругости.

## 3. Эффективные коэффициенты температурного расширения

Если при выборе галочки «Упругость» в меню расчёта эффективных свойств хотя бы для одного материала в модели заданы коэффициенты температурного расширения – вместе с расчётом эффективных линейно-упругих свойств проводится также и расчёт эффективного температурного расширения. С целью расчёта эффективных коэффициентов температурного расширения модель подвергается равномерному нагреву. Величина нагрева составляет 1 К.

Эффективное температурное расширение оценивается в виде:

$$\varepsilon_{ij}^{th} = \alpha_{ij} \Delta T$$

Результатом расчёта являются эффективные коэффициенты температурного расширения  $\alpha_{ij}$ , выводимые в командную строку и в JSON-файл с названием EffProps.json, находящийся в рабочей директории. Коэффициенты вычисляются в той системе координат, в которой проводился расчёт (координатным плоскостям/осям которой параллельны грани/стороны расчётной модели).

Матрица коэффициентов  $\alpha_{ij}$  содержит 6 независимых констант – зачастую это больше, чем достаточно для описания эффективного линейного теплового расширения исследуемого неоднородного материала. Поэтому предусмотрена возможность автоматического пересчёта полученных эффективных коэффициентов линейного теплового расширения в константы ортотропного или изотропного материала. После завершения расчёта также появляется окно «Обработать данные по эффективным свойствам». Эффективные коэффициенты температурного расширения  $\alpha_{ij}$  показаны на вкладке «Температура» справа в виде симметричной матрицы

температурного расширения размером 3x3 (часть матрицы ниже главной диагонали не отображается в силу симметричности).

Если вычисленные эффективные коэффициенты температурного расширения являются нефизическими – сразу после открытия окна обработки данных появляется окно с соответствующим предупреждением, что матрица  $\alpha_{ij}$  не является симметричной с достаточной точностью. В этом случае следует ещё раз проверить правильность выбора модели для расчёта: является ли она прямоугольным параллелепипедом с гранями, параллельными координатным плоскостям (в двумерном случае – прямоугольником со сторонами, параллельными координатным осям), и является ли она ячейкой периодичности в случае расчёта с периодическими граничными условиями. Если модель построена правильно – вероятно, необходимо улучшить (измельчить) сетку.

Пользователь может оценить, соответствует ли матрица с полученными  $\alpha_{ij}$  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).

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

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 температурных свойств «Ортотропный» и нажать кнопку «Обработать данные», в результате чего будут посчитаны три константы ортотропного материала. Если материал не является ортотропным с достаточной точностью либо если ортотропные коэффициенты линейного теплового расширения получились нефизическими – при нажатии кнопки «Обработать данные» откроется окно с соответствующим предупреждением.

Если ортотропные константы не зависят от направления (разные коэффициенты температурного расширения одинаковы либо отличаются друг от друга в пределах приемлемой погрешности) – тогда можно выбрать тип материала «Изотропный» и снова нажать кнопку «Обработать данные». Будет посчитана одна константа – изотропный коэффициент линейного теплового расширения материала. Если материал не является изотропным с достаточной точностью – при нажатии кнопки «Обработать данные» откроется окно с соответствующим предупреждением.

#### 4. Эффективные коэффициенты теплопроводности

Расчёт эффективной теплопроводности задаётся в настройках расчёта эффективных свойств галочкой «Теплопроводность». С целью расчёта эффективных коэффициентов теплопроводности модель подвергается ряду нагревов: на гранях модели задаётся различная температура, соответствующая определённому градиенту температуры в модели. Используются градиенты, направленные вдоль каждой координатной оси.

Эффективная теплопроводность материала оценивается в виде закона теплопроводности Фурье:

$$q_i = -\lambda_{ij} (\nabla T)_j$$

Результатом расчёта являются эффективные коэффициенты теплопроводности  $\lambda_{ij}$ , выводимые в командную строку и в JSON-файл с названием EffProps.json, находящийся в рабочей директории. Коэффициенты вычисляются в той системе координат, в которой проводился расчёт (координатным плоскостям/осям которой параллельны грани/стороны расчётной модели).

Матрица коэффициентов  $\lambda_{ij}$  содержит 6 независимых констант – зачастую это больше, чем достаточно для описания эффективной линейной теплопроводности исследуемого неоднородного

материала. Поэтому предусмотрена возможность автоматического пересчёта полученных эффективных коэффициентов линейной теплопроводности в константы ортотропного или изотропного материала. После завершения расчёта также появляется окно «Обработать данные по эффективным свойствам». Эффективные коэффициенты теплопроводности  $\lambda_{ij}$  показаны на вкладке «Температура» справа внизу в виде симметричной матрицы теплопроводности размером 3x3 (часть матрицы ниже главной диагонали не отображается в силу симметричности).

Если вычисленные эффективные коэффициенты теплопроводности являются нефизическими – сразу после открытия окна обработки данных появляется окно с соответствующим предупреждением, что матрица  $\lambda_{ij}$  не является симметричной с достаточной точностью либо не является положительно определённой. В этом случае следует ещё раз проверить правильность выбора модели для расчёта: является ли она прямоугольным параллелепипедом с гранями, параллельными координатным плоскостям (в двумерном случае – прямоугольником со сторонами, параллельными координатным осям), и является ли она ячейкой периодичности в случае расчёта с периодическими граничными условиями. Если модель построена правильно – вероятно, необходимо улучшить (измельчить) сетку.

Пользователь может оценить, соответствует ли матрица с полученными  $\lambda_{ij}$  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).

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

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 температурных свойств «Ортотропный» и нажать кнопку «Обработать данные», в результате чего будут посчитаны три константы ортотропного материала. Если материал не является ортотропным с достаточной точностью либо если ортотропные коэффициенты линейной теплопроводности получились нефизическими – при нажатии кнопки «Обработать данные» откроется окно с соответствующим предупреждением.

Если ортотропные константы не зависят от направления (разные коэффициенты теплопроводности одинаковы либо отличаются друг от друга в пределах приемлемой погрешности) – тогда можно выбрать тип материала «Изотропный» и снова нажать кнопку «Обработать данные». Будет посчитана одна константа – изотропный коэффициент линейной теплопроводности материала. Если материал не является изотропным с достаточной точностью – при нажатии кнопки «Обработать данные» откроется окно с соответствующим предупреждением.

Расчёт эффективной теплопроводности неоднородного материала может проводиться отдельно или вместе с расчётом эффективных упругих свойств (во втором случае в настройках расчёта необходимо выбрать галочки «Упругость» и «Теплопроводность»). Если при совместном расчёте заданы коэффициенты теплового расширения хотя бы одного материала в составе модели – будут вычислены эффективные модули упругости, эффективные коэффициенты температурного расширения и эффективные коэффициенты теплопроводности. В окне обработки результатов и коэффициенты теплопроводности, и коэффициенты температурного расширения располагаются на вкладке «Температура».

### **Обработка результатов и экспорт эффективного материала**

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



Обработать данные по эффективным свойствам

Файл с данными: D:/Fidesys/test/EffProps.json

Тип упругих свойств:  Ортотропный  Изотропный

Тип температурных свойств:  Ортотропный  Изотропный

Обработать данные Экспорт материала...

Упругость | Температура

Имя	Значение						
		1.2	0.4	0.4	5.0822e-19	-1.40778...	-3.29138...
			1.2	0.4	1.75759e...	2.34864e...	-1.64335...
				1.2	-1.69407...	-4.97632...	-9.635e-19
					0.4	0	-8.22846...
						0.4	2.75286e...
							0.4

Обработать данные по эффективным свойствам

Файл с данными: D:/Komolova/calc/test/EffProps.json

Тип упругих свойств:  Ортотропный  Изотропный

Тип температурных свойств:  Ортотропный  Изотропный

Обработать данные Экспорт материала...

Упругость | Температура

Имя	Значение
-----	----------

Матрица температурного расширения

0	0	0
	0	0
		0

Матрица теплопроводности

1	-4.16334e-18	0
	1	0
		1

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 создается материал с введенным именем и с полученными эффективными свойствами, после чего все созданные при расчете материалы экспортируются в файл XML с введенным названием. Впоследствии можно импортировать данные материалы из созданного файла.

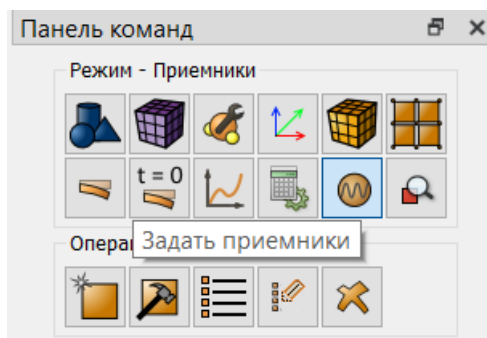
Если неоднородный материал, эффективные свойства которого исследуются, является ортотропным или изотропным из эмпирических соображений; а результаты расчета не соответствуют таковому – следует попробовать измельчить сетку или по-другому выбрать модель для расчета.

## Данные в формате SEG-Y

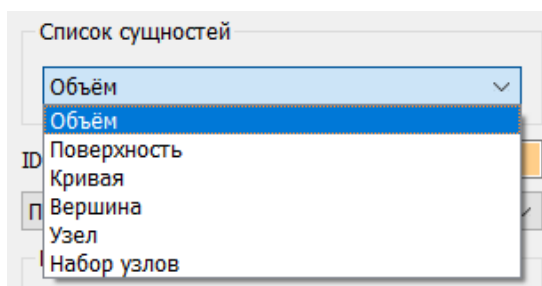
SEG-Y является форматом с последовательно расположенными трассами, разработанным для хранения полностью или частично обработанных сейсмических данных.

<https://en.wikipedia.org/wiki/SEG-Y>

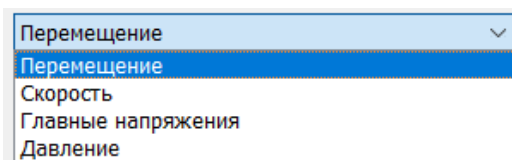
Для того, чтобы выбранные результаты расчета записались в формате SEG-Y, необходимо в препроцессоре расположить Приемники на модели (**Панель команд, Режим - Приемники, Операция - Создать**).



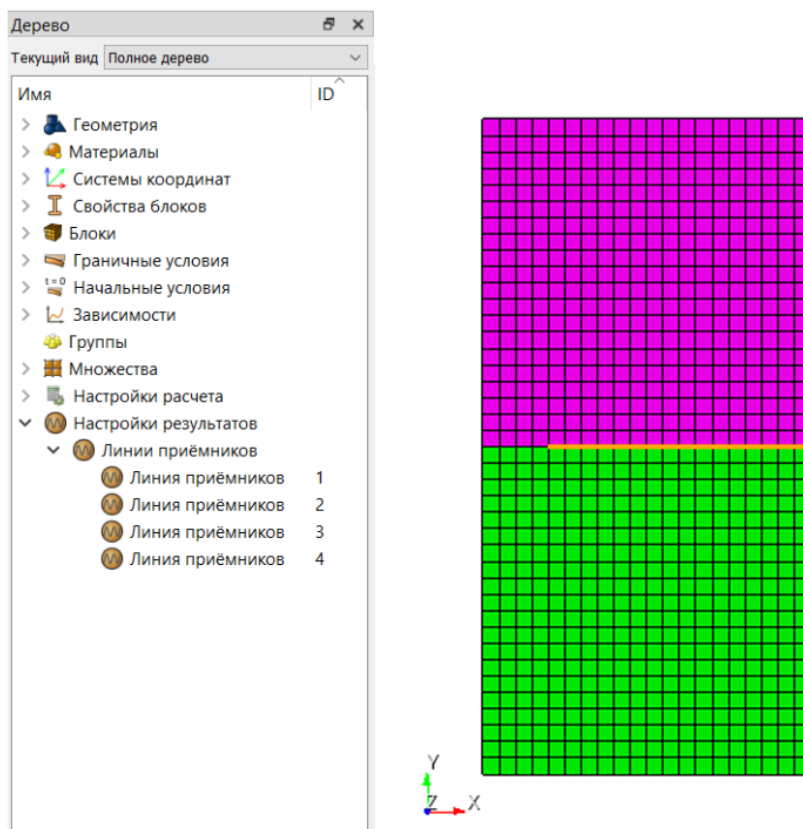
Выберите из выпадающего списка геометрические сущности, которые будут являться приемниками.



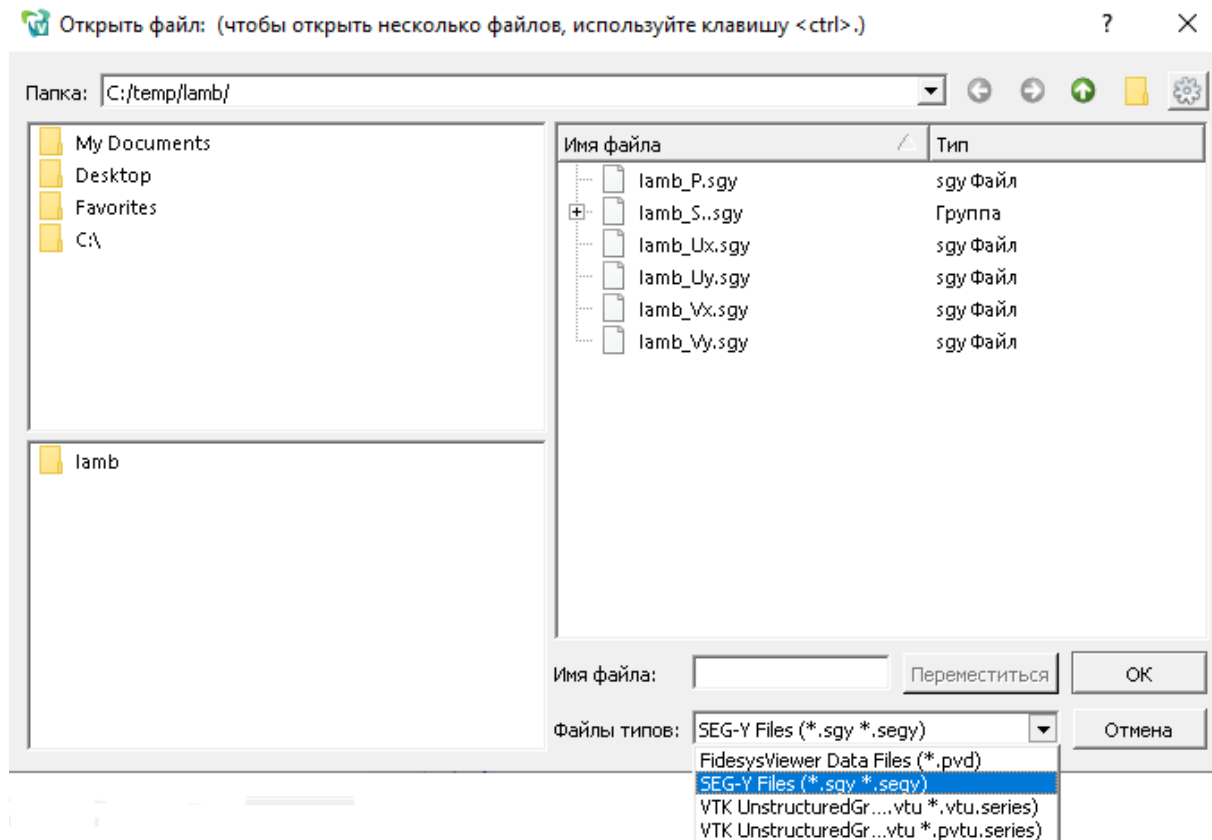
Укажите, какие поля данных сохранять в формате SEG\_Y.



Установленные линии приемников отображаются в Дереве слева в разделе Настройки результатов.



Просмотр данных в формате SEG-Y возможен в постпроцессоре **Fidesys Viewer**, при этом необходимо открыть файл с расширением .sgy.



В **Fidesys Viewer** возможно выделение нужных подобластей модели с помощью фильтров Срез/Clip (**Меню - Фильтры - Алфавитный указатель - Срез**)

[Пример полученного файла SEG-Y](#) для скорости  $U_y$  в программе **CAE Fidesys**:



### Особенности записи данных в файл \*.sgy

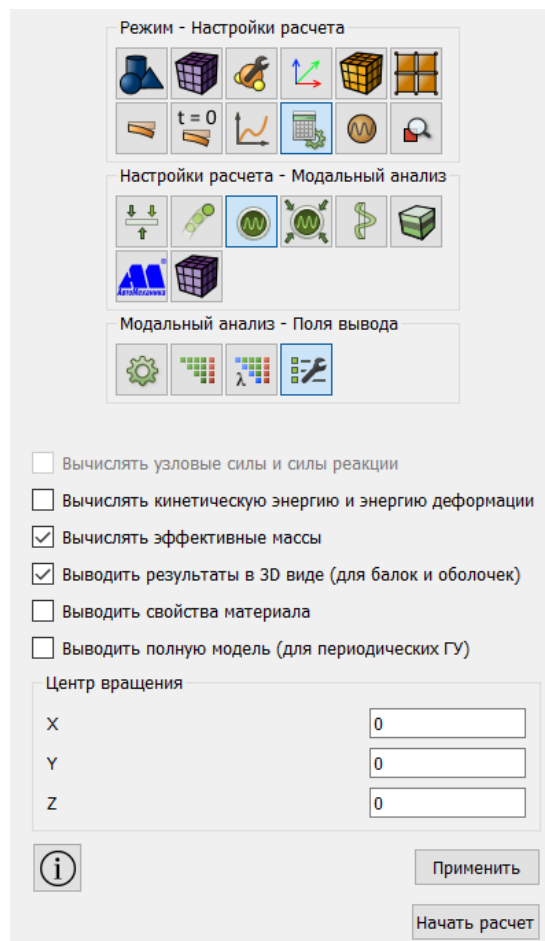
- Все данные в заголовке файла, за исключением самих результатов, записываются в целочисленном виде.
- Шаг по времени (шаг записи) записывается в микросекундах.
- Координаты приемника записываются в метрах (Если расстояние между приемниками будет менее одного метра, то координаты трасс могут совпасть, и волновая картина может быть некорректной).
- Inline номер совпадает с id узла в котором задан приемник, Crossline номер совпадает с номером линии приемников.

## Линейно-спектральный анализ

### Проведение модального анализа

Расчет с использованием спектра отклика проводится на основе проведенного модального анализа. Перед запуском расчета собственных частот и форм колебаний нужно перейти по вкладке **Настройки расчета - Анализ частот и собственных колебаний - Настройки полей вывода** и поставить галочку напротив **Вычислять эффективные массы**.

Далее, необходимо запустить расчет и перейти в Fidesys Viewer.



### Задание спектра отклика

Для проведения линейно-спектрального анализа необходимо подготовить файл в формате \*.csv со спектром отклика. В файле должна быть записана таблица, где в левом столбце помещаются значения частоты, в правом столбце – нагрузка. Необходимо указать названия столбцов, в зависимости от того, какая нагрузка прикладывается:

- левый столбец - f;
- правый столбец:
  - dx – перемещение по оси Ox;
  - dy – перемещение по оси Oy;
  - dz – перемещение по оси Oz;
  - vx – перемещение по оси Ox;
  - vy – перемещение по оси Oy;
  - vz – перемещение по оси Oz;
  - ax – перемещение по оси Ox;
  - ay – перемещение по оси Oy;
  - az – перемещение по оси Oz.

Пример задания спектра отклика в файле \*.csv:

f	dx
0.875	1.05E-01
2.667	3.40E-02

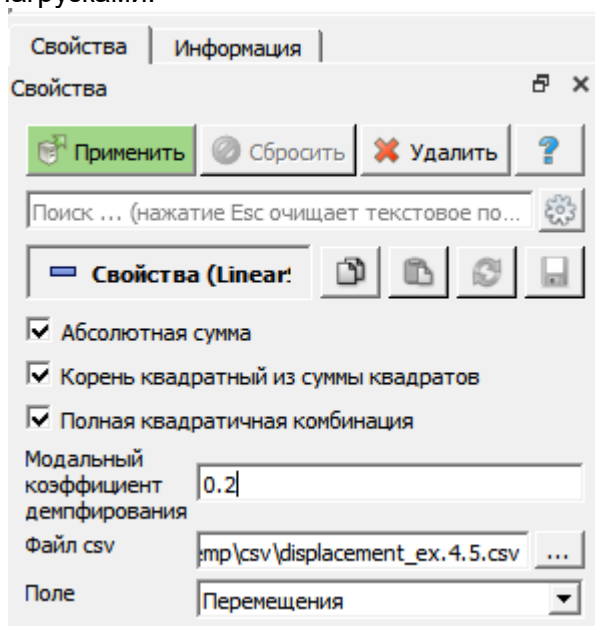
Спектр отклика прикладывается к модели в программе Fidesys Viewer. В главном меню необходимо перейти **Фильтры - Алфавитный указатель – Линейно-спектральный анализ**.

В появившемся окне свойств результатов расчета доступны следующие настройки:

- Выбор метода комбинации мод:
  - Абсолютная сумма;
  - Корень квадратный из суммы квадратов;
  - Полная квадратичная постановка.



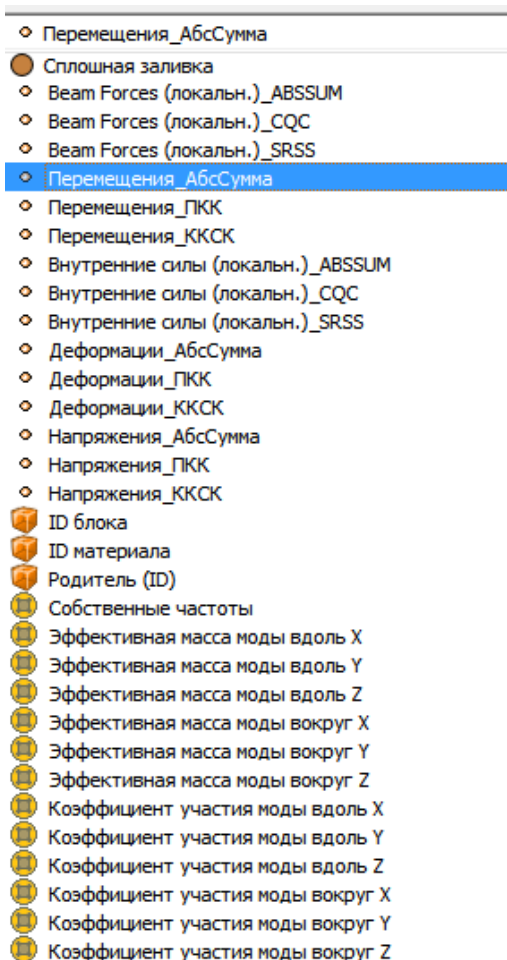
- Задание значения модального коэффициента демпфирования;
- Выбор пути до csv-файла с нагрузками.



После задания всех настроек нажать **Применить**.

Файл с нагрузками представляет собой таблицу

Далее, появляется возможность открыть необходимые результаты (например, перемещения, полученные методом Абсолютная сумма будут доступны под именем Перемещения\_АбсСумма).



## Расчеты для Автомеханики (интеграция с Euler)

Расчет для Автомеханики задается на панели команд Режим-Настройки расчета, Настройки расчета-Расчет для Автомеханики.

### *Общие положения*

Весь раздел представляет собой реализацию моделирования на основе интеграции промышленных пакетов инженерного программного обеспечения **EULER** и **CAE Fidesys**.

Предполагается, что деформируемое тело подвержено большому движению в составе многокомпонентной механической системы и малым упругим деформациям.

Вывод общих уравнений базируется на использовании классического (линейного) метода конечных элементов (МКЭ) и редукции модели методом Крейга-Бэмптона. Никаких дополнительных приближений не вводится, тем самым получаются уравнения движения упругих тел в составе системы, наиболее общие в рассматриваемой постановке.

Метод Крейга-Бэмптона – это метод редуцирования КЭ-модели деформируемого тела путем аппроксимации малых упругих перемещений тела набором допустимых форм: статических форм от единичных смещений интерфейсных узлов тела и собственных форм колебаний при зажатых интерфейсных узлах.

Полная КЭ-модель упругого тела и ее редукция подготавливаются в **CAE Fidesys** и передаются в **ПК EULER** для расчета динамики тела в составе системы.

Для представления пространственного движения упругого тела используется метод присоединенной системы координат (ПСК): эта система координат определяет движение тела как твердого и относительно нее тело совершает малые упругие колебания.

Уравнения динамики упругих тел выводятся из уравнения Лагранжа второго рода, в качестве обобщенных координат используется положение ПСК и вектор модальных координат. Из выражения для кинетической энергии тела получены формулы расчета обобщенной матрицы масс и вектора сил инерции.

После разработки КЭ-модели в ПК Fidesys формируются четыре файла, содержащих матрицы жесткости и масс, геометрию модели, собственные и статические формы.

### *Практическая реализация*

В процессе совместной работы была выпущена статья, где рассматривался пример реального практического моделирования движения механической системы автомобиля КАМАЗ-5308 с упругой рамой.

Полученная модель рамы используется в **ПК EULER** и рассчитывается в составе многокомпонентной механической системы.

Модель автомобиля с деформируемой рамой используется для учета влияния динамики автомобиля в целом на напряженно-деформированное состояние рамы в испытании «Переставка».

## **Моделирование движения механической системы, состоящей из деформируемых упругих тел**

*Источник - Бойков В.Г., Гаганов И.В., Файзуллин Ф.Р., Юдаков А.А. Моделирование движения механической системы, состоящей из деформируемых упругих тел, путем интеграции двух пакетов: Euler и Fidesys// Чебышевский сборник, 2001. - Т. 18, вып. 3. - С. 131-153.*

Модель автомобиля КАМАЗ-5308 состоит из агрегата Несущий модуль, включающего в себя агрегат Рама\_Упругая, и остальных агрегатов: Груз, Кабина, Моторно-трансмиссионная установка, Навеска, Опорно-ходовой модуль, Рулевое управление. Часть геометрии модели создана в программе NX. Изображение модели с упругой рамой приведено на Рис. 1. Расчетные схемы передней и задней подвески показаны на Рис. 2 и Рис. 3.

В моделях подвесок приняты следующие допущения:

- мост и рычаги моста считаются абсолютно жесткими;
- деформации и трение в шарнирах подвески отсутствуют.

В автомобиле КАМАЗ-5308 используется система рулевого управления, поворачивающая колеса одной оси при помощи неразрезной трапеции и рулевого механизма с вращательным перемещением выходного звена. Схема модели приведена на Рис. 4.

### **Конечно-элементная модель несущего модуля автомобиля КАМАЗ-5308**

Конечно-элементная модель несущего модуля автомобиля КАМАЗ-5308 состоит из следующих элементов:

#### 1. Рама изделия

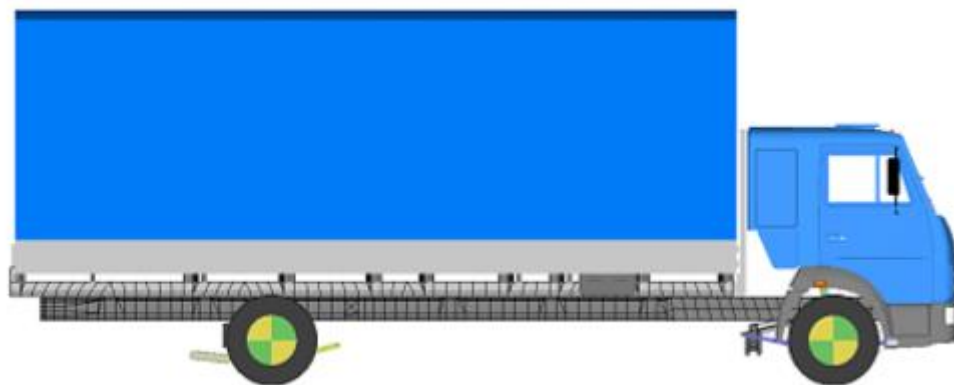


Рис. 1: Вид модели автомобиля КАМАЗ-5308 с включенной КЭ моделью рамы.

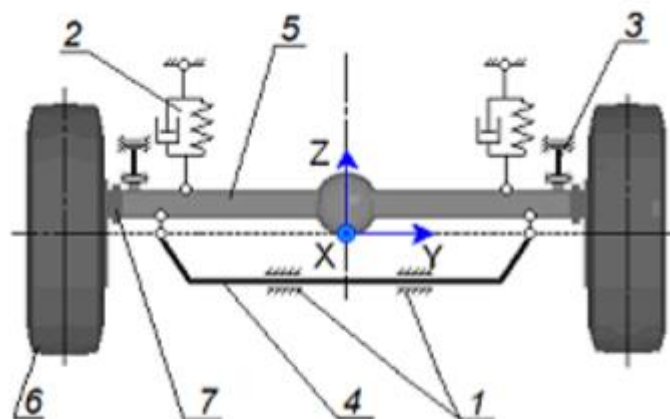


Рис. 2: Схема модели передней подвески: 1– базовое звено; 2– упругодемпфирующий элемент; 3– продольный рычаг; 4– стабилизатор; 5– мост; 6 – колесо; 7 – цапфа.

## 2. Платформа изделия

При моделировании были сделаны следующие допущения:

- Дополнительные навески на раму и на платформу, деревянный настил платформы считаются значительно менее жесткими, чем основная конструкция
- Не учитываются радиусы скругления
- Кронштейны крепления подвески, кабины считаются очень жесткими по сравнению с самой конструкцией
- Не учитываются технологические отверстия

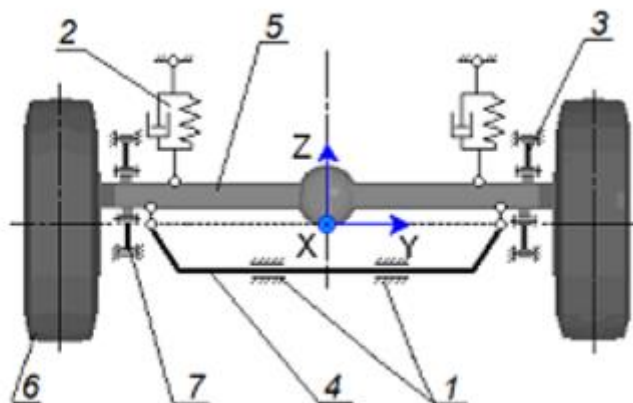


Рис. 3: Схема модели задней подвески: 1– базовое звено; 2– упругодемпфирующий элемент; 3– продольный рычаг; 4– стабилизатор; 5– мост; 6 – колесо; 7 – дополнительный продольный рычаг.

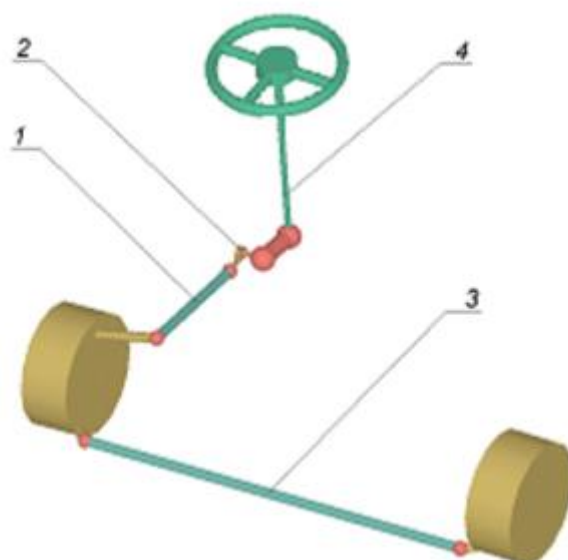


Рис. 4: Схема модели рулевого управления: 1 – тяга продольная; 2 – сошка; 3 – тяга поперечная; 4 – рулевая колонка.

В модели используется система измерений СИ. Модель состоит из 5415 четырехузловых оболочечных элементов типа CQUAD4. Материал (сталь) задан модулем Юнга, коэффициентом Пуассона и плотностью.

В качестве интерфейсных для динамической редукции указаны 26 узлов. Они соответствуют местам крепления к раме остальной конструкции автомобиля – подвески, груза и кабины.

#### Вычисление собственных и статических форм с помощью ПК Fidesys

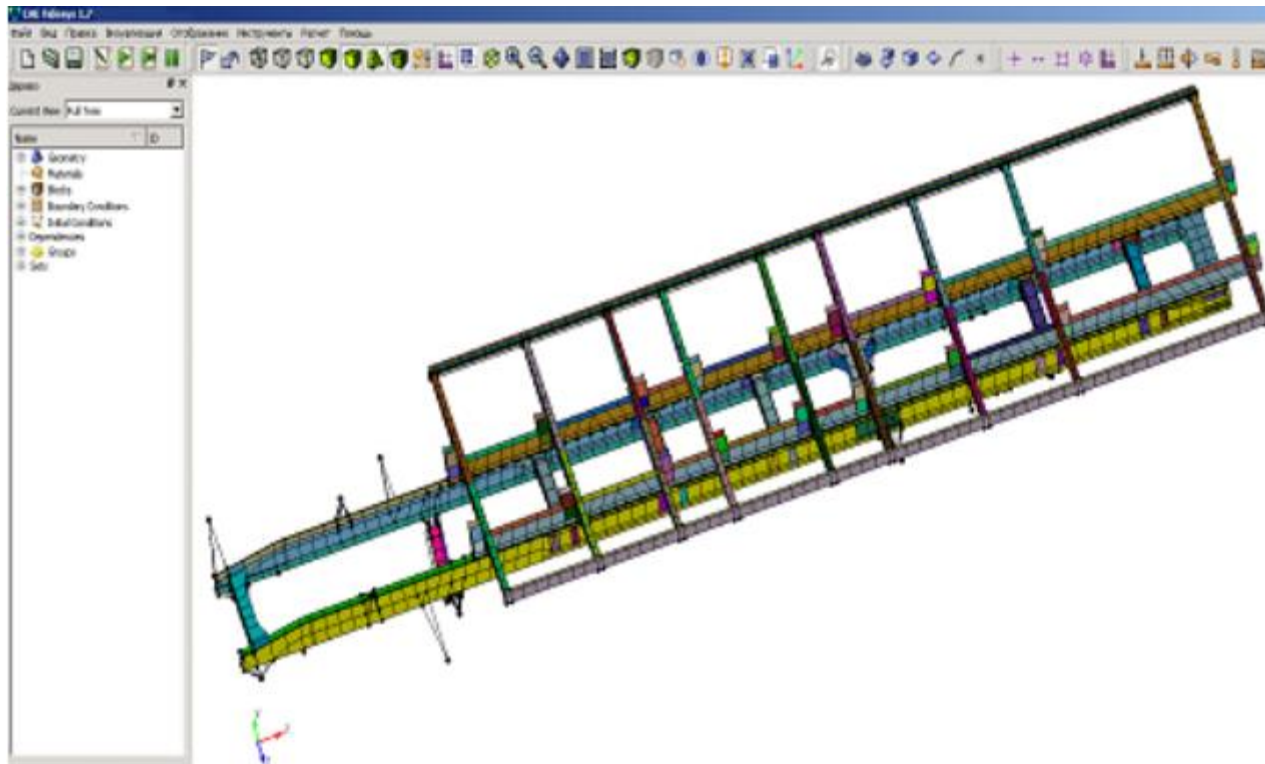


Рис. 5: Общий вид модели открытой в Fidesys.

Процесс начинается с загрузки модели в Fidesys. Fidesys поддерживает множество форматов, а также возможность создания самой модели в Fidesys. При наличии готовой модели,

после её загрузки, необходимо лишь выбрать интерфейсные узлы. В следующей реализации связки, при наличии готовой модели, необязательно запускать интерфейс Fidesys. Планируется, что пользователь сможет запустить расчёт из интерфейса Euler.

Таким образом, при изучении данной технологии пользователю нет необходимости разбираться в интерфейсах двух программ одновременно.

Алгоритм автоматически выполнит втягивание модели в Fidesys и все необходимые расчёты. Необходимо определить количество степеней свободы у интерфейсных узлов. В нашем примере модель полностью состоит из двумерных деталей и соответственно всего степеней свободы будет  $26 \cdot 6 = 156$ .

Следуя алгоритму Крейга-Бэмптона необходимо сделать 156 расчётов на статику, где каждый расчёт представляет собой следующее – все интерфейсные узлы полностью закреплены, кроме одного; у этого узла производится единичное смещение по одной из степеней свободы, но по оставшимся степеням свободы узел будет так же полностью закреплён.

Один отдельный расчёт на собственные частоты на модели, где все интерфейсные узлы зафиксированы. Отдельно происходит выгрузка геометрии модели, матриц масс и жёсткости. При наличии жёстких связей, матрицы сокращаются на строки соответствующие зависимым степеням свободы.

- Для передач разреженных матриц был выбран формат .HB.
- Для передачи собственных и статических форм был разработан специальный формат .cbm. В итоге мы получаем 4 файла: M\_CCS.hb и K\_CCS.hb – матрицы масс и жёсткости соответственно.
- geometry.vtk – файл с геометрией модели.
- forms.cbm – файл с собственными и статическими формами.
- В случае наличия жёстких связей информация о них помещается в vtk файл.
- В случае нашего примера все файлы суммарно занимают около 102 мегабайт.
- Все эти файлы считываются EULER.
- В расчете динамики используется 10 первых собственных форм упругого тела.

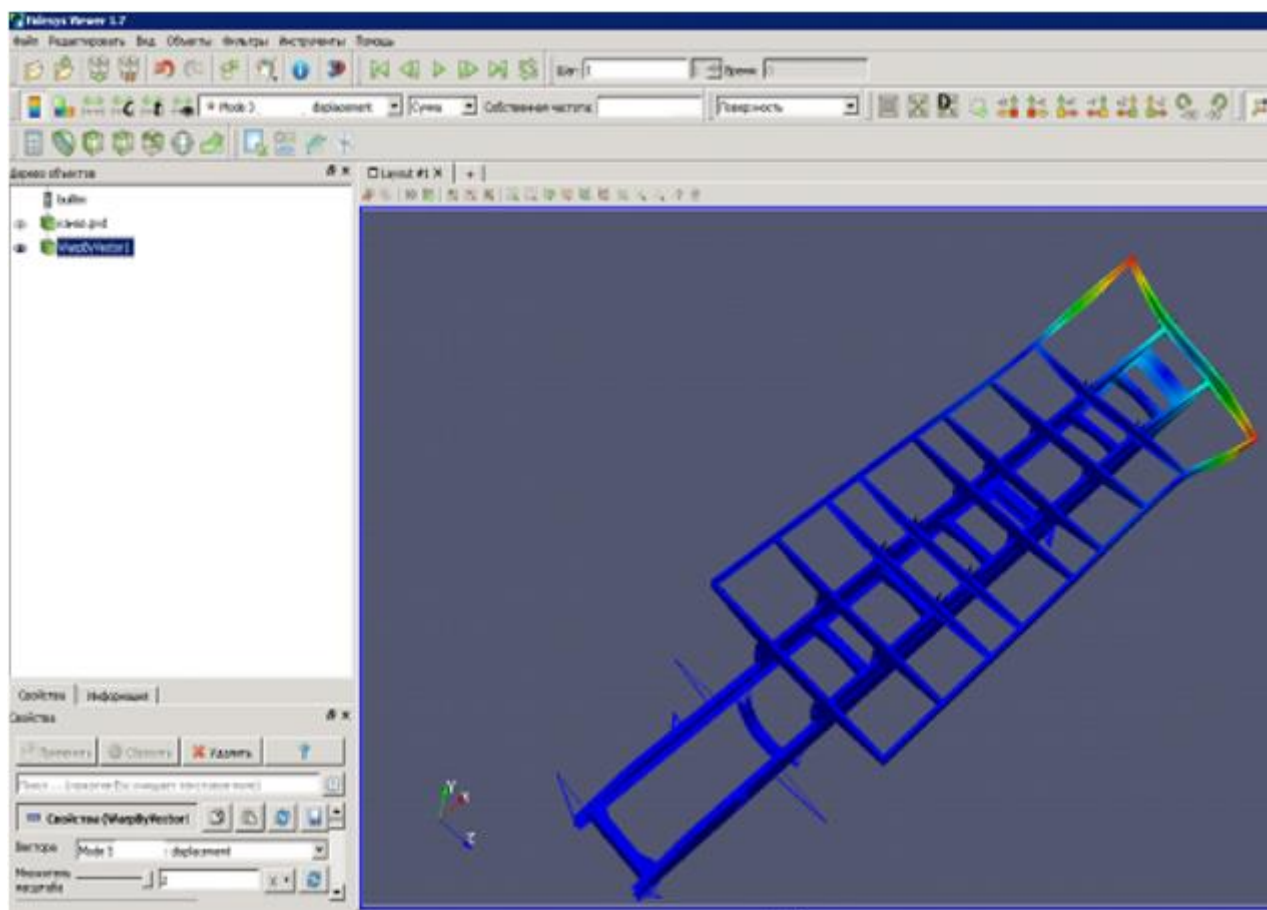


Рис. 6:

Собственные формы, используемые в расчете динамики.

### Испытание «Переставка»

Модель предназначена для определения максимальной скорости маневра при смене полосы движения на ограниченном участке пути, при которой не происходит отрыва колес от дороги или выхода КМ за пределы габаритного коридора. Данный тип испытания регламентируется ГОСТ Р 52302-2004.

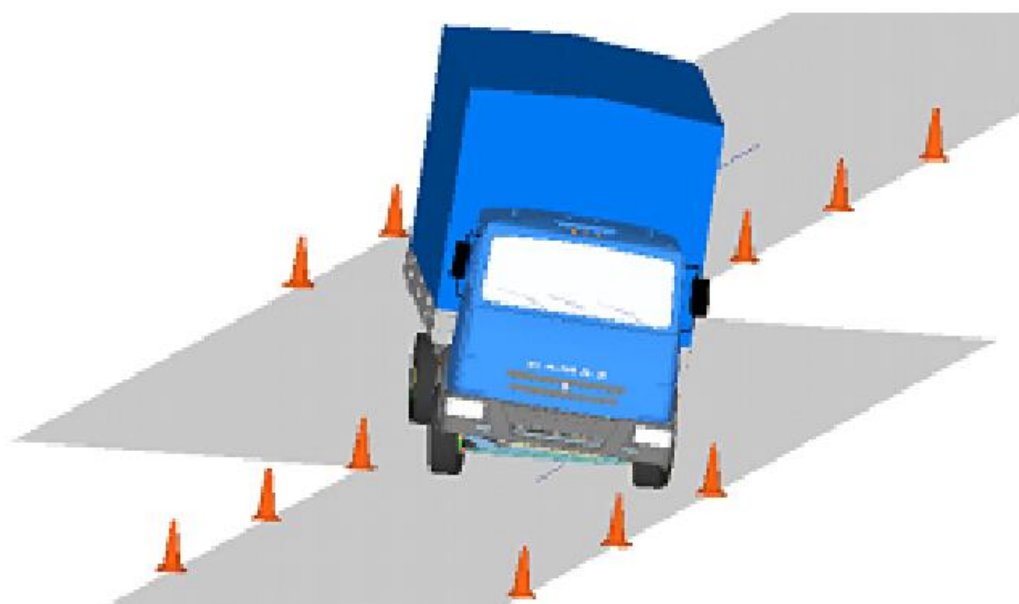


Рис. 7: Внешний вид модели.

В процессе расчета управление машиной осуществляется при помощи системы управления с обратной связью.

Для моделирования испытания используется размеченный коридор, показанный на Рис. 8. Параметры сцепления полигона задаются пользователем.

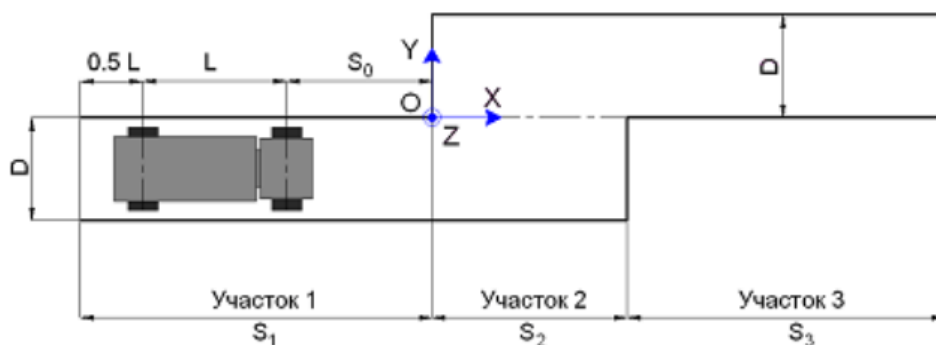


Рис. 8: Разметка участка модели испытаний “переставка”.

КМ сообщается начальная скорость  $V_{x0}$  движения на участке 1 размеченного коридора. Данная скорость по желанию пользователя может поддерживаться на протяжении всего испытания при помощи регулятора скорости.

На участке 1 размеченного коридора рулевое колесо удерживается в нейтральном положении.

С момента пересечения точкой в середине первой оси КМ границы между участками 1 и 2 начинается работа алгоритма управления, описанного выше.

На участке 3 рулевое колесо удерживается в нейтральном положении. На всех участках выход КМ за пределы размеченного коридора отслеживается по положению пециальных габаритных точек, закрепленных на раме КМ вдоль обоих бортов. Габаритные точки располагаются в районе каждой оси КМ на высоте центров колес и на расстоянии половины аданной габаритной ширины КМ от его продольной плоскости. Отрыв колес от дороги отслеживается по датчикам прогиба шин. Завершение заезда производится автоматически после прохождения КМ расстояния

$$(S_0 + 4S_2) \cdot 1.2.$$

Если начальная скорость  $V_{x0}$  КМ меньше или равна 0.1 м/с, заезд завершается через 10 с модельного времени.

### Результаты тестовых расчетов

Для тестирования работы упругих звеньев и влияния учета упругости звеньев на результаты расчетов для автомобиля КАМАЗ-5308 проведены расчеты испытаний «Переставка» для случаев с жесткой и с упругой рамой. Испытание проводилось на скорости автомобиля 30 км/ч. и 55 км/ч. Длина участка переставки – 20 м. На Рис. 4 – Рис. 11 показаны результаты испытания «Переставка» на скорости 30 км/ч (черные линии – упругая рама, красные линии – жесткая рама).

Также для рамы получены значения упругих перемещений (не учитывающие перемещения рамы как единого целого). Наибольшие упругие перемещения испытывает передняя часть рамы, максимальное значение – 11мм.

На Рис. 9 – Рис. 11 показаны результаты испытания «Переставка» на скорости 55 км/ч (черные линии – упругая рама, красные линии – жесткая рама). Для рамы получены значения упругих перемещений (не учитывающие перемещения рамы как единого целого). Наибольшие упругие перемещения испытывает передняя часть рамы, максимальное значение – 21 мм. В данной статье использование МКЭ-модели было использовано для учета влияния динамики движения автомобиля в целом на напряженно-деформированное состояние рамы.



Таким образом, МКЭ-модель, подготовленная в CAE Fidesys, может быть втянута в ПК EULER и рассчитана в составе многокомпонентной механической системы в рамках классического метода конечных элементов и с использованием редукции методом Крейга-Бэмптона.

Для демонстрации произведен расчет динамики модели на примере испытания "Переставка" для автомобиля КАМАЗ-5308 с упругой рамой.

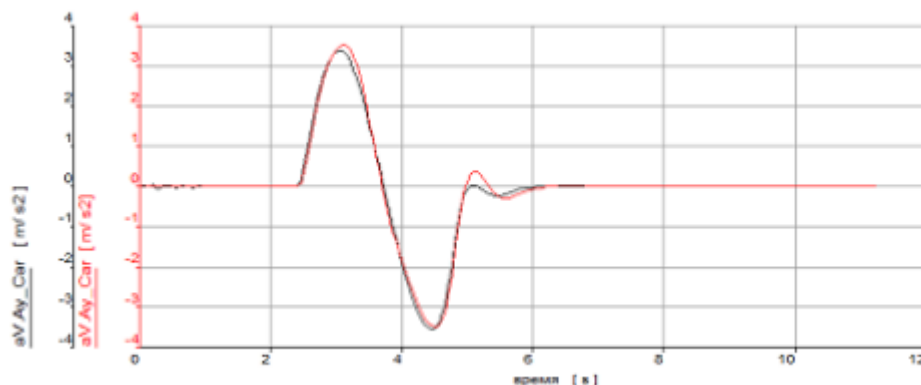


Рис. 9: Боковое ускорение для жесткой и упругой рамы на скорости испытания 30 км/ч.

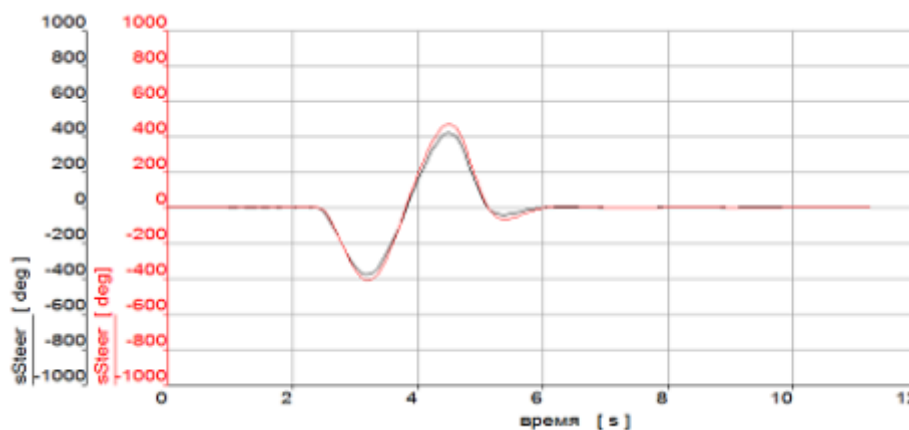


Рис. 10: Угол поворота руля для жесткой и упругой рамы на скорости испытания 30 км/ч.

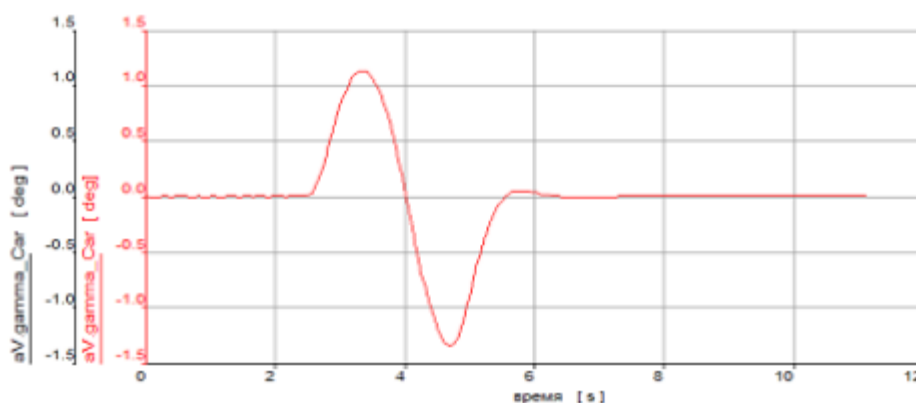


Рис. 11: Угол поперечного крена для жесткой и упругой рамы на скорости испытания 30 км/ч.

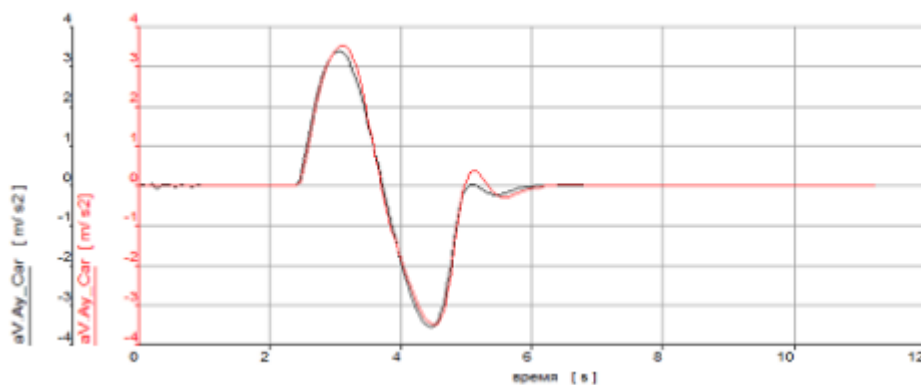


Рис. 12: Боковое ускорение для жесткой и упругой рамы на скорости испытания 55 км/ч.

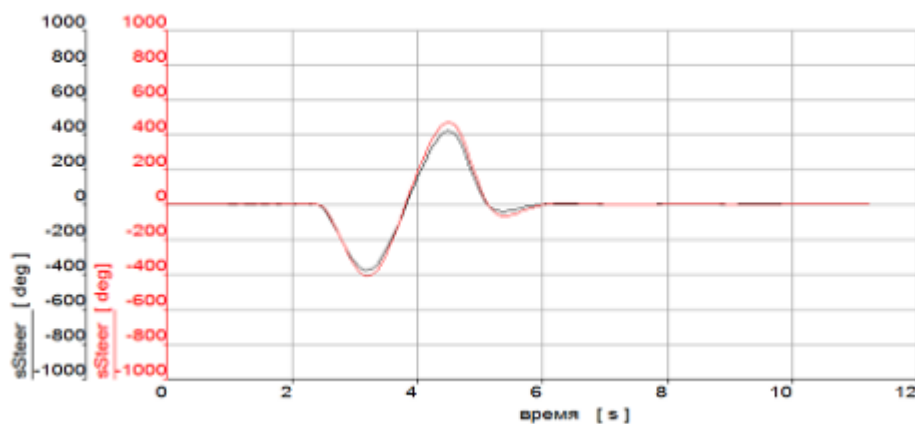


Рис. 13: Угол поворота руля для жесткой и упругой рамы на скорости испытания 55 км/ч.

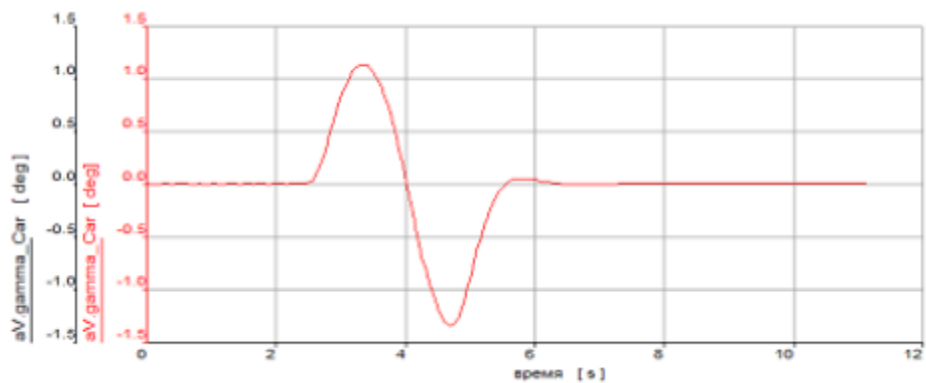


Рис. 14: Угол поперечного крена для жесткой и упругой рамы на скорости испытания 55 км/ч.

## Визуализация результатов и постпроцессинг

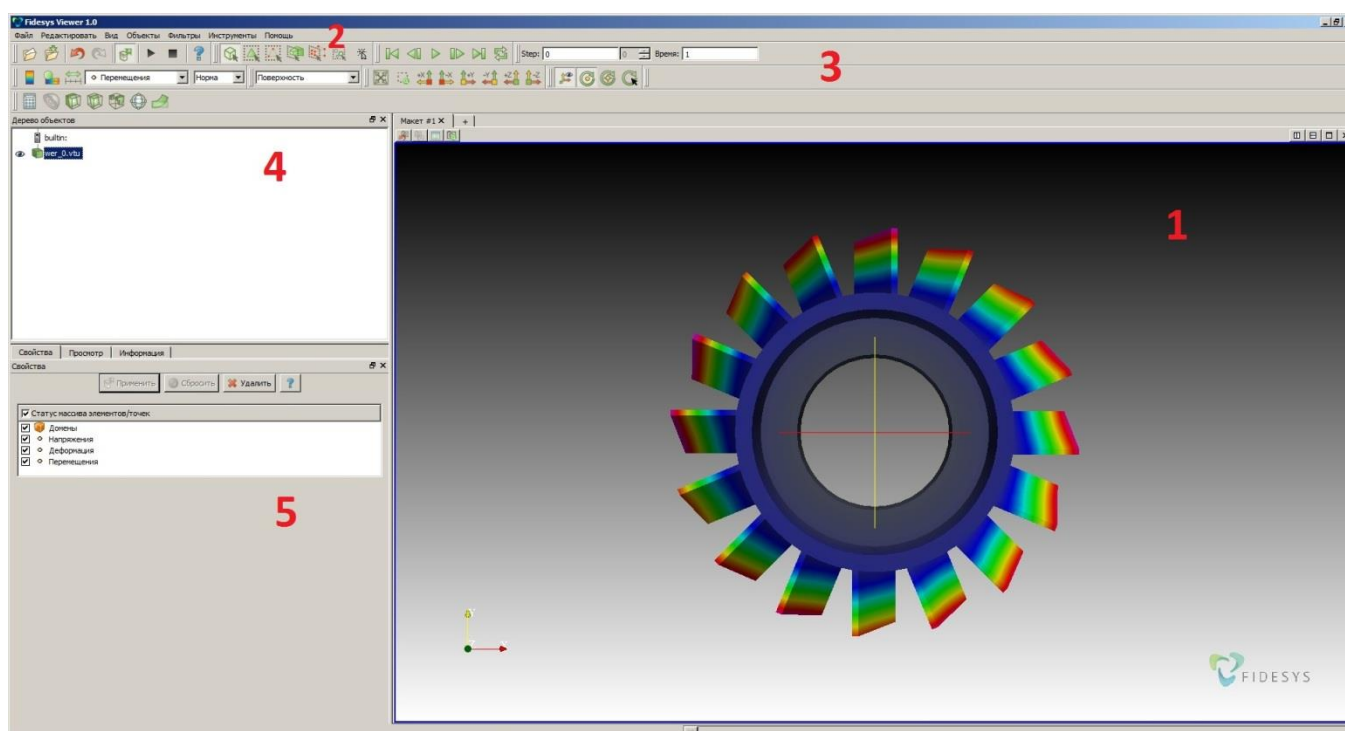
### О программе Fidesys Viewer

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 **CAE Fidesys** и устанавливается вместе с препроцессором. Для использования **Fidesys Viewer** не требуется лицензия: результаты расчётов, полученные с помощью препроцессора **CAE Fidesys** 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.

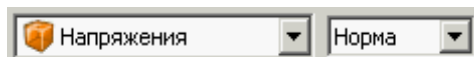
Дополнительные панели можно показать или скрыть в пункте меню **Вид**.

## 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**.

## **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.

Формулы для критериев прочности.

$\sigma_t$  – предел прочности при одноосном растяжении;

$\sigma_c$  – предел прочности при одноосном сжатии;

$\sigma_m$  – напряжения по Мизесу;

$c$  – сцепление грунта (cohesion);

$\varphi$  – угол трения (angle of friction);

$\sigma_1$  – первое главное напряжение;

$\sigma_2$  – второе главное напряжение;

$\sigma_3$  – третье главное напряжение;

$n$  – запас прочности, поле которого нужно отображать.

### 1. Расчёт по первой теории прочности.

Используют в предположении хрупкого разрушения. По изолиниям  $\sigma_1$  строят изолинии коэффициентов запаса прочности  $n = \sigma_t / \sigma_1$

### 2. Расчёт по энергетической теории прочности (напряжения Мизеса).

Используют в предположении вязкого разрушения или если не допускают пластического состояния.

По изолиниям  $\sigma_1$  строят изолинии коэффициентов запаса прочности  $n = \sigma_y / \sigma_m$  или  $n = \sigma_{0,2} / \sigma_m$ , где  $\sigma_y$  или  $\sigma_{0,2}$  – физический или условный предел текучести

### 3. Расчёт по теории Писаренко-Лебедева.

Используют при смешанном разрушении.

По полям  $\sigma_m$  и  $\sigma_1$  строят изолинии коэффициентов запаса прочности

$$n = \frac{\sigma_t}{\chi \sigma_m + (1 - \chi) \sigma_1}, \text{ где}$$

$$\chi = \frac{\sigma_t}{\sigma_c}.$$

### 4. Расчёт по теории Мора, смешанное разрушение.

Изолинии запаса прочности

$$n = \frac{\sigma_t}{\sigma_1 - \chi \sigma_3} = \frac{\sigma_t \sigma_c}{\sigma_c \sigma_1 - \sigma_t \sigma_3}.$$

### 5. Третья теория прочности Треска, вязкое разрушение или недопущение пластического течения.

Частный случай из теории Мора при

$$\chi = 1. n = \frac{\sigma_t}{\sigma_1 - \sigma_3}.$$

## 6. Критерий Мора-Кулона

$$\tau_{max} = A + B\sigma_n$$

$$\tau_{max} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \cos \phi$$

$$\sigma_n = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin \phi$$

- нормальное напряжение на плоскости разрушения

$$A = c; B = -\tan \phi$$

или

Если заданы пределы прочности  $\sigma_c$  и  $\sigma_t$ , то

$$\phi = \arcsin\left(-\frac{b}{a}\right),$$

$$c = \frac{\sqrt{\sigma_c \sigma_t}}{2}$$

где

$$a = \sigma_t + \sigma_c;$$

$b = \sigma_t - \sigma_c < 0$  (при  $b > 0$  угол внутреннего трения становится отрицательным, что недопустимо)

Запас прочности:

$$n = \frac{A}{\tau_{max} - B \sigma_n}$$

## 7. Критерий Мого-Кулона

$$\tau_{oct} = A + B \sigma_{m,2}, \text{ где}$$

$$\tau_{oct} = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$

$$\sigma_{m,2} = \frac{(\sigma_1 + \sigma_3)}{2}$$

$$A = \frac{2\sqrt{2}}{3}c; B = -\frac{2\sqrt{2}}{3} \tan \phi$$

или

$$A = \frac{2\sqrt{2}}{3} \frac{\sigma_c \sigma_t}{\sigma_c + \sigma_t}; B = \frac{2\sqrt{2}}{3} \frac{\sigma_t - \sigma_c}{\sigma_c + \sigma_t};$$

Коэффициент запаса прочности

$$n = \frac{A}{\tau_{oct} - B \sigma_{m,2}}$$

## 8. Критерий-Друкера-Прагера

$$\frac{\sigma_m}{\sqrt{3}} = A + B (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$$

$$\sqrt{\frac{1}{6}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} > A + B (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3), \text{ где}$$

$$A = \frac{2}{\sqrt{3}} \left( \frac{\sigma_c \sigma_t}{\sigma_c + \sigma_t} \right); \quad B = \frac{1}{\sqrt{3}} \left( \frac{\sigma_t - \sigma_c}{\sigma_c + \sigma_t} \right).$$

или

$$A = \frac{6c \cos \phi}{\sqrt{3}(3 - \sin \phi)}; \quad B = \frac{-2 \sin \phi}{\sqrt{3}(3 - \sin \phi)}$$

Изолинии запаса прочности:

$$n = \frac{A}{\frac{\sigma_m}{\sqrt{3}} - B (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)} = \frac{A}{\sqrt{\frac{1}{6}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} - B (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)}$$

Данный критерий был разработан для описания пластических деформаций глинистых грунтов, также он может применяться для описания разрушения скальных грунтов, бетона, полимеров, пены и других зависящих от давления материалов.

## 9. Критерий Навье

Другое название критерия Мора-Кулона

$$\tau = A + B \sigma_n$$

$$\sigma_n = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin \phi$$

- нормальное напряжение разрушения (the normal stress at failure);

$$A = c; \quad B = -\tan \phi;$$

Минус объясняется тем, что сжатие должно приводить к упрочнению, а сжатию соответствуют отрицательные значения  $\sigma_n$

$c = -\tau_b$  - предел прочности при сдвиге (кручении), который вводится пользователем для каждого материала, или когезия;

$$n = \frac{\tau_B}{-B \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sqrt{B^2 + 1}}$$





## **Гармонический анализ**

Для построения графиков зависимости от частоты после проведения расчета с помощью гармонического анализа выберите **Фильтры** → **Алфавитный указатель** → **Гармонический анализ**. Укажите номер узла, характеристики которого будут представлены на графике.

## **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 **CAE Fidesys** можно разделить на 6 основных этапов:

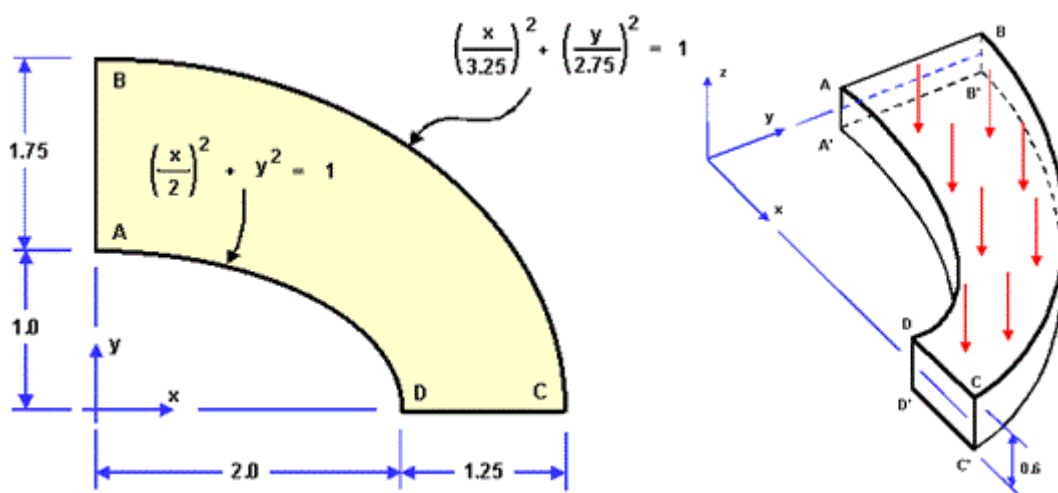
- построение модели;
- построение сетки;
- задание граничных условий;
- задание материала;
- запуск расчёта;
- анализ результатов.

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 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 оуу 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;
- Тип сечение: Эллиптический;
- Главный радиус: 2;
- Вспомогательный радиус: 1.

Нажмите **Применить**.

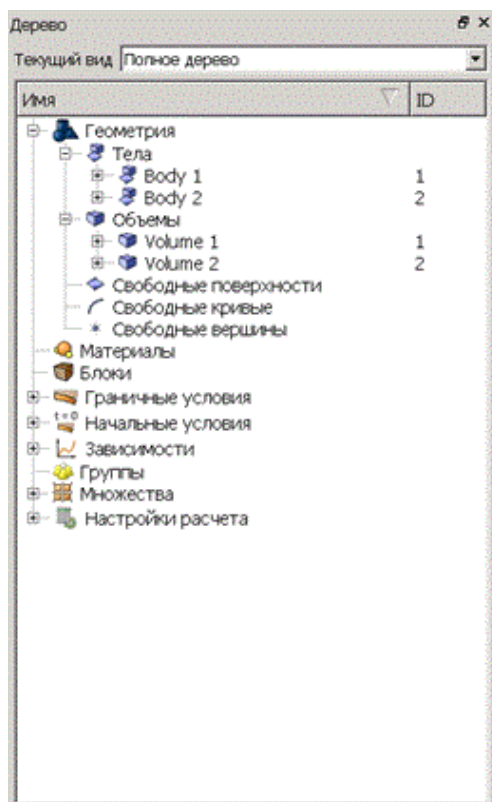
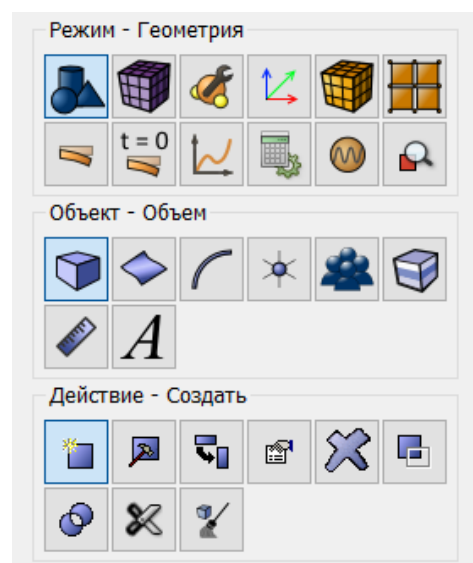
2. Создайте второй эллиптический цилиндр.

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;
- Тип сечения: Эллиптический;
- Главный радиус: 3.25;
- Вспомогательный радиус: 2.75.

Нажмите **Применить**.

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



3. Вычтите первый цилиндр из второго.

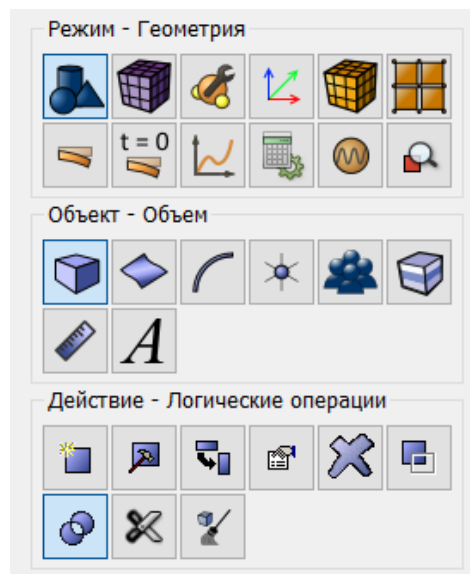
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, Действие — **Логические операции**).

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);

Нажмите **Применить**.

В результате в дереве объектов останется только одно тело (Body 2).



#### 4. Оставьте четверть объёма (симметрия задачи).

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, Действие — **Разрез**).

Из списка возможных видов разрезов выберите **Координатная плоскость**. Задайте следующие параметры:

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

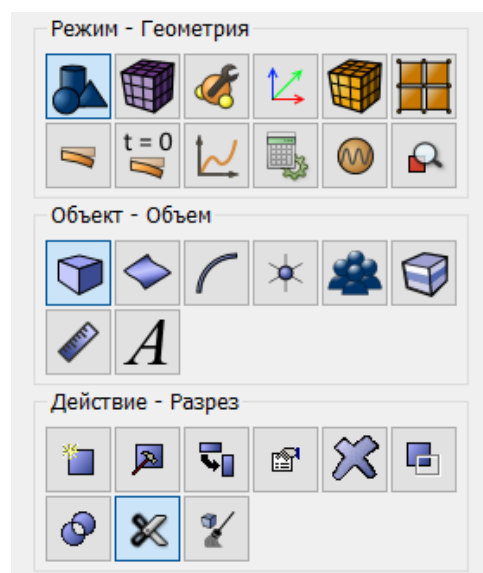
Нажмите **Применить**.

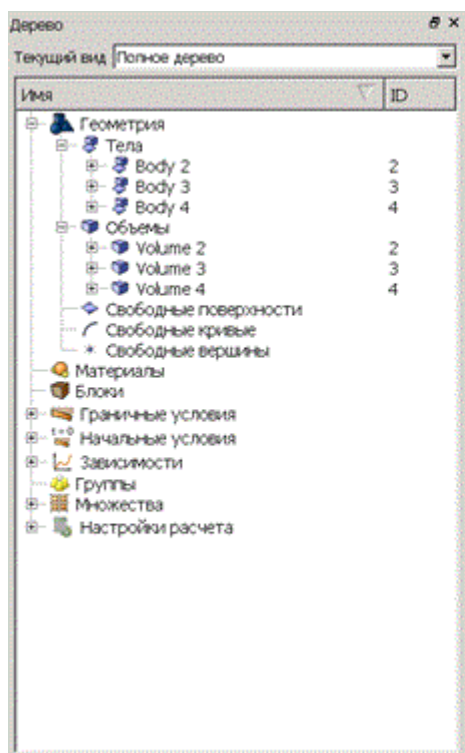
Проделайте то же самое, но в плоскости XZ:

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

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 оставшийся объем на две части вдоль плоскости XY (необходимо для закрепления этой модели от перемещений вдоль средней линии). Для этого повторите действия, которые были выполнены в п.4.

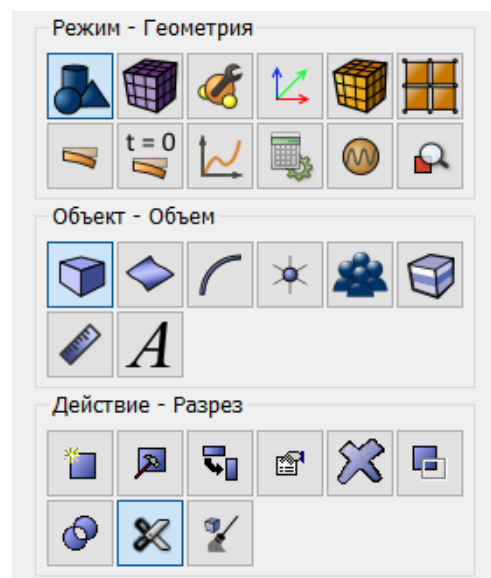
На панели команд выберите модуль построения объемной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, Действие — **Разрез**).

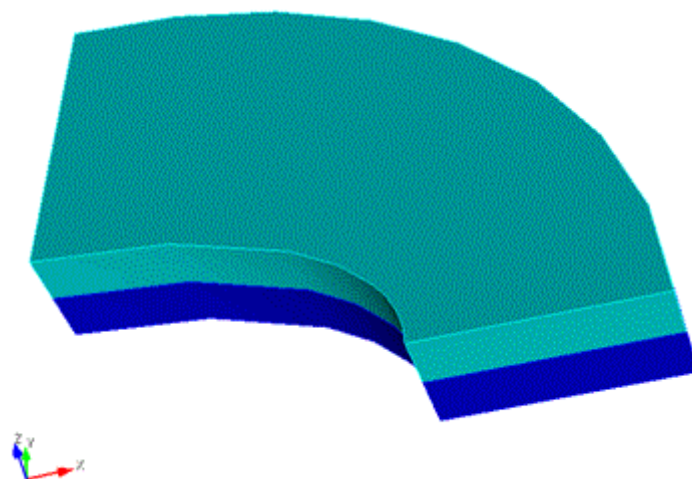
Из списка возможных видов разрезов выберите **Координатная плоскость**. Задайте следующие параметры:

- ID объемов: 4 (объем, который будет разрезан);
- Разрезать: Плоскость XY;
- Значение сдвига: 0;
- Поставьте галочку напротив поля Срастить.

Нажмите **Применить**.

В результате получится два объема 4 и 5 склеенных между собой вдоль плоскости разреза.





## 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: 43 44 45 46 (через пробелы);
- Выберите способ построения сетки: Равномерно;
- Установите флаг Интервал;
- Укажите количество интервалов: 12

Нажмите **Применить**. Нажмите **Построить сетку**.

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

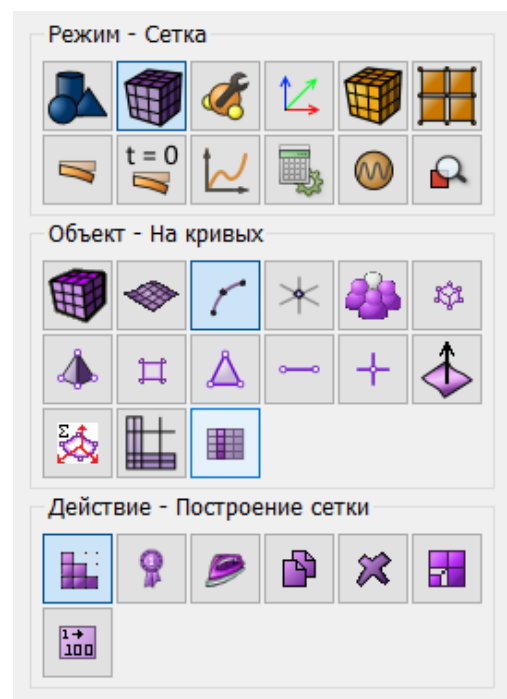
- Выбор кривых: 12 14 39 41 (через пробелы);
- Выберите способ построения сетки: Равномерно;
- Установите флаг Интервал;
- Укажите количество интервалов: 8;

Нажмите **Применить**. Нажмите **Построить сетку**.

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

- Выбор кривых: 51 53 61 62 (через пробелы);
- Выберите способ построения сетки: Равномерно;
- Установите флаг Интервал;
- Укажите количество интервалов: 2;

Нажмите **Применить**. Нажмите **Построить сетку**.



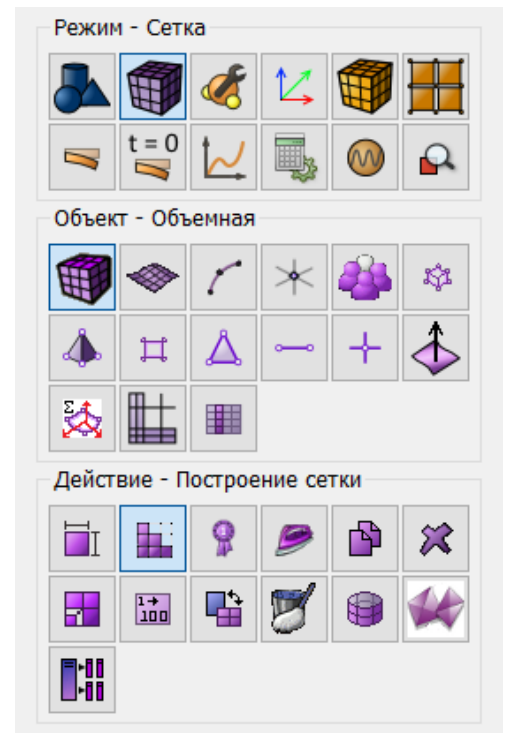
2. На панели команд выберите модуль построения объёмной сетки (Режим — **Сетка**, Объект — **Объёмная**, Действие — **Построение сетки**). Укажите следующие параметры:

- Выберите объёмы (введите их ID): 4 5 (или командой all);
- Выберите схему построения сетки: Карта;

Нажмите **Применить схему**. Нажмите **Построить сетку**.

Полученное количество элементов можно посмотреть на странице свойств, кликнув на нужный объем в дереве объектов слева. Также для просмотра свойств сетки можно выполнить следующие действия:

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



Mesh Information			
Element_Type	Interior	Boundary	Total
Hex	192	0	192
Face	0	272	272
Edge	0	544	544
Node	403	818	1221

## 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: 33 40;
- Степени свободы: По 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: 35 39;
- 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:

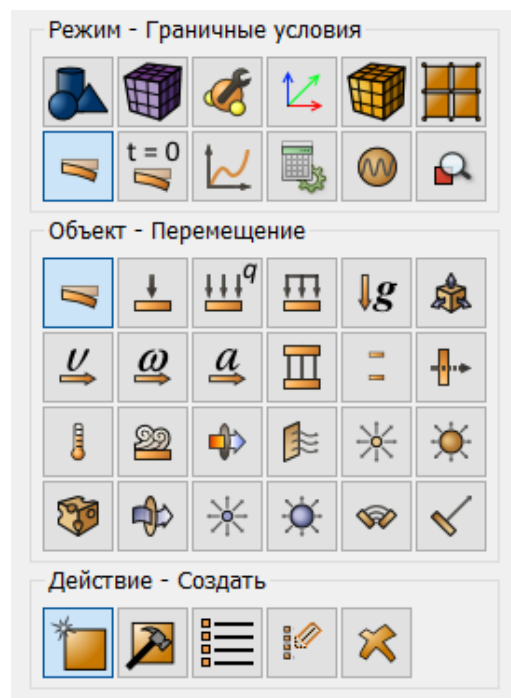
- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 36 38;
- Степени свободы: Компонента X и Y;
- Величина: 0.

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: 50;
- Степени свободы: По Z;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.





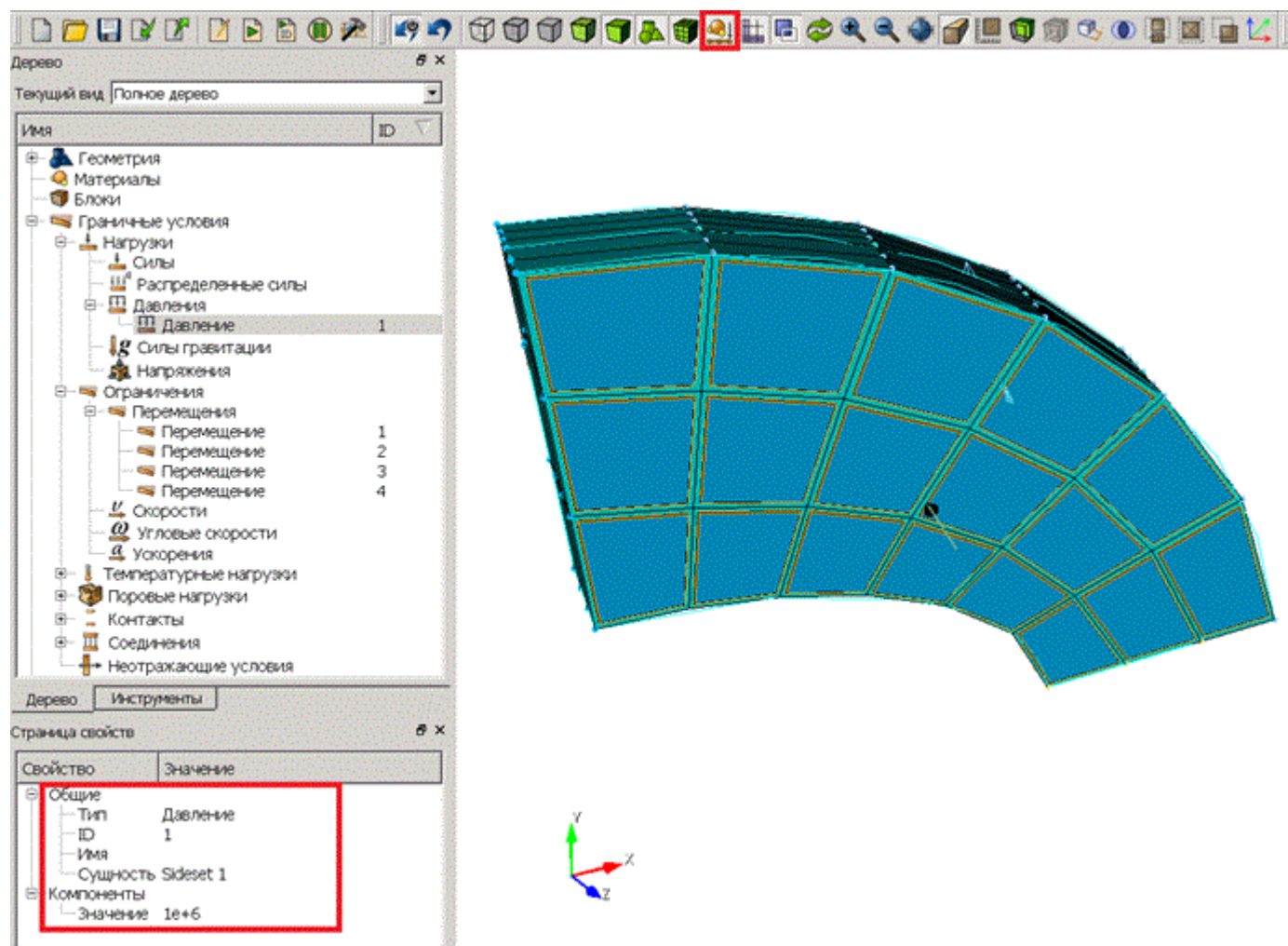
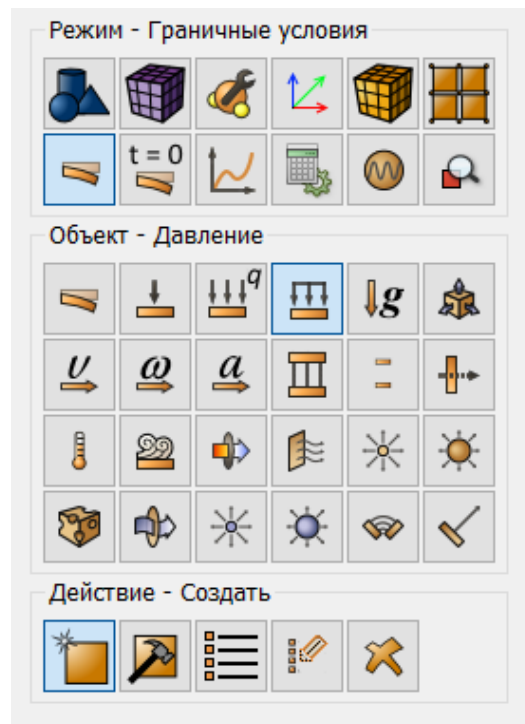
## 5. Приложите давление к верхней грани.

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

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 31;
- Значение: 1е6 (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.



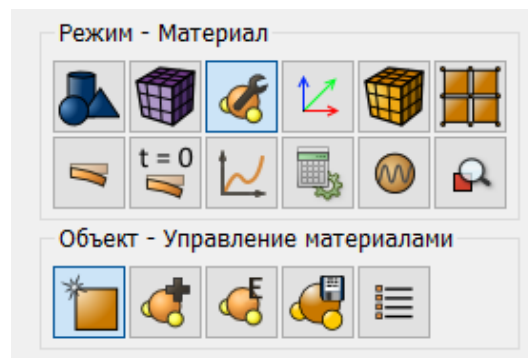
## Задание материала и свойств блока

1. Создайте материал.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**).

В открывшемся окне Управление материалами во второй колонке дважды кликните мышкой по надписи. Укажите название материала и напишите «Material 1».

Нажмите клавишу **ENTER**.



Управление материалами

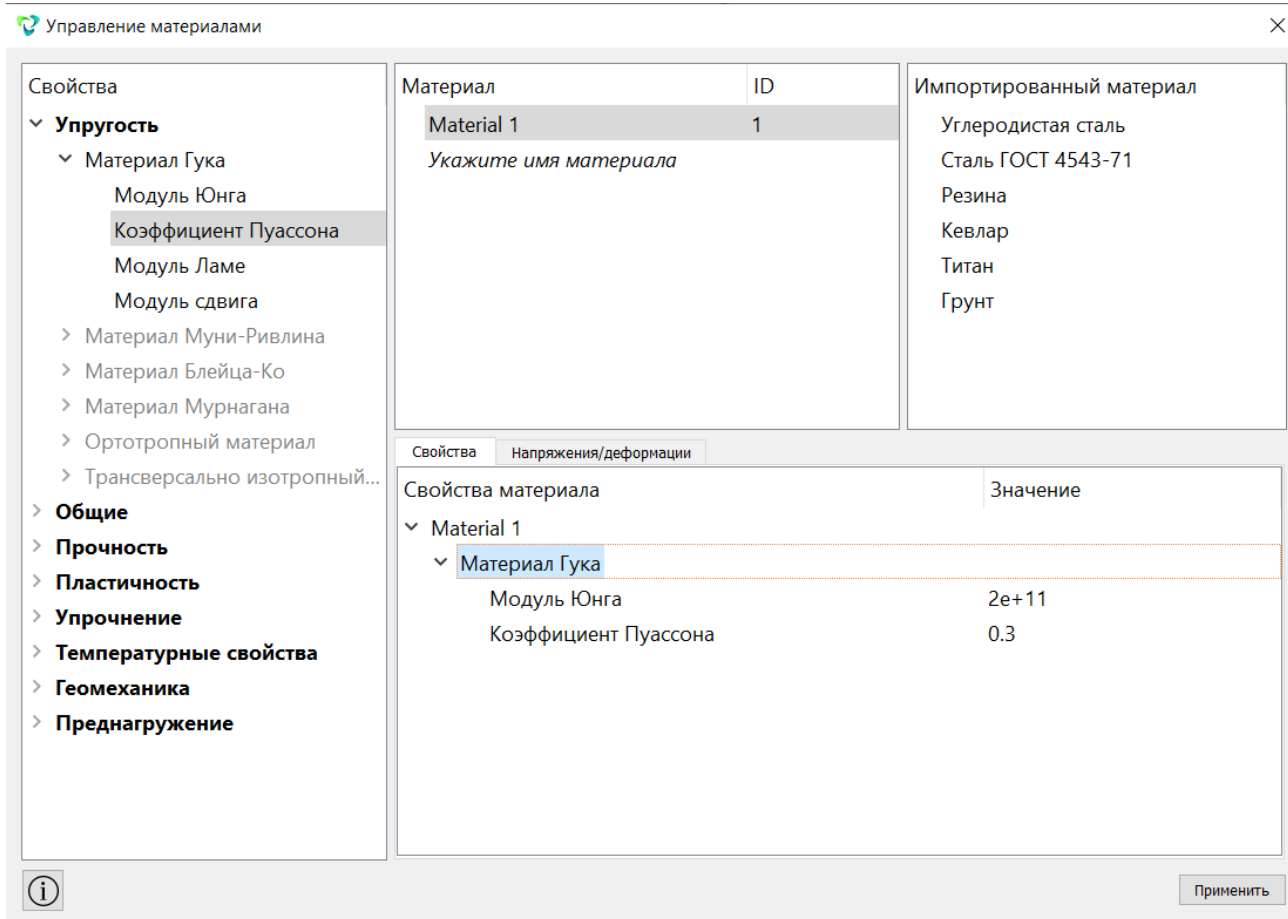
×

Свойства > Упругость > Общие > Прочность > Пластичность > Упрочнение > Температурные свойства > Геомеханика > Преднапряжение	Материал	ID	Импортированный материал
	Укажите имя материала		Углеродистая сталь Сталь ГОСТ 4543-71 Резина Кевлар Титан Грунт
	Свойства	Напряжения/деформации	
	Свойства материала		Значение

Введите название нового материала Применить

Далее, используя технологию “drag&drop”, добавьте необходимые характеристики из левой колонки в колонку Свойства материала. В левой колонке выберите Упругость – Материал Гука. Выберите мышкой характеристику Модуль Юнга. Удерживая левую кнопку мыши, перетащите надпись в Свойства материала. Дважды кликните в поле Значение напротив Модуля Юнга и укажите число 210e9. Аналогично, из раздела Материал Гука добавляем Коэффициент Пуассона 0.3.

Нажмите **Ок**.



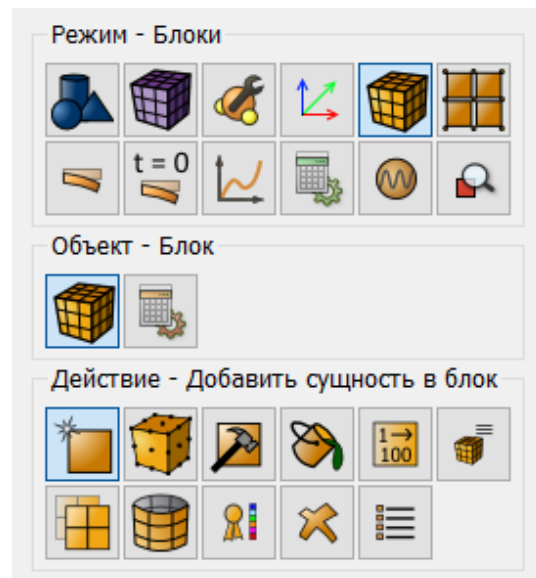
## 2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Выберите объекты, которые будут объединены в блок: Объём;
- ID: 4 5 (или командой all).

Нажмите **Применить**.



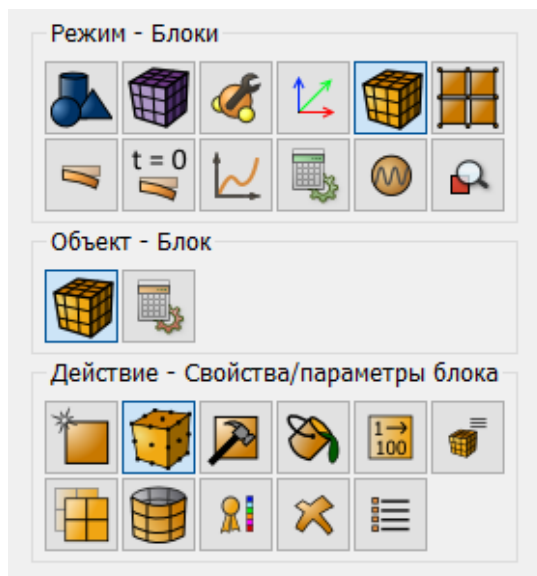
### 3. Задайте параметры блока.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Свойства/параметры блока**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Материал: Material 1;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Объемное тело;
- Порядок: 1.

Нажмите **Применить**.



## Запуск расчёта

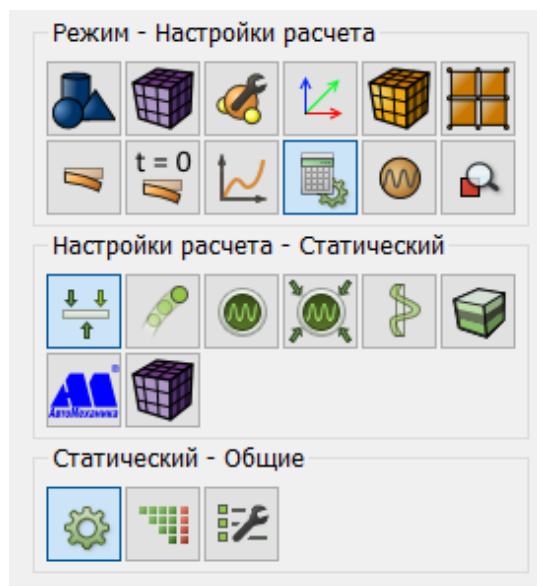
### 1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим — **Настройки расчёта**, Настройки расчёта — **Статический**, Статический — **Общие**).

Выберите:

- Размерность: 3D;
- Модель: Упругость.

Нажмите **Применить**.



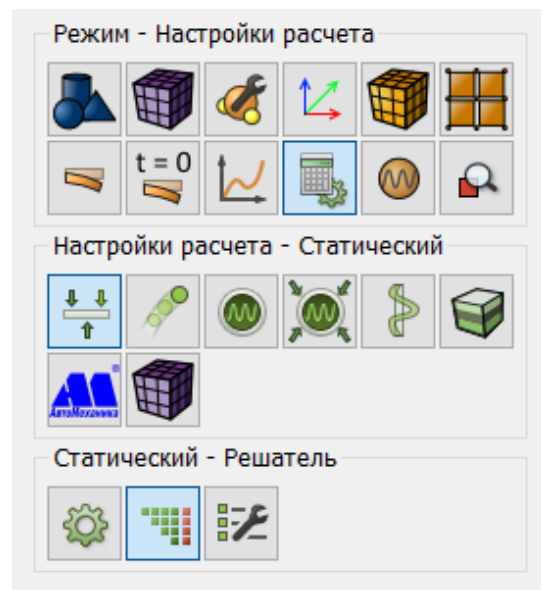
## 2. Задайте параметры решателя.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (**Режим — Настройки расчёта, Настройки расчёта — Статический, Статический — 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**.

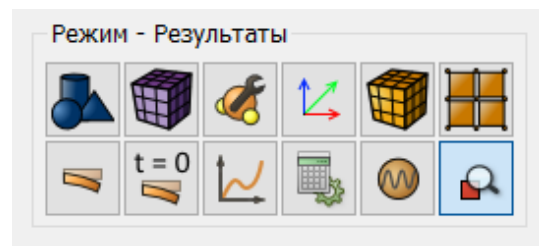
3. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат, и введите название файла.
4. В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: “Calculation finished successfully at date time”.



## Анализ результатов

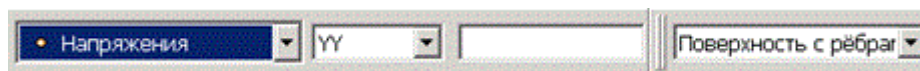
1. Откройте файл с результатами. Это можно сделать тремя способами.

- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите **Расчёт → Открыть результаты**.
- На панели команд выберите Результаты (Режим — Результаты, Результаты — Открыть Результаты).

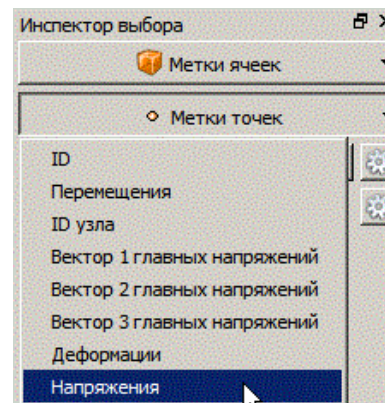
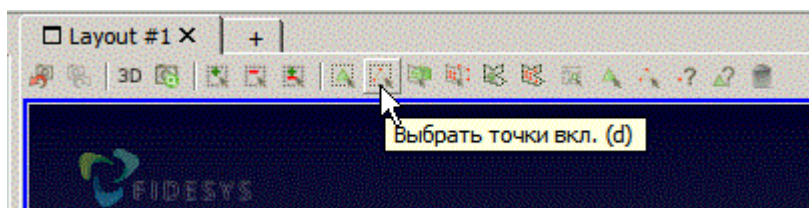


2. Отобразите компоненту  $\sigma_{yy}$  поля напряжений и сетку на модели. В появившемся окне **Fidesys Viewer** на панели инструментов установите следующие параметры:

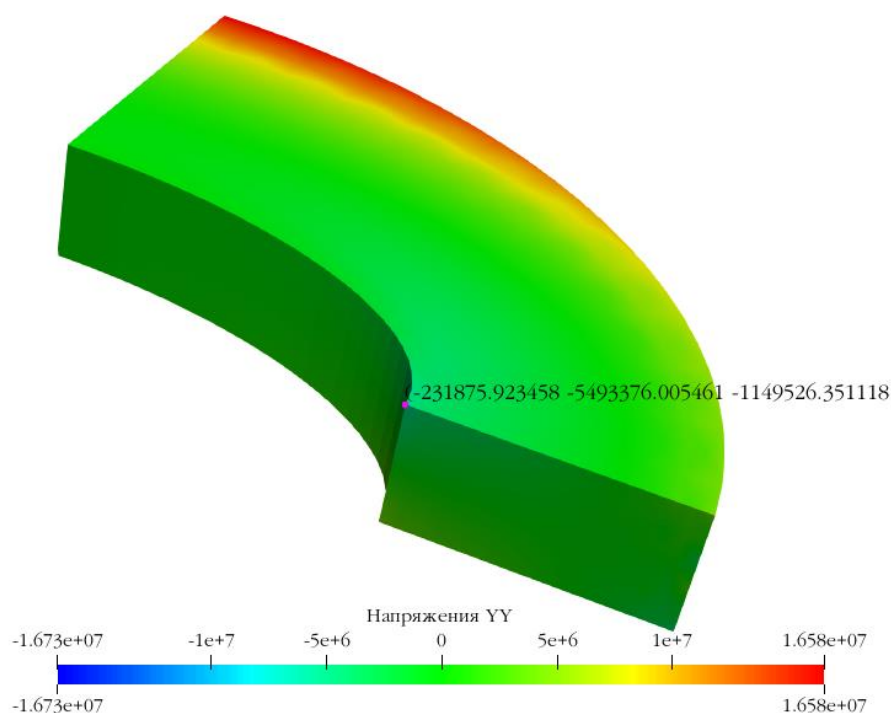
- Тип отображения: Поверхность с рёбрами;
- Поле отображения: Напряжения;
- Компонента отображения: YY.
- Поверхность с ребрами.



3. Выберите точку, в которой необходимо проверить напряжение.



Выберите точку на модели, используя кнопку Выбрать точки. Выделите точку D на верхней грани. В главном меню выберите Вид – Инспектор выбора. В Инспекторе выбора выберите Метки точек и кликните по строчке Напряжения в выпадающем списке. В результате на рисунке отобразятся компоненты Напряжений в выделенной точке D.



4. Проверьте численное значение  $\sigma_{yy}$  в выбранной точке D.

Полученное значение  $-5.493e+06$  отличается от требуемого  $-5.380e+06$  на 2%.

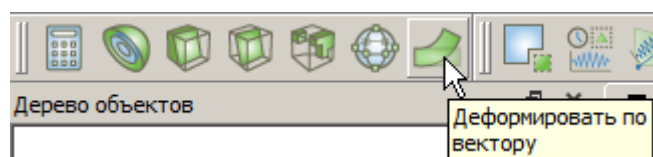
5. Выгрузите числовые данные.

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

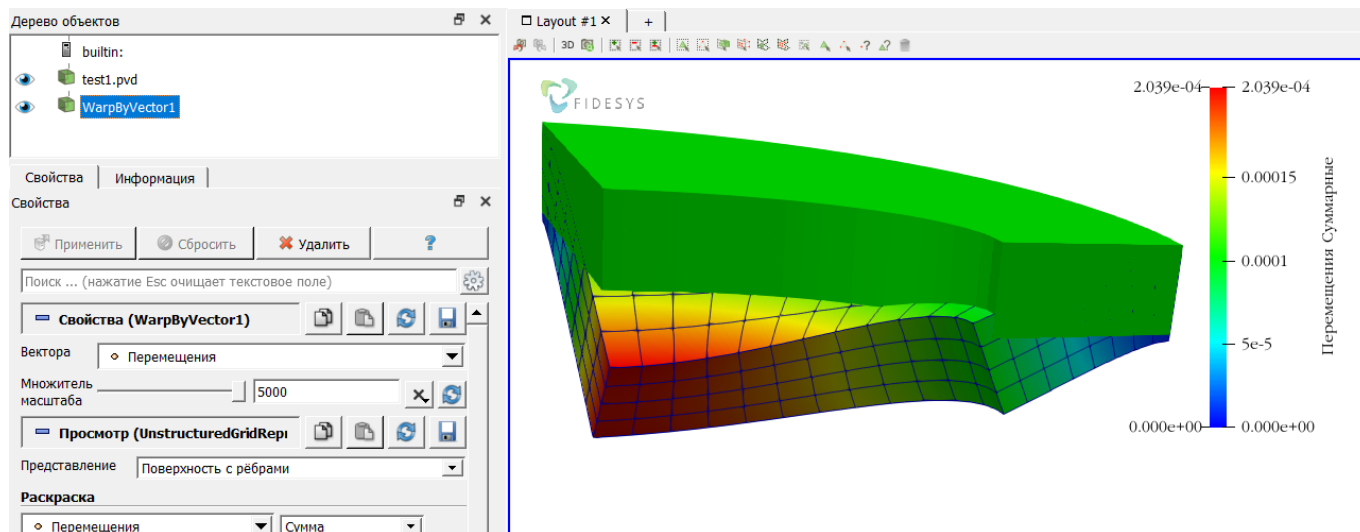
Сохранённый файл представляет собой обычную таблицу числовых данных, которую можно открыть любым текстовым редактором.

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

Для этого выберите Деформировать по вектору на верхней панели инструментов. Во вкладке Свойства установите значение 5000 в поле Множитель масштаба. 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 зеленая заливка) и исходная модель (с полем распределения суммарных перемещений).



## 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.

Ниже приведён код программы, позволяющий выполнить шаги описанного выше руководства, необходимо только самостоятельно указать полный путь и название сохраняемого файла.

```

reset
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 volume 1 from volume 2
webcut volume 2 with plane xplane offset 0
webcut volume 2 with plane yplane offset 0
delete Body 2 3
webcut volume 4 with plane zplaneoffset 0 merge
curve 43 44 45 46 scheme equal
curve 43 44 45 46 interval 12
mesh curve 46 44 45 43
curve 12 14 39 41 scheme equal
curve 12 14 39 41 interval 8
mesh curve 12 14 39 41
curve 51 53 61 62 scheme equal
curve 51 53 61 62 interval 2
mesh curve 51 53 61 62
volume 4 5 scheme map
mesh volume 4 5
list Volume 4 mesh
create displacement on surface 33 40 dof 1 fix 0
create displacement on surface 35 39 dof 2 fix 0
create displacement on surface 36 38 dof 1 dof 2 fix 0
create displacement on curve 50 dof 3 fix 0
    
```



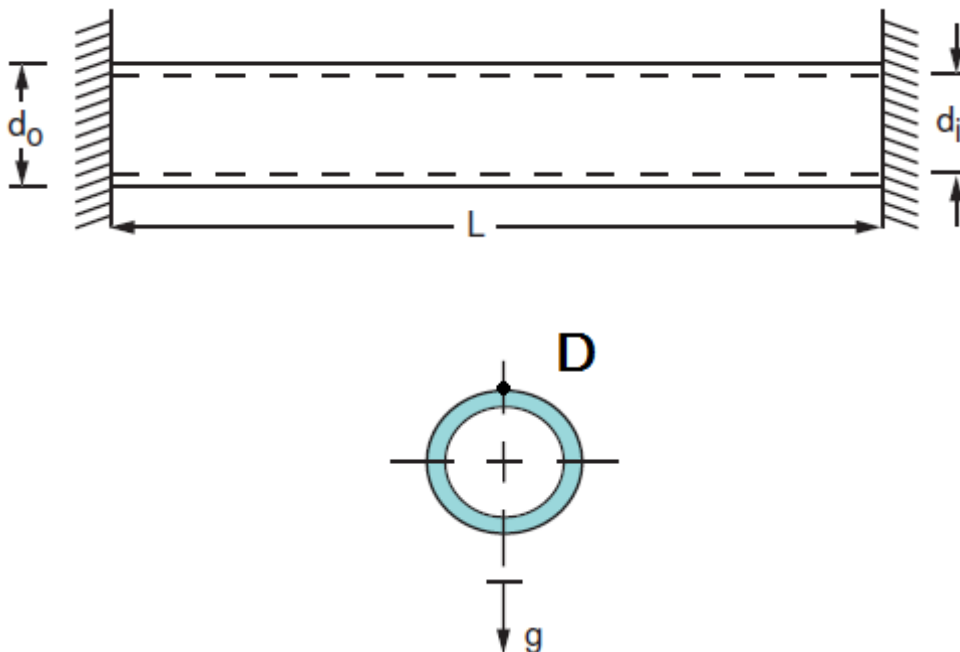
```
create pressure on surface 31 magnitude 1e6
create material 1
modify material 1 name 'Material 1'
modify material 1 set property 'MODULUS' value 2.1e+11
modify material 1 set property 'POISSON' value 0.3
block 1 add volume 4 5
block 1 material 1
block 1 element solid order 2
analysis type static elasticity dim3
calculation start path 'D:/fidesys_example.pvd'
```



## Статическое нагружение (сила тяжести)

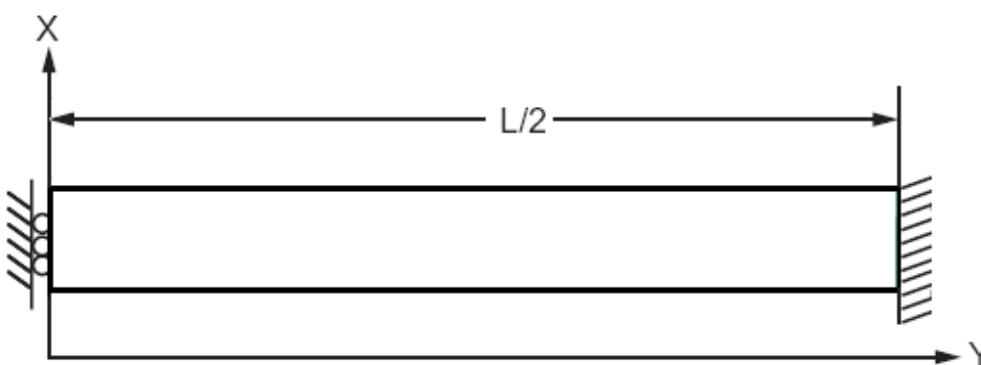
R.J. Roark, *Formulas for Stress and Strain*, 4<sup>th</sup> Edition McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, NY, 1965, pg 112, no. 33

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  $E = 30e6$  psi,  $\nu = 0.0$ ,  $\rho = 0.00073$  lb-sec<sup>2</sup>/in<sup>4</sup>. Сила тяжести задается через ускорение  $g = 386$  in/sec<sup>2</sup>. 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 — **Объем**, Действие — **Создать**).

Из списка геометрических примитивов выберите **Цилиндр**. Задайте размеры цилиндра:

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

Нажмите **Применить**.

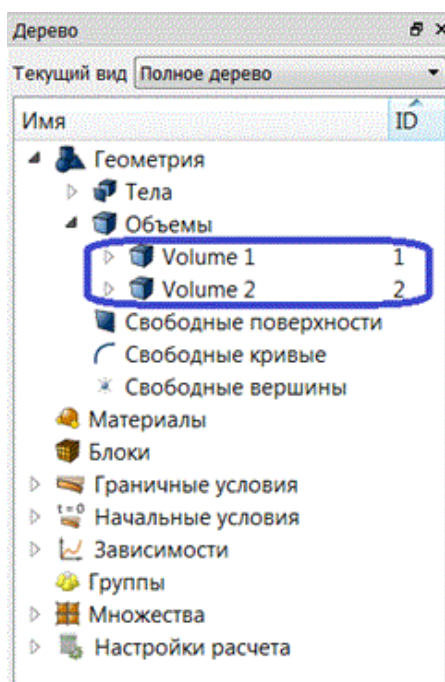
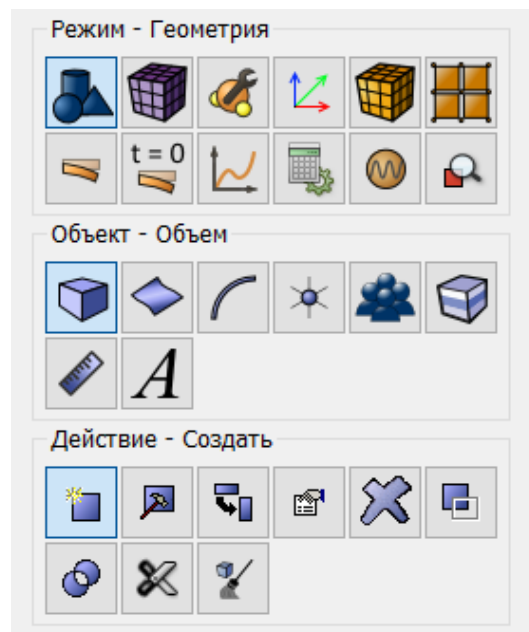
2. Создайте второй цилиндр.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, 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).



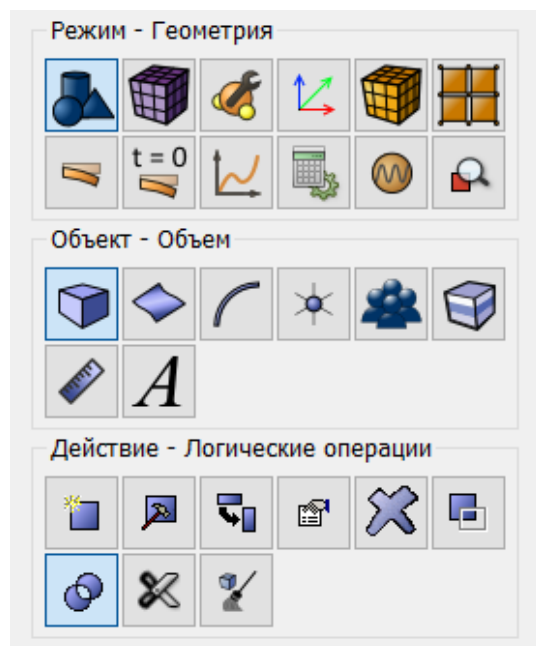
### 3. Вычтите первый цилиндр из второго.

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

- ID объема(ов): 1 (объёмы, из которых будут вычтены другие объёмы);
- ID объема(ов): 2 (объёмы, которые будут вычтены);

Нажмите **Применить**.

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



### 4. Поместите объем к началу координат.

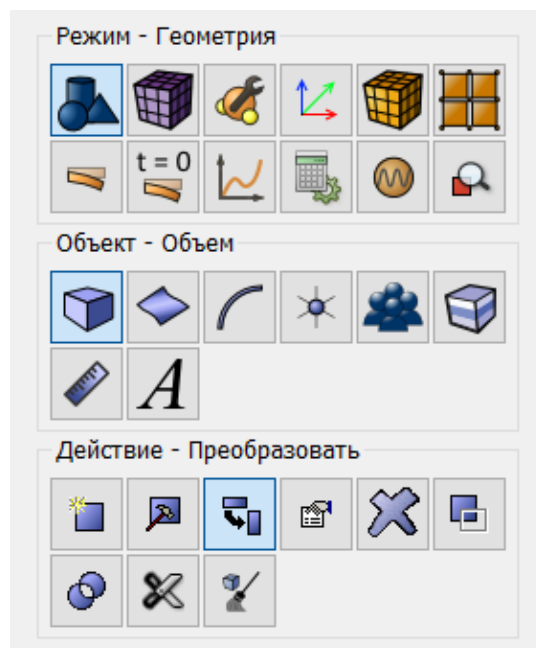
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, Действие — **Преобразовать**). Из списка возможных видов разрезов выберите **Переместить**.

Задайте следующие параметры:

- Объем ID(s): 1 (объём, который будет разрезан);
- Выбрать метод 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 Задать 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**).

Укажите следующие параметры:

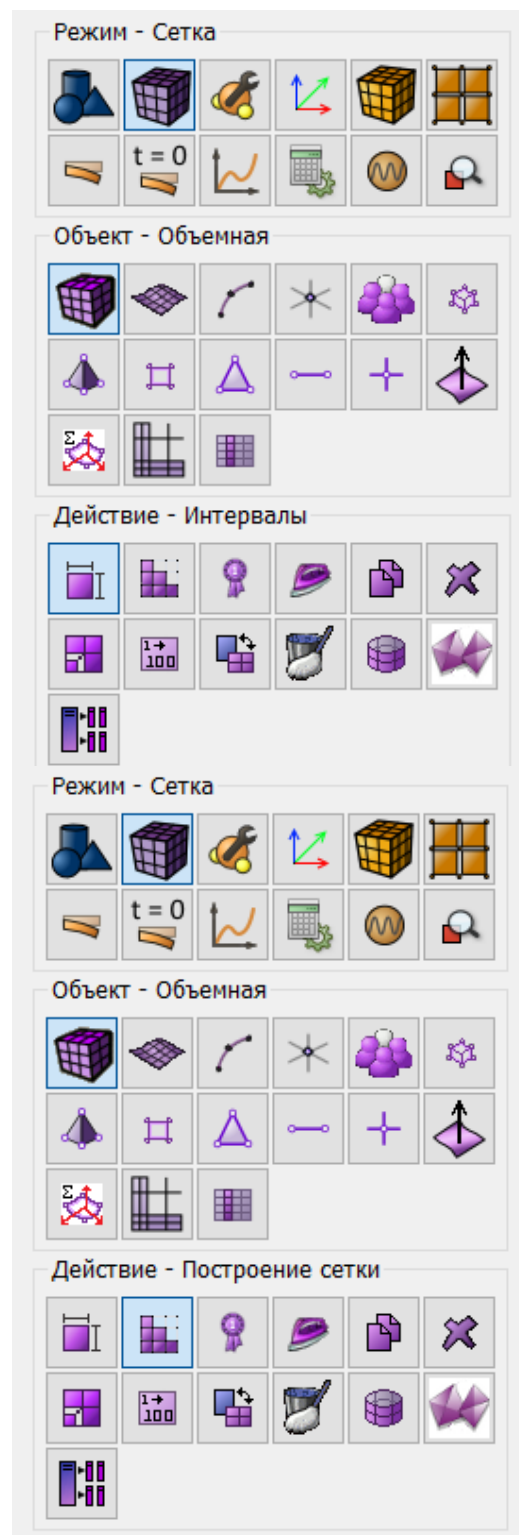
- Выберите объемы: 1;
- Выберите схему построения сетки: Протяжка;

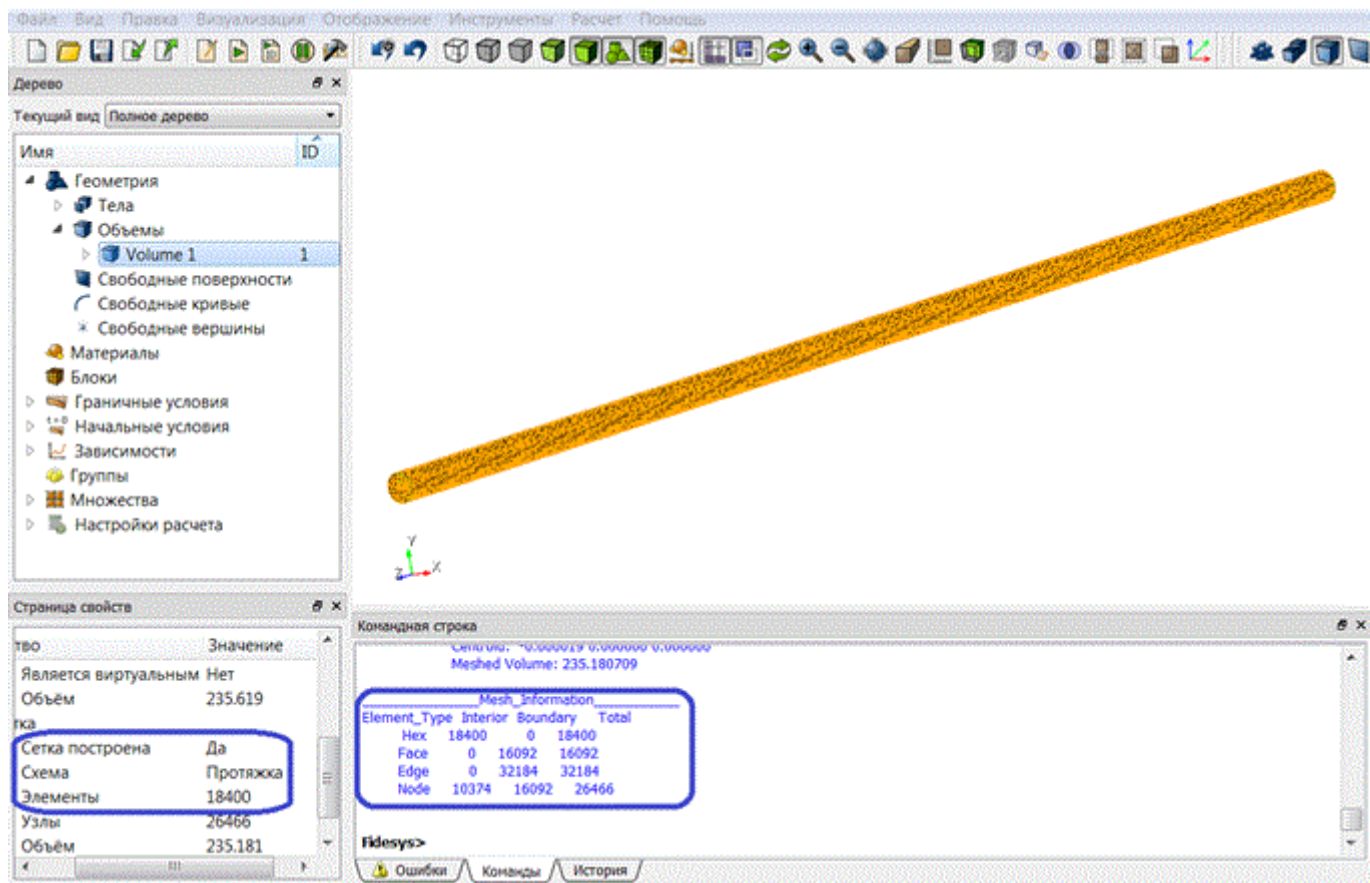
Нажмите **Применить**. Нажмите **Построить сетку**.

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:

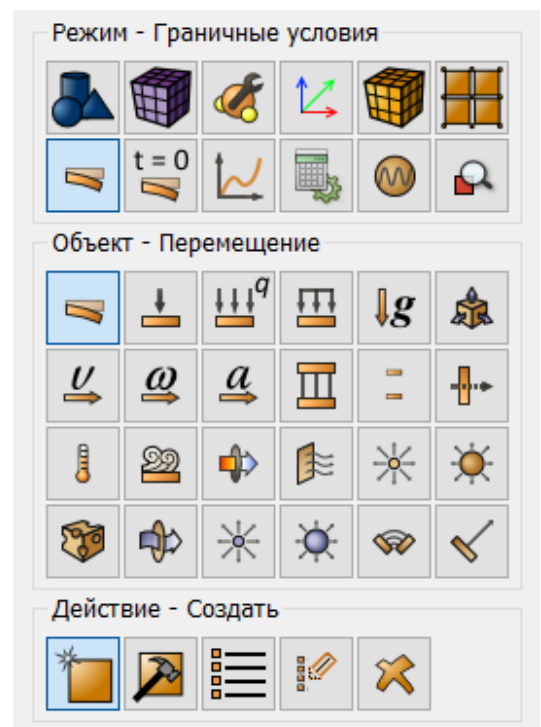
- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 8;
- Степени свободы: Все;
- Величина: 0.

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.

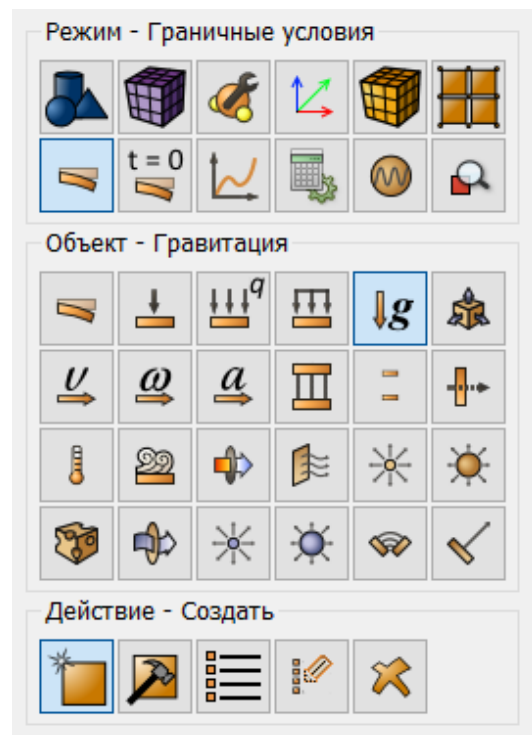
Нажмите **Применить**.

### 3. Задайте силу тяжести.

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

- Глобально;
- Направление: Y;
- Значение: -386.

Нажмите **Применить**.

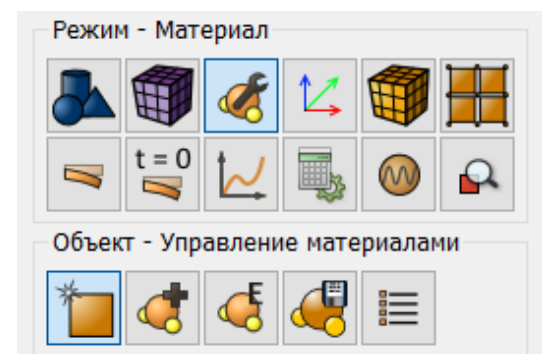


## Задание материала и свойств блока

1. Создайте материал. На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Материал**, Действие — **Создать материал**).

В открывшемся окне Управление материалами во второй колонке кликните мышкой по надписи Укажите название материала и напишите «Material 1». Нажмите клавишу ENTER.

В левой колонке выберите Упругость – Материал Гука. Выберите мышкой характеристику Модуль Юнга. Удерживая левую кнопку мыши, перетащите надпись в Свойства материала. Дважды кликните в поле Значение напротив Модуля Юнга и укажите число 30e6.



Аналогично, из раздела Материал Гука добавляем Коэффициент Пуассона 0; из раздела Общие — Плотность: 0.00073.

Нажмите **Применить**.

Свойства	Материал	ID	Импортированный материал
<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Упругость                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Материал Гука                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>Модуль Юнга</li> <li>Коэффициент Пуассона</li> <li>Модуль Ламе</li> <li>Модуль сдвига</li> </ul> </li> <li>▶ Материал Муни-Ривлина</li> <li>▶ Материал Блейца-Ко</li> <li>▶ Материал Мурнагана</li> <li>▶ Ортотропный материал</li> <li>▶ Трансверсально изотропн...</li> </ul> </li> <li>▲ Общие                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Плотность</li> <li>Коэффициент постоянног...</li> <li>Коэффициент массового ...</li> <li>Коэффициент демпфиров...</li> </ul> </li> <li>▶ Прочность</li> </ul>	Material1	1	Углеродистая сталь Сталь ГОСТ 4543-71 Резина Кевлар Титан Грунт
		<i>Укажите имя материа...</i>	
		Свойства материала	
		Значение	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Material1                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Материал Гука                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>Модуль Юнга <span style="float: right;">3e+7</span></li> <li>Коэффициент Пуассона <span style="float: right;">0</span></li> </ul> </li> <li>▲ Общие                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>Плотность <span style="float: right;">0.00073</span></li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	

## 2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**).

Задайте следующие параметры:

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

Нажмите **Применить**.

Режим - Блоки


Объект - Блок

--	--

Действие - Добавить сущность в блок


### 3. Задайте параметры блока.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Свойства/параметры блока**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Материал: Material 1;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Объемное тело;
- Порядок: 1.

Нажмите **Применить**.

### Запуск расчёта

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

Выберите:

- Размерность: 3D;
- Модель: Упругость.

Нажмите **Применить**.

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

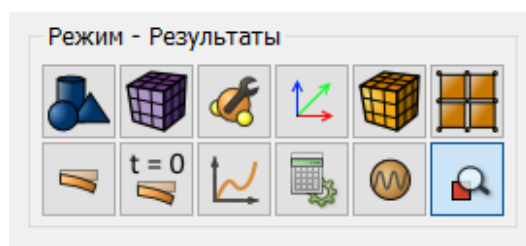
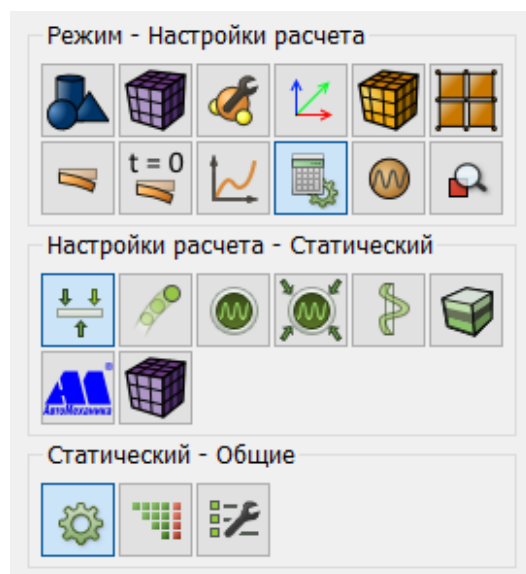
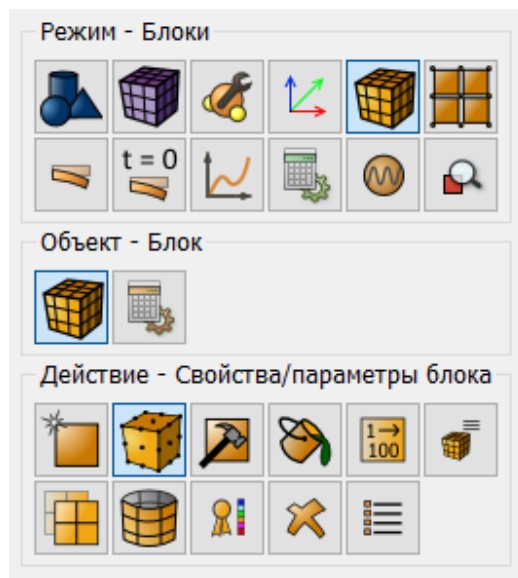
В случае успешно проведенного расчёта в консоли отобразится сообщение: "Calculation finished successfully at "date" "time".

### Анализ результатов

#### 1. Откройте файл с результатами.

Это можно сделать тремя способами.

- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите **Расчёт** → **Открыть результаты**.
- На панели команд выберите Режим — **Результаты**. Нажмите **Открыть результат**.



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:

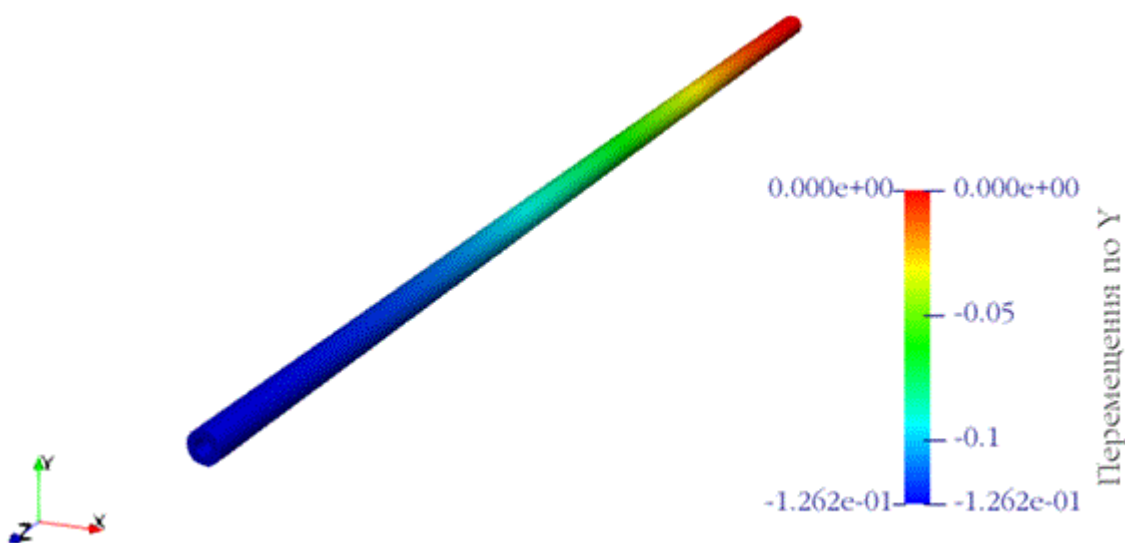


- Тип

отображения: Поверхность;

- Поле отображения: Перемещения;
- Компонента отображения:  $Y$ .
- Поверхность.

После применения настроек должна отобразиться следующая картина:



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

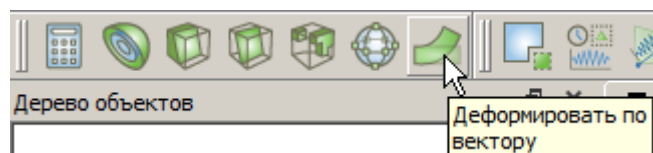
На цветовой легенде максимальное по модулю перемещение (синим) соответствует значению -0.1262. Полученное значение -0.1262 отличается от требуемого -0.12524 на 0.77%.

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. Можно посмотреть, как деформируется тело под приложенным давлением.

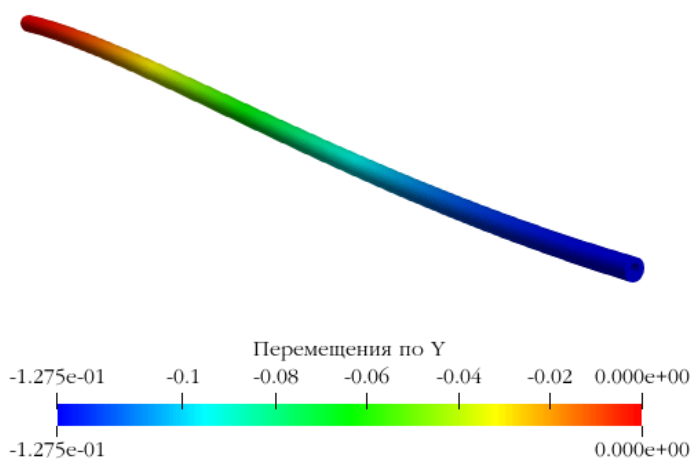
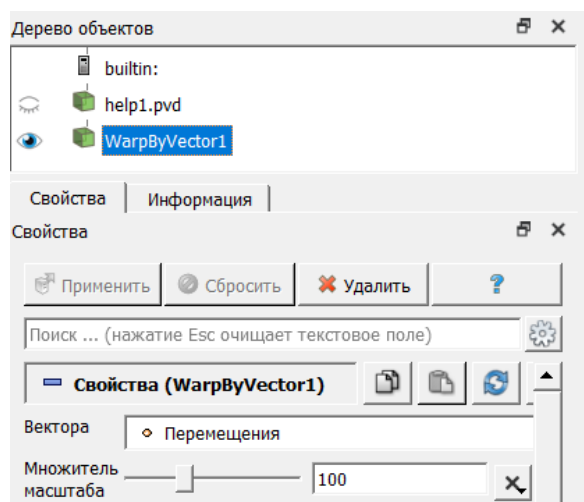
Для этого выберите **Фильтр** → **Алфавитный указатель** → **Деформировать по вектору**.



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).



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

На цветовой легенде максимальное по модулю перемещение (синим) соответствует значению -0.1275.

Полученное значение -0.1275 отличается от требуемого -0.12524 на 1.7%.

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:/Fidesys/calc/example.pvd)

```

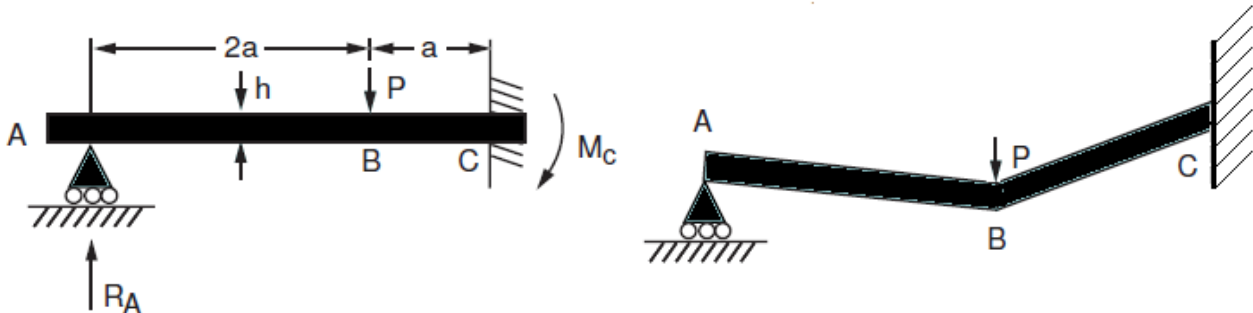
reset
create Cylinder height 100 radius 1
create Cylinder height 100 radius 0.5
subtract volume 2 from volume 1
volume 1 size 0.25
volume 1 scheme sweep
mesh volume 1
    
```

```

list volume 1 mesh
create displacement on surface 8 dof all fix 0
create displacement on surface 9 dof 1 dof 3 fix 0
create gravity global
modify gravity 1 dof 2 value -386
create material 1
modify material 1 name 'Material1'
modify material 1 set property 'POISSON' value 0
modify material 1 set property 'MODULUS' value 3e+7
modify material 1 set property 'DENSITY' value 0.00073
block 1 add volume 1
block 1 material 1
block 1 element solid order 2
analysis type static elasticity dim3
calculation start path " D:/Fidesys/example.pvd
    
```

## 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 В 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 А (0,0,0) равно 148.15 lb, момент реакции в точке С равен 27778 in-lb с точностью 1.5%.

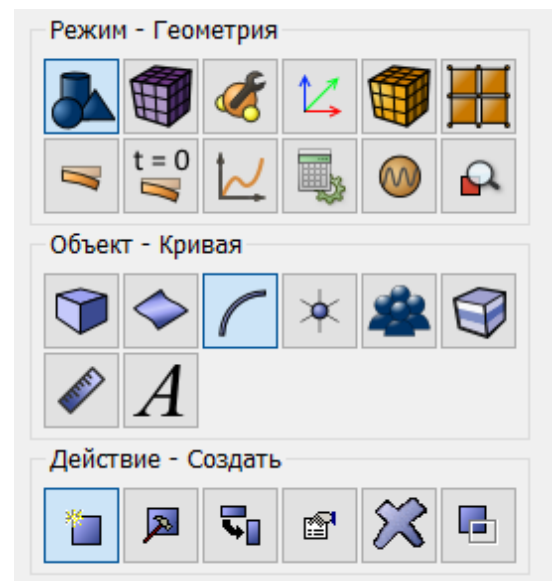
### Построение модели

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

На панели команд выберите модуль построения объемной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Кривая**, Действие — **Создать**).

Из списка геометрических примитивов выберите **Линия**. Постройте, используя **Положение 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 **Положение 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.

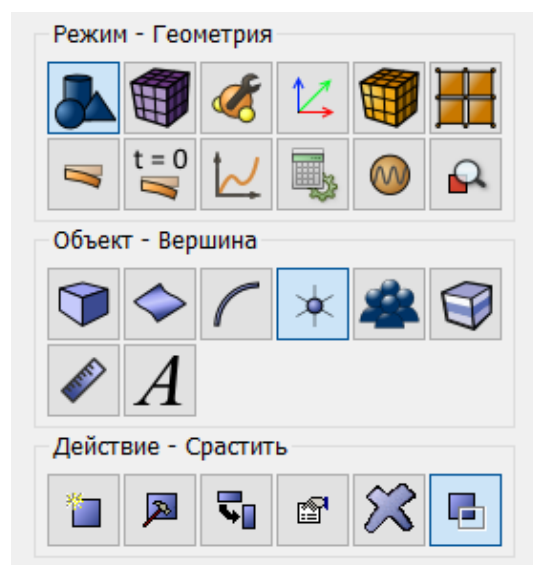
3. Срастите две вершины.

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 С 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.

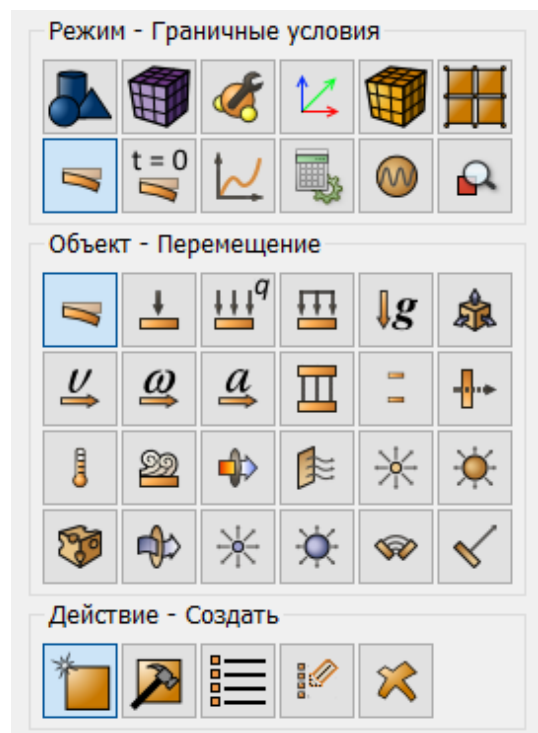
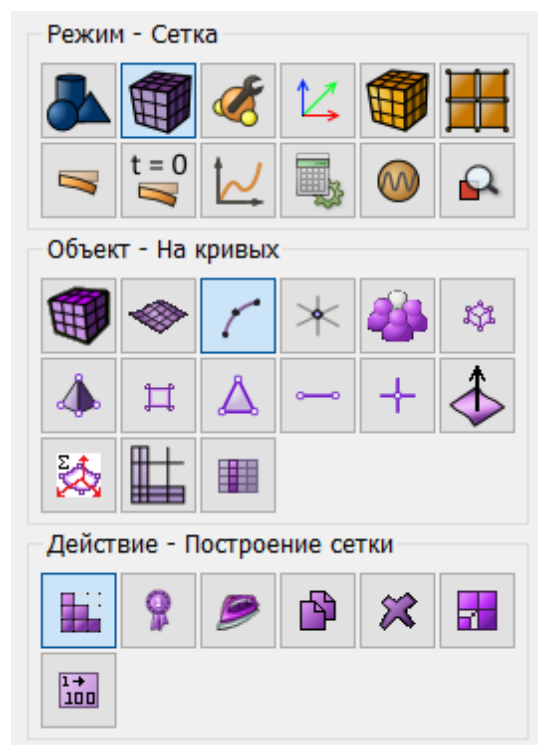
Нажмите **Применить**.

2. Закрепите точку А 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 В.

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 0 -1 0.

Нажмите **Применить**.

### Задание материала и свойств блока

#### 1. Создайте материал.

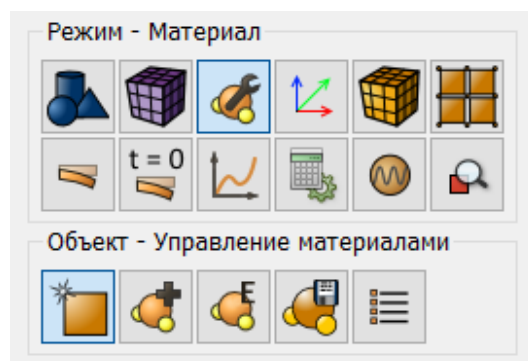
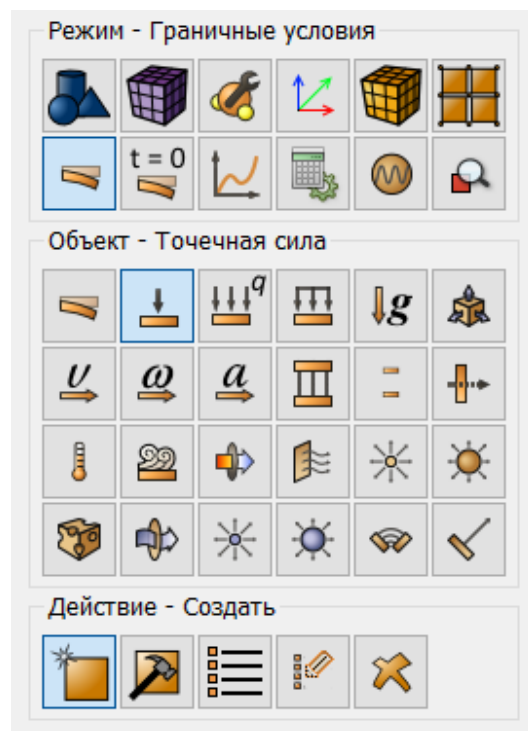
На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Материал**, Действие — **Создать материал**).

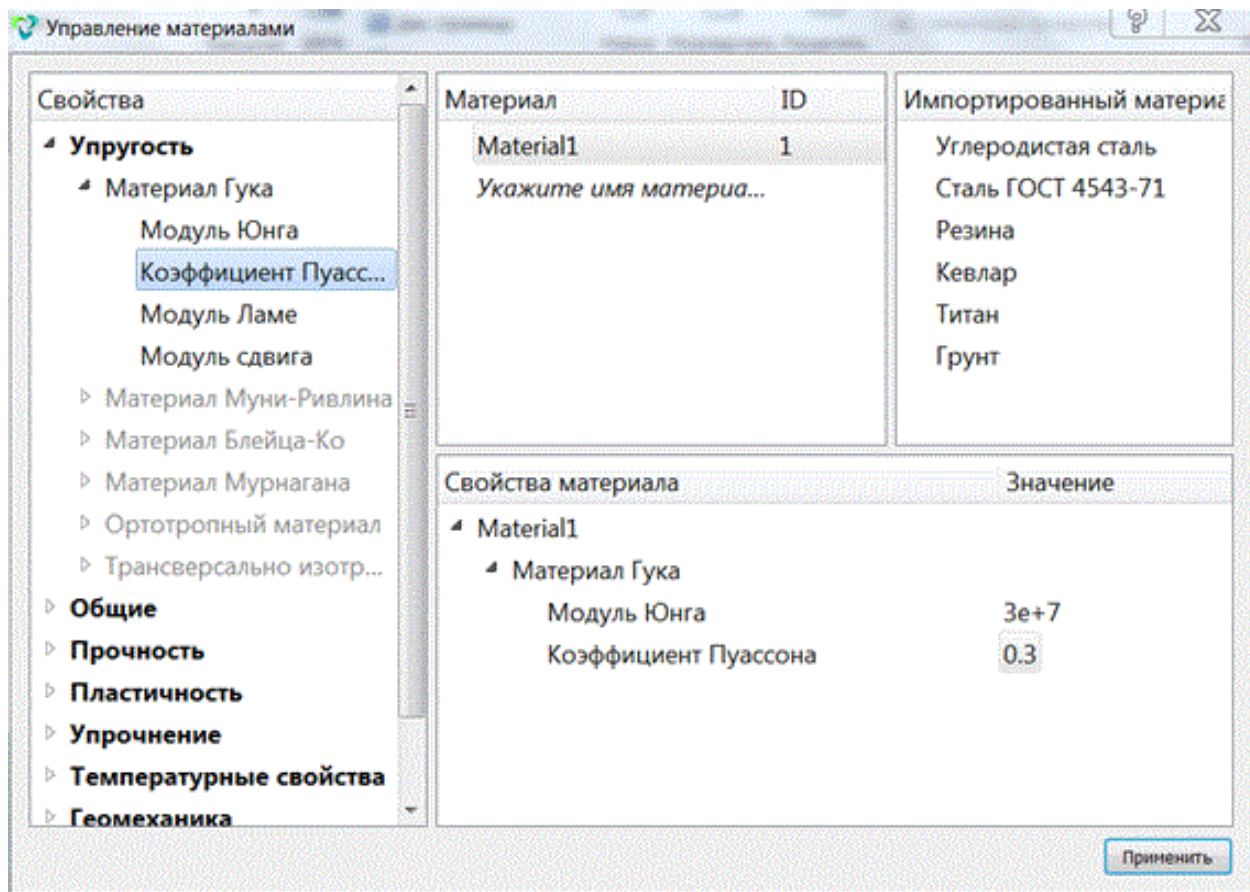
В открывшемся окне Управление материалами во второй колонке кликните мышкой по надписи Укажите название материала и напишите «Material 1». Нажмите клавишу ENTER.

В левой колонке выберите Упругость – Материал Гука. Выберите мышкой характеристику Модуль Юнга. Удерживая левую кнопку мыши, перетащите надпись в Свойства материала. Дважды кликните в поле Значение напротив Модуля Юнга и укажите число  $30e7$ .

Аналогично, из раздела Материал Гука добавляем Коэффициент Пуассона 0.3.

Нажмите **Применить**.





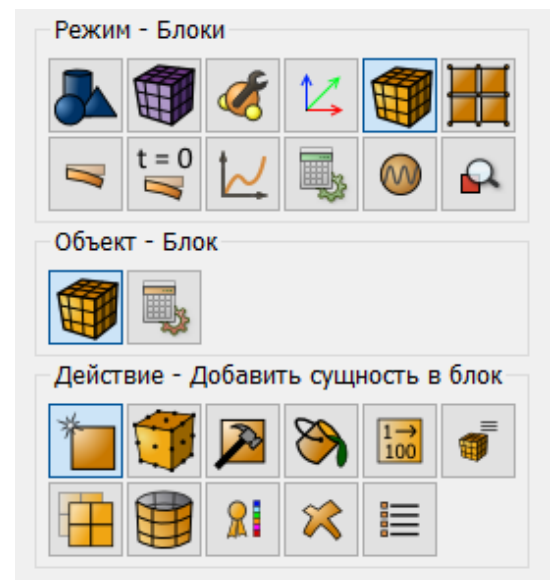
## 2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**).

Задайте следующие параметры:

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

Нажмите **Применить**.



### 3. Задайте параметры блока.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Свойства/параметры блока**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Материал: Material 1;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Балка;
- Порядок: 1.

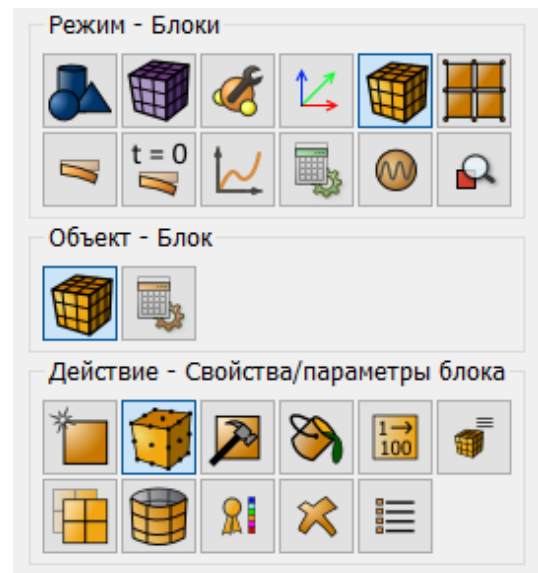
Нажмите **Задать свойства балки**. Из выпадающего списка Профиль сечения выберите **Прямоугольник**.

Задайте следующие параметры:

- Высота (H): 1;
- Ширина (1): 1.

Нажмите **Применить**.

Закройте окно **Задать свойство балки**. Нажмите **Применить**.



### Запуск расчёта

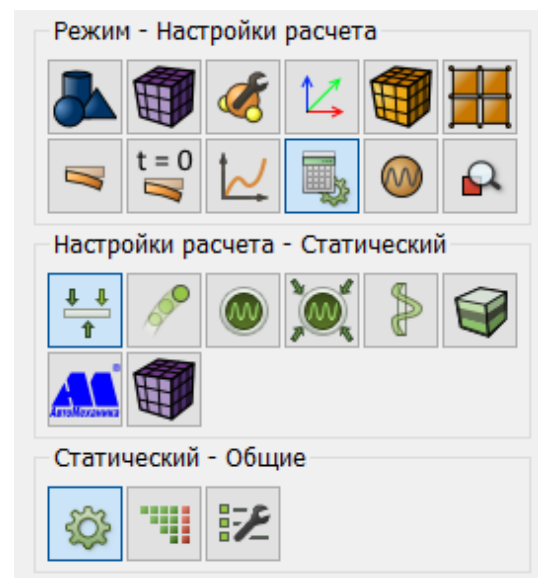
1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

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

Выберите:

- Размерность: 3D;
- Модель: Упругость.

Нажмите **Применить**.



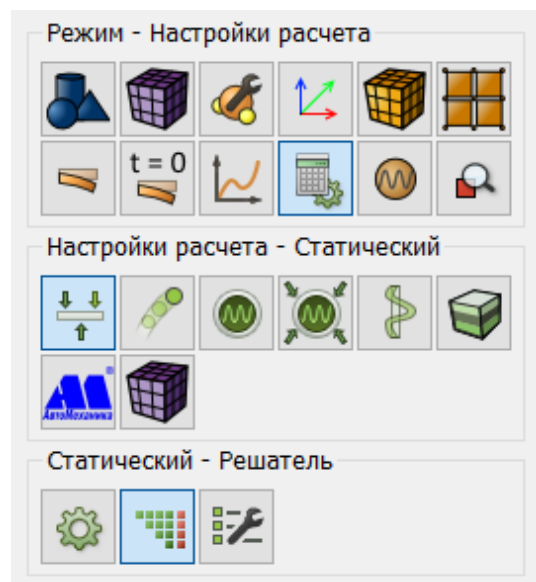


## 2. Задайте параметры решателя.

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 **Статический – Поля вывода**.

Установите флаг **Вычислять узловые силы и силы реакции**.

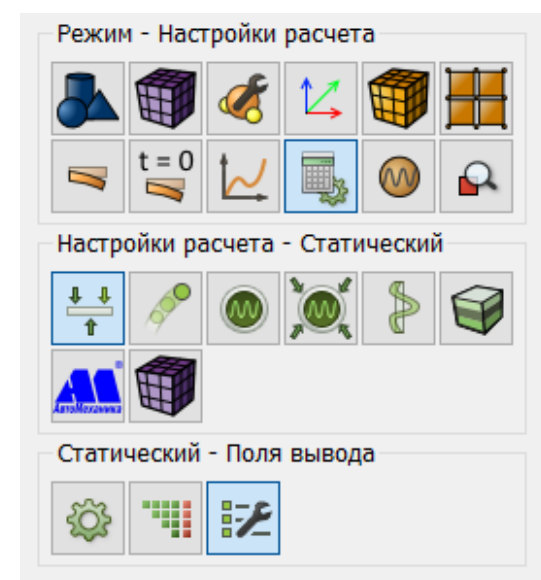
Нажмите **Применить**.

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".

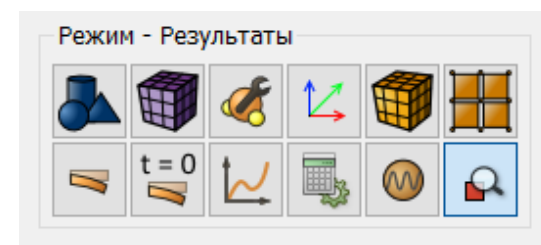


## Анализ результатов

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

- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите **Расчёт** → **Открыть результаты**.
- На панели команд выберите Режим — **Результаты**.

Нажмите **Открыть результат**.



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:  $Y$ .

На модели отобразится поле распределения перемещений вдоль оси Y.



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

3. Проверьте численное значение силы реакции в точке A.

Отобразите компоненту Y поля **Силы реакций**.

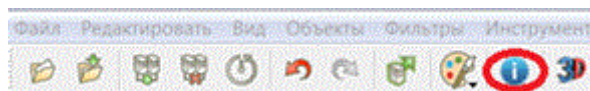


На главной панели **Fidesys Viewer** нажмите **Выбрать точки на поверхности**.



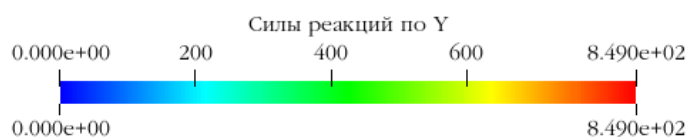
Выберите на геометрической модели крайнюю левую точку (точку A).

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



В появившемся окне отобразятся компоненты силы реакции в выбранной точке.

ID узла	Силы реакций
1	0 150.977 0



Полученное значение 150.977 отличается от требуемого 148.15 меньше, чем на 1,9%.

Не закрывайте окно Информация о точке.

4. Проверьте численные значения моментов реакций в точке С.

Отобразите компоненту Z поля **Моменты реакций**.



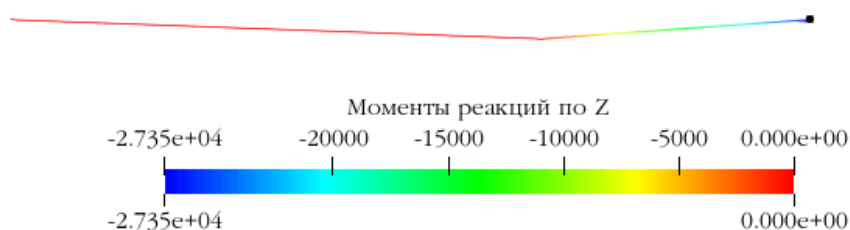
На главной панели **Fidesys Viewer** нажмите **Выбрать точки на поверхности**.



Выберите на геометрической модели крайнюю правую точку С.

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

ID узла	Моменты реакций
3	0 0 -27353.5



Полученное значение -27353.3 отличается от требуемого -27778 меньше, чем на 1.6%.

5. Откройте 3D-изображение балки.



Для отображения 3D-вида сечения балки установите фокус на названии расчета и нажмите кнопку 3D-вид 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:/Fidesys/calc/example3.pvd):

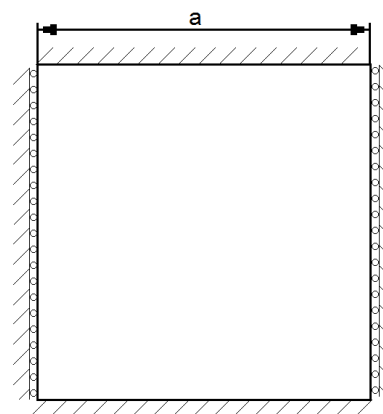
```
reset
create curve location 0 0 0 direction 1 0 0 length 100
create curve location 100 0 0 direction 1 0 0 length 50
merge vertex 2 3
curve all scheme equal
curve all interval 1
mesh curve all
create displacement on vertex 4 dof all fix
create displacement on vertex 1 dof 2 dof 3 fix
create force on vertex 2 force value 1000 direction 0 -1 0
create material 1
modify material 1 name 'Material1'
modify material 1 set property 'MODULUS' value 3e+7
modify material 1 set property 'POISSON' value 0
block 1 add curve 1 2
block 1 material 1
block 1 element beam
block 1 attribute count 7
block 1 attribute index 1 value 1 name 'Rectangle'
block 1 attribute index 2 value 0.0 name 'ey'
block 1 attribute index 3 value 0.0 name 'ez'
block 1 attribute index 4 value 0.0 name 'angle'
block 1 attribute index 5 value 0 name 'section_id'
block 1 attribute index 6 value 1 name 'geom_H'
block 1 attribute index 7 value 1 name 'geom_B'
analysis type static elasticity dim3
solver method auto use_uzawa auto try_other on
output nodalforce on energy off midresults on record3d on log on vtu on material off
calculation start path 'D:/Fidesys/example3.pvd'
```

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

- Ширина: 1;
- Высота: оставьте опционально.

Нажмите **Применить**.

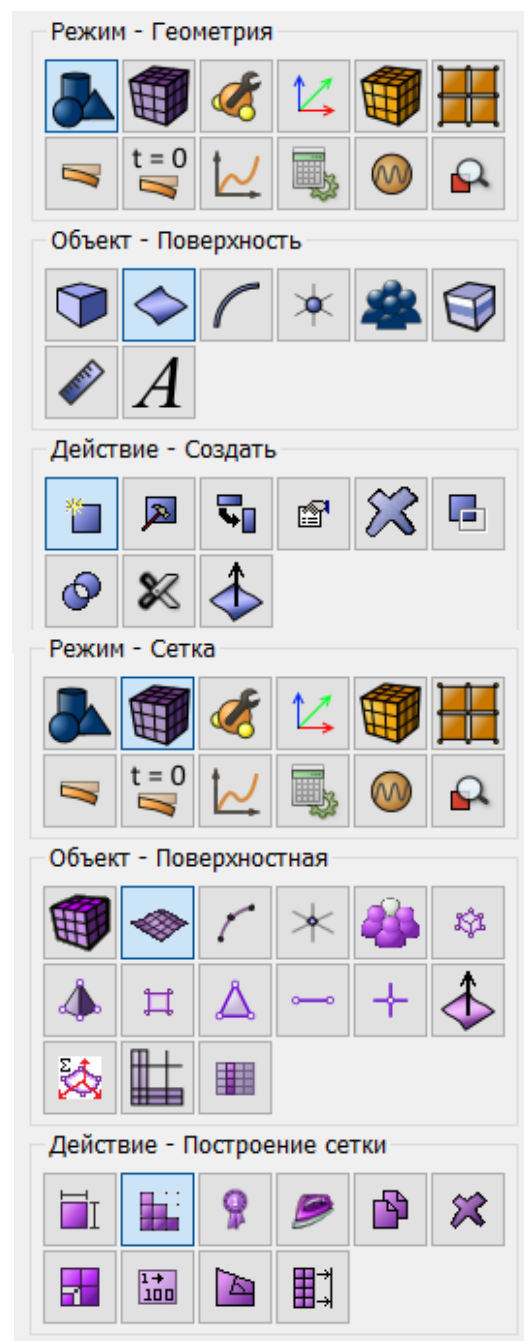
### Построение сетки

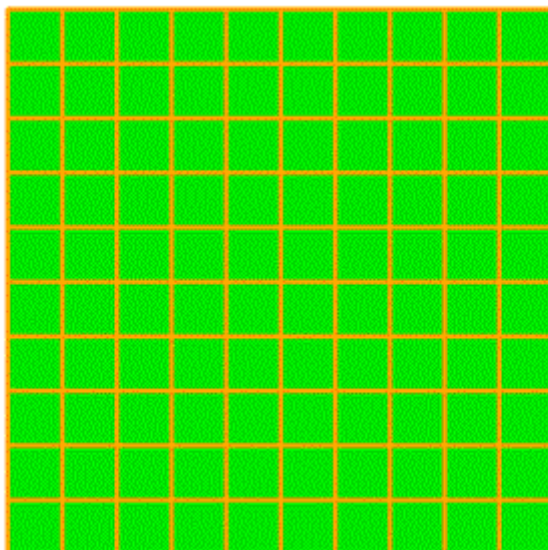
1. На панели команд выберите модуль построения сетки на поверхности (Режим — **Сетка**, Объект — **Поверхностная**, Действие — **Построение сетки**).

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 модуль построения геометрии (Режим — **Граничные условия**, Объект — **Перемещение**, Действие — **Создать**).

Задайте следующие параметры:

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

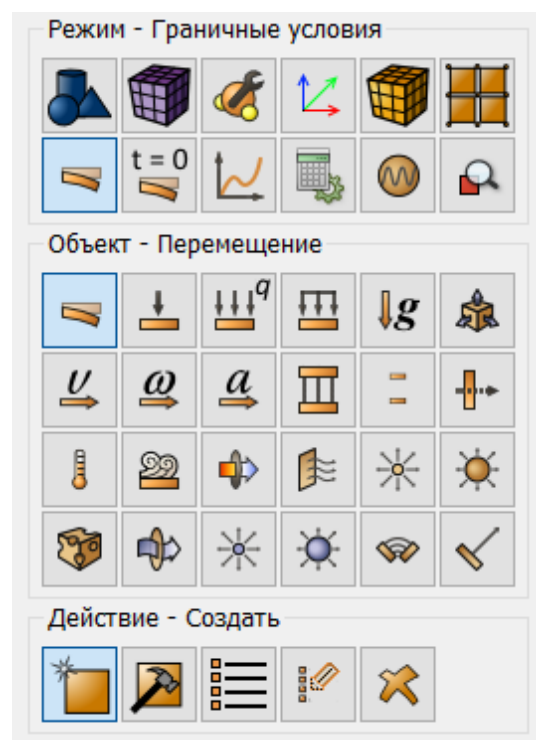
Нажмите **Применить**.

2. Закрепите две другие грани по всем перемещениям.

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

- Автоматическое присвоение ID;
- Список сущностей: Кривая ;
- ID объекта(ов): 2 4 (или последовательно кликните по правой и левой граням);
- Степени свободы: По X, По Y, По 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 объекта(ов): 1;
- Сила:  $1e4$ .

Нажмите **Применить**.

### Задание материала и свойств блока

#### 1. Создайте материал.

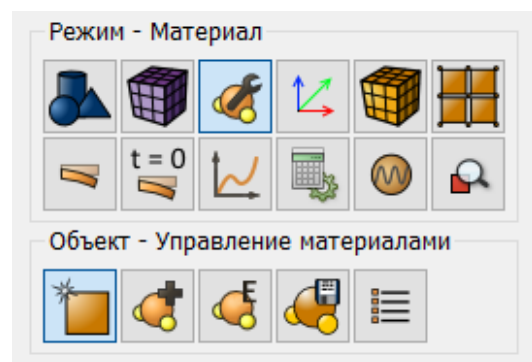
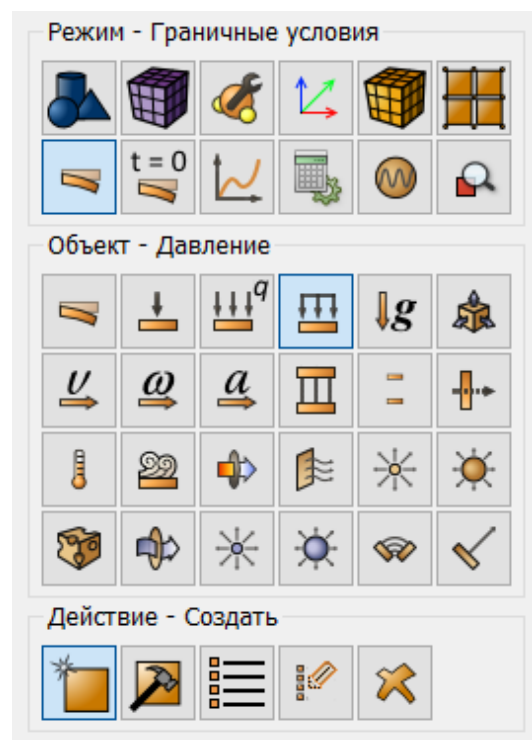
На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**).

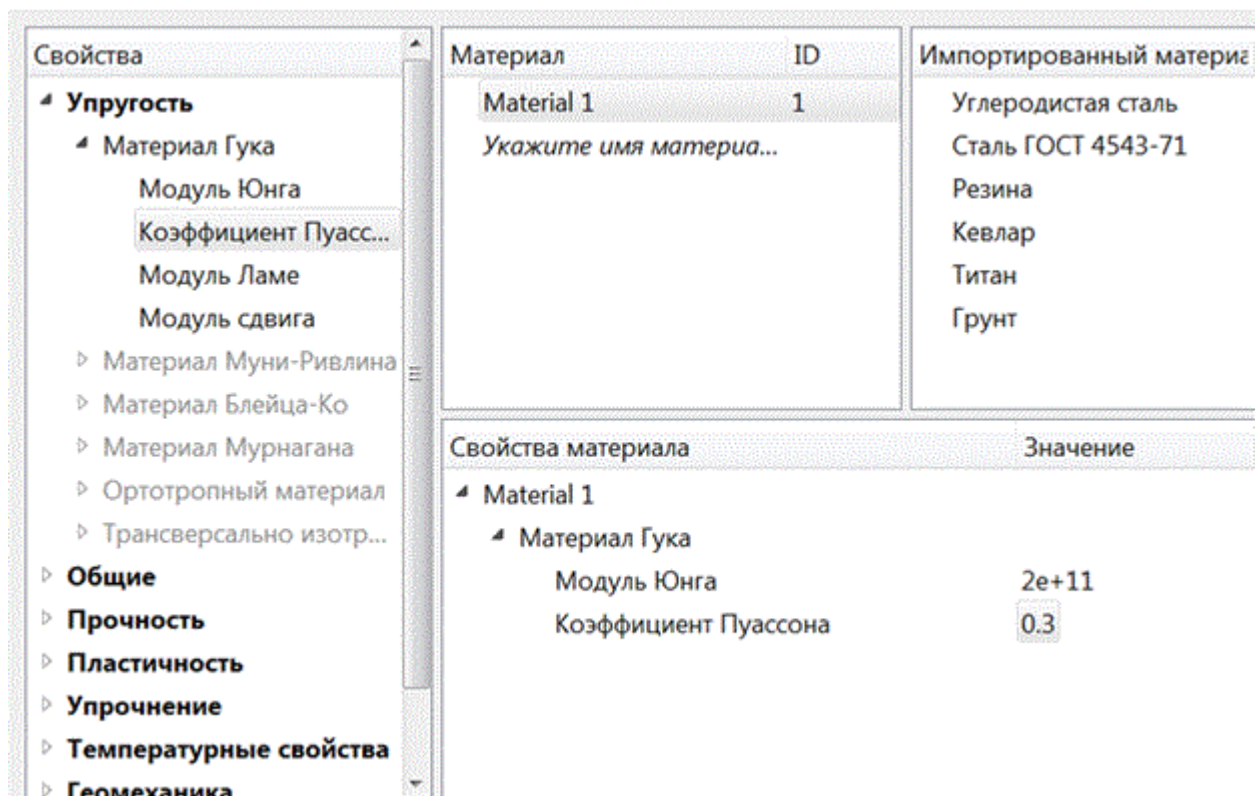
В открывшемся окне Управление материалами во второй колонке кликните мышкой по надписи Укажите имя материала и напишите «Material 1». Нажмите клавишу ENTER.

В левой колонке выберите Упругость – Материал Гука. Выберите мышкой характеристику Модуль Юнга. Удерживая левую кнопку мыши, перетащите надпись в Свойства материала. Дважды кликните в поле Значение напротив Модуля Юнга и укажите число  $200e9$ .

Аналогично, из раздела Материал Гука добавляем Коэффициент Пуассона, равный 0.3.

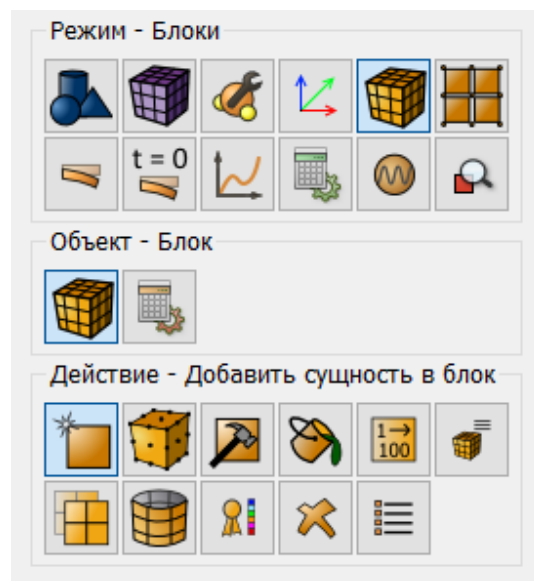
Нажмите **Применить**.





2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**).



Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Список сущностей: Поверхность;
- ID объекта(ов): 1 (или all).

Нажмите **Применить**.



### 3. Задайте параметры блока.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Свойства/параметры блока**).

Задайте следующие параметры:

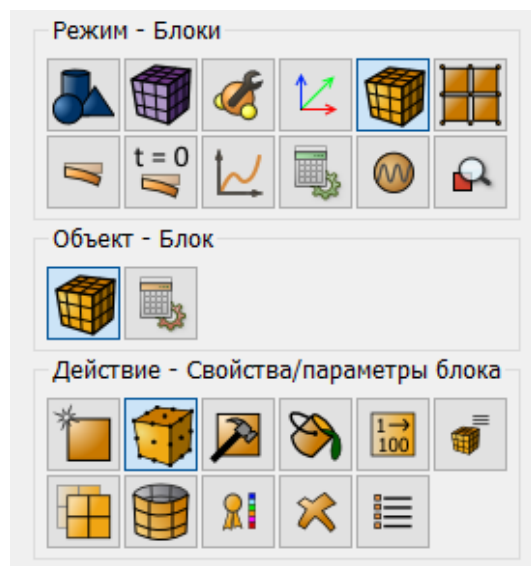
- ID блока(ов): 1;
- Материал: Material 1;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Оболочка;
- Порядок: 1.

Нажмите **Задать свойства балки**. Задайте следующие параметры:

- Толщина: 0.1;
- Эксцентриситет: 0.5.

Нажмите **Применить**.

Закройте окно **Задать свойство балки**. Нажмите **Применить**.



## Запуск расчёта

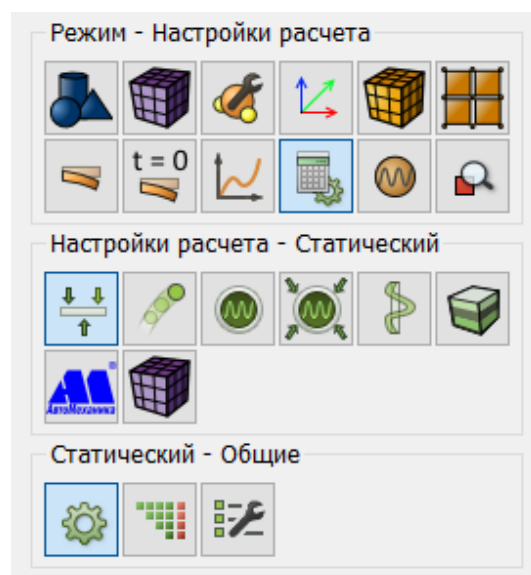
### 1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим — **Настройки расчёта**, Настройки расчёта — **Статический**, Статический — **Общие**).

Выберите:

- Размерность: 3D;
- Модель: Упругость.

Нажмите **Применить**.



## 2. Задайте параметры решателя.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим — **Настройки расчета**, Настройки расчета — **Статический**, Статический — **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 (Режим — **Настройки расчета**, Настройки расчета — **Статический**, Статический — **Поля вывода**).

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".

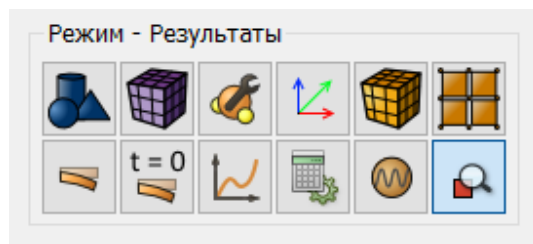
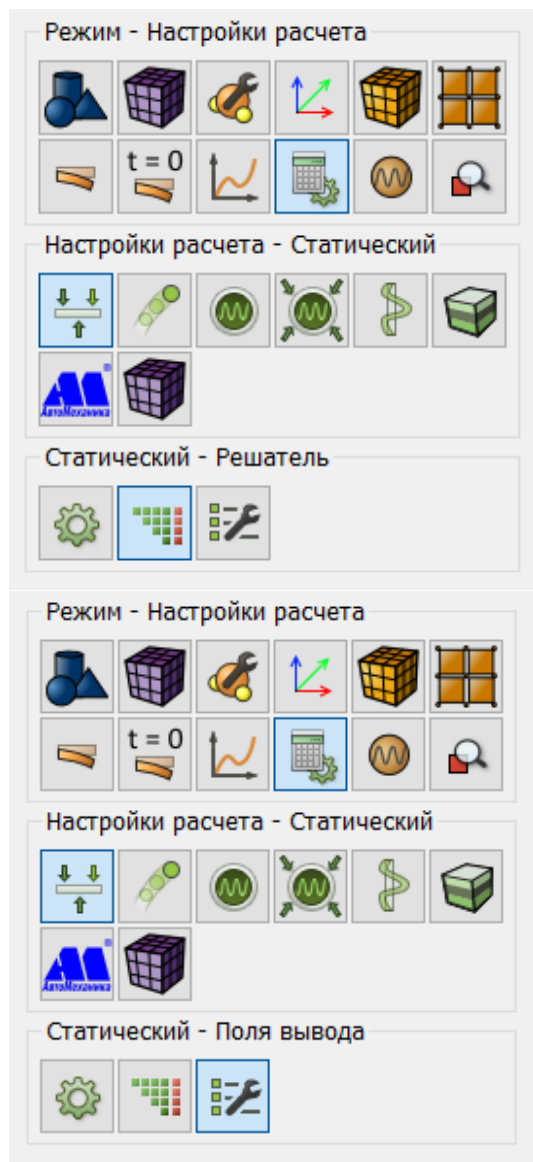
## Анализ результатов

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

- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите Расчет → **Открыть результаты**.
- На панели команд выберите Режим — **Результаты**. Нажмите **Открыть результат**.

2. Отобразите компоненту  $U_z$  поля перемещений. В появившемся окне **Fidesys Viewer** на панели инструментов установите следующие параметры:

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

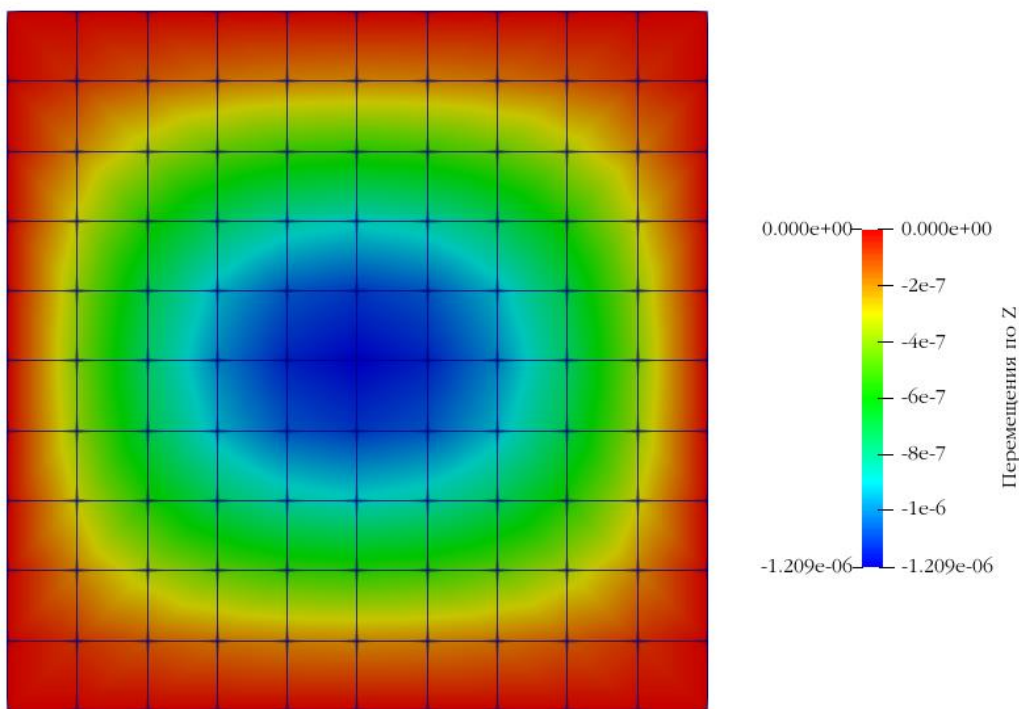




На модели отобразится поле распределения перемещений вдоль оси Z.

3. Проверьте численное значение максимального перемещения.

Отобразите максимальную компоненту Z поля Перемещения.



Полученное значение  $-1.209 \times 10^{-6}$  отличается от требуемого  $-1.19 \times 10^{-6}$  на 1.6%.

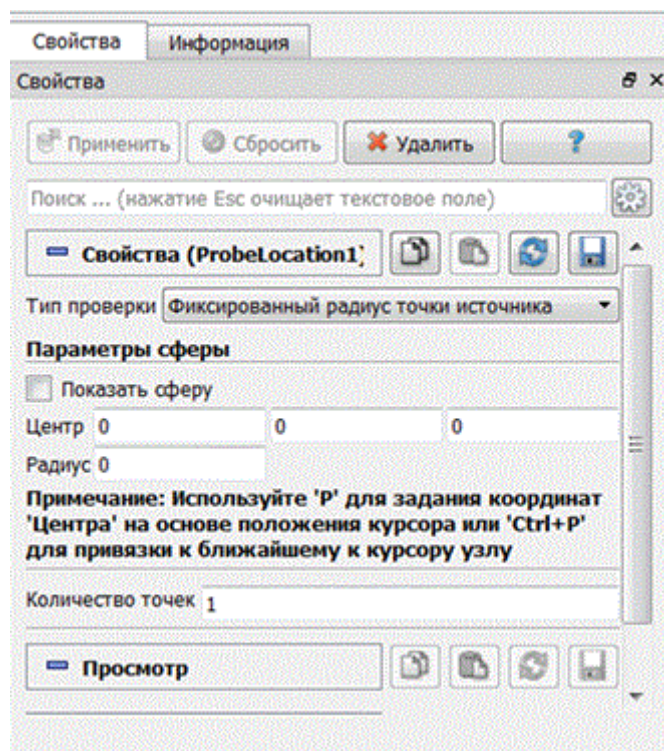
4. Проверьте численные значения моментов в центре пластины.

Отобразите компоненту XX 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).

Имя	Тип данных
ID материала	[1, 1]
Узловые силы (оболочки)	[-3.3543e-14, -3.3543e-14], [-1.6465e-13, -1.6465e-13]
<b>Моменты (оболочки)</b>	<b>[260.347, 260.347], [344.745, 344.745]</b> , [0, 0], [0, 0]
Узловые силы	[-1.77494e-30, -1.77494e-30], [0, 0], [-100, -100]
Узловые моменты	[1.06581e-14, 1.06581e-14], [-5.32907e-15, -5.32907e-15]
ID узла	[41, 41]
Нормаль	[0, 0], [0, 0], [1, 1]
Нормали in Current	[0, 0], [0, 0], [1, 1]
Вектор 1 главных напряжений	[9.21819e-11, 9.21819e-11], [-1.0782e-12, -1.0782e-12]

Полученные значения  $M_x=260.347$  и  $M_y=344.742$  отличается от требуемого  $M_x=252$  и  $M_y=332$  на 3.3% и 3.8%, соответственно.

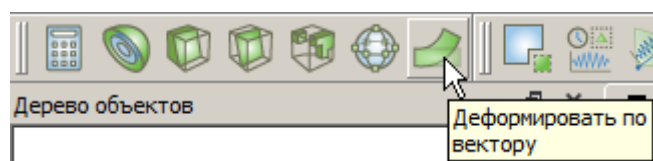
5. Откройте 3D-изображение оболочки.



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

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

6. Выбрав в дереве объектов новый файл, отобразите для него Фильтры – Алфавитный указатель – **Деформировать по вектору**



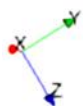
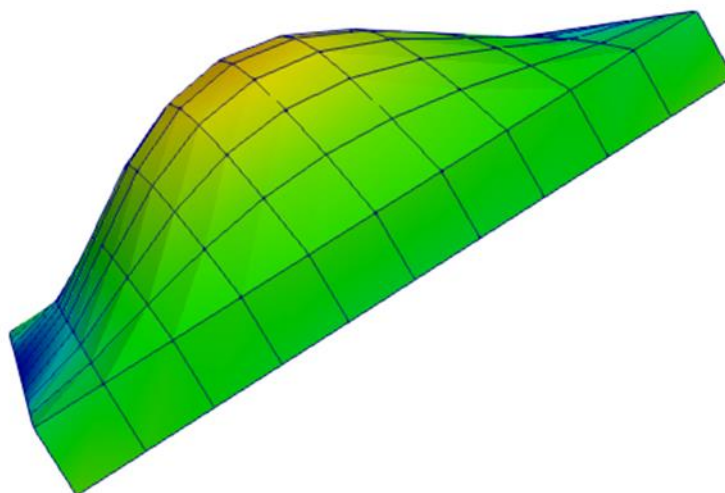
со следующими значениями полей:

- **Вектора:** Перемещения;
- **Множитель масштаба:**  $2e5$ .

На экране отобразится деформированный вид, но оболочка будет отрисована с толщиной.



На экране отобразится деформированный вид, но оболочка будет отрисована с толщиной.



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

## 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:/Fidesys/calc/example.pvd):

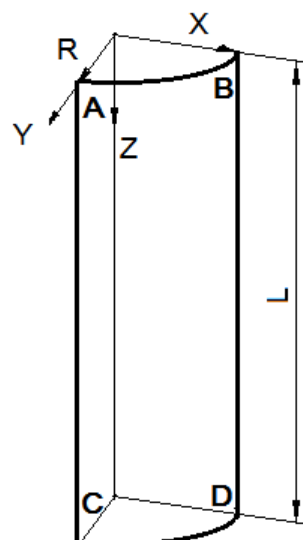
```
reset
create surface rectangle width 1 zplane
surface 1 scheme polyhedron
mesh surface 1
create displacement on curve 1 3 dof all fix 0
create displacement on curve 2 4 dof 1 dof 2 dof 3 fix 0
create pressure on surface 1 magnitude 1e4
create material 1
modify material 1 name 'Material1'
modify material 1 set property 'MODULUS' value 2e+11
modify material 1 set property 'POISSON' value 0.3
block 1 add surface 1
block 1 material 1
block 1 element shell
block 1 attribute count 2
block 1 attribute index 1 value 0.1 name 'thickness'
block 1 attribute index 2 value 0.5 name 'eccentricity'
analysis type static elasticity dim3
solver method auto use_uzawa auto try_other on
output nodalforce on energy off midresults on record3d on log on vtu on material off
calculation start path "D:/Fidesys/calc/example.pvd"
```

## 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. SSLS08/89. 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.



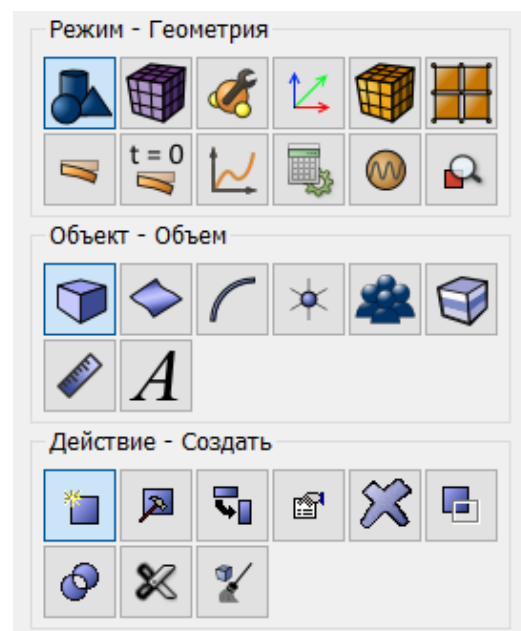
### Построение модели

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: Круговой;
- 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**.

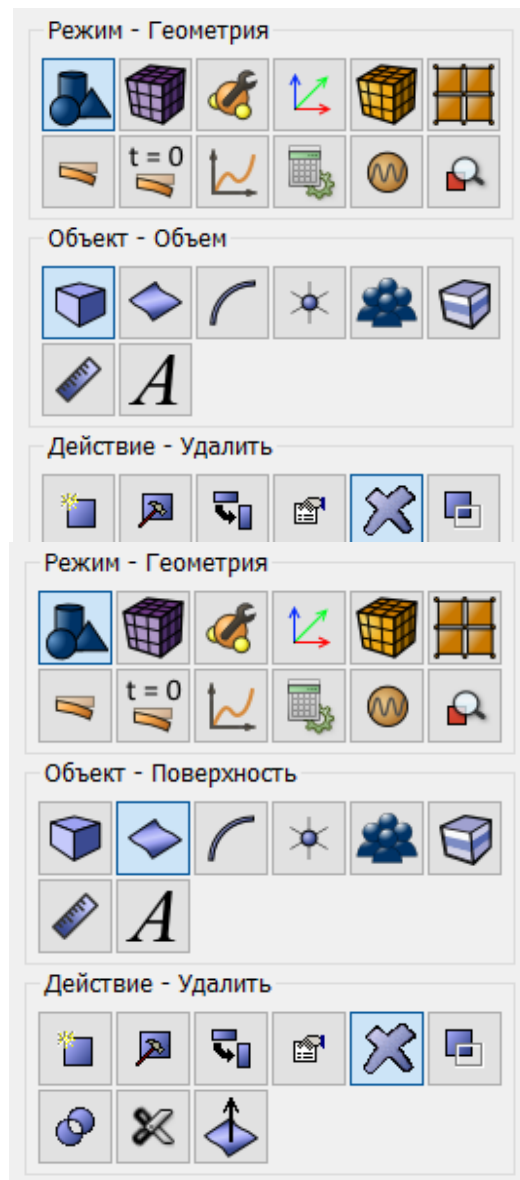
В результате получили три плоских тела Body 2, Body 3, Body 4. Это будет отражено в дереве объектов.

3. Удалите боковые плоскости Surface 2 и Surface 3.

На панели команд выберите модуль удаления поверхностей (Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие — **Удалить**).

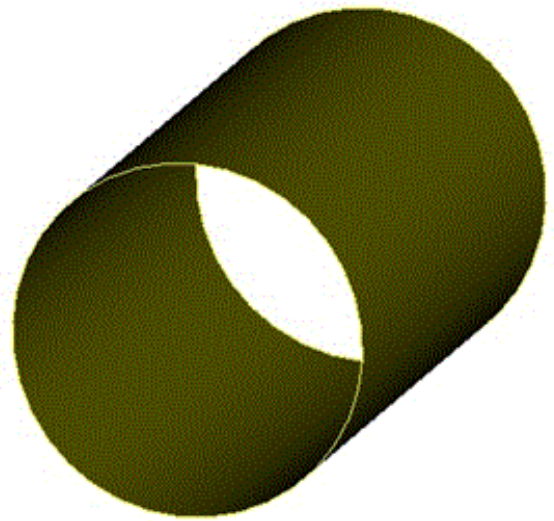
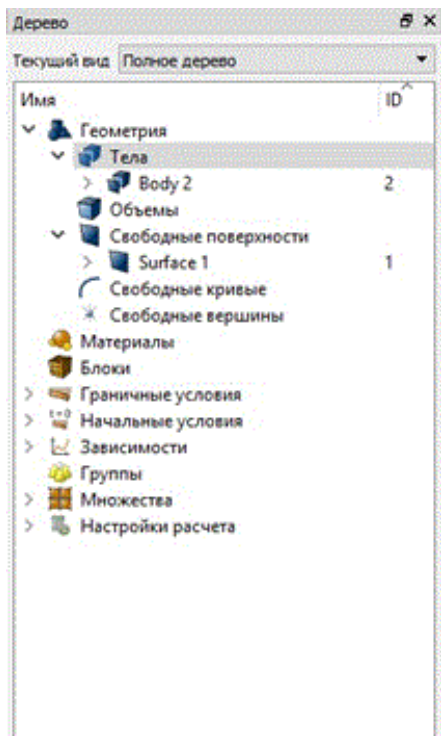
В окне **ID поверхностей** введите номера – 2 3(через пробел).

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 — **Поверхность**, Действие — **Разрез**).

Из списка возможных видов разрезов выберите пункт **Координатная Плоскость**. Задайте следующие параметры:

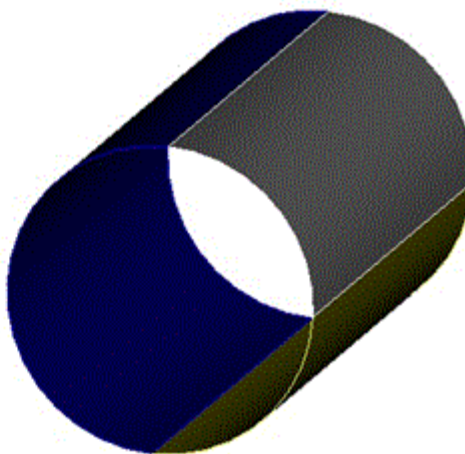
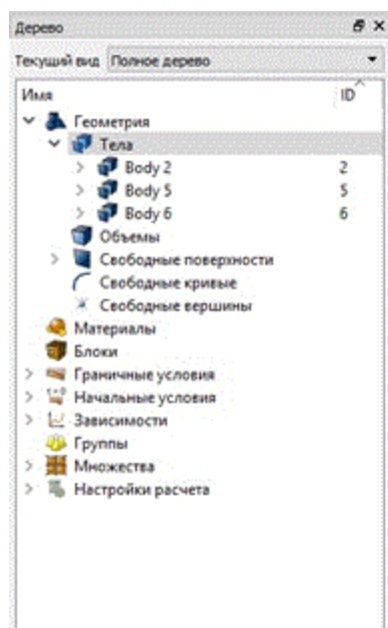
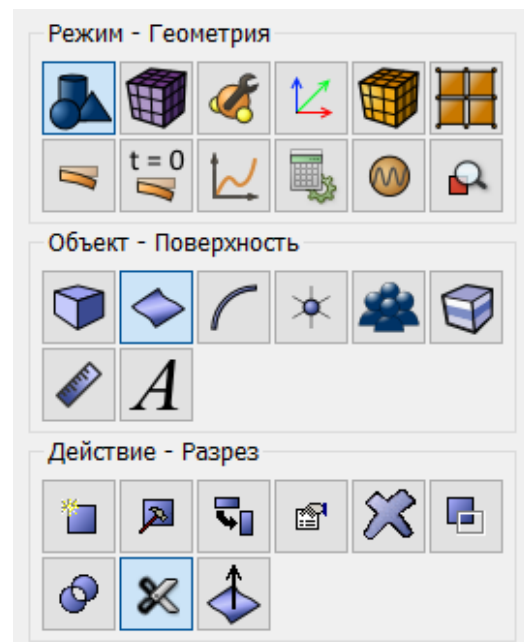
- ID тел: 2 (тело, которое будет разрезано);
- Разрезать: Плоскость YZ;
- Значение сдвига: 0.

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).

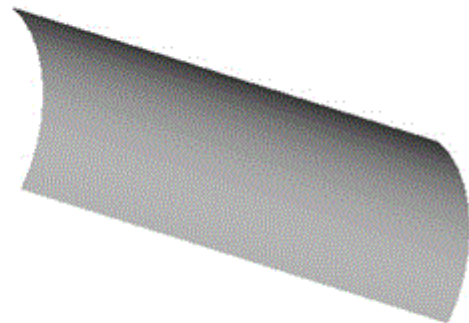
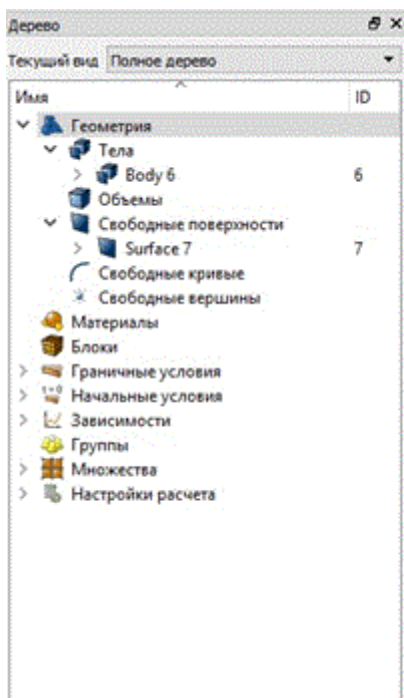
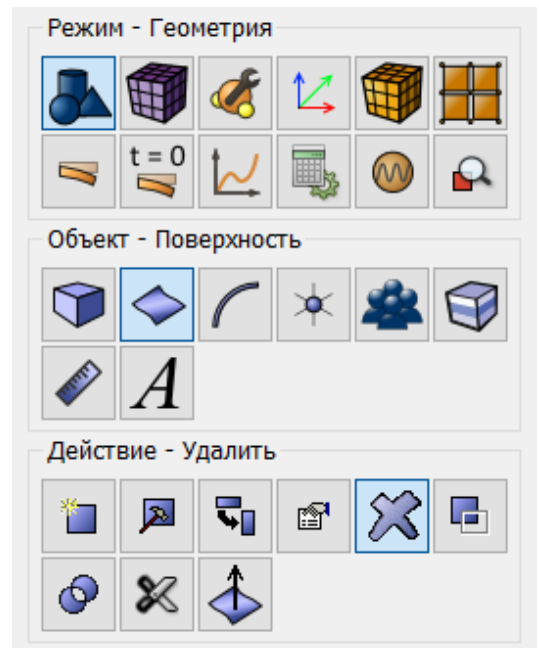
## 5. Удалите плоскости Surface 5 и Surface 6.

На панели команд выберите модуль удаления поверхностей (Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие — **Удалить**).

В окне **ID поверхностей** введите номера – 5 6(через пробел).

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 **Переместить**.  
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.

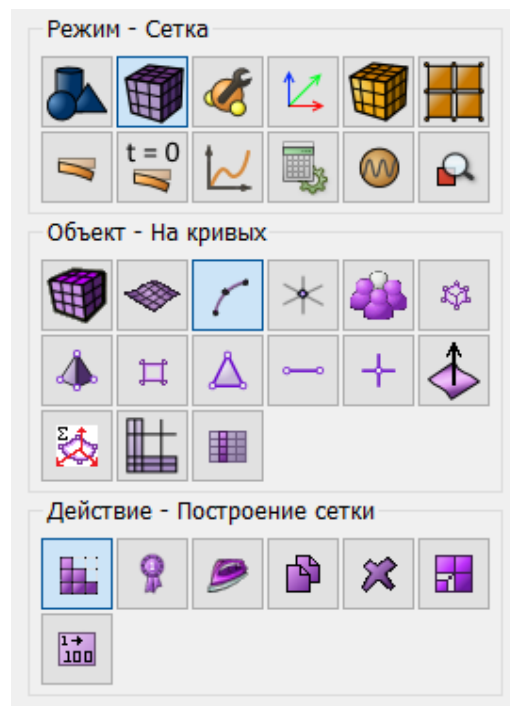
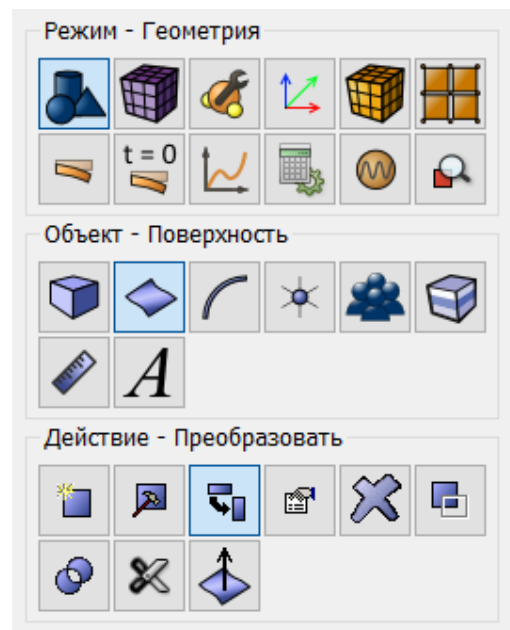
- Выбор кривых: 17 18 (или кликните мышью, удерживая клавишу Ctrl, на контуры поперечных кривых);
- Выберите способ построения сетки Равномерно;
- Установите флаг Интервал;
- Укажите количество интервалов: 10.

Нажмите **Применить**.

Разбейте продольные кривые Curve 5 и Curve 16 на 20 элементов. В этом же окне вместо предыдущих параметров укажите:

- 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 поверхностную сетку

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

Укажите следующие параметры:

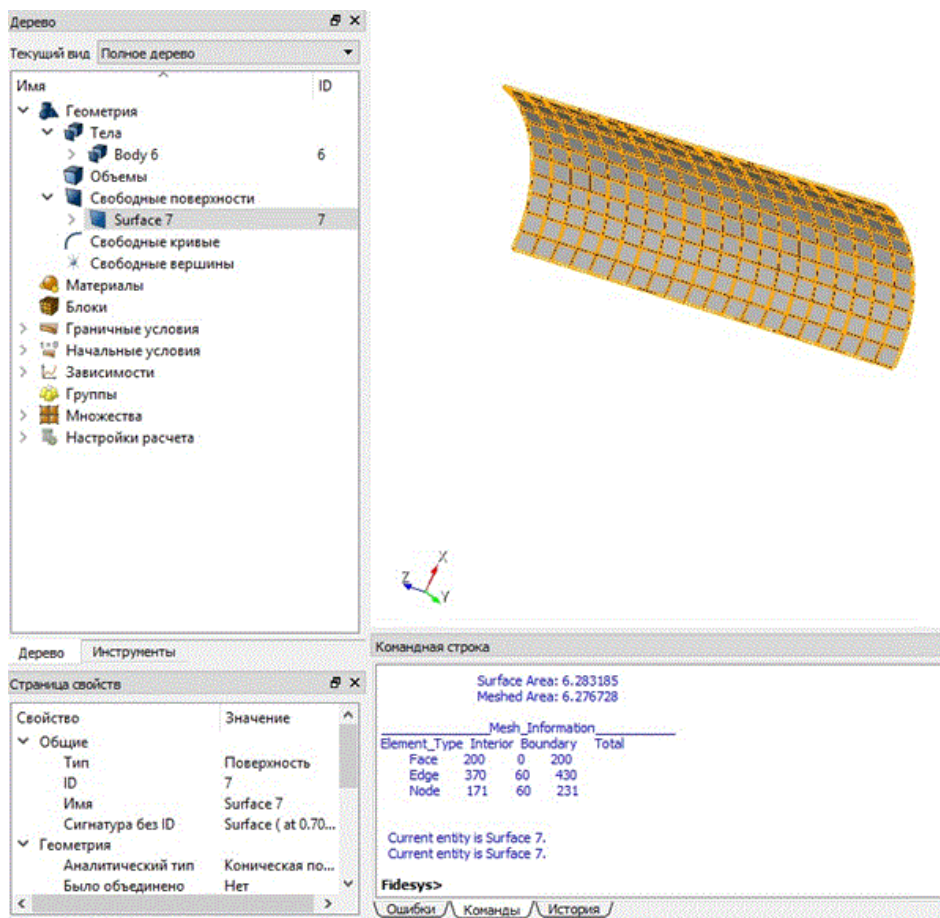
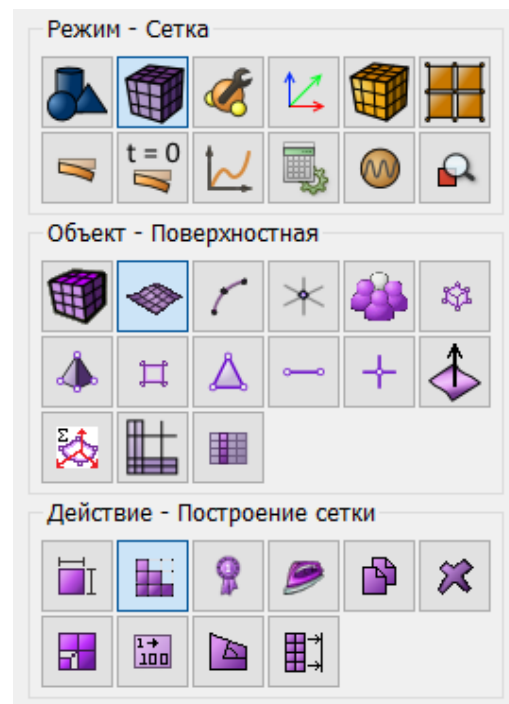
- Выбрать поверхности (укажите их ID): 7 (или командой all);
- Выберите схему построения сетки: Автоматически.

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 свойств блока

1. Создайте материал.

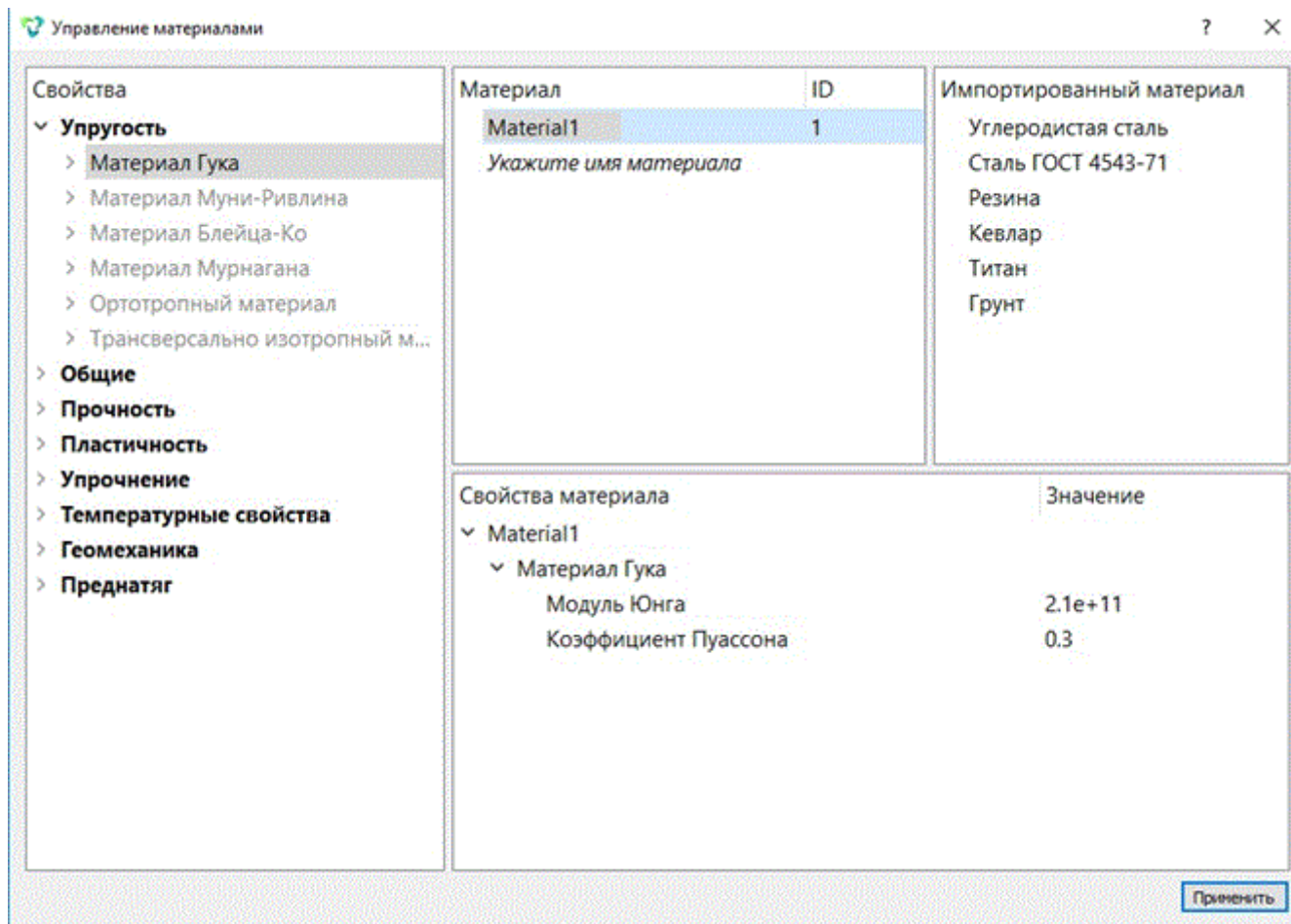
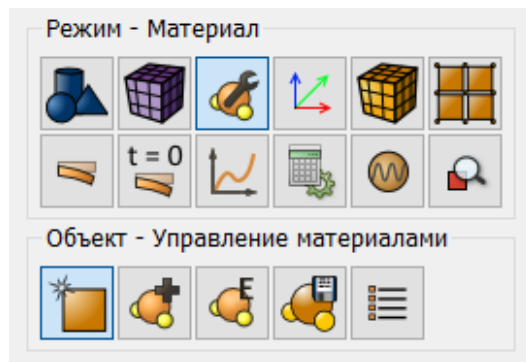
На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**).

Укажите имя материала Material1.

Перетащите из левой колонки надпись **Материал Гука** в колонку **Свойства материала**. Задайте следующие параметры:

- Модуль Юнга:  $2.1e11$ ;
- Коэффициент Пуассона: 0.3.

Нажмите **Применить**.



## 2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**.

Задайте следующие параметры:

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

Нажмите **Применить**.

## 3. Задайте параметры блока.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Свойства/параметры блока**).

Задайте следующие параметры:

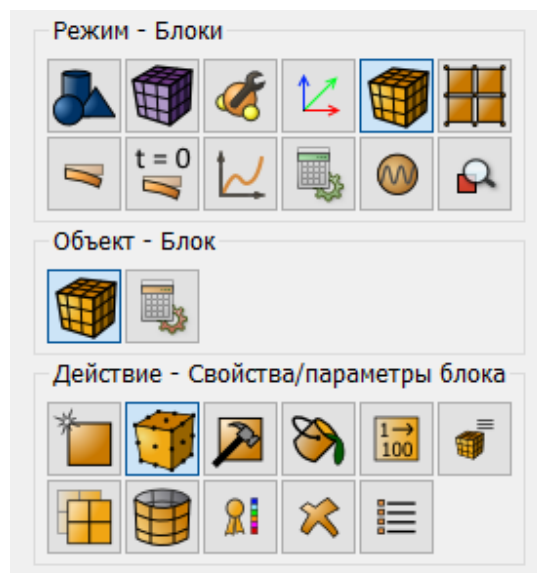
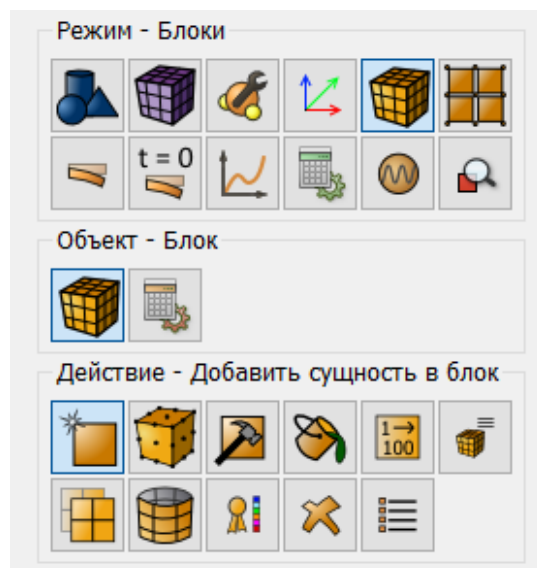
- ID блока(ов): 1;
- Материал: Material 1;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Оболочка;
- Порядок: 1.

Нажмите **Задать свойства оболочки**. Задайте следующие параметры:

- Толщина: 0.02;
- Эксцентриситет: 0.5.

Нажмите **Применить**.

Закройте окно **Задать свойство балки**. 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: По Z; Вокруг X; Вокруг Y;
- Величина: 0.

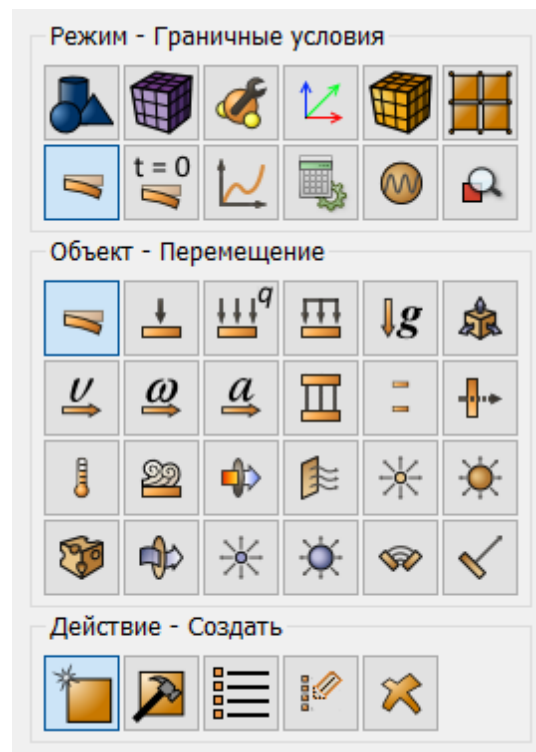
Нажмите **Применить**.

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: По X; Вокруг Y; Вокруг Z;
- Величина: 0.

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: По Y; Вокруг X; Вокруг Z;
- Величина: 0.

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**.

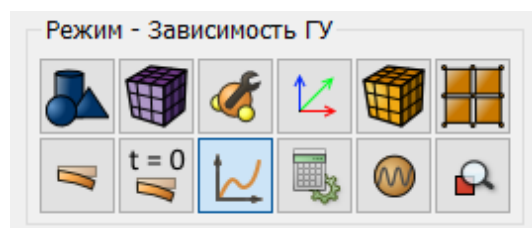
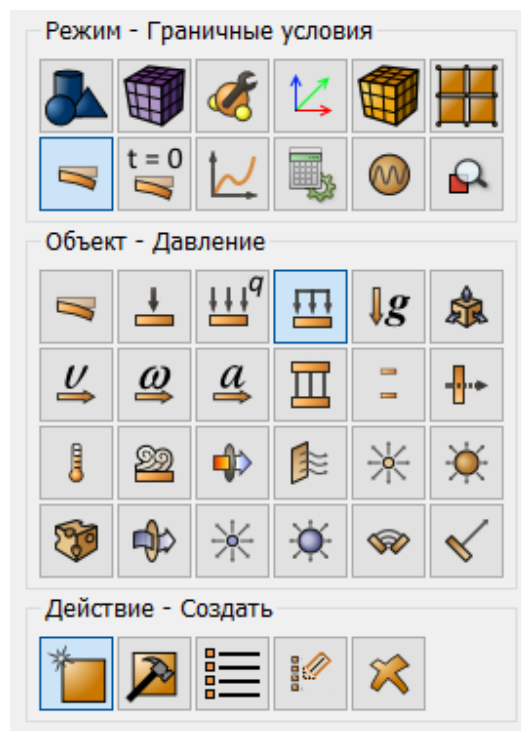
5. Задайте зависимость давления от координаты z.

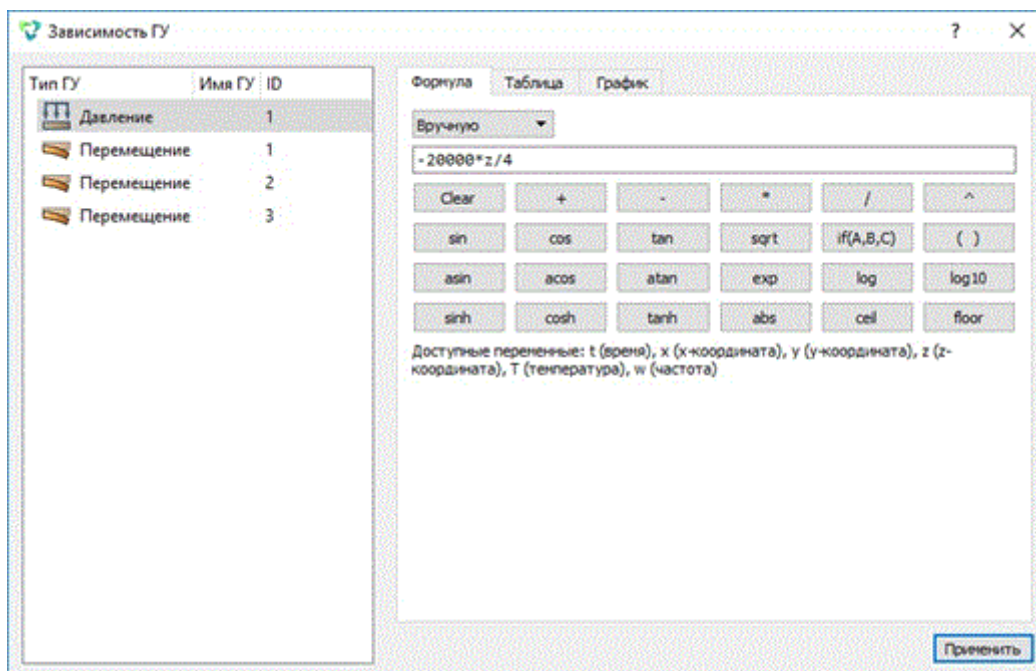
На панели команд выберите Режим — **Зависимость ГУ**.

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

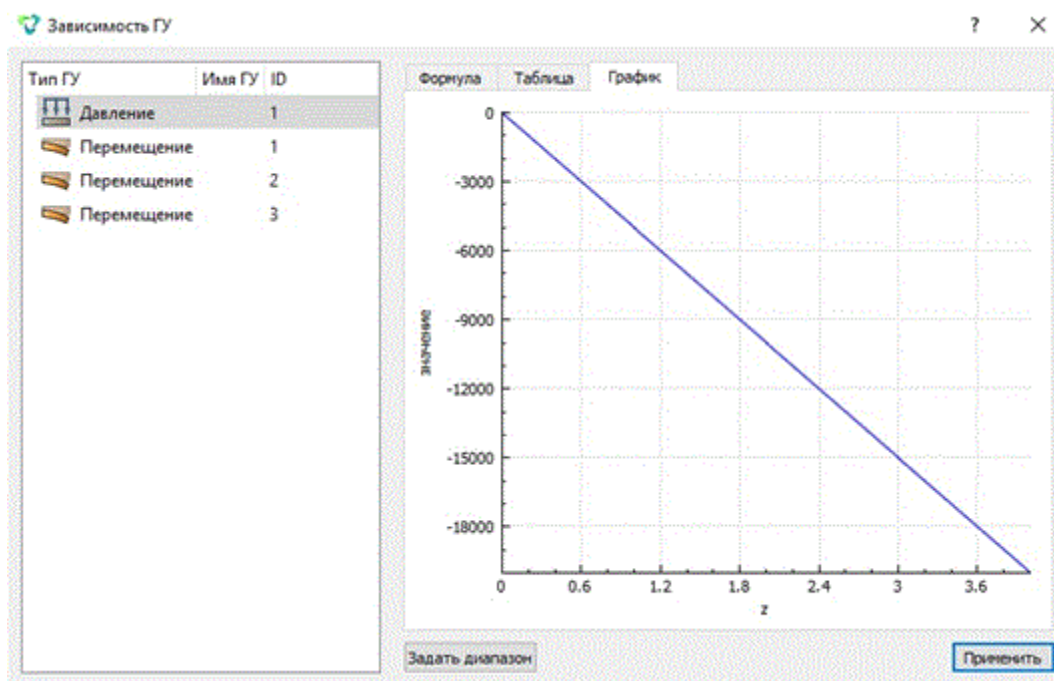
- Название ГУ: Давление 1;
- Выбрать флаг Формула: Вручную;
- В поле ниже ввести  $-20000 \cdot z/4$ .

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**).

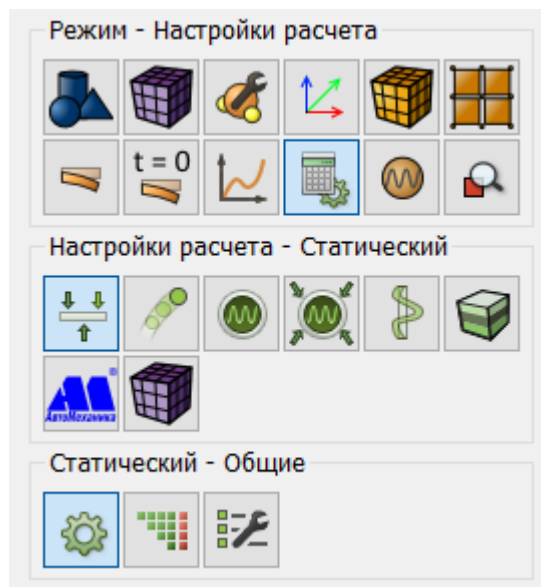
Выберите:

- Размерность: 3D;
- Модель: Упругость.

Нажмите **Применить**. Нажмите **Начать расчёт**.

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

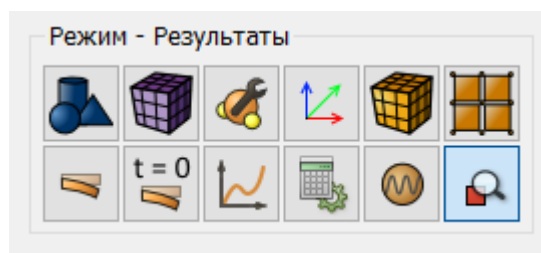
В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: "Calculation finished successfully at "date time".



## Анализ результатов

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

- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите **Режим** → **Результаты**. Нажмите **Открыть последний результат**.
- На панели команд выберите Результаты (Режим — Результаты, Результаты — Открыть Результаты).



2. Отобразите компоненту  $U_z$  поля перемещений на модели.

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

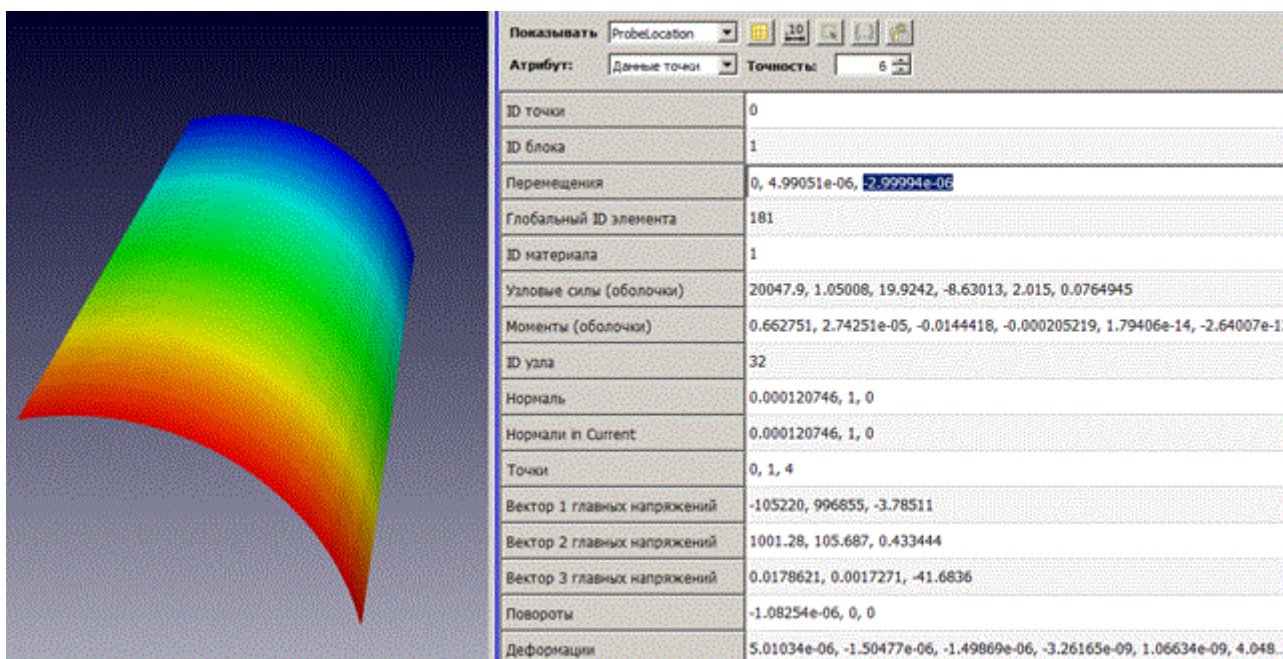
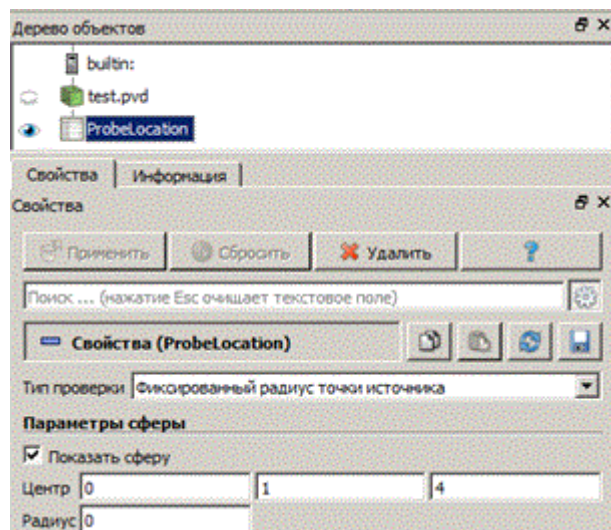
- Тип отображения: Поверхность;
- Поле отображения: Перемещения;
- Компонента отображения: Z.

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:

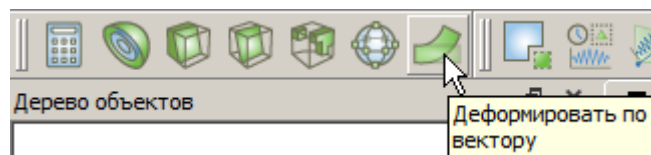
- Точка (0, 1, 4);
- Количество точек: 1;
- Радиус: 0.

Нажмите **Применить**.



Полученное значение -2.99994-06 отличается от требуемого -2.86e-6 на 4.89%.

4. Можно посмотреть, как деформируется тело под приложенным давлением. Для этого выберите фильтр **Деформировать по вектору**.




Во вкладке **Свойства** установите следующие параметры:

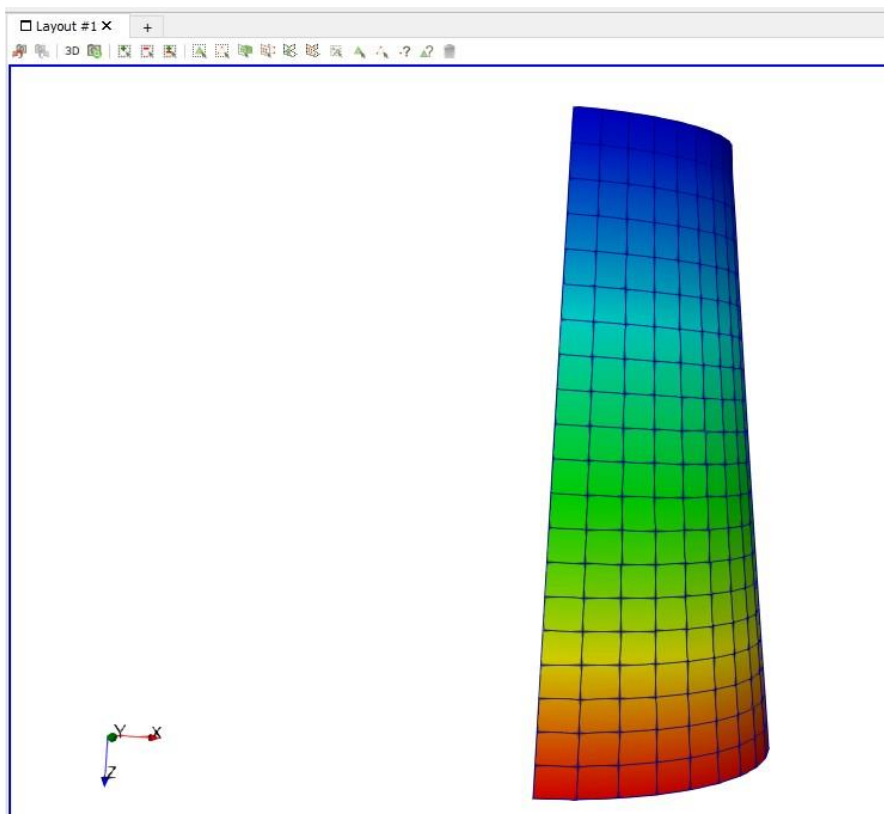
- Вектора: Перемещения;
- Множитель масштаба: 1e5.

В результате отобразится деформированное тело.

Выберите 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.

#### 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:/Fidesys/example.pvd):

```
reset
set default element hex
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
create material 1
modify material 1 name 'material 1'
modify material 1 set property 'POISSON' value 0.3
modify material 1 set property 'MODULUS' value 2e+11
set duplicate block elements off
block 1 add surface 7
block 1 material 1
block 1 element shell order 2
create shell properties 1
modify shell properties 1 thickness 0.02
modify shell properties 1 eccentricity 0.5
block 1 shell properties 1
create displacement on curve 17 dof 3 dof 4 dof 5 fix 0
create displacement on curve 5 dof 1 dof 5 dof 6 fix 0
create displacement on curve 16 dof 2 dof 4 dof 6 fix 0
create pressure on surface 7 magnitude 1
bcdep pressure 1 value '-20000*z/4'
analysis type static elasticity dim3
calculation start path 'D:/fidesys_example.pvd'
```

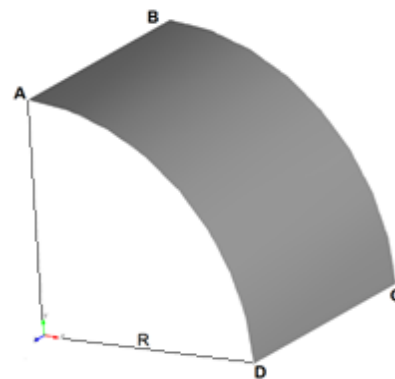
## Задача устойчивости (оболочечная модель)

*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  $AB$  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

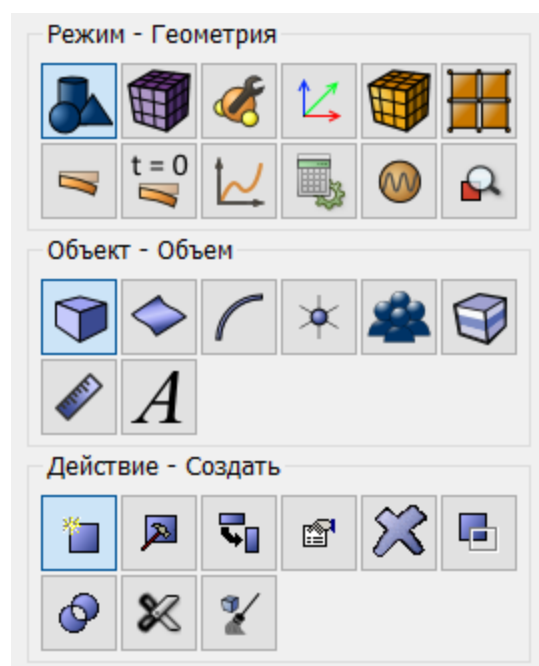
1. Создайте цилиндр радиусом 2 м с длиной образующей 2 м.

На панели инструментов выберите модуль построения объемной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, Действие — **Создать**).

Из списка геометрических примитивов выберите **Цилиндр**. Постройте, оставляя **Круг** в основании. Задайте радиус 2 и высоту 2.

Нажмите **Применить**.

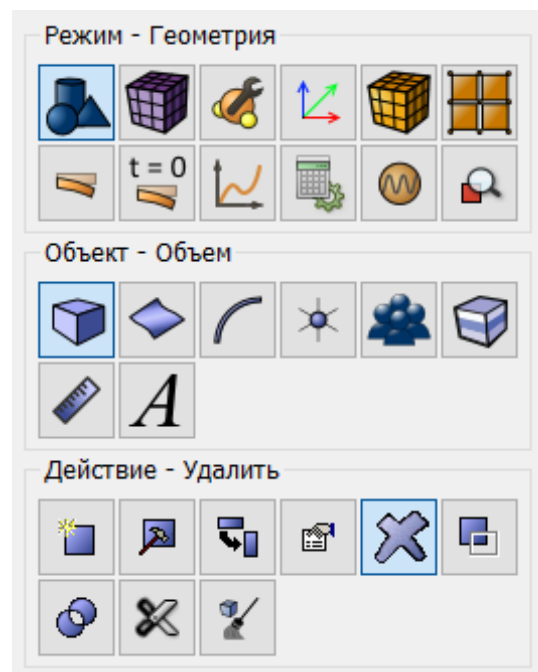
2. Получите из объемного цилиндра цилиндрическую оболочку.



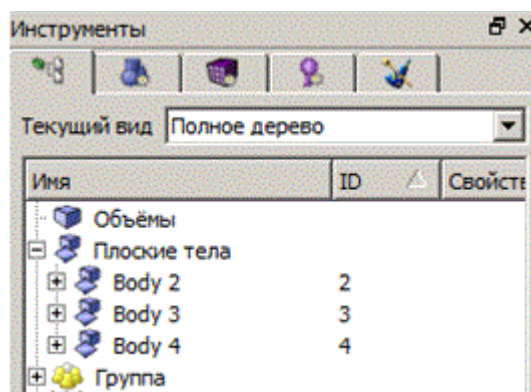
На панели инструментов выберите модуль удаления объемов (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объём**, Действие — **Удалить**).

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.





### 3. 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 — **Поверхность**, Действие — **Разрез**).

Из списка возможных видов разрезов выберите пункт **Координатная Плоскость**. Задайте следующие параметры:

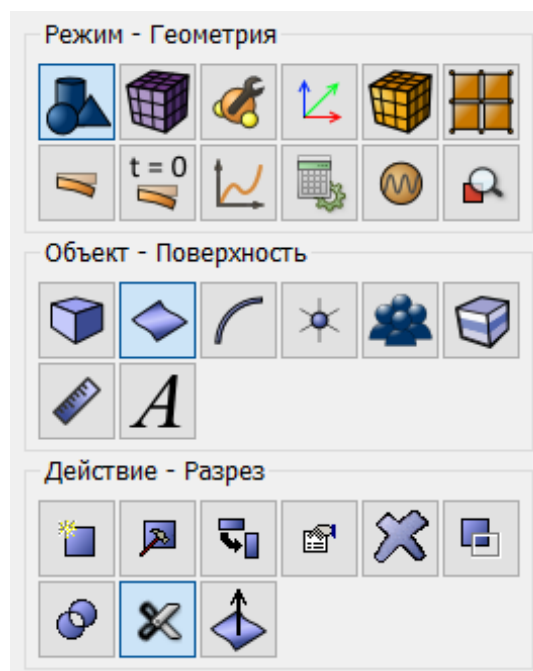
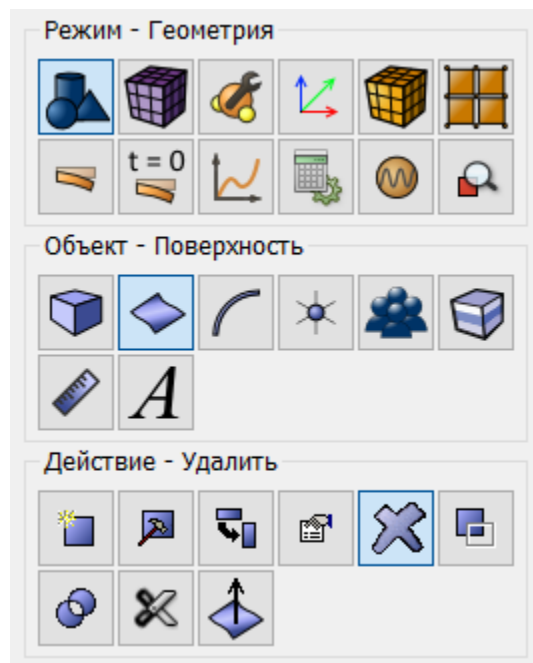
- ID тел: 2 (тело, которое будет разрезано);
- Разрезать: Плоскость YZ;
- Значение сдвига: 0;
- Отпечатать.

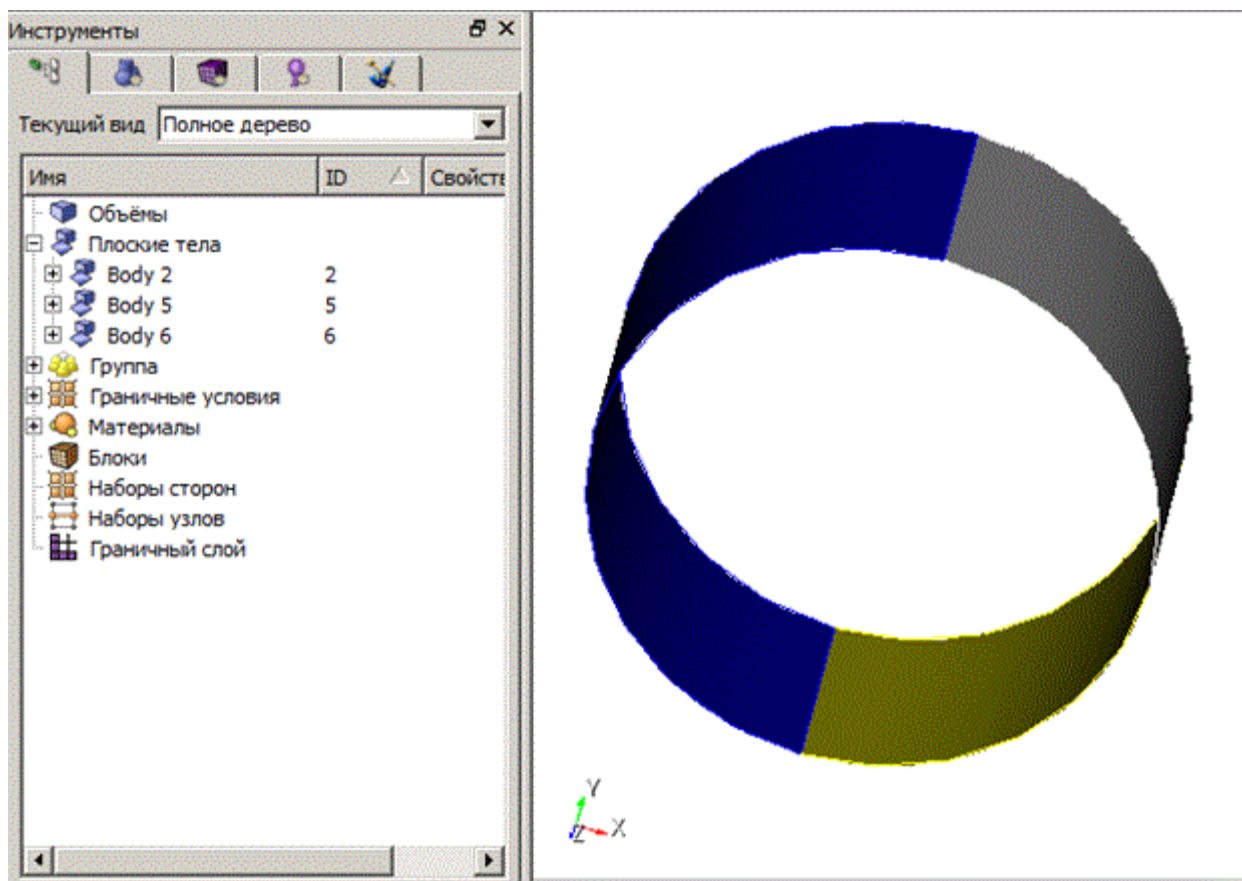
Нажмите **Применить**.

Проделайте то же самое, но в плоскости ZX.

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

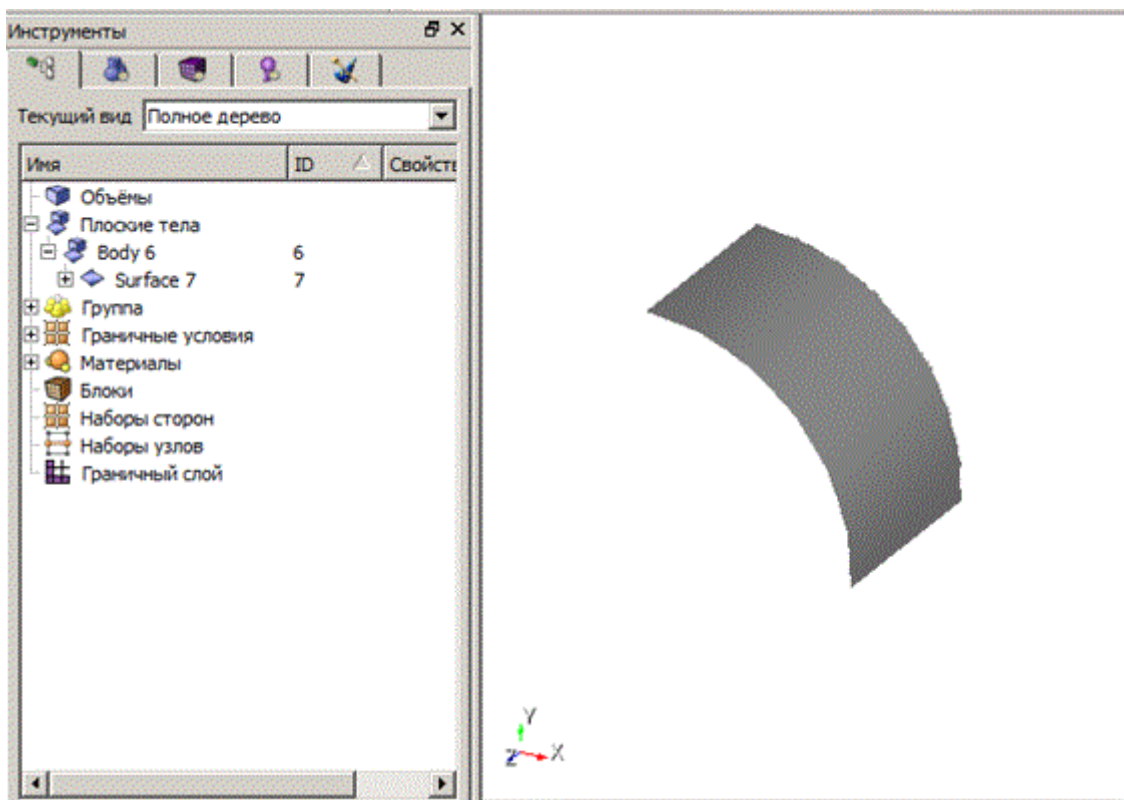
Нажмите **Применить**.





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):



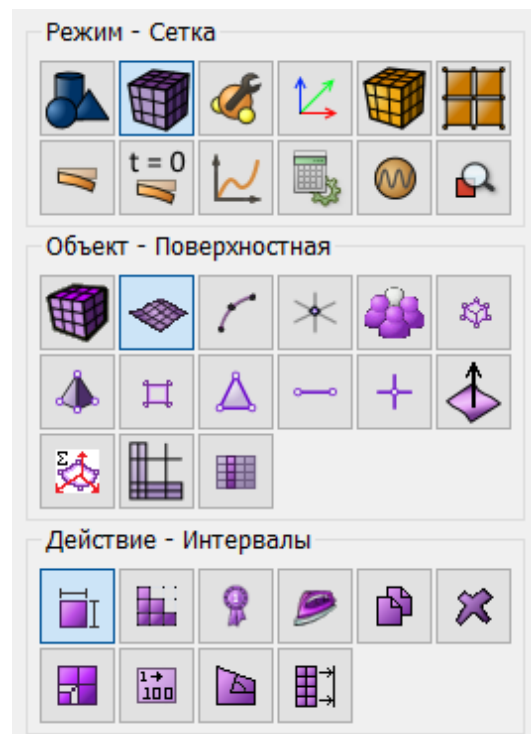
## Построение сетки

1. 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**.



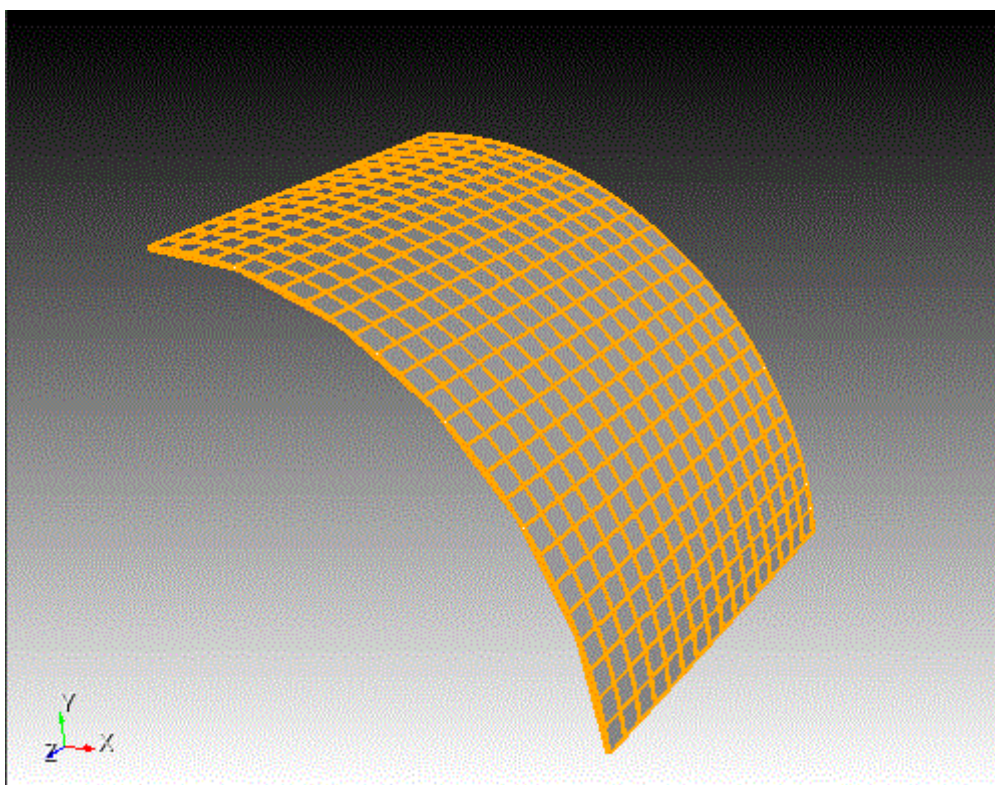
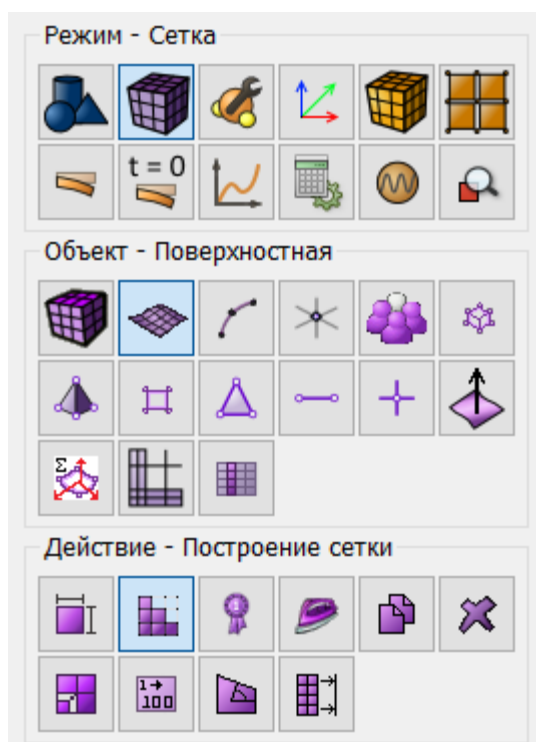
На панели команд выберите модуль построения сетки на плоскости (Режим — **Сетка**, Объект — **Поверхностная**, Действие — **Построение сетки**).

Укажите схему построения сетки:

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

Нажмите **Применить**.

Нажмите **Построить сетку**.



## 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.

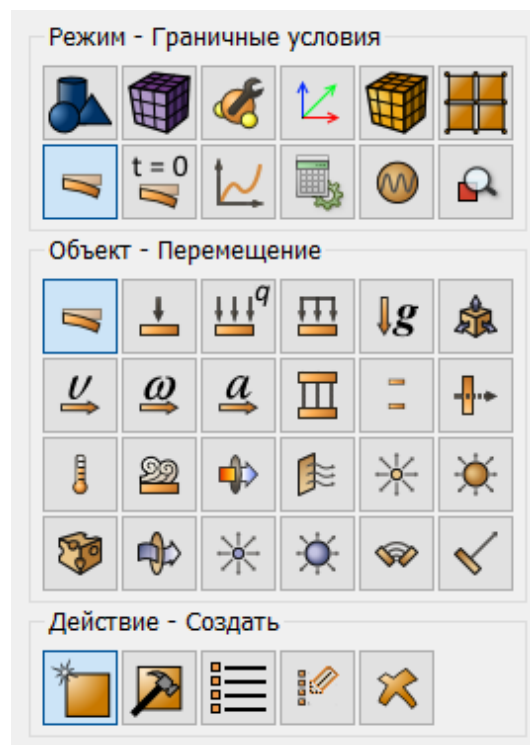
Нажмите **Применить**.

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**.



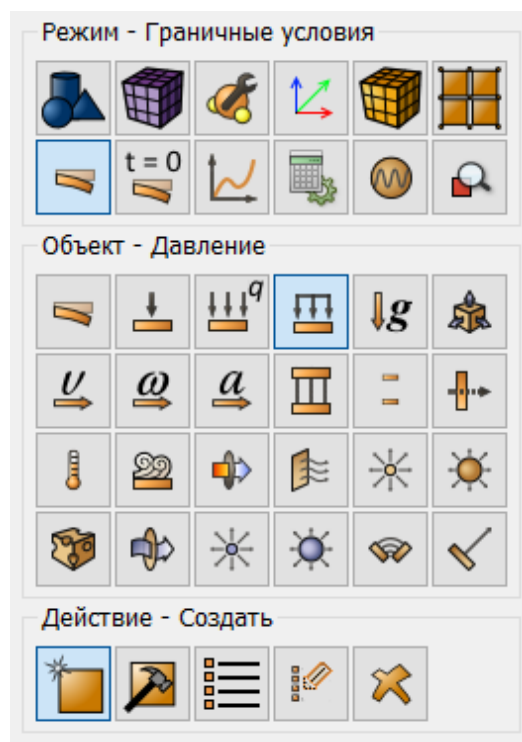
### 3. Приложите давление на всю поверхность оболочки.

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**.



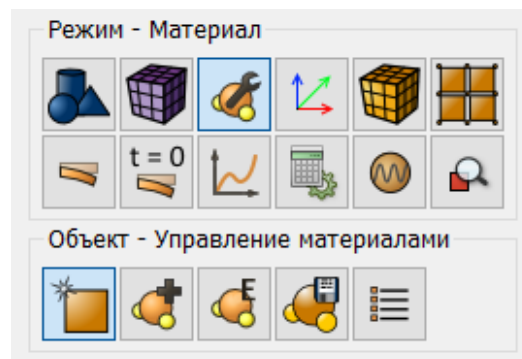
### Задание материала и свойств блока

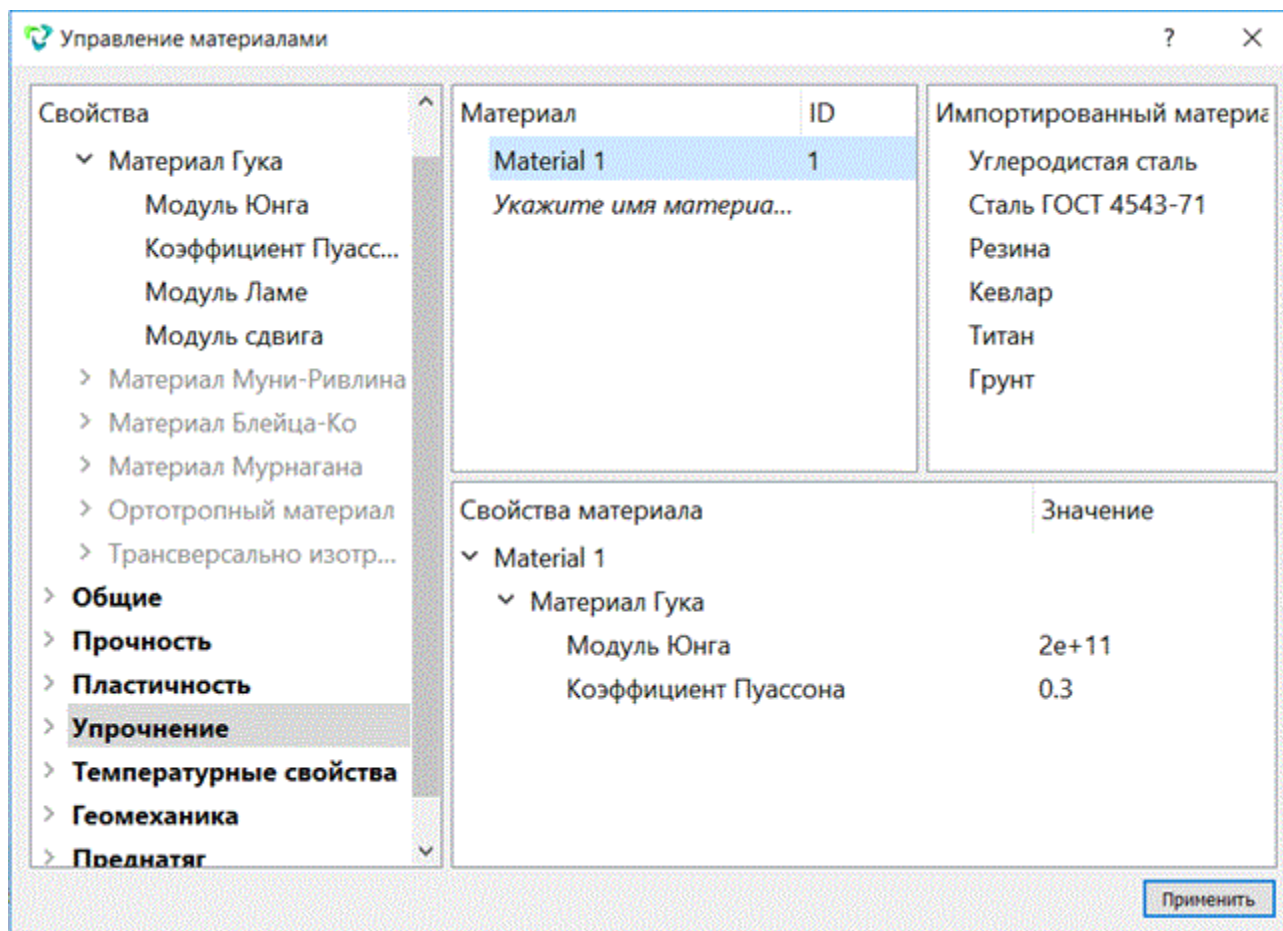
#### 1. Создайте материал.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**). Укажите имя материала Material1. Перетащите из левой колонки надпись Материал Гука в колонку Свойства материала. Задайте следующие параметры:

- Модуль Юнга: 200e9;
- Коэффициент Пуассона: 0.3.

Нажмите **Применить**.





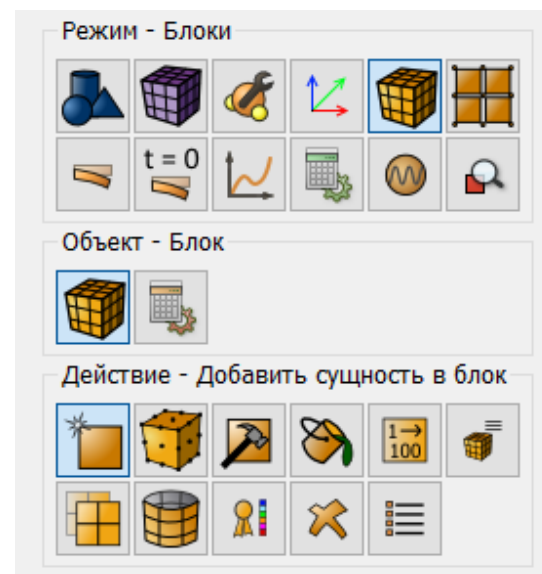
2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**).

Задайте следующие параметры:

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

Нажмите **Применить**.



3.

### 3. Задайте параметры блока.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Свойства/параметры блока**).

- Задайте следующие параметры:
- ID блока(ов): 1;
- Материал: Material 1;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Оболочка;
- Порядок: 1.

Нажмите **Задать свойства оболочки**. Задайте следующие параметры:

- Толщина: 0.02;
- Эксцентриситет: 0.5.

Нажмите **Применить**.

Закройте окно **Задать свойство балки**. Нажмите **Применить**.

## Запуск расчёта

### 1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим — **Настройки расчёта**, Настройки расчёта — **Потеря устойчивости**, Потеря устойчивости — **Общие**).

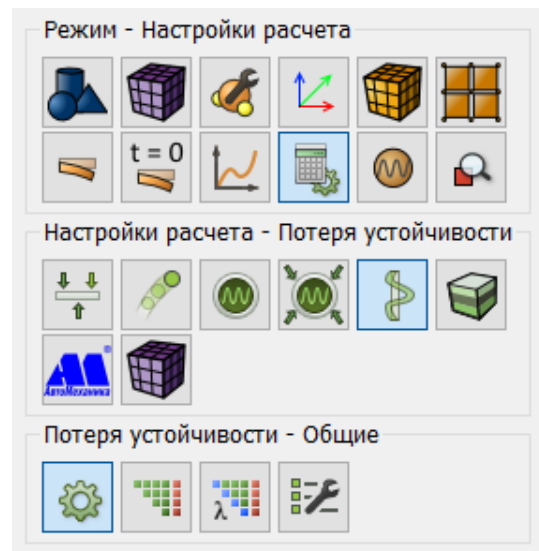
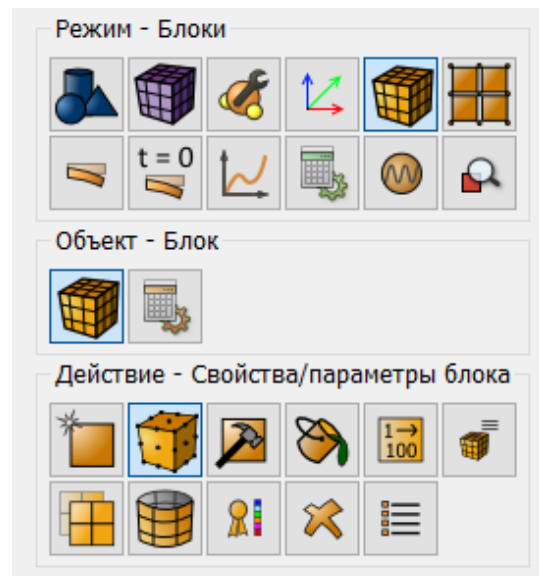
В поле **Число форм потери устойчивости** введите – 3.

Остальные параметры оставьте по умолчанию.

Нажмите **Применить**. Нажмите **Начать расчет**.

2. 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

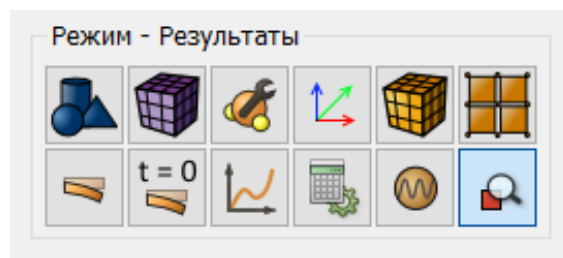
1. Сравните полученные результаты.  
Первые три коэффициента критической нагрузки выводятся в Командную строку.

Сравните полученные результаты с результатами, приведенными в таблице:

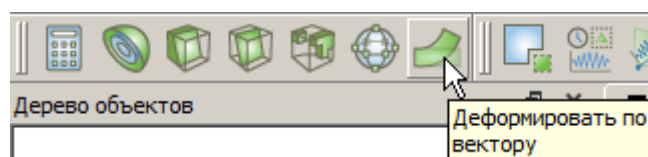
№	Теор. значение	Fidesys	$\Delta$ , %
1	72.260	72.60558199	-0.48%
2	164.835	162.44138222	1.45%
3	293.040	292.81033942	0.08%

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

- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите Расчет → **Открыть результаты.**
- На панели команд выберите Режим — **Результаты.** Нажмите **Открыть результат.**



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

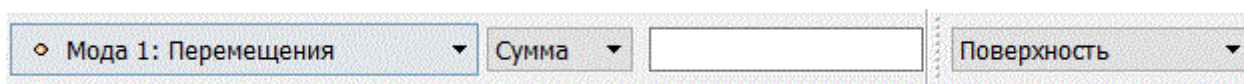


2. В появившемся фильтре **Деформировать по вектору** во вкладке **Свойства** выберите следующие значения полей

- **Вектора:** Мода 1: Перемещение
- **Множитель масштаба:** 0.1

3. Отобразите Перемещения для моды 1.

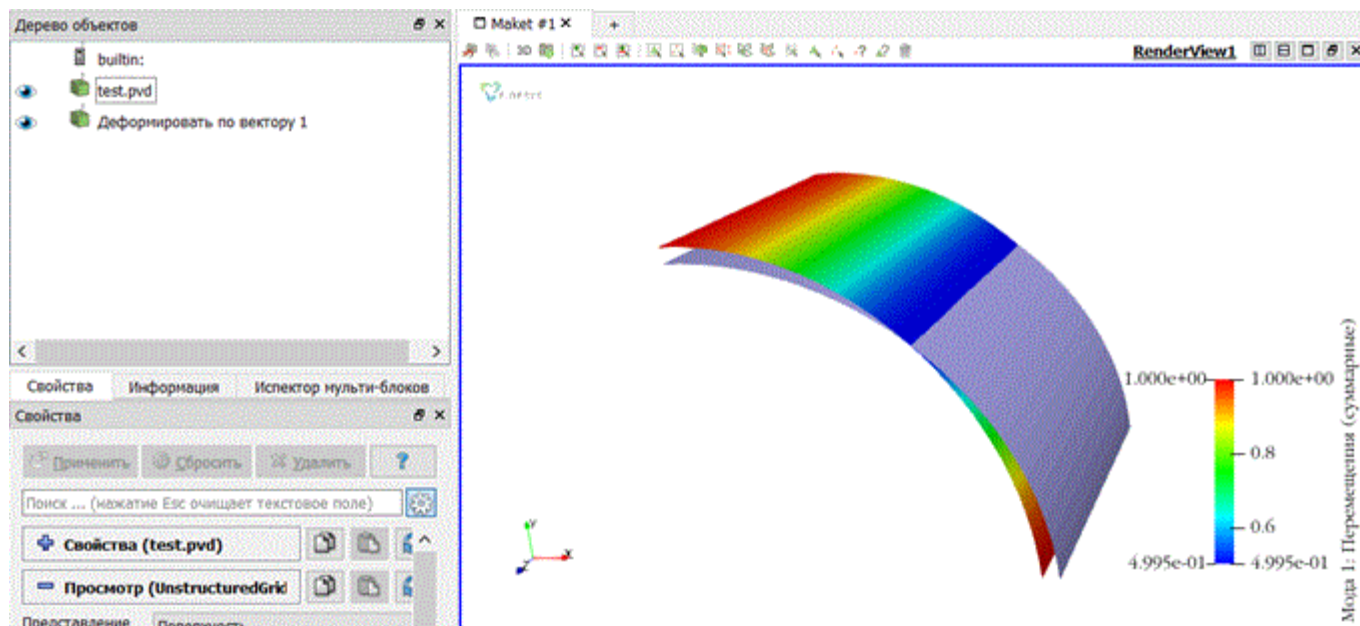
На панели инструментов установите следующие параметры:



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).

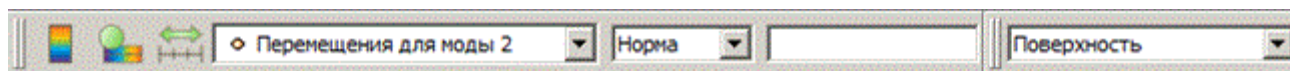


7. В фильтре **Деформировать по вектору** во вкладке **Свойства** выберите следующее значение поля **Перемещения** для моды

- **Вектора:** Мода 2: Перемещение
- **Множитель масштаба:** 0.1

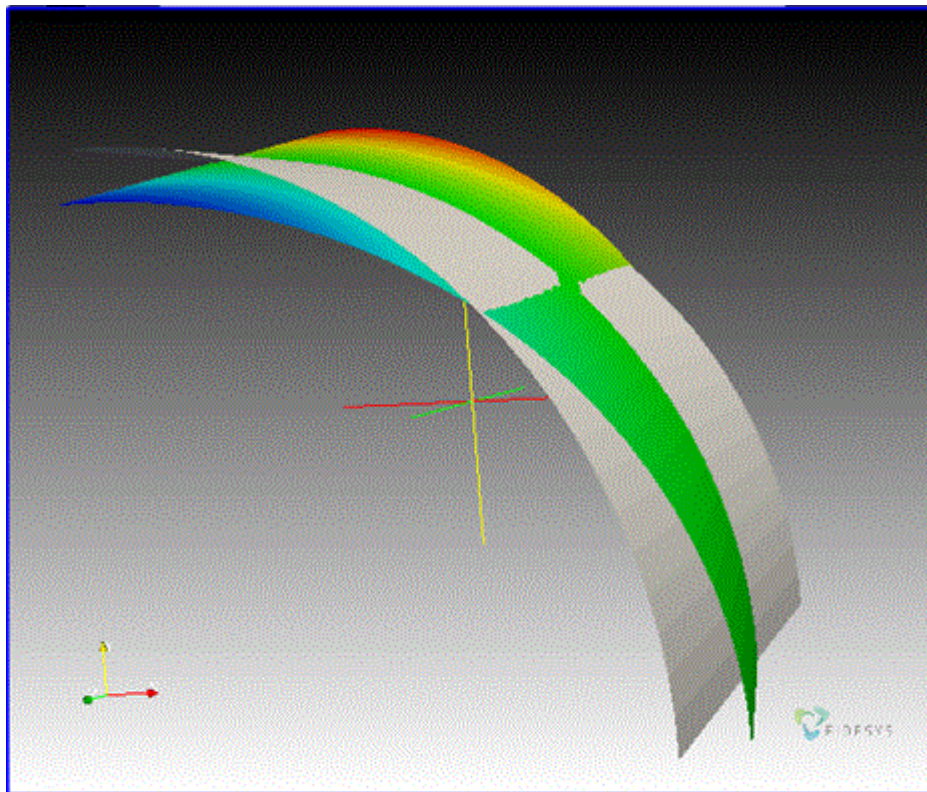
8. Отобразите Перемещения для моды 2.

На панели инструментов установите следующие параметры:

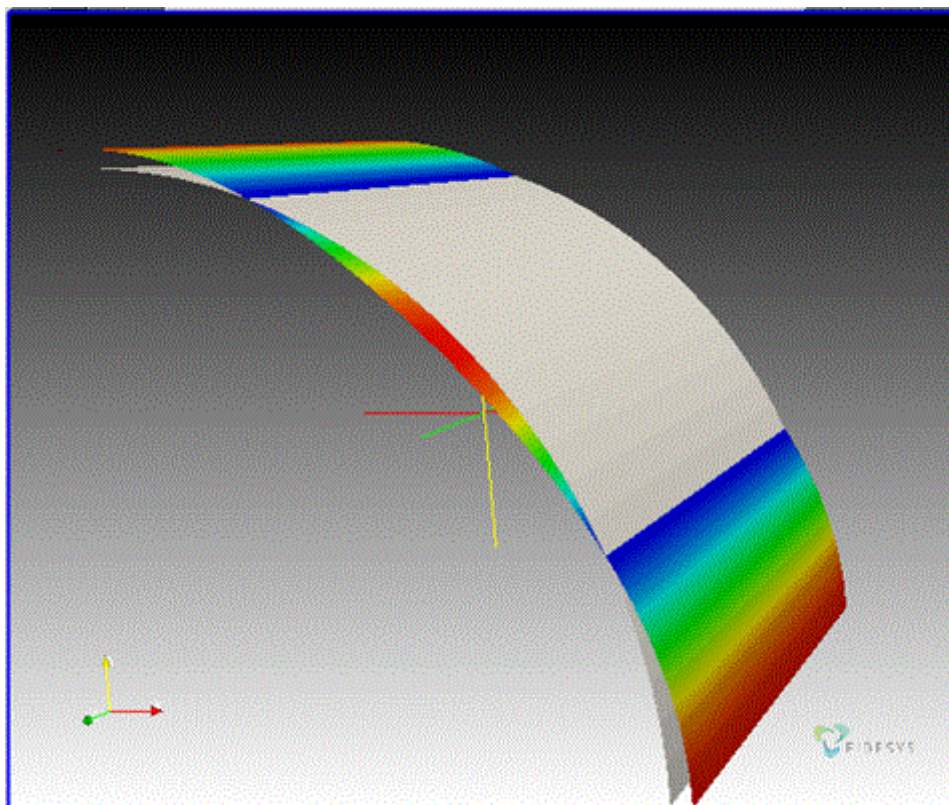


Удостоверьтесь, что в окне **Коэф.запаса** отобразился искомый второй коэффициент критической нагрузки.

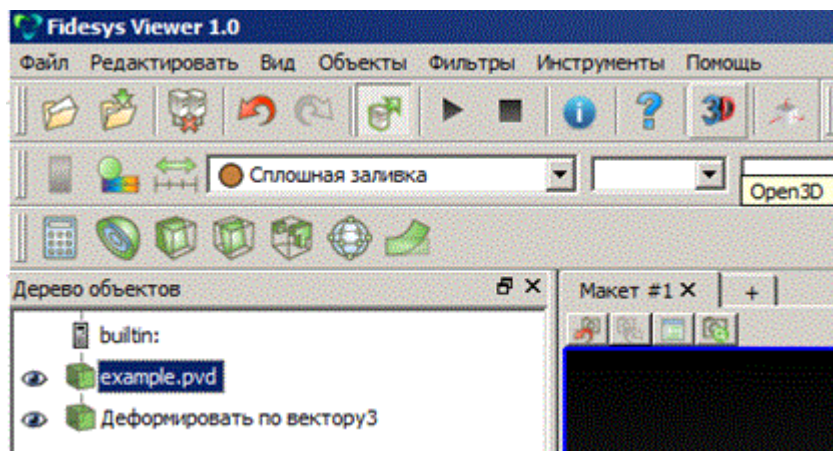
## 9. Просмотр результата



10. Аналогично отобразите Перемещения для моды 3, убедившись, что в окне **Козф.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.

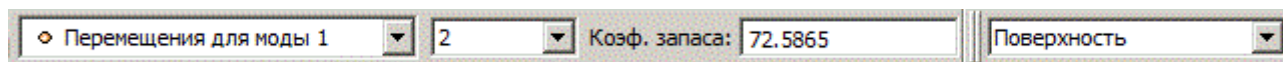


Должен открыться файл \*\_3D.pvd с 3D-изображением оболочки. К этому файлу также можно применять различные фильтры и просматривать деформированный вид.

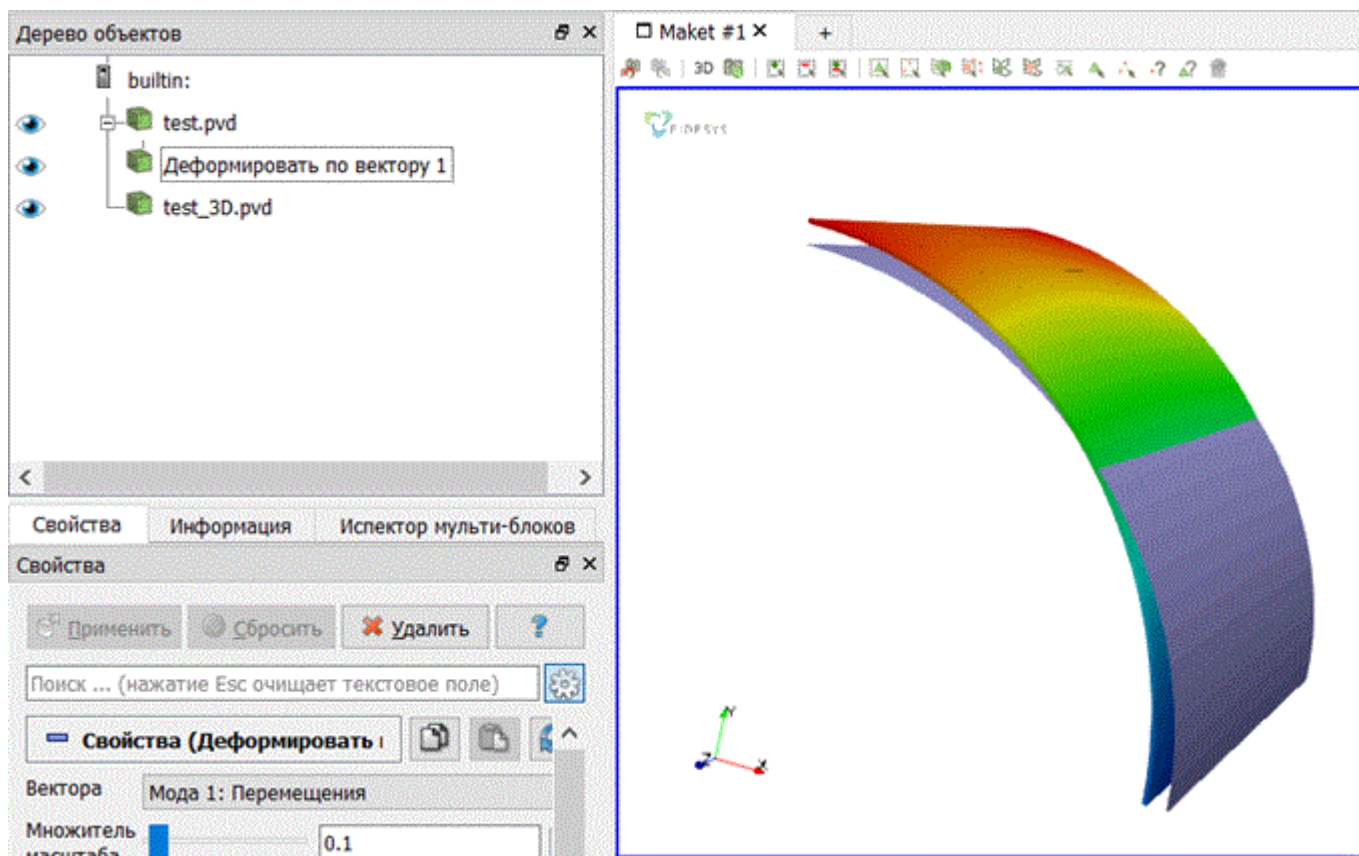
Выбрав в дереве объектов новый файл example\_3D.pvd отобразите для него фильтр **Деформировать по вектору** со следующими значениями полей:


- **Вектора:** Мода 1: Перемещение
- **Множитель масштаба:** 0.1

На панели инструментов вновь установите следующие параметры для деформированного вида:



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



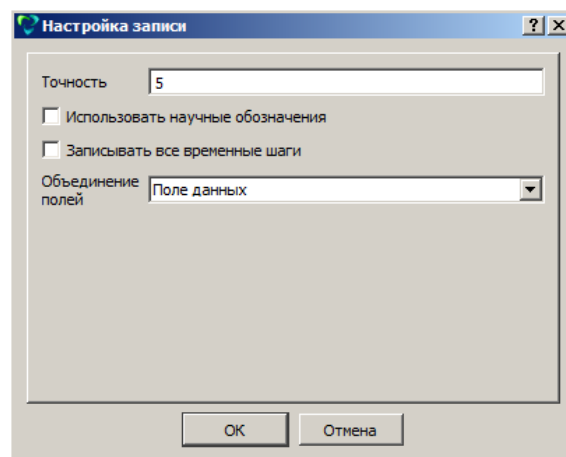
 Для автоматического применения изменений всех фильтров нажмите на соответствующую кнопку **Автоматически применять изменения** на панели команд.

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:/Fidesys/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
create material 1
modify material 1 name 'Material 1'
modify material 1 set property 'POISSON' value 0.3
modify material 1 set property 'MODULUS' value 2e+11
set duplicate block elements off
block 1 surface 7
block 1 material 'Material 1'
block 1 element shell order 1
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
calculation start path "D:/Fidesys/example.pvd"
```

## Анализ собственных частот (объёмная модель)

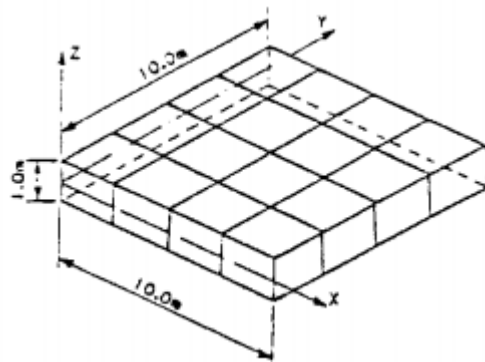
*NAFEMS Selected Benchmarks for Natural Frequency Analysis "Simply Supported "Solid" Square Plate", Test No FV52.*

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/м<sup>3</sup>.

Требуется сравнить ненулевые собственные частоты с 4 по 10.



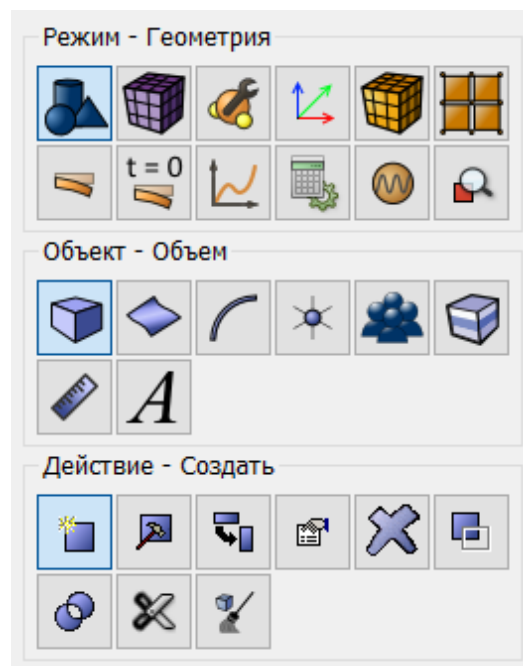
### Построение модели

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

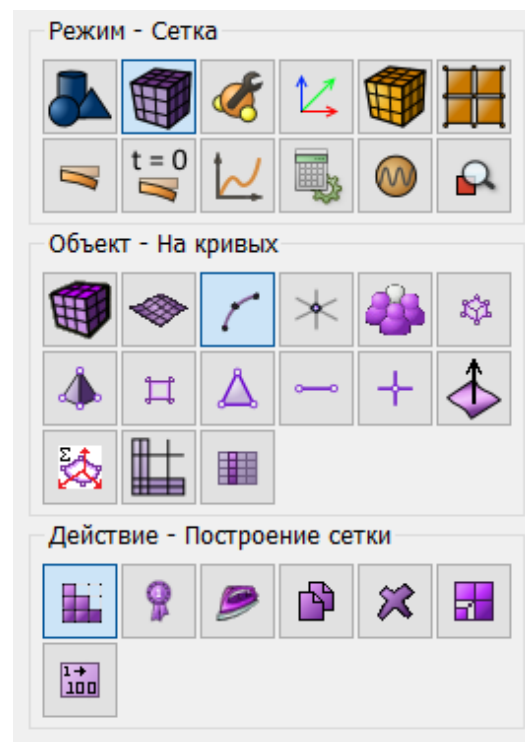
Требуется построить сетку из  $4 \times 4 \times 1$  линейных гексаэдральных элементов, как показано на рисунке с постановкой задачи.

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: 4 (см картинку).

Нажмите **Применить**.

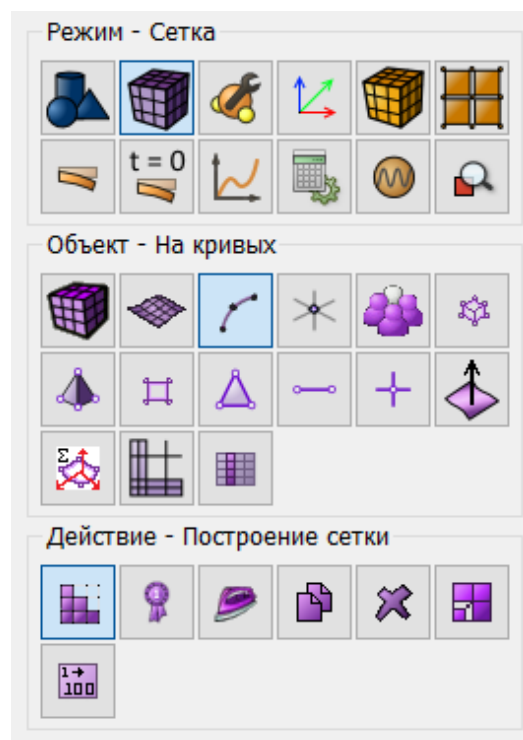


2. На панели команд выберите модуль построения сетки на кривых (Режим — **Сетка**, Объект — **На кривых**, Действие — **Построение сетки**).

Укажите степень измельчения сетки:

- Выбор кривых: 9 10 11 12 (через пробелы);
- Выберите способ построения сетки: Равномерно;
- Выберите параметры разбиения: Интервал;
- Интервал: 1.

Нажмите **Применить**.



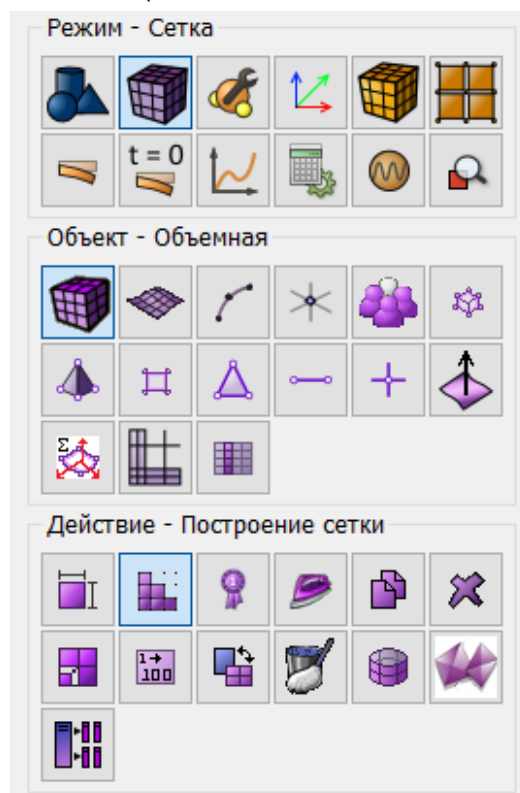


3. На панели команд выберите модуль построения объёмной сетки (Режим — **Сетка**, Объект — **Объёмная**, Действие — **Построение сетки**).

- Выберите объёмы (укажите их ID): 1 (или командой all);
- Выберите схему построения сетки: Автоматически.

Нажмите **Применить схему**.

Нажмите **Построить сетку**.



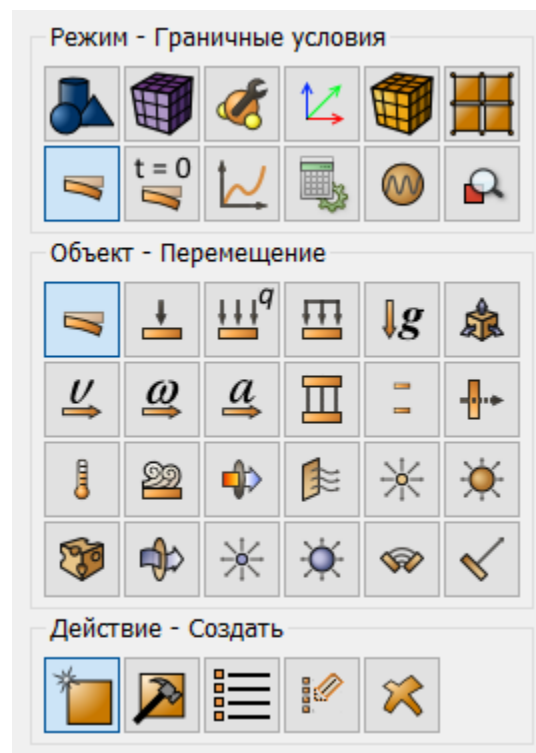
### Задание граничных условий

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: По Z;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.



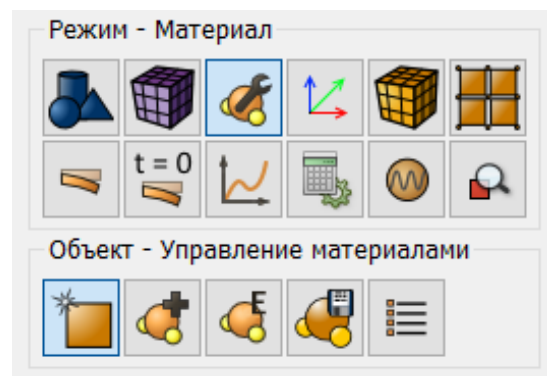
## Задание материала и свойств блока

### 1. Создайте материал.

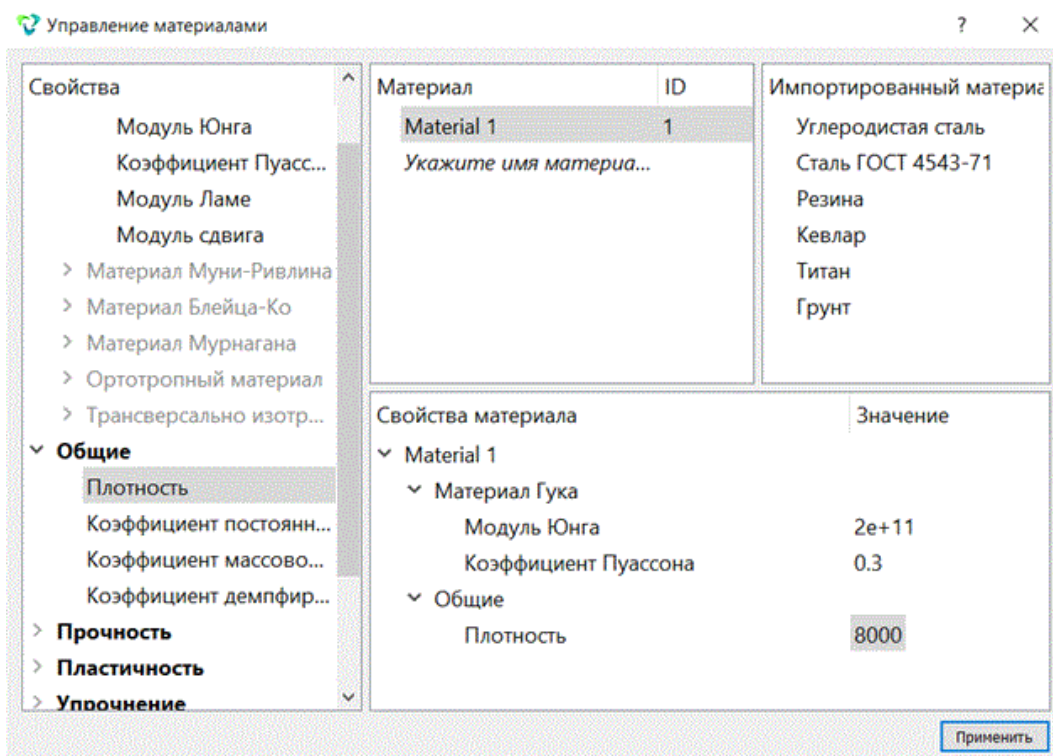
На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**). Укажите имя материала Material1.

Перетащите из левой колонки надпись Материал Гука в колонку Свойства материала. Задайте следующие параметры:

- Модуль Юнга:  $2.1 \times 10^{11}$ ;
- Коэффициент Пуассона: 0.3;
- Плотность: 8000.



- Нажмите **Применить**.



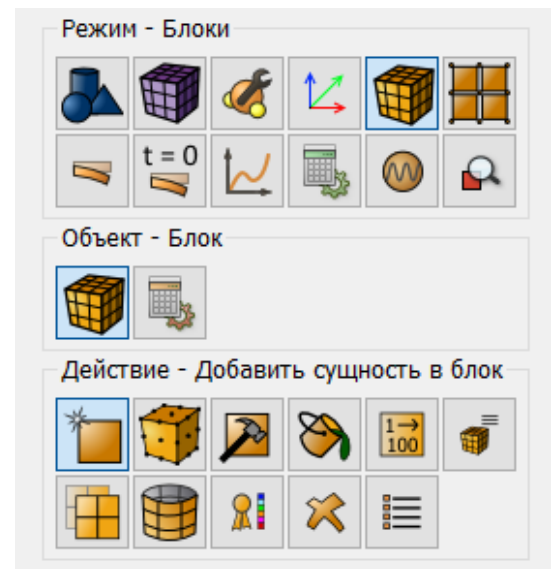
## 2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**).

Задайте следующие параметры:

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

Нажмите **Применить**.



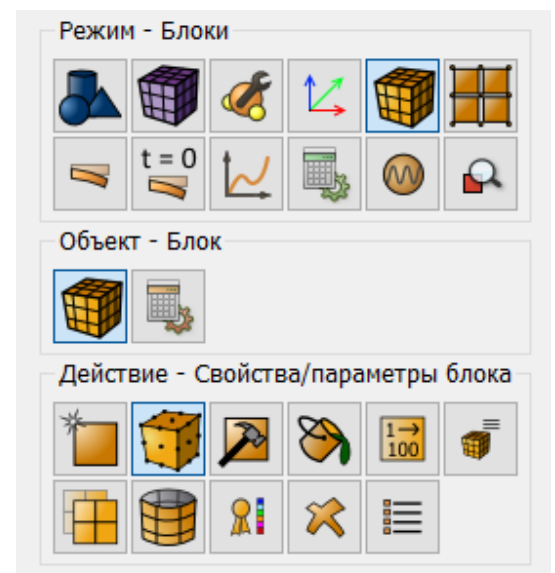
## 3. Задайте параметры блока.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Свойства/параметры блока**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Материал: Material 1;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Объемное тело;
- Порядок: 2.

Нажмите **Применить**.



## Запуск расчёта

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

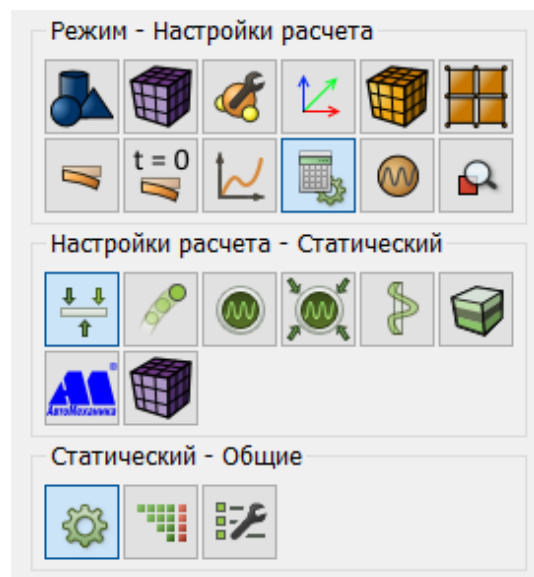
На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим — **Настройки расчёта**, Настройки расчёта — **Модальный анализ**, Модальный анализ — **Общие**).

Задайте следующие настройки:

- Размерность: 3D
- Интервал: 20 – 250.

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 в командной строке с результатами, приведенными в таблице.

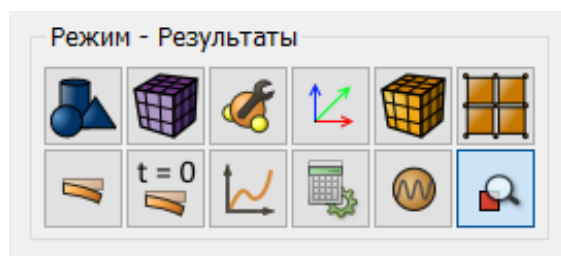
№	NAFEMS	FIDESYS	
	Value, Hz	Value, Hz	Error
4	44.762	44.796	0.1%
5	110.52	110.54	0.0%
6	110.52	110.54	0.0%
7	169.08	169.10	0.0%
8	193.93	193.92	0.0%
9	206.64	206.64	0.0%
10	206.64	206.64	0.0%

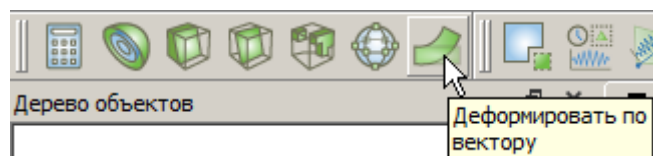
2. Откройте файл с результатами. Это можно сделать тремя способами.

- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите **Режим** → **Результаты**. Нажмите **Открыть последний результат**.
- На панели команд выберите Результаты. Нажмите **Открыть результаты**.


3. Можно посмотреть, как деформируется тело.

Для этого выберите фильтр **Деформировать по вектору**.

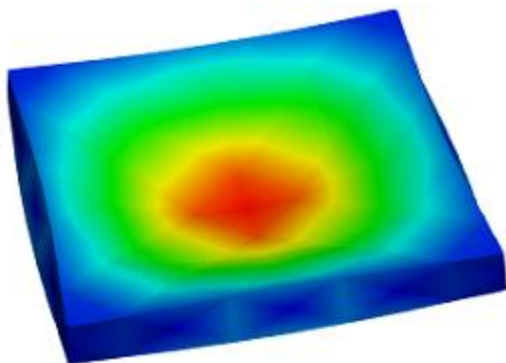




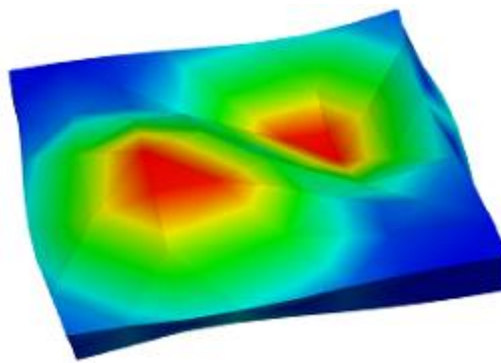
- Вектора: Собственное значение  $_n$  ( $n$  означает номер собственного значения);
- Множитель масштаба: 700.

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.

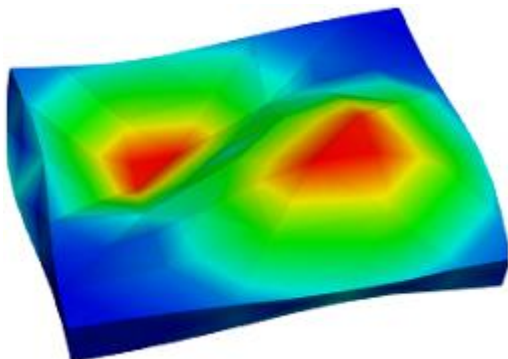
4 собственная форма



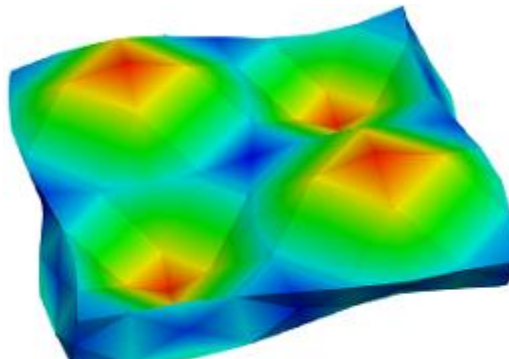
5 собственная форма



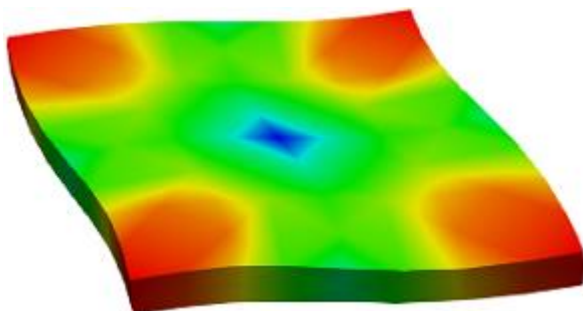
6 собственная форма



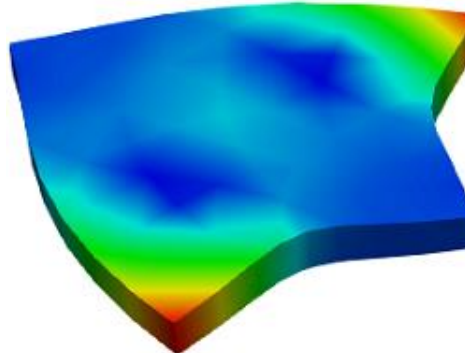
7 собственная форма



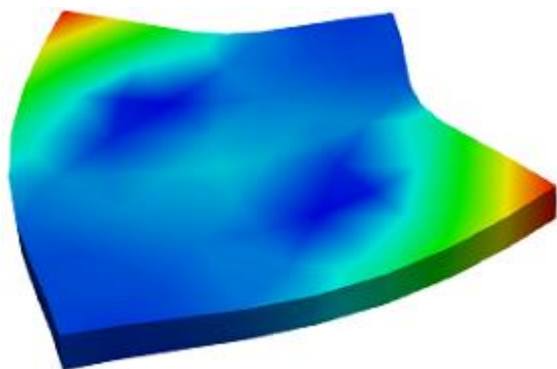
8 собственная форма



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:/Fidesys/example.pvd):

```
reset
set node constraint on
brick x 10 y 10 z 1
curve 1 2 3 4 5 6 7 8 interval 4
curve 1 2 3 4 5 6 7 8 scheme equal
curve 9 10 11 12 interval 1
curve 9 10 11 12 scheme equal
volume 1 scheme Auto
mesh volume 1
create displacement on curve 5 6 7 8 dof 3 fix 0
create material 1
modify material 1 name 'Material 1'
modify material 1 set property 'POISSON' value 0.3
modify material 1 set property 'MODULUS' value 2e+11
modify material 1 set property 'DENSITY' value 8000
set duplicate block elements off
block 1 volume 1
block 1 material 'Material 1'
block 1 element solid order 2
analysis type eigenfrequencies elasticity dim3
eigenvalue find 10 smallest
calculation start path "D:/Fidesys/example.pvd"
```

## 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  $E = 200$  ГПа,  $\nu = 0.3$ ,  $\rho = 8000$  кг/м<sup>3</sup>.

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

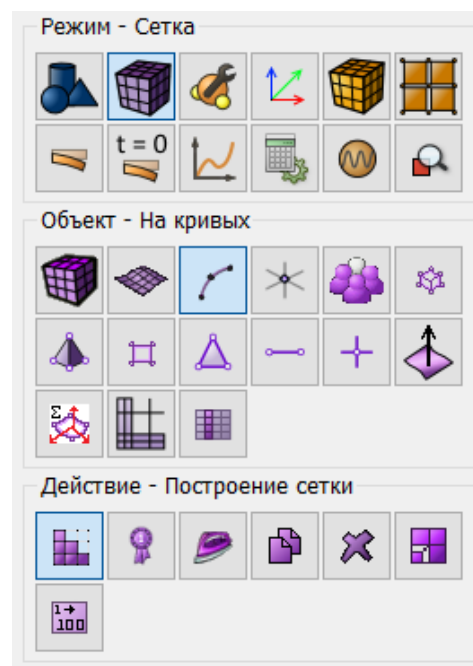
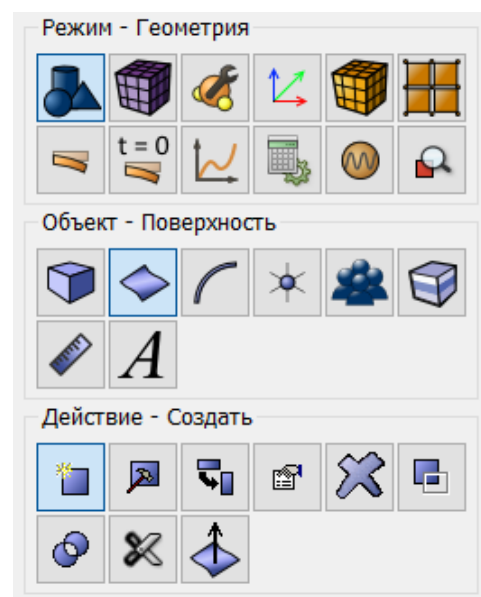
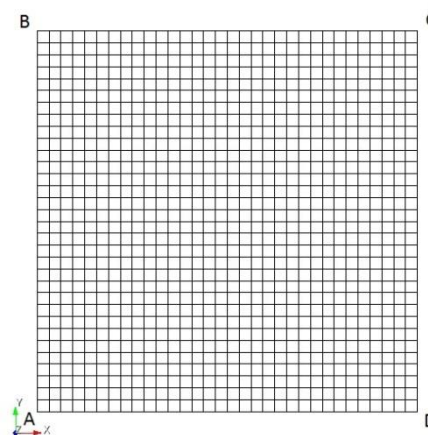
1. Требуется построить сетку из 32\*32 линейных квадратных элементов, как показано на рисунке с постановкой задачи.

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**.

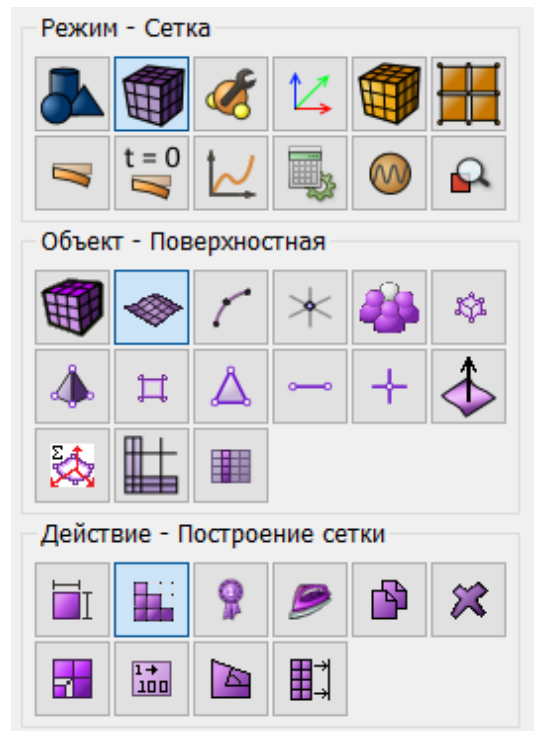


2. На панели команд выберите модуль построения поверхностной сетки (Режим — **Сетка**, Объект — **Поверхностная**, Действие — **Построение сетки**).

- Выберите объёмы (укажите их ID): 1 (или командой all);
- Выберите схему построения сетки: Автоматическая.

Нажмите **Применить схему**.

Нажмите **Построить сетку**.



### Задание граничных условий

1. Закрепите всю пластинку в направлениях X и Y, а также вокруг Z.

На панели команд выберите Режим — **Граничные условия**, Объект — **Перемещение**, Действие — **Создать**.

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Узел;
- ID объектов: all;
- Степени свободы: По X, По Y и Вокруг Z;
- Величина: 0.

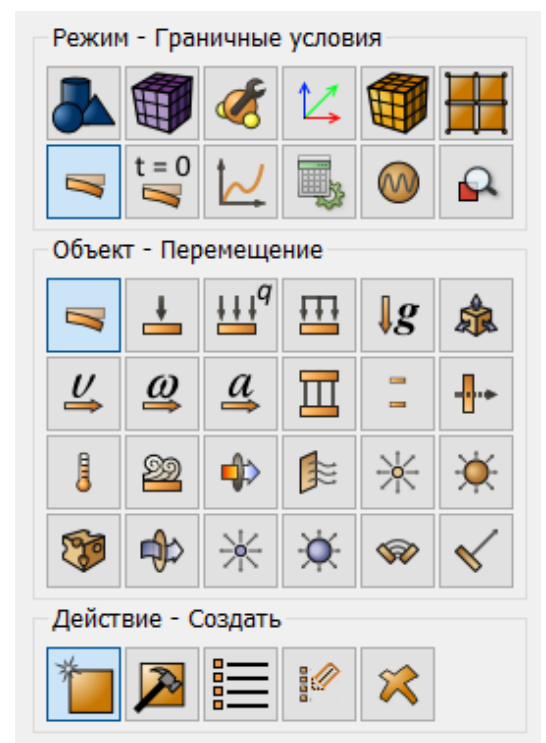
Нажмите **Применить**.

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: По Z;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.





3. Закрепите рёбра АВ и CD вокруг Х.

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: Вокруг Х;
- 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: Вокруг Y;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

## **Задание материала и свойств блока**

1. Создайте материал.

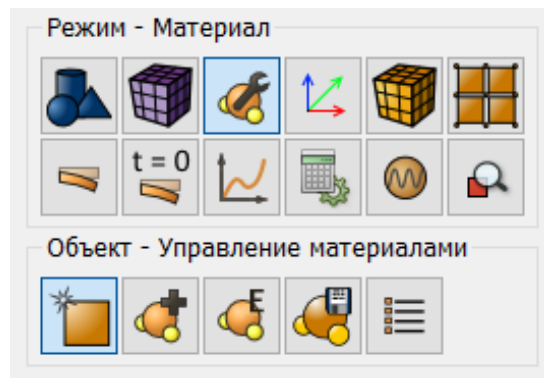
На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**).

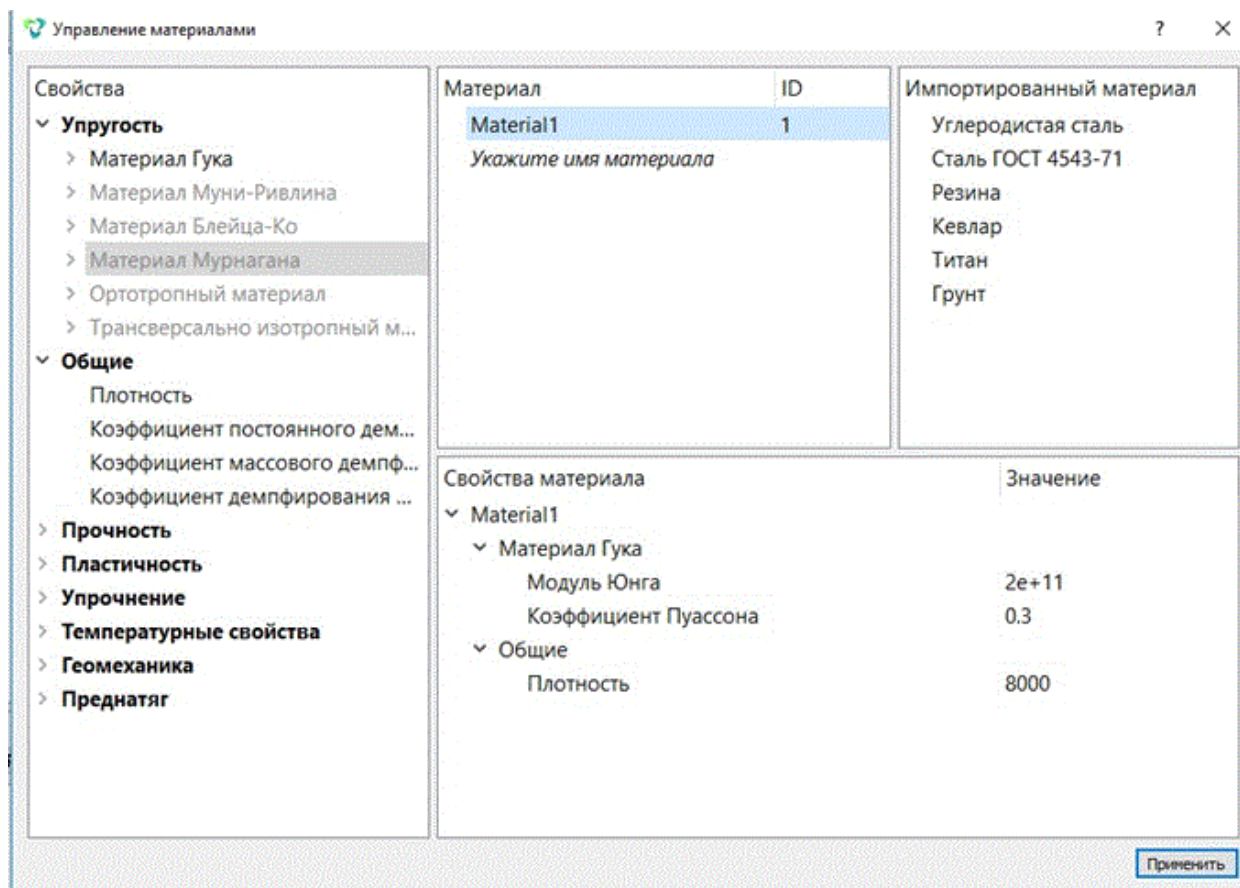
Укажите имя материала Material1.

Перетащите из левой колонки надпись **Материал Гука** в колонку **Свойства материала**. Задайте следующие параметры:

- Модуль Юнга:  $2.1 \times 10^{11}$ ;
- Коэффициент Пуассона: 0.3;
- Плотность: 8000.

Нажмите **Применить**.





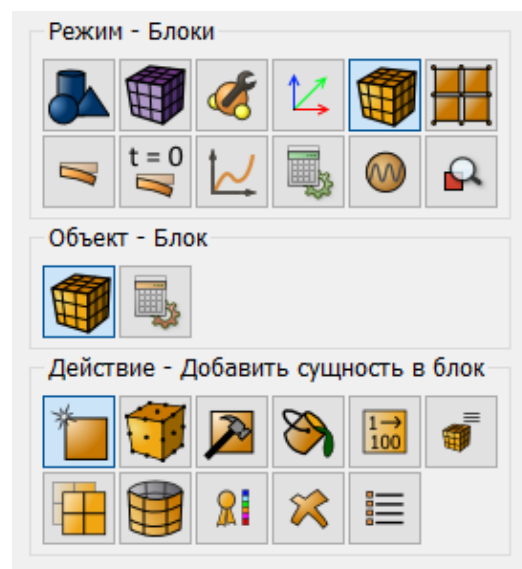
## 2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Список сущностей: Поверхность;
- ID: 1 (или командой all).

Нажмите **Применить**.



### 3. Задайте параметры блока.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Свойства/параметры блока**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Материал: Material 1;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Оболочка;
- Порядок: 1.

Нажмите **Задать свойства оболочки**. Задайте следующие параметры:

- Толщина: 0.05;
- Эксцентриситет: 0.5.

Нажмите **Применить**.

Закройте окно **Задать свойство оболочки**. Нажмите **Применить**.

### Запуск расчёта

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим — **Настройки расчёта**, Настройки расчёта — **Модальный анализ**, Собственные частоты — **Общие**).

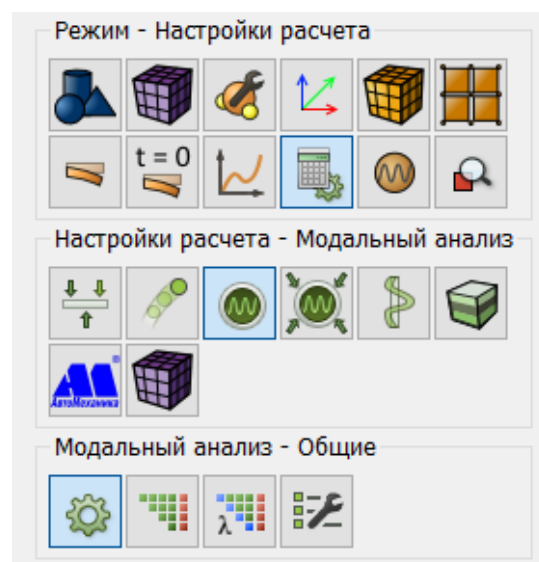
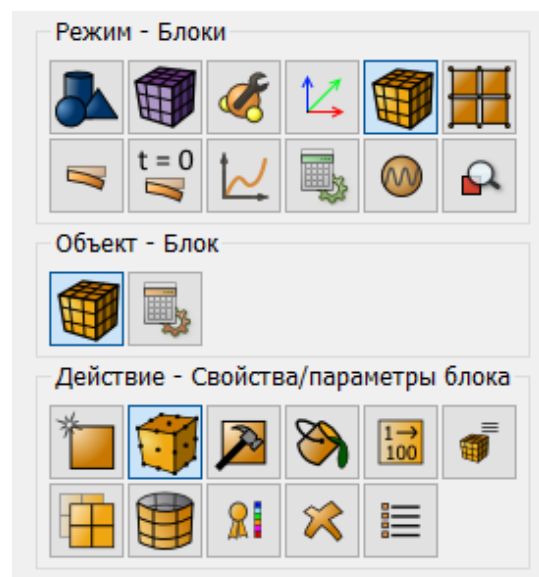
Оставьте все параметры по умолчанию.

Нажмите **Применить**.

Нажмите **Начать расчёт**.

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

2. 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.



```

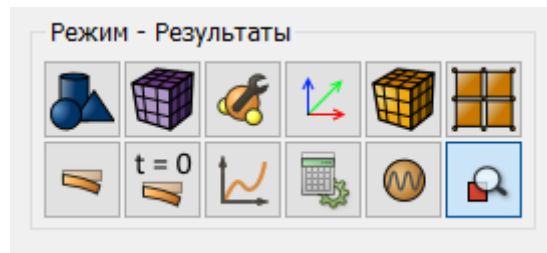
Командная строка
EIGENFREQUENCY
Number  Eigenfrequency (Hz)
1       2.379046
2       5.963525
3       5.963525
4       9.544129
5       11.993268
6       11.993268
7       15.567361
8       15.567361
9       20.553239
10      20.553239
    
```

## Анализ результатов

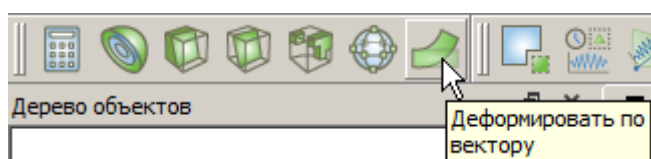
1. Сравните полученные результаты с результатами, приведенными на рисунке.

Откройте файл с результатами. Это можно сделать тремя способами.

- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите **Режим** → **Результаты**. Нажмите **Открыть последний результат**.
- На панели команд выберите Результаты (Режим — Результаты, Результаты — Открыть Результаты).




2. Можно посмотреть, как деформируется тело. Для этого выберите фильтр **Деформировать по вектору**.



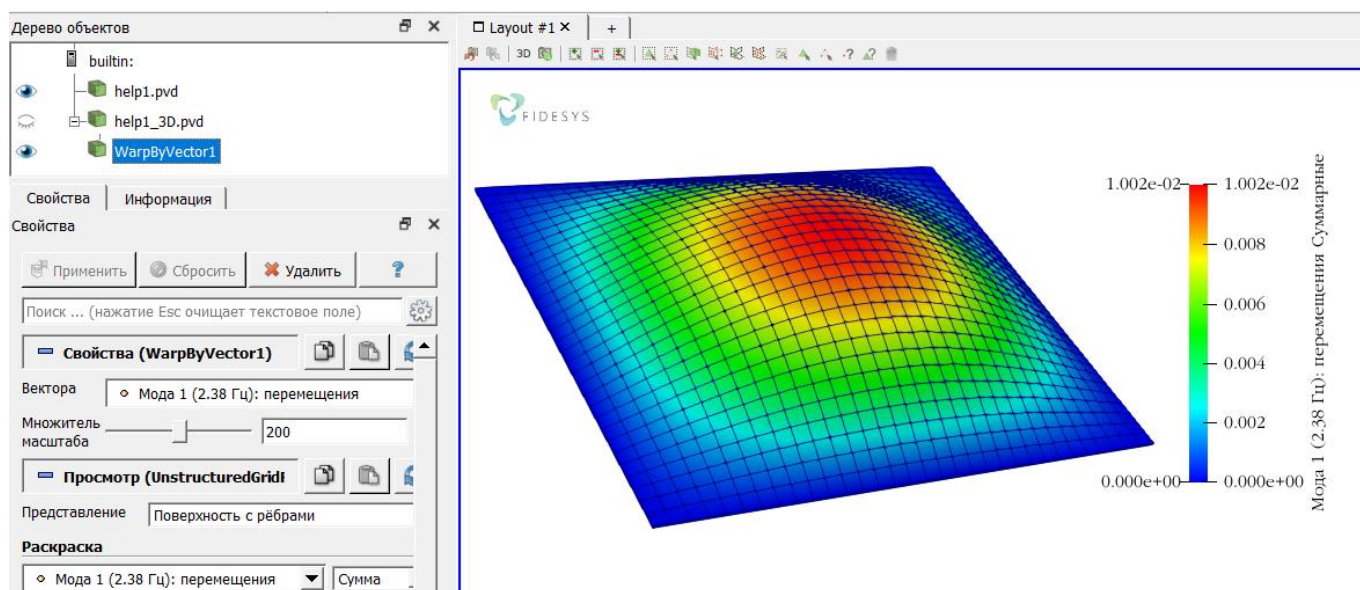
Во вкладке **Свойства** установите следующие параметры:

- Вектора: Мода 1 (2.38Гц): Перемещение;
- 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.

3. 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:/Fidesys/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
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
create material 1
modify material 1 name 'Material1'
modify material 1 set property 'MODULUS' value 2e+11
modify material 1 set property 'POISSON' value 0.3
modify material 1 set property 'DENSITY' value 8000
set duplicate block elements off
block 1 add surface 1
block 1 material 'Material1'
block 1 element shell order 1
block 1 attribute count 2
block 1 attribute index 1 value 0.05
block 1 attribute index 2 value 0.5
analysis type eigenfrequencies dim3 preload off
eigenvalue find 10 smallest
calculation start path 'D:/Fidesys/example.pvd'
```

## Задача теплопроводности (объёмная модель, работа с двумя блоками)

Рассматривается трёхмерная задача о полом цилиндра, сделанном из двух материалов, на внутреннюю и внешнюю поверхность которого действует конвекция.

Геометрическая модель задачи представлена на рисунках:

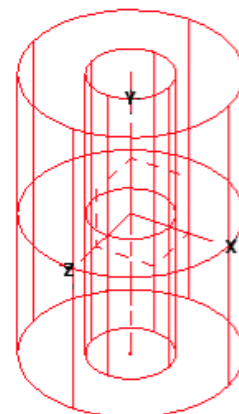
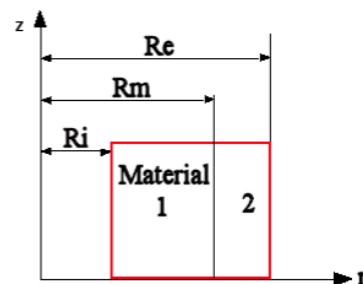
Внутренний радиус цилиндра  $R_i = 0.30$  м, средний радиус цилиндра (в месте смены материала)  $R_m = 0.35$  м, внешний радиус цилиндра  $R_e = 0.37$  м.

На внутренней поверхности цилиндра происходит конвективный теплообмен с температурой внешней среды  $T_i = 70$  °С и коэффициентом  $h_i = 150$  Вт/м<sup>2</sup>/°С. На внешней поверхности цилиндра происходит конвективный теплообмен с температурой внешней среды  $T_e = -15$  °С и коэффициентом  $h_e = 200$  Вт/м<sup>2</sup>/°С.

Материалы являются изотропными. Коэффициент теплопроводности материала №1  $V_1 = 40$  Вт/(м · °С). Коэффициент теплопроводности материала №2  $V_2 = 20$  Вт/(м · °С).

Критерий прохождения теста:

в точке (0.3;0;0) тепловой поток  $\varphi = 6\,687$  Вт/м<sup>2</sup> 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;
- Круговой;
- Радиус: 0.3.

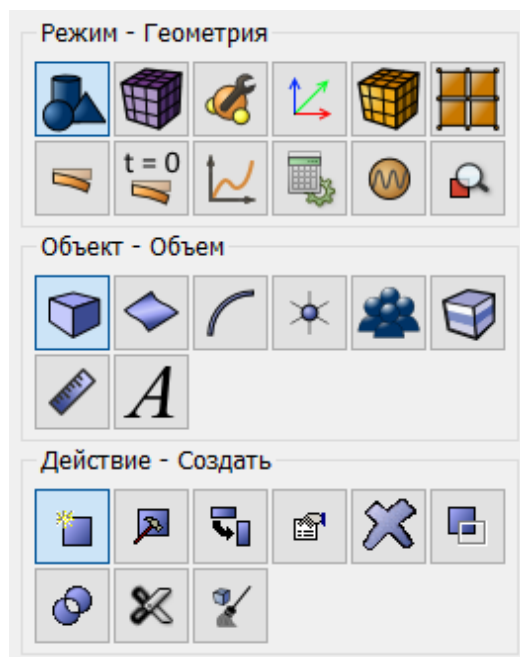
Нажмите **Применить**.

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;
- Круговой;
- Радиус: 0.35.

Нажмите **Применить**.



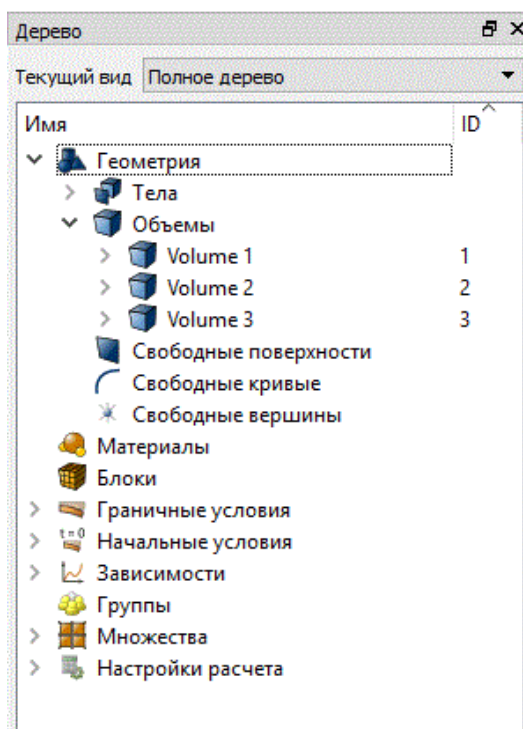
### 3. Создайте третий цилиндр.

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;
- Круговой;
- 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 — **Логические операции**).

Из списка операций выберите **Вычесть**. Задайте следующие параметры:

- ID объема(ов): 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.

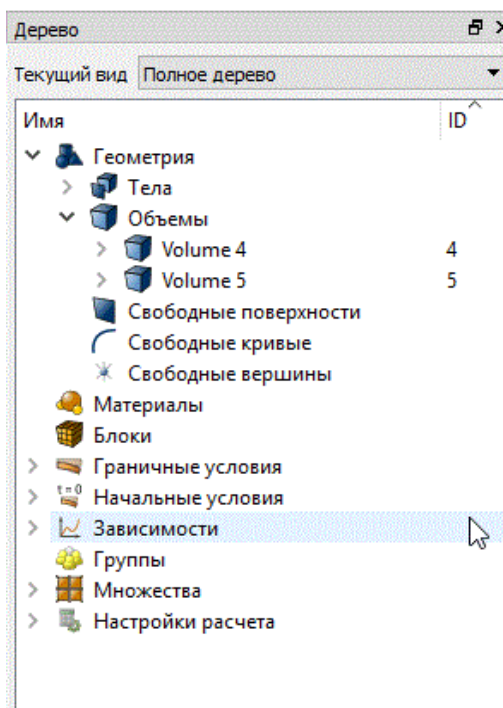
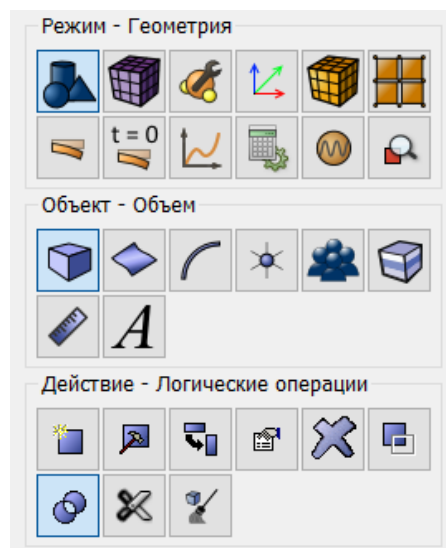
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объём**, Действие — **Булевы операции**). Из списка операций выберите **Вычесть**. Задайте следующие параметры:

- 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.





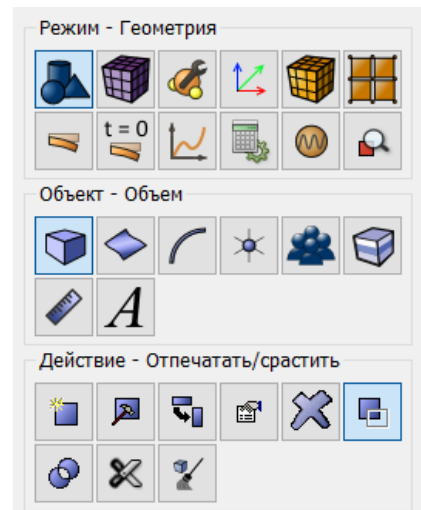
6. Срастите полученные объекты.

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**.



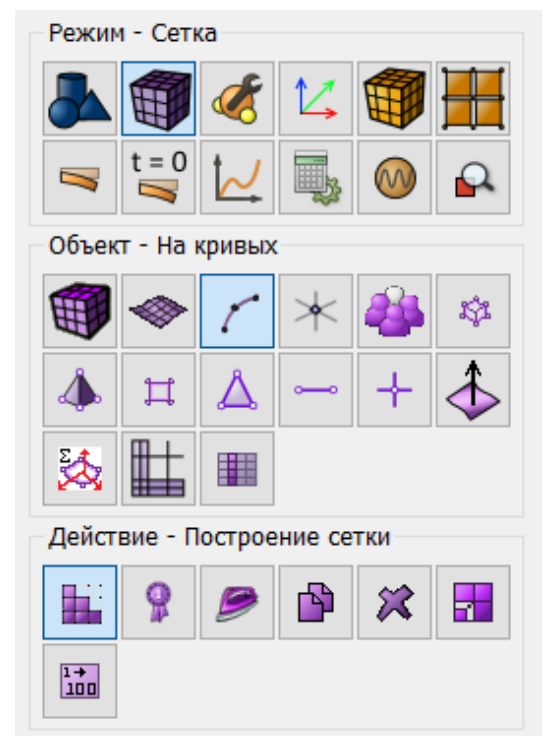
## Построение сетки

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 всех кривых);
- Выберите способ построения сетки: Равномерно;
- Выберите параметр построения сетки: Интервал;
- Укажите размер интервала: 200.

Нажмите **Применить**.



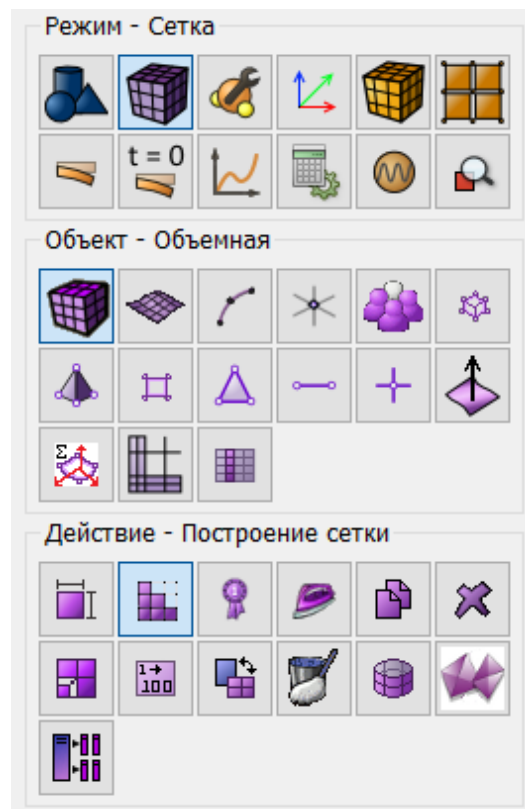
2. На панели команд выберите модуль построения объёмной сетки (Режим — **Сетка**, Объект — **Объёмная**, Действие — **Построение сетки**).

Укажите степень измельчения сетки:

- Выбор объёмов: all (сетка будет построена на всех объёмах);
- Выберите схему построения сетки: Многогранная.

Нажмите **Применить схему**.

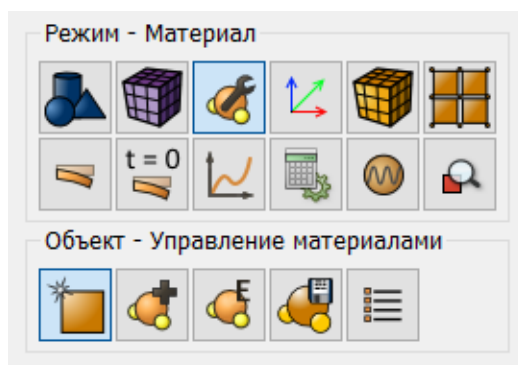
Нажмите **Построить сетку**.



## Задание материала и свойств блока

1. Создайте материал 1.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**).



Укажите имя материала Material 1. Перетащите из левой колонки в разделе Температурные свойства надпись Коэффициент теплопроводности в колонку Свойства материала. Задайте следующие параметры:

- Коэффициент теплопроводности: 40.

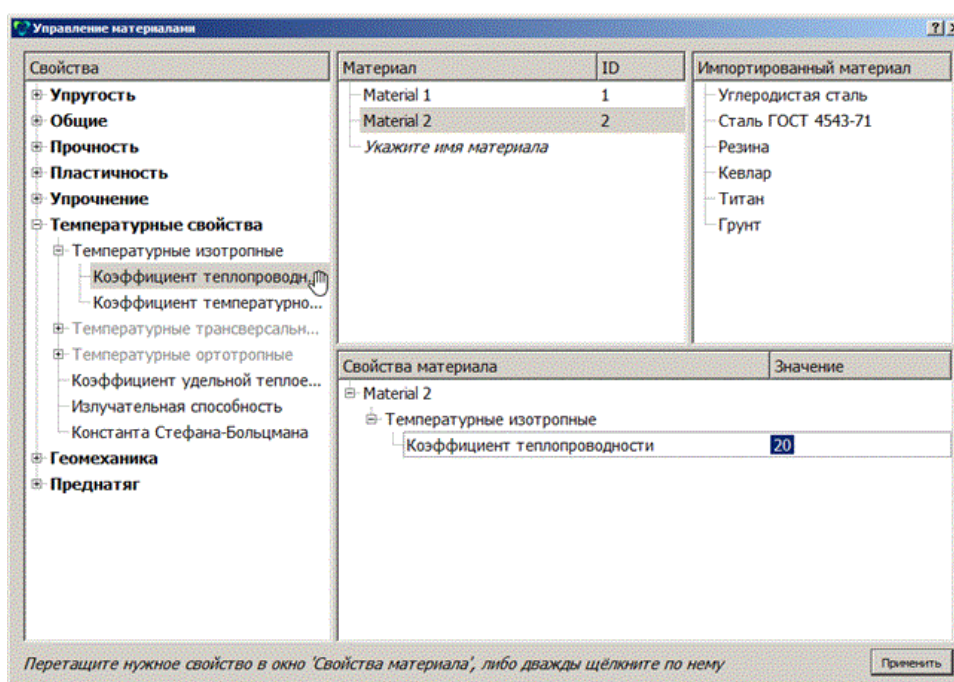
Нажмите **Применить**.

## 2. Создайте материал 2.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**). Укажите имя материала Material 2. Перетащите из левой колонки в разделе Температурные свойства надпись Коэффициент теплопроводности в колонку Свойства материала. Задайте следующие параметры:

- Коэффициент теплопроводности: 20.

Нажмите **Применить**.



## 3. Создайте блок 1.

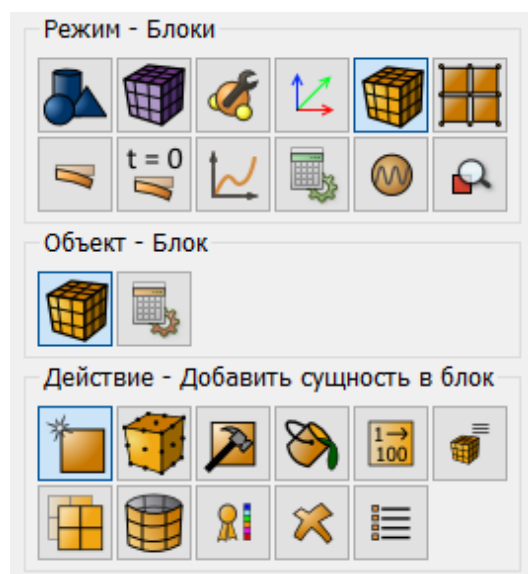
На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Выберите объекты, которые будут объединены в блок: Объём;
- ID: 4.

Нажмите **Применить**.

## 4. Создайте блок 2.



На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**). Из списка возможных операций выберите **Добавить**.  
Задайте следующие параметры:

- ID блока: 2;
- Выберите объекты, которые будут объединены в блок: Объем;
- ID: 5.

Нажмите **Применить**.

#### 5. Задайте параметры блока №1.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блок**, Объект — **Блок**, Действие — **Свойства/параметры блока**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Материал: Material 1;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Объемное тело;
- Порядок: 1.

Нажмите **Применить**.

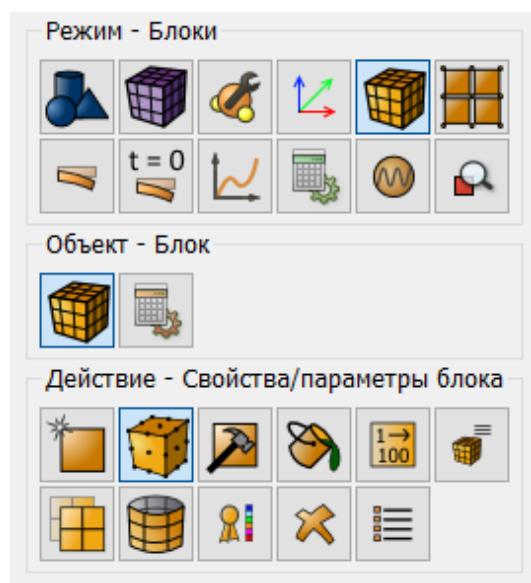
#### 6. Задайте параметры блока №2.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки и материалы**, Объект — **Блок**, Действие — **Задать материал**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 2;
- Материал: Material 2;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Объемное тело;
- Порядок: 1.

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**.

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**.

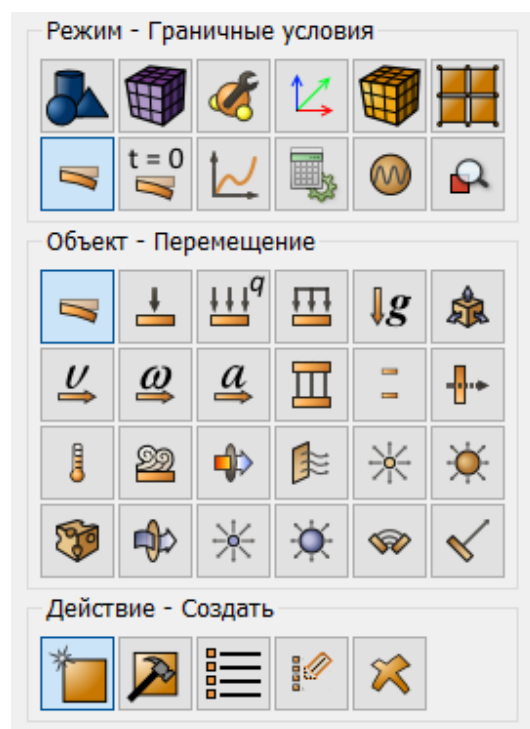
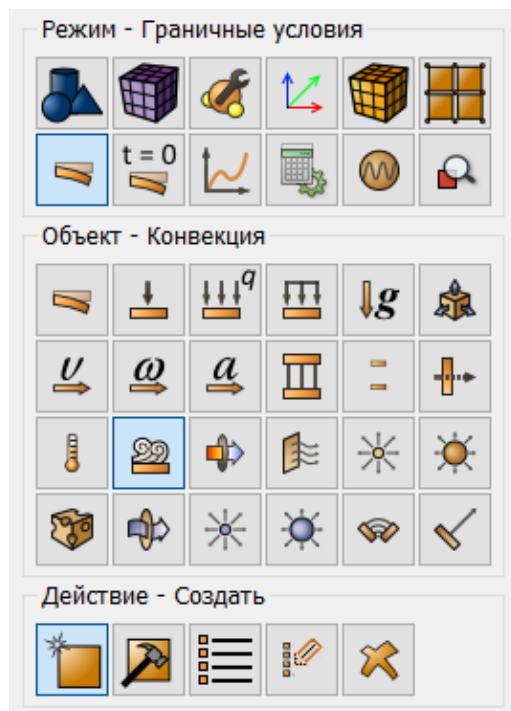
3. Зафиксируйте основания цилиндра.

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.

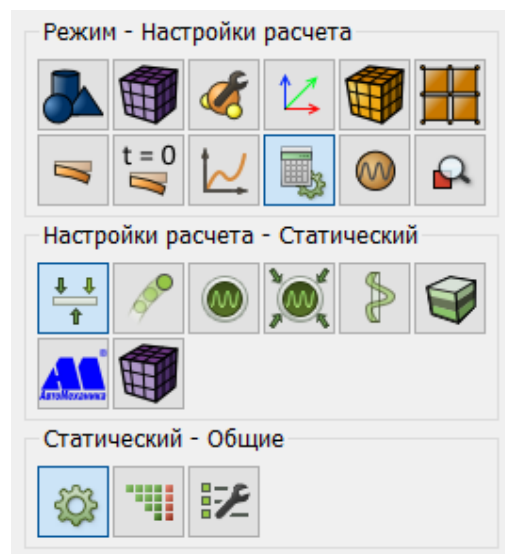
На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим — **Настройки расчёта**, Настройки расчёта — **Статический**, Статика — **Общие**).

Выберите

- Размерность – 3D.
- Уберите галочку рядом с пунктом **Упругость**.
- Поставьте галочку рядом с пунктом **Теплопроводность**.

Нажмите **Применить**.

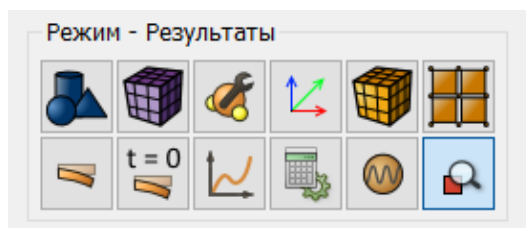
2. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат, и введите название файла.
3. В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: "Calculation finished successfully at "date time".



## Анализ результатов

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

- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите **Режим** → **Результаты**. Нажмите **Открыть последний результат**.
- На панели команд выберите Результаты (Режим — Результаты, Результаты — 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 А, 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.

The screenshot shows the software interface with a 3D model of a ring. The 'Properties' panel on the left shows the 'ProbeLocation1' settings. The 'Data Arrays' panel on the right shows the 'Heat Flux' value.

Показывать	ПрobeLocation1	Атрибут:	Point Data	Точность:
ID точки	0			
ID блока	1			
Глобальный ID элемента	723			
Тепловой поток	6685.95; 6685.95; -0.00151785; 7.50396e-11			
ID материала	1			
ID узла	3445			
Родитель ID	4			
Точки	0.3; 0; 0			
Температура	25.417			
Маска допустимых точек	1			

4. Проверьте численное значение теплового потока  $\varphi$  в выбранной точке А.

Во вкладке **Информация** в поле **Массивы данных** посмотрите значения теплового потока в строке **Тепловой поток**.

The screenshot shows the 'Data Arrays' panel with the following data:

Имя	Тип данных
ID блока	[1, 1]
Глобальный ID элемента	[723, 723]
Тепловой поток	[6685.95, 6685.95], [6685.95, 6685.95], [-0.00151785, -0.00151785], [7.50396e-11, 7.50396e-11]
ID материала	[1, 1]
ID узла	[3445, 3445]
Родитель ID	[4, 4]
Температура	[25.417, 25.417]
Маска допустимых точек	[1, 1]

По следующей формуле вычислим значение теплового потока

$$\sqrt{\varphi_x^2 + \varphi_y^2 + \varphi_z^2} = \sqrt{6685.95^2 + (-0.00151785)^2 + (0)^2} = 6686.41$$

Полученное значение 6685.95 отличается от требуемого 6687 на 0.02%.

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**.

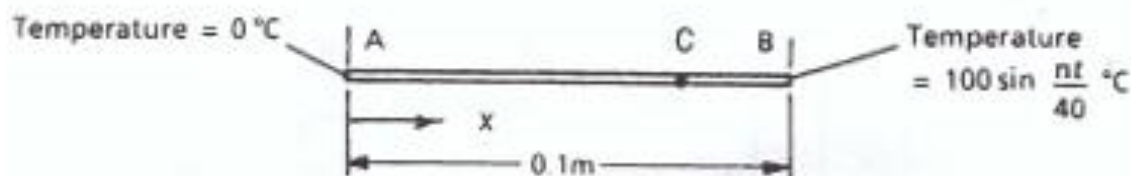
Пример рабочего скрипта (файл сохраняется в D:/Fidesys/example.pvd):

```
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 1
modify material 1 name 'Material 1'
modify material 1 set property ' ISO_CONDUCTIVITY ' value 40
create material 2
modify material 2 name 'Material 1'
modify material 2 set property ' ISO_CONDUCTIVITY ' value 20
block 1 volume 4
block 1 material 'Material 1'
block 2 volume 5
block 2 material 'Material 2'
block all element solid order 2
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:/Fidesys/example.pvd"
```



## 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/м<sup>3</sup>.

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

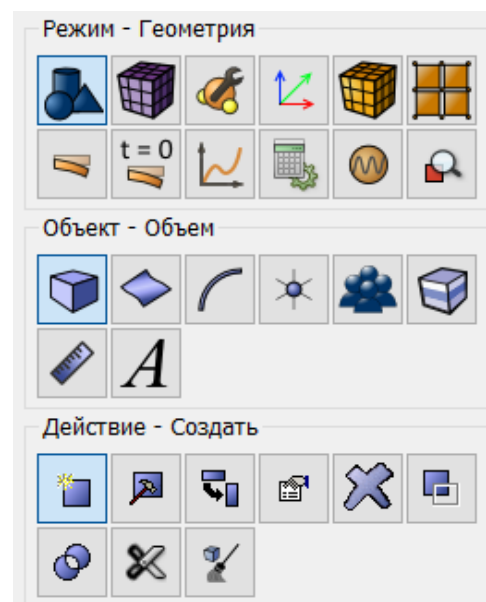
1. Создайте вытянутый параллелепипед.

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.

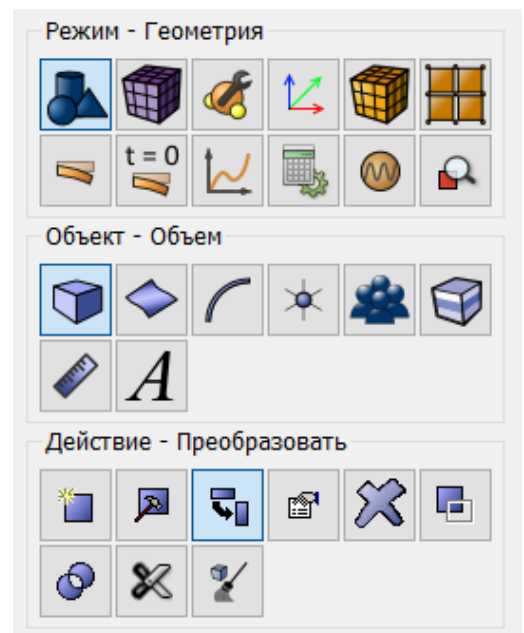
На панели команд выберите модуль преобразования объектов объемной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объём**, Действие — **Преобразовать**).

Из списка возможных действий выберите **Передвинуть**.

Задайте следующие параметры:

- Объём: 1;
- Выбрать метод: Расстояние;
- Расстояние по X: 0.05.

Нажмите **Применить**.



## Построение сетки

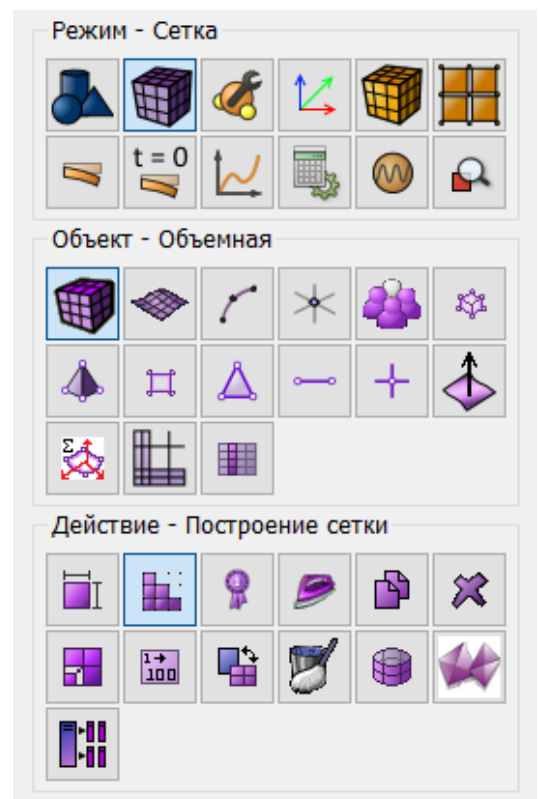
1. Укажите схему построения сетки.

На панели команд выберите модуль построения объемной сетки (Режим — **Сетка**, Объект — **Объёмная**, Действие — **Построение сетки**):

Укажите следующие параметры:

- Выберите объёмы (укажите их ID): 1 (или командой all);
- Способ построения сетки: Многогранная.

Нажмите **Применить схему**.



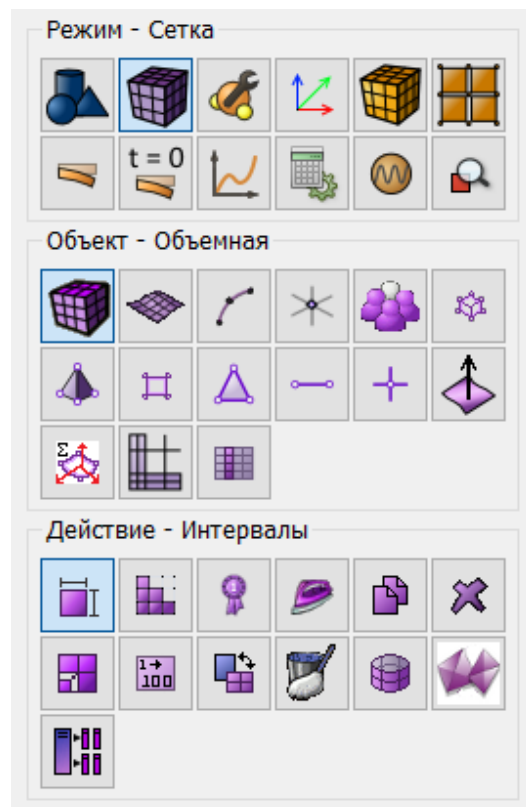
## 2. Задайте размер элементов.

На панели команд выберите модуль построения объемной сетки (Режим — **Сетка**, Объект — **Объёмная**, Действие — **Интервалы**). Укажите следующие параметры:

- Выберите в выпадающем списке **Задать размер**;
- Выберите объёмы (укажите их ID): 1 (или командой all);
- Примерный размер: 0.001.

Нажмите **Применить схему**.

Нажмите **Построить сетку**.



## Задание материала и свойств блока

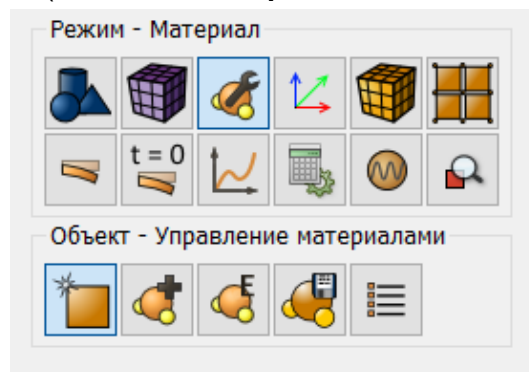
### 1. Создайте материал.

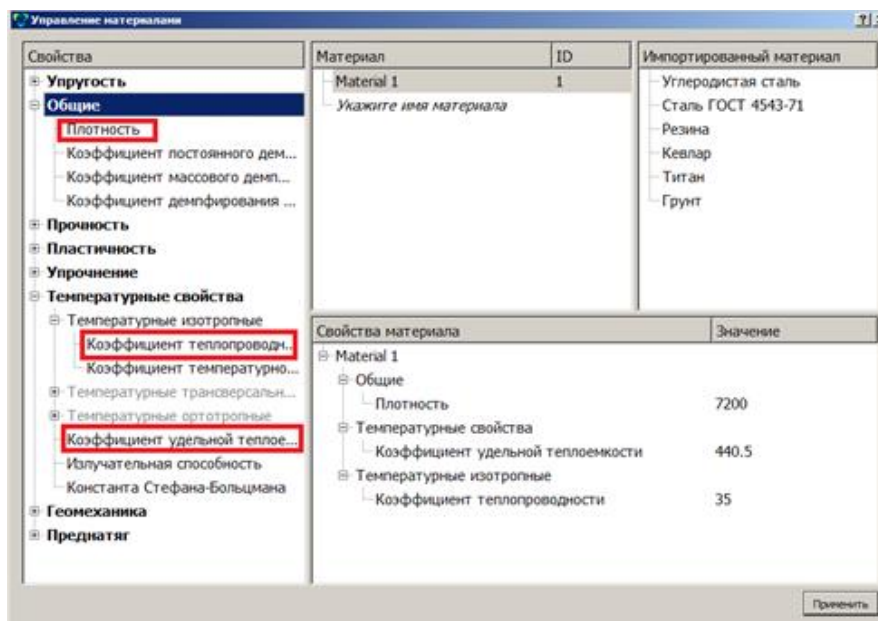
На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**).

В виджете Управление материалами введите название для материала и задайте следующие параметры:

- Плотность: 7200;
- Коэффициент удельной теплоёмкости: 440.5;
- Коэффициент теплопроводности: 35.

Нажмите **Применить**.





2. Создайте блок одного типа материала.

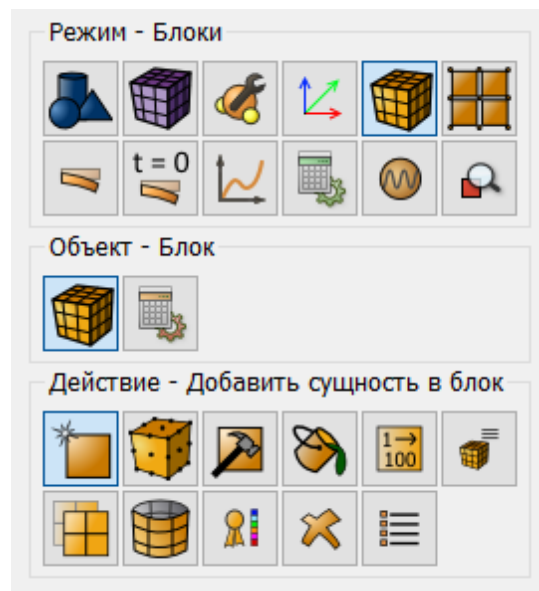
На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в Блок**).

Задайте следующие параметры:

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

Нажмите **Применить**.

3. Задайте параметры блока.

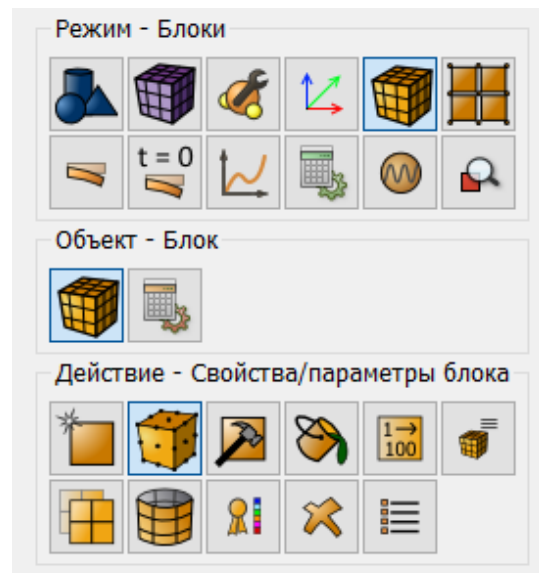


На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Свойства/параметры блока**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Материал: Material 1;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Объемное тело;
- Порядок: 1.

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**.

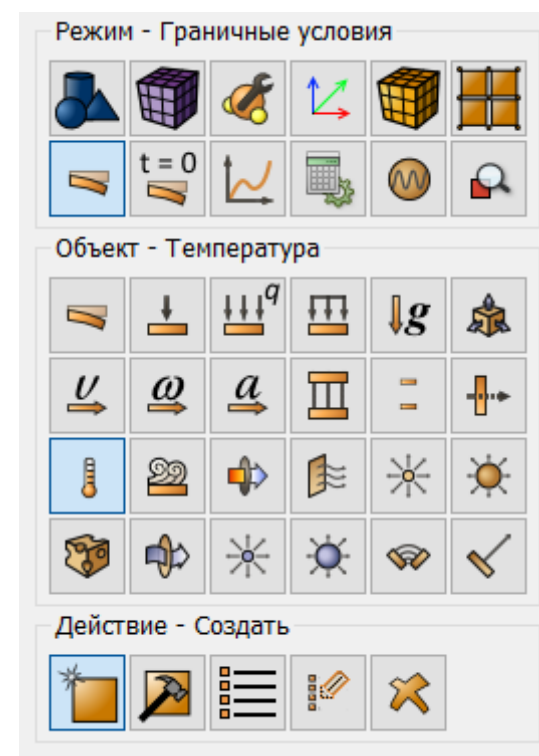
2. Задайте значение температуры, приложенной к правой грани балки.

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

Задайте зависимости от времени температуры, приложенной к правой грани балки. На панели команд выберите Режим — **Зависимость от времени**.

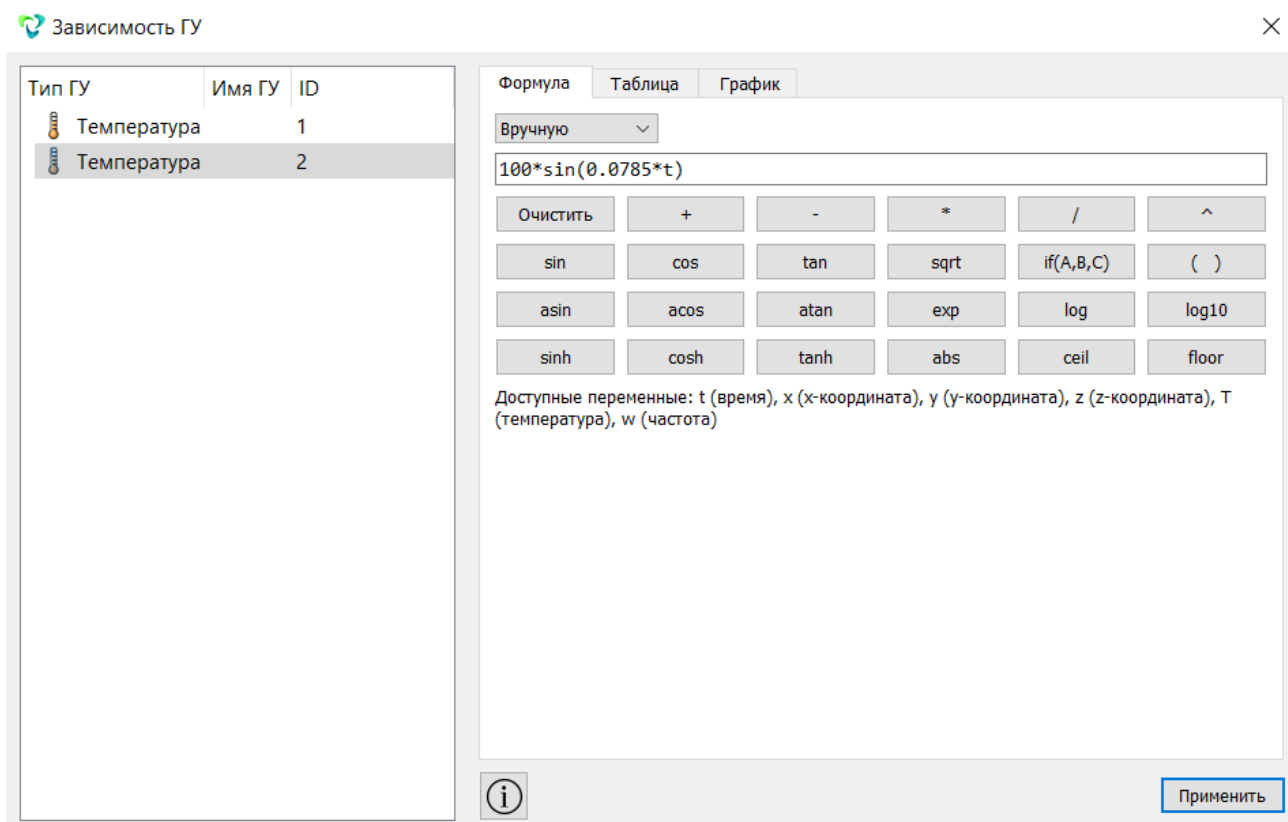
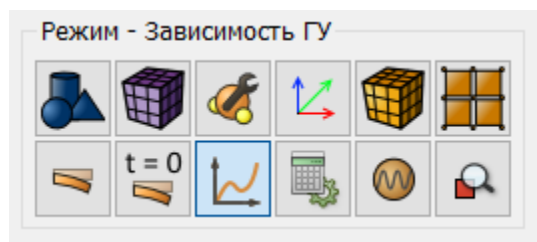
Появится окно с настройками.

Слева на панели выберите ГУ, для которого будет задана зависимость от времени: Temperature 2.

Задайте следующие параметры:

- Тип зависимости от времени: Вручную;
- Введите формулу:  $100*\sin(0.0785*t)$ .

Нажмите **Применить**.



## Запуск расчёта

Задайте тип задачи, которую требуется решить. На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим — **Настройки расчёта**, Настройки расчёта — **Временной анализ**, Временной анализ — **Общие**).

Задайте следующие параметры расчёта:

- Размерность: 3D;
- Метод: Полное решение;
- Схема: Неявная;
- Максимальное время: 32;
- Количество шагов: 100;
- Упругость: уберите галочку;
- Теплопроводность: поставьте галочку.

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"”.

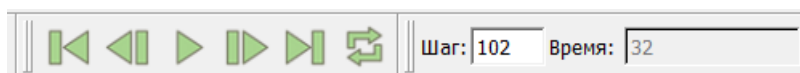
## Анализ результатов

1. Откройте файл с результатами. Это можно сделать тремя способами:
  - Нажмите Ctrl+E.
  - В главном меню выберите Расчет → **Открыть результаты**.
  - На панели команд выберите Режим — **Результаты**. Нажмите **Открыть результат**.

Появится окно **Fidesys Viewer**, в котором вы сможете ознакомиться с результатами расчёта.

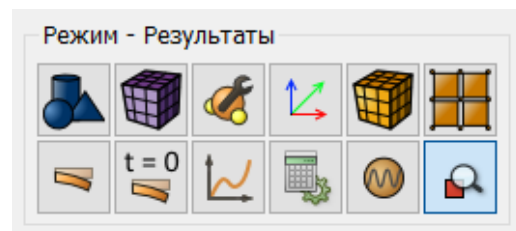
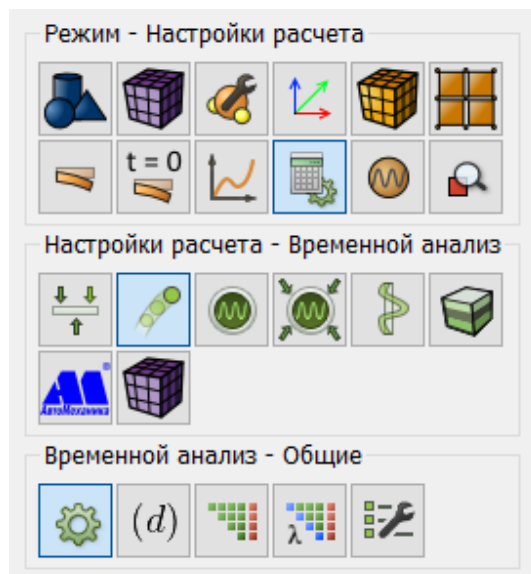
1. На панели инструментов есть меню, с помощью которого можно просмотреть анимацию, составленную из последовательности решений, рассчитанных для каждого конкретного момента времени.

Нажмите кнопку «Последний кадр», чтобы рассмотреть модель в последний момент времени  $t = 32$  с.



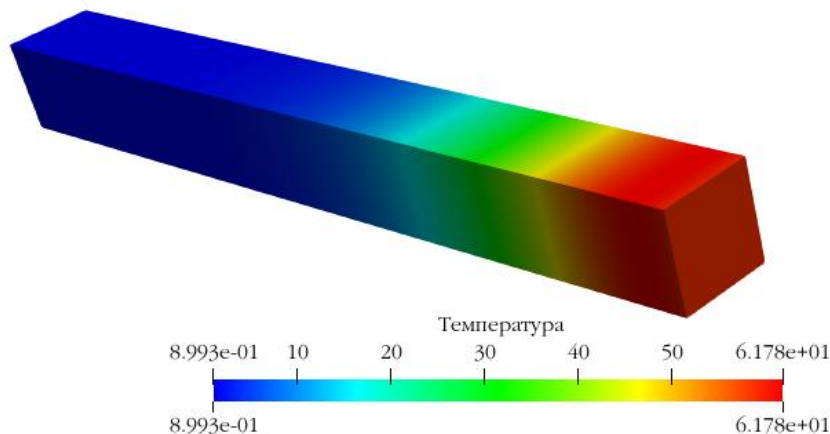
2. Отобразите компоненту Температура. На панели инструментов установите следующие параметры:

- Поле отображения: Температура;
- Тип отображения: Поверхность с рёбрами.





На модели отобразятся полученная и поле распределения температуры. Для отображения шкалы цветовой легенды нажмите на кнопку **Переключатель видимости цветовой легенды** на панели команд.



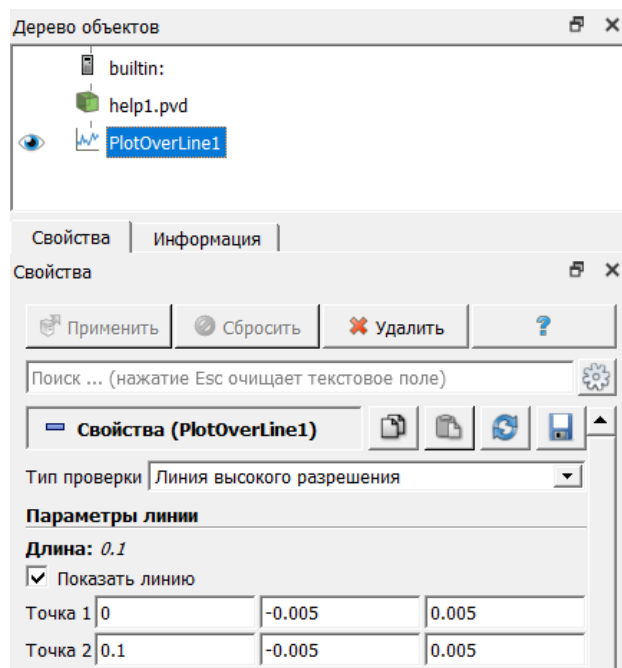
3. Постройте график вдоль одного из рёбер балки.

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.

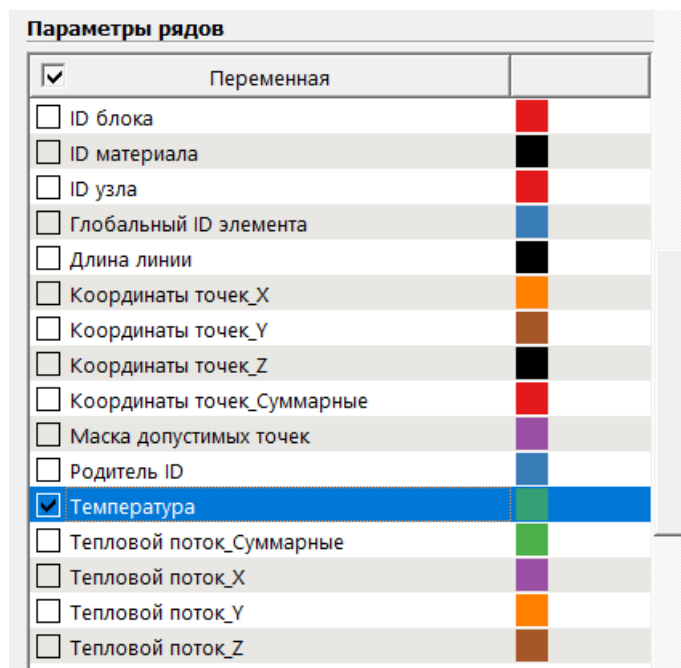
Нажмите **Применить**.



4. 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. Выберите поле **Температура**.

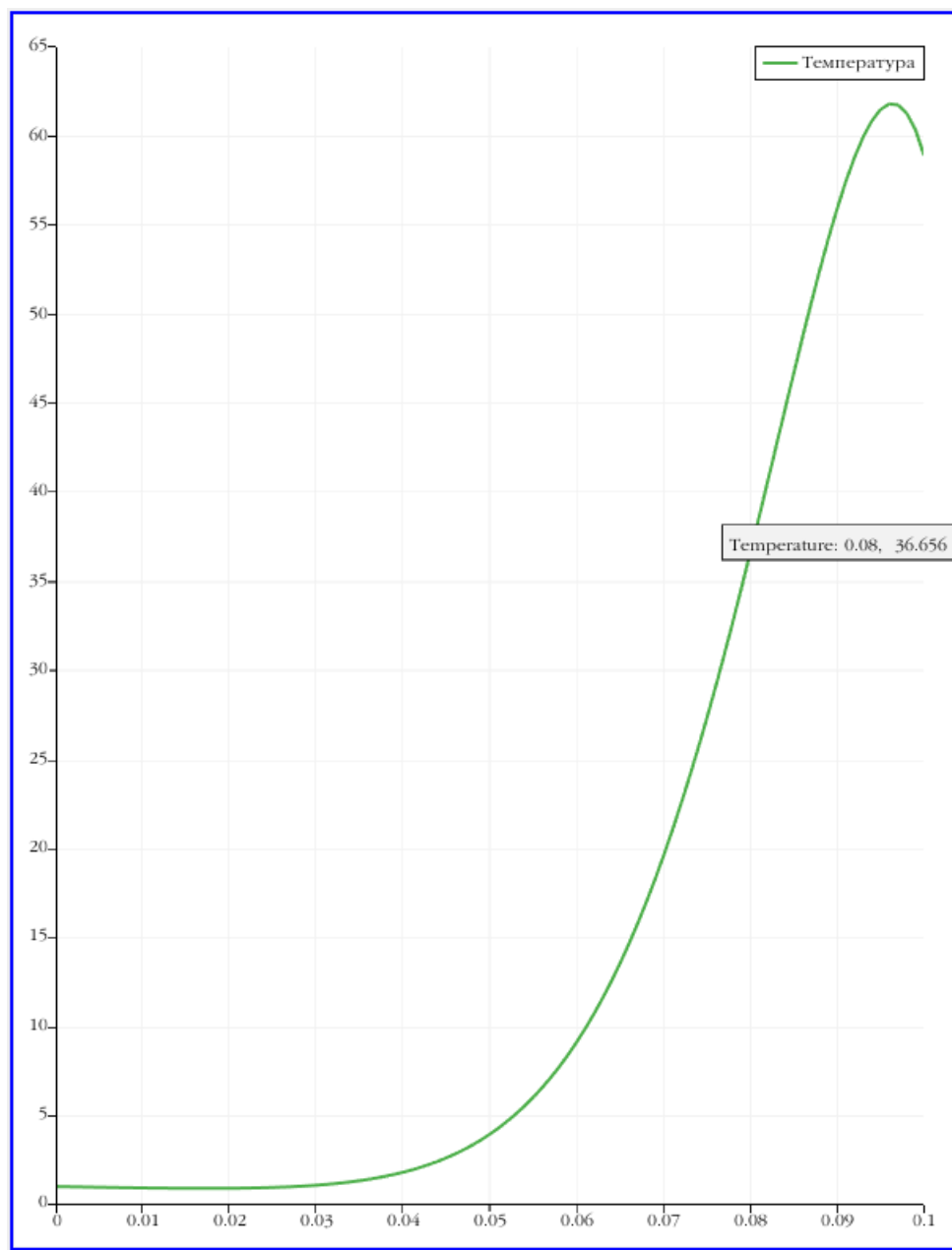




На графике отобразится зависимости температуры в точках, принадлежащих ребру балки, от координат этих точек.

5. 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 36.656 отличается от требуемого 36.60 на 0.15%.

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

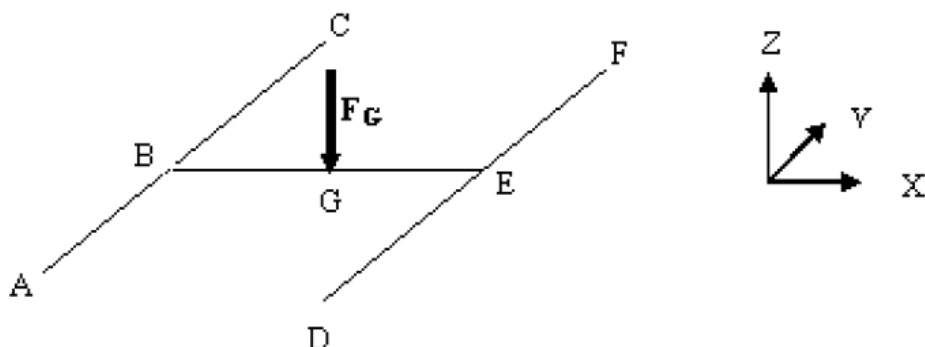
Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса. Ниже приведён код программы, позволяющий выполнить шаги описанного выше руководства, необходимо только **самостоятельно указать полный путь и название сохраняемого файла**.

Пример рабочего скрипта (файл сохраняется в D:/Fidesys/test.pvd):

```
reset
brick x 0.1 y 0.01 z 0.01
move Volume 1 x 0.05 include_merged
volume 1 scheme polyhedron
volume 1 size 0.001
mesh volume 1
create material 1
modify material 1 name 'Material 1'
modify material 1 set property 'DENSITY' value 7200
modify material 1 set property 'ISO_CONDUCTIVITY' value 35
modify material 1 set property 'SPECIFIC_HEAT' value 440.5
block 1 add volume 1
block 1 material 1
block 1 element solid
create temperature on surface 4 value 1
create temperature on surface 6 value 1
bcdep temperature 2 value '100*sin(0.0785*t)'
analysis type dynamic heattrans dim3 preload on
dynamic method full_solution scheme implicit maxtime 32 steps 100 newmark_gamma 0.005
calculation start path "D:/Fidesys/test.pvd"
```

## Гармонический анализ (балочная модель)

Рассматривается пример с балочной конструкцией. Задается конструкционное демпфирование.

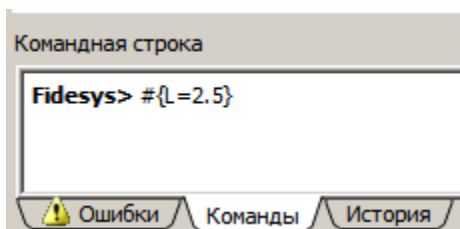


Модель жестко закреплена в точках A, D, C, F. На середину грани BE приложена сила, зависящая от частоты. При этом стороны конструкции имеют одинаковые длины:  $AB=BC=DE=EF=BG=EG=2.5$  м. Параметры материала: модуль Юнга  $E = 2e11$  Па, коэффициент Пуассона  $\nu = 0.3$ , плотность  $\rho=7800$  кг/м<sup>3</sup>. Задается конструкционное демпфирование 0.1.

### Построение модели

1. Создайте конструкцию из балок (линий).

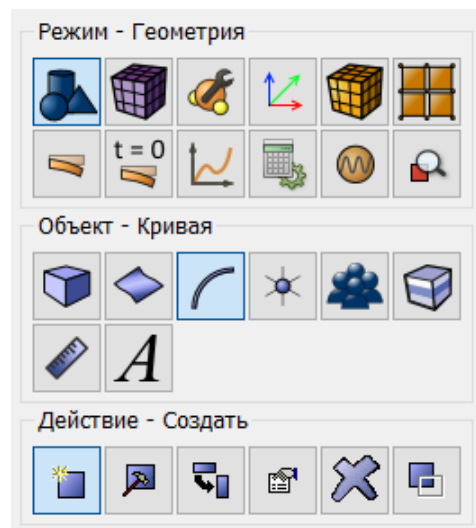
Так как конструкция содержит одинаковые по длине ребра, используйте параметр  $L=2.5$ . Для задания параметра введите в командную строку  $\#\{L=2.5\}$ .



На панели инструментов выберите модуль построения линий (Режим — **Геометрия**, Объект — **Кривая**, Действие — **Создать**). Из списка выпадающего списка выберите **Линия**. На панели **Построить, используя** выберите Положение и направление. Далее, укажите необходимые данные для создания первой линии:

- Расположение: 0 0 0 (через пробел);
- Направление: 0 1 0;
- Длина:  $\{L\}$ .

Нажмите **Применить**.





Укажите необходимые данные для создания второй линии:

- Расположение: 0 {L} 0;
- Направление: 0 1 0;
- Длина: {L}.

Расположение	<input type="text" value="0 {L} 0"/>	...
Направление	<input type="text" value="0 1 0"/>	...
Длина	<input type="text" value="{L}"/>	

Нажмите **Применить**.

Укажите необходимые данные для создания третьей линии:

- Расположение: 0 {L} 0;
- Направление: 1 0 0;
- Длина: {L}.

Расположение	<input type="text" value="0 {L} 0"/>	...
Направление	<input type="text" value="1 0 0"/>	...
Длина	<input type="text" value="{L}"/>	

Нажмите **Применить**.

Укажите необходимые данные для создания четвертой линии:

- Расположение: {L} {L} 0;
- Направление: 1 0 0;
- Длина: {L}.

Расположение	<input type="text" value="{L} {L} 0"/>	...
Направление	<input type="text" value="1 0 0"/>	...
Длина	<input type="text" value="{L}"/>	

Нажмите **Применить**.

Укажите необходимые данные для создания пятой линии:

- Расположение: {2\*L} 0 0;
- Направление: 0 1 0;
- Длина: {L}.

Расположение	<input type="text" value="{2*L} 0 0"/>	...
Направление	<input type="text" value="0 1 0"/>	...
Длина	<input type="text" value="{L}"/>	

Нажмите **Применить**.

Укажите необходимые данные для создания шестой линии:

- Расположение: {2\*L} {L} 0;
- Направление: 0 1 0;
- Длина: {L}.

Расположение	<input type="text" value="{2*L} {L} 0"/>	...
Направление	<input type="text" value="0 1 0"/>	...
Длина	<input type="text" value="{L}"/>	

Нажмите **Применить**.

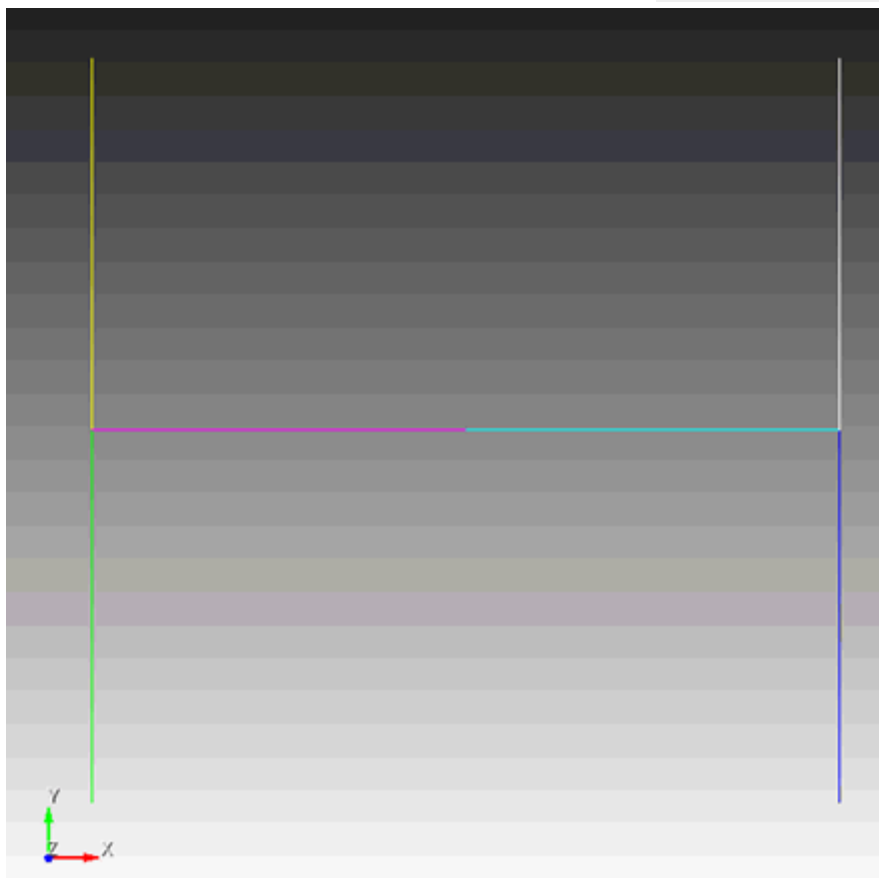
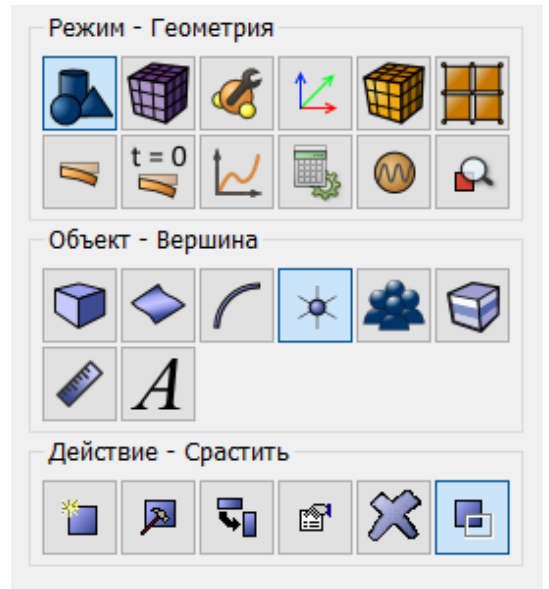
2. Срастите вершины на полученных балках. На панели инструментов выберите модуль построения вершин (Режим — **Геометрия**, Объект — **Вершина**, Действие — **Срастить**).

Укажите:

- ID вершин(ы): all.

Нажмите **Применить**.

Получилась балочная конструкция.



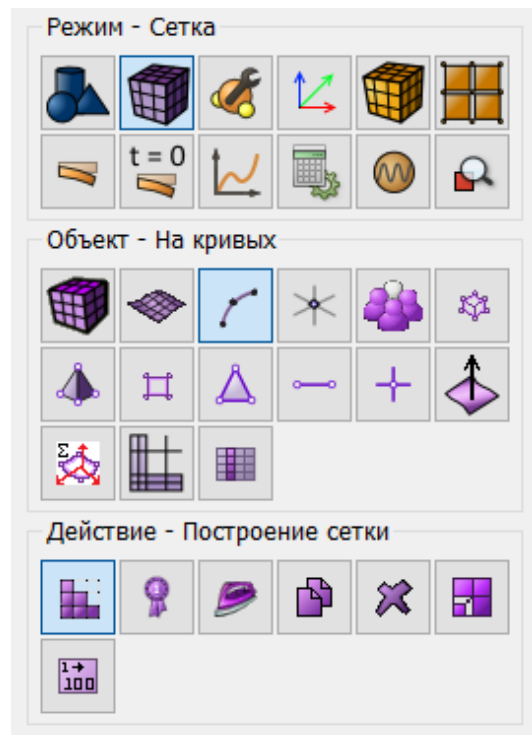
## Построение сетки

1. На панели команд выберите модуль построения объемной сетки (Режим — **Сетка**, Объект — **На Кривых**, Действие — **Построение сетки**).

Укажите следующие параметры:

- Выбор кривых: all;
- Равномерно;
- Примерный размер;
- Примерный размер: 0.1.

Нажмите **Применить**. Нажмите **Построить сетку**.



## Задание материала и свойств блока

1. Создайте материал.

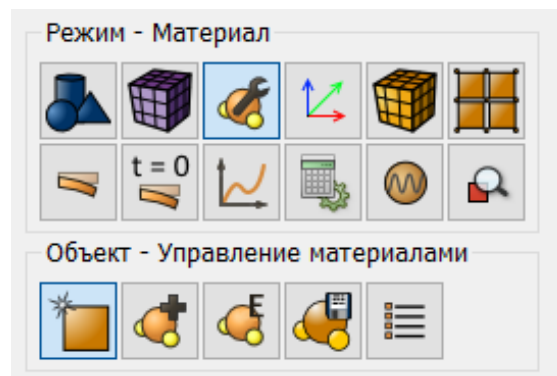
На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**).

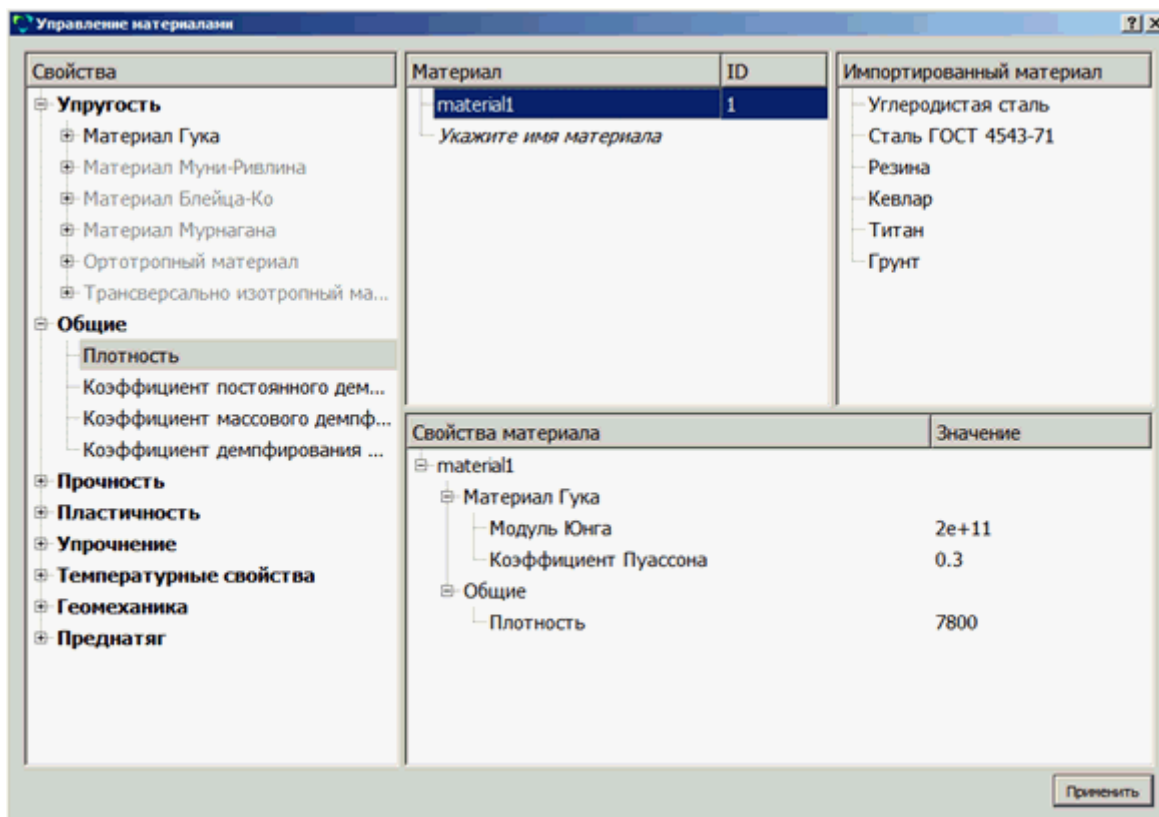
В открывшемся виджете Управление материалами в средней колонке укажите имя материала material1. В колонке свойств откройте список Упругость и перетащите название Материал Гука в колонку Свойства материала. Заполните свойства следующим образом:

- Модуль Юнга:  $2e11$ ;
- Коэффициент Пуассона: 0.3;
- Плотность: 7800.

Нажмите **Применить**.

Закройте окно.





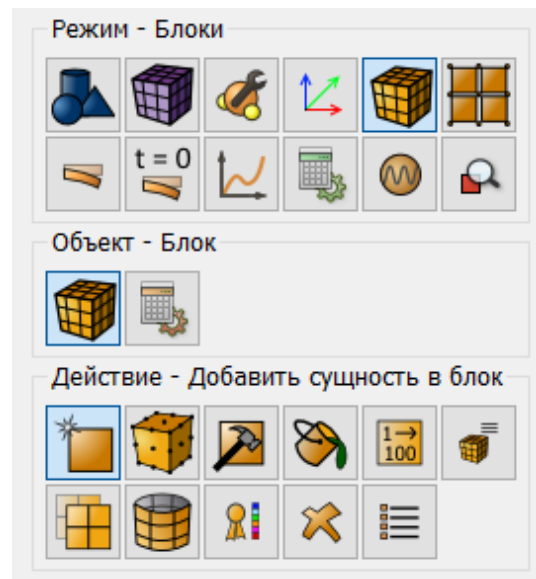
## 2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Выберите объекты, которые будут объединены в блок: Кривая;
- ID объекта(ов): all.

Нажмите **Применить**.





### 3. Задайте параметры блока.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Свойства/параметры блока**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Материал: Material 1;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Балка;
- Порядок: 1.

Нажмите **Задать свойства балки**. Из выпадающего списка Профиль сечения выберите **Эллипс**.

Задайте следующие параметры:

- Профиль сечения: Эллипс;
- Малая ось (b): 0.1;
- Большая ось (a): 0.1.

Нажмите **Применить**.

Закройте окно **Задать свойство балки**. Нажмите **Применить**.

### Задание граничных условий

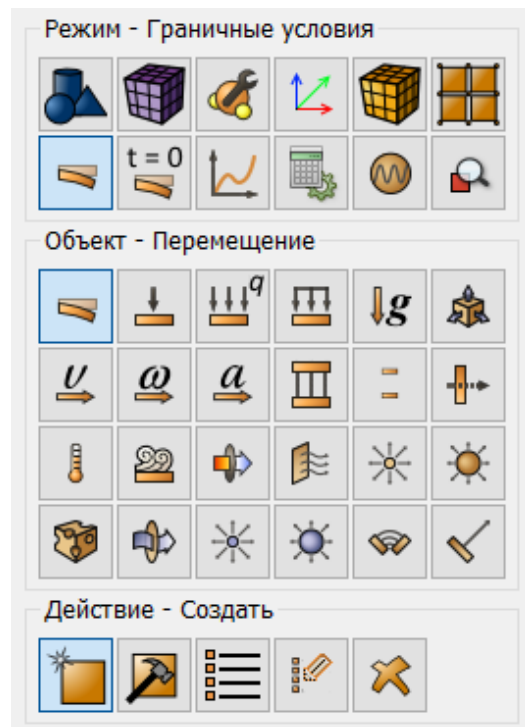
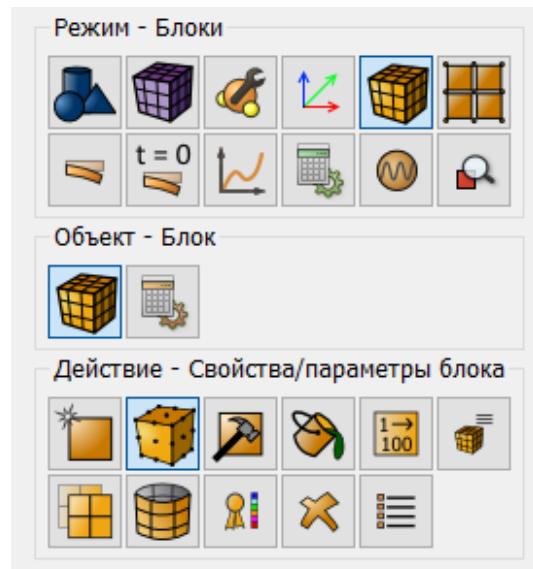
1. Закрепите вершины A, D, C, F по всем перемещениям и поворотам.

На панели команд выберите Режим — **Граничные условия**, Объект — **Перемещение**, Действие — **Создать**.

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Вершина;
- ID объектов: 1 4 9 12 (или выделите мышью вершины, зажимая клавишу Ctrl);
- Степени свободы: Все;
- Величина: 0 (можно не заполнять).

Нажмите **Применить**.



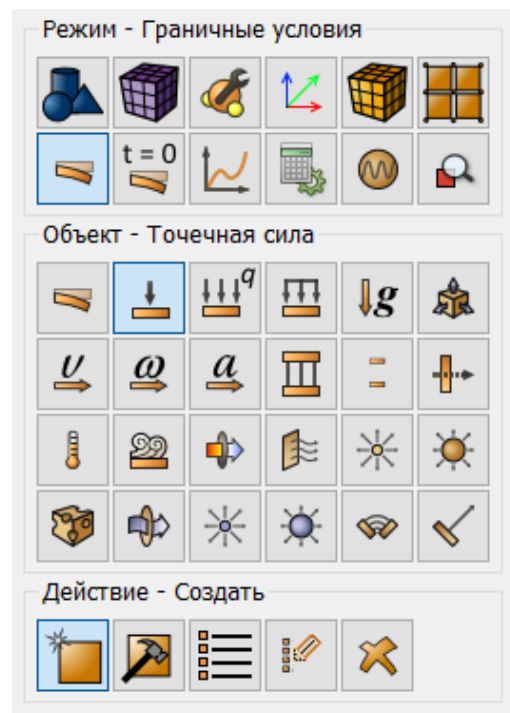
## 2. Приложите силу, зависящую от частоты.

На панели команд выберите Режим — **Граничные условия**, Объект — **Точечная сила**, Действие — **Создать**.

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Вершина;
- ID объектов: 6 (или выделите мышью вершину, как показано на рисунке); •
- Сила: 1;
- Направление: nz (отрицательное направление по оси z).

Нажмите **Применить**.

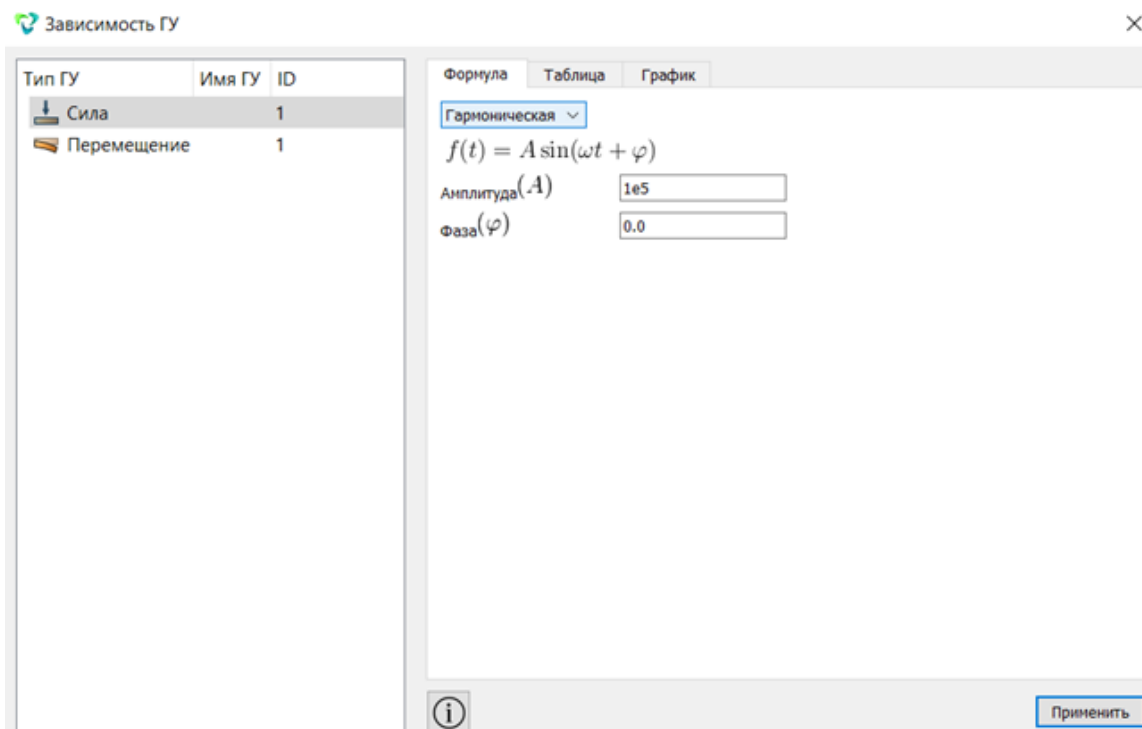
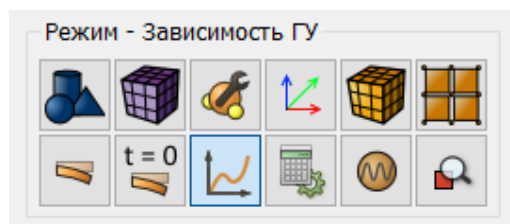


## 3. Задайте зависимость от частоты.

На панели команд выберите Режим — **Зависимость ГУ**.

В появившемся окне Зависимость ГУ выберите в левой колонке граничное условие Сила 1, на панели Формула из выпадающего списка выберите Гармоническая. Введите следующие данные:

- Амплитуда: 1e5;
- Фаза: 0.



Нажмите **Применить**.

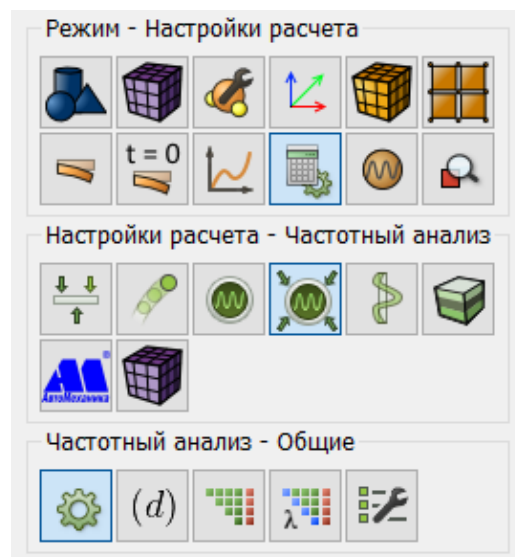
## Запуск расчёта.

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить. На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим — **Настройки расчёта**, Настройки расчёта — **Частотный анализ**, Частотный анализ — **Общие**).

Задайте следующие параметры расчета:

- Размерность: 3D;
- Метод: Суперпозиция мод;
- Максимальное число частот: 10;
- Интервал частот: 0-200;
- Шаг по частоте: 0.5;

Нажмите **Применить**.



2. Задайте конструкционное демпфирование.

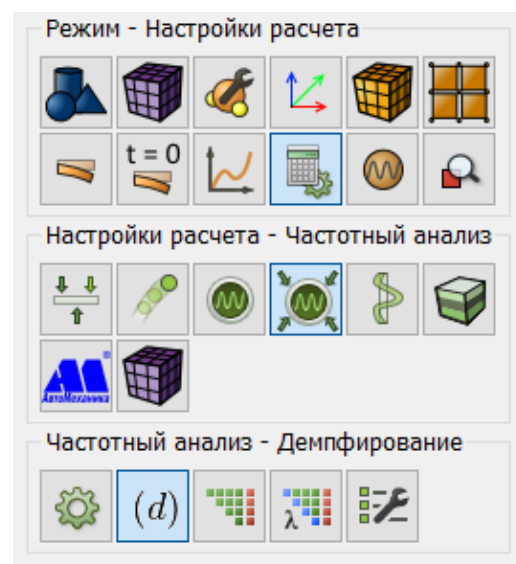
На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим — **Настройки расчёта**, Настройки расчёта — **Частотный анализ**, Частотный анализ — **Демпфирование**).

Задайте следующие параметры расчета:

- Конструкционное демпфирование: 0.1.

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*".



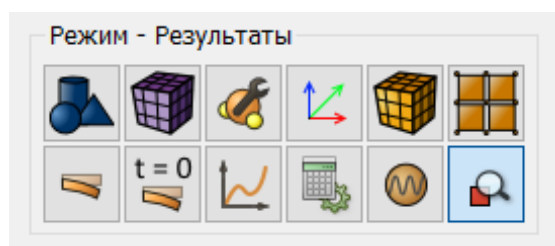
## Анализ результатов

1. Сравните результаты, выведенные в командную строку, с результатами, приведенными ниже:

Командная строка	
EIGENFREQUENCY	
Number	Eigenfrequency (Hz)
1	8.902382
2	11.913186
3	14.770888
4	14.839029
5	19.832845
6	39.344357
7	40.045542
8	49.533804
9	50.823604
10	54.182815

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

- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите **Режим** → **Результаты**. Нажмите **Открыть последний результат**.
- На панели команд выберите Результаты (Режим — Результаты, Результаты — Открыть Результаты).



Появится окно **Fidesys Viewer**, в котором вы сможете ознакомиться с результатами расчёта.

3. В стандартной строке выберите **Фильтры - Алфавитный указатель - Гармонический анализ**.

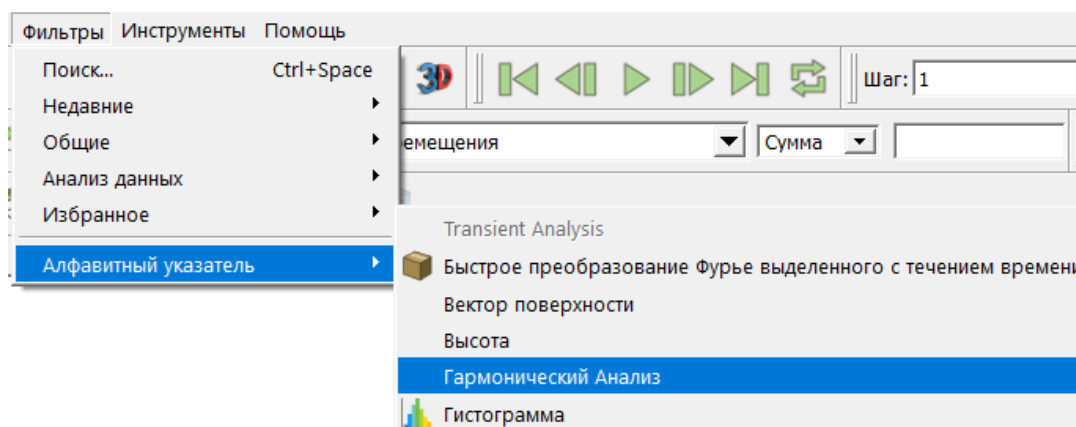


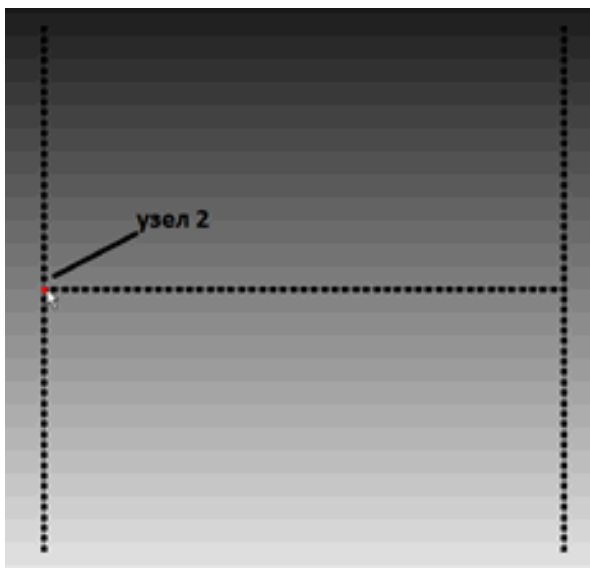
График зависимости Перемещений (Амплитуда) от частоты необходимо построить для узла 2 (совпадает с вершиной В).

Для фильтра **Гармонический анализ** в Дереве во вкладке Свойства укажите:

- ID узла: 2;

- Перемещения Амплитуда по Z (Гармонический анализ)

Нажмите **Применить**.



Дерево объектов

- builtin:
- help1.pvd
- HarmonicAnalysis1

Свойства | Информация

Свойства

Применить | Сбросить | Удалить | ?

Поиск ... (нажатие Esc очищает текстовое поле)

Свойства (HarmonicAnalysis)

ID узла 2

ID блока 1

Просмотр (XYChartRepresent)

Индекс сборного набора данных

- Multi-block Dataset
  - Harmonic Analysis

Тип атрибутов: Данные ряда

Параметры оси по X

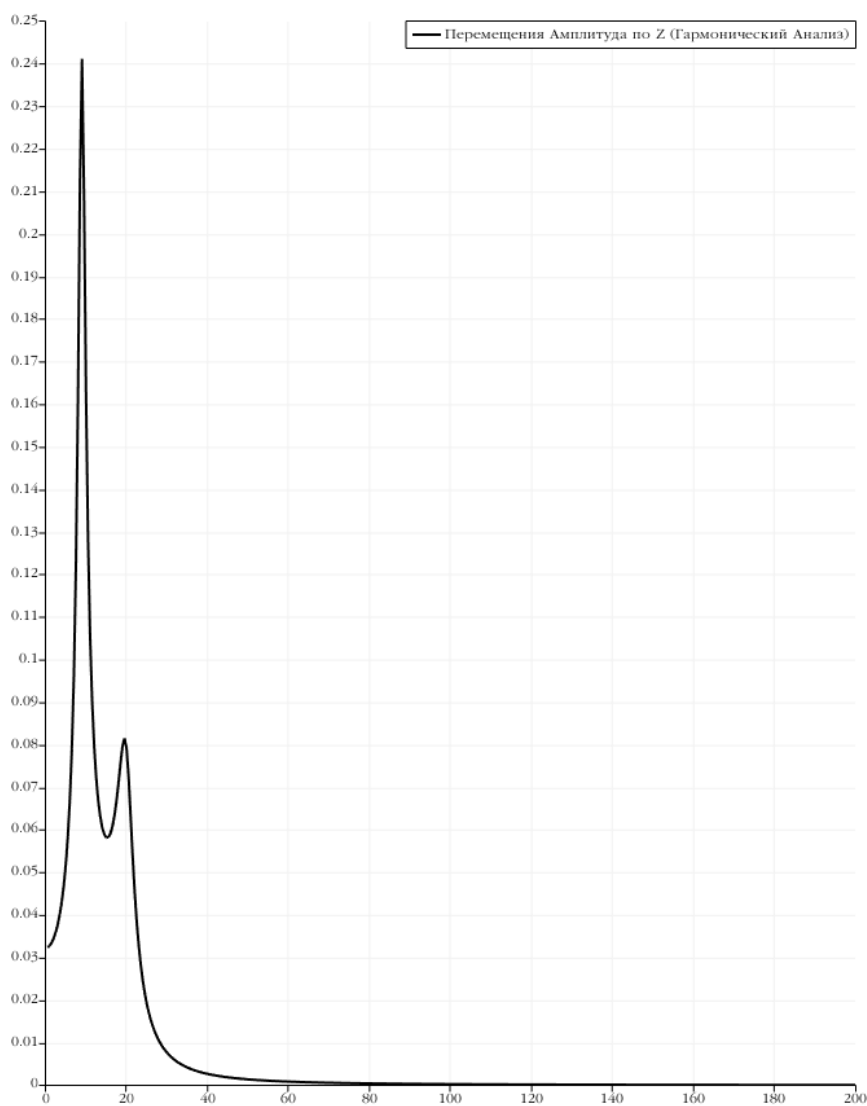
Использовать индексацию для оси X

Имя массива X: Частота

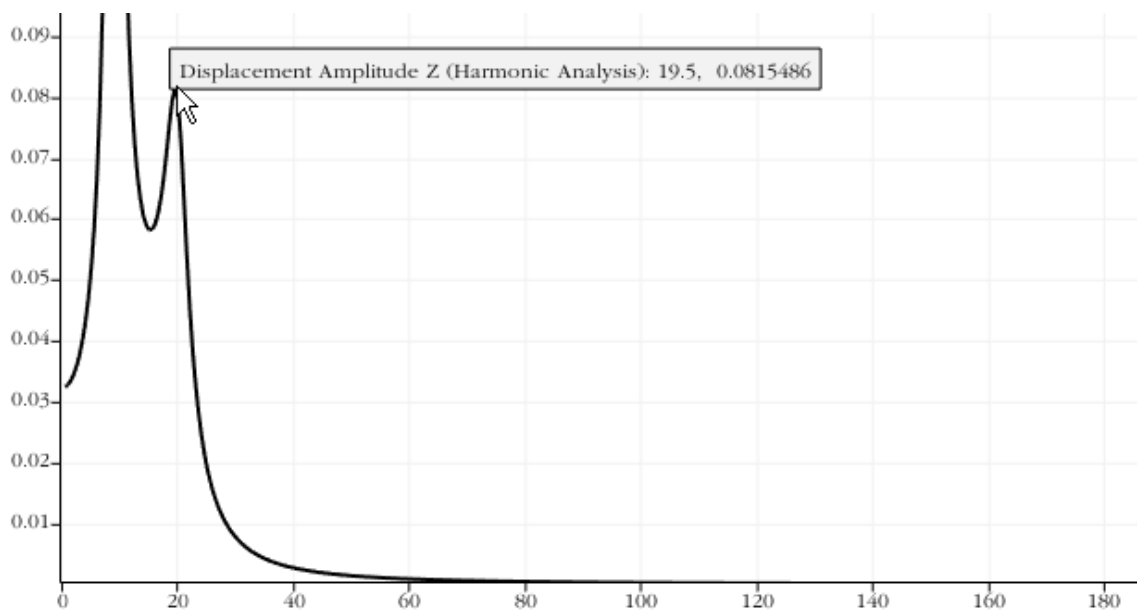
Параметры рядов

Переменная	Цвет
<input type="checkbox"/> Напряжения Фаза ZZ (Гармонический Ана...	Red
<input type="checkbox"/> Перемещения Амплитуда по X (Гармониче...	Orange
<input type="checkbox"/> Перемещения Амплитуда по Y (Гармониче...	Brown
<input checked="" type="checkbox"/> Перемещения Амплитуда по Z (Гармониче...	Blue
<input type="checkbox"/> Перемещения Фаза по X (Гармонический A...	Red
<input type="checkbox"/> Перемещения Фаза по Y (Гармонический A...	Blue
<input type="checkbox"/> Перемещения Фаза по Z (Гармонический A...	Green

В правой части экрана получен искомый график.



Наведите курсор мыши на один из пиков, тогда во всплывающей надписи отобразится значение амплитуды, соответствующее данной частоте.



## Использование консольного интерфейса

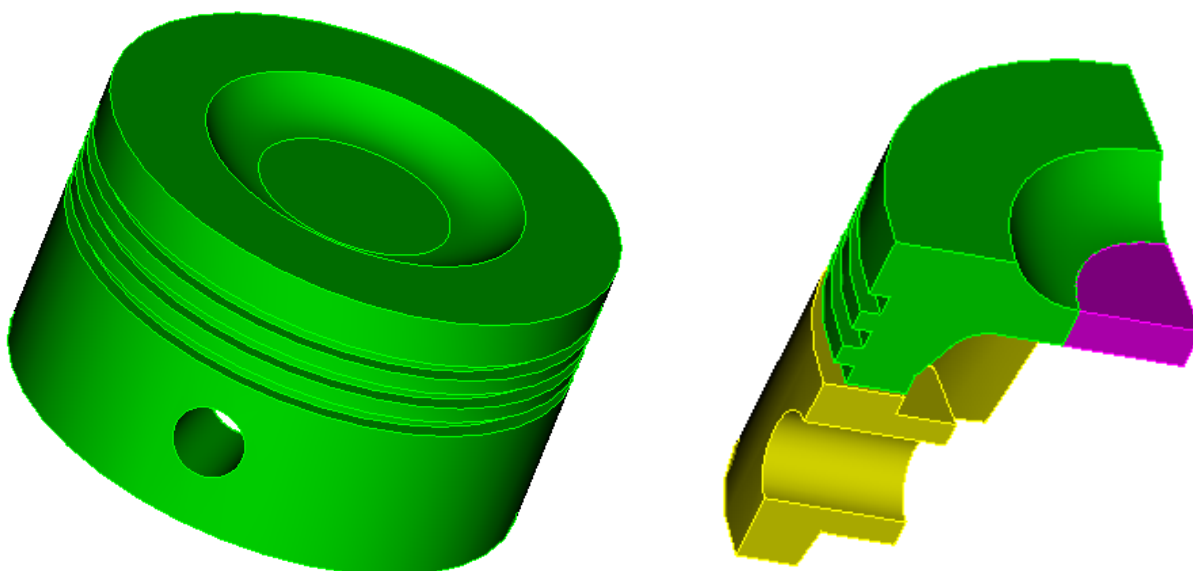
Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса. Ниже приведён код программы, позволяющий выполнить шаги описанного выше руководства, необходимо только **самостоятельно указать полный путь и название сохраняемого файла**.

Пример рабочего скрипта (файл сохраняется в D:/Fidesys/test.pvd):

```
reset
#{L=2.5}
create curve location 0 0 0 direction 0 1 0 length {L} #1
create curve location 0 {L} 0 direction 0 1 0 length {L} #2
create curve location 0 {L} 0 direction 1 0 0 length {L} #3
create curve location {L} {L} 0 direction 1 0 0 length {L} #4
create curve location {2*L} 0 0 direction 0 1 0 length {L} #5
create curve location {2*L} {L} 0 direction 0 1 0 length {L} #6
merge all
curve all size 0.1
curve all scheme equal
mesh curve all
create material 1
modify material 1 name "material1"
modify material 1 set property 'DENSITY' value 7800
modify material 1 set property 'POISSON' value 0.3
modify material 1 set property 'MODULUS' value 2e+11
block 1 add curve all
block 1 element beam order 1
block 1 material 'material1'
block 1 attribute count 7
block 1 attribute index 1 value 1 name 'Ellipse'
block 1 attribute index 2 value 0 name 'ey'
block 1 attribute index 3 value 0 name 'ez'
block 1 attribute index 4 value 0 name 'angle'
block 1 attribute index 5 value 1 name 'section_id'
block 1 attribute index 6 value 0.1 name 'geom_b'
block 1 attribute index 7 value 0.1 name 'geom_a'
create displacement on vertex 1 4 9 12 dof all fix
create force on vertex 6 force value 1 direction nz
bcdep force 1 value "harmonic(1e5,0.0, f, time)"
analysis type harmonic elasticity dim3
harmonic method mode_superposition interval from 0 to 200 max_freq_num 10 frequency_step
0.5
damping structural 0.1 mass_matrix 0 stiffness_matrix 0
output nodalforce off record3d off log on vtu on
calculation start path "D:/Fidesys/test.pvd"
```

## Моделирование связанного контакта

Рассматривается пример расчета конструкции, состоящей из нескольких объемов, которые не срачиваются между собой. Между двумя объемами имеется геометрический зазор, поэтому вместо «склеивания» объемов будет использоваться условие связанного контакта. Модель представляет собой четверть четверть первоначальной детали.

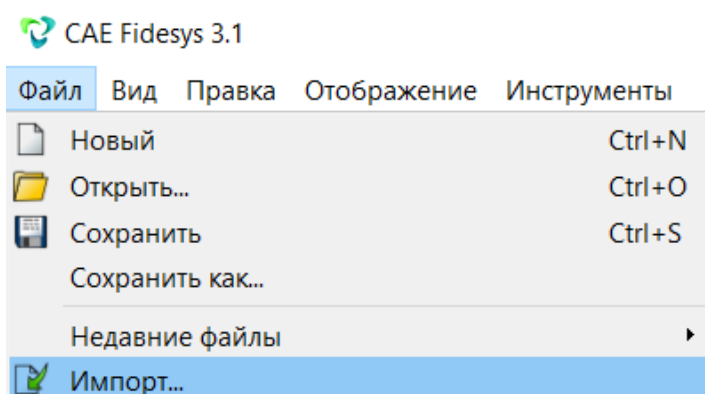


Модель закреплена на боковых гранях из условий симметрии. Внутренняя поверхность отверстия закреплена по всем перемещениям. На верхнюю грань детали приложено давление 1МПа. Параметры материала: модуль Юнга  $E = 2e11$  Па, коэффициент Пуассона  $\nu = 0.3$ .

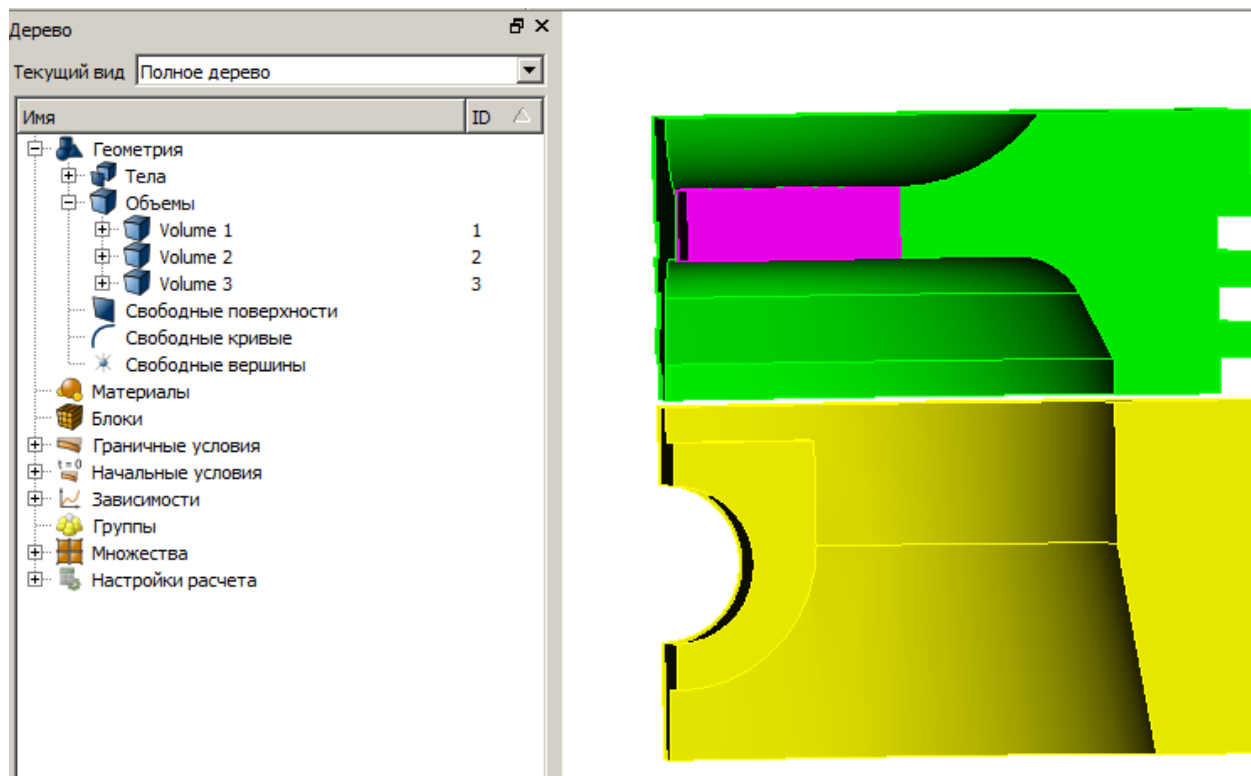
### Построение модели

#### 1. Импортируйте геометрию

В стандартной строке выберите Меню — **Файл** — **Импорт**. Укажите путь до файла Geom\_example\_contact.stp. В появившемся окне нажмите Готово, оставив все параметры по умолчанию.







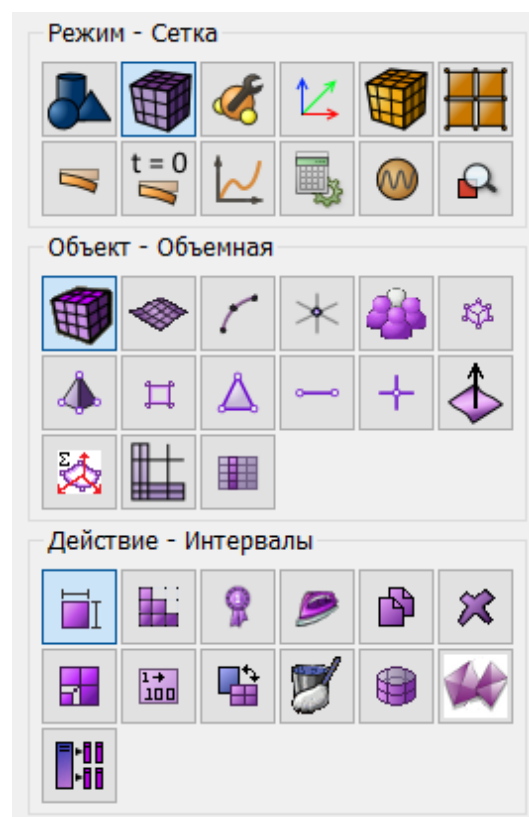
В Дереве слева можно увидеть три объема, на которые разбита модель. Все три объема не имеют общих поверхностей.

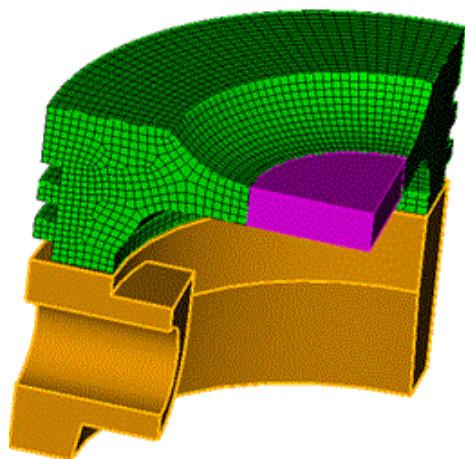
## Построение сетки

1. На панели команд выберите модуль построения объемной сетки (Режим — **Сетка**, Объект — **Объемная**, Действие — **Интервалы**). Укажите следующие параметры:

- В выпадающем списке выберите: Задать размер;
- Выбр объемов: 1;
- Примерный размер;
- Примерный размер: 0.1.

Нажмите **Применить**. Нажмите **Построить сетку**.



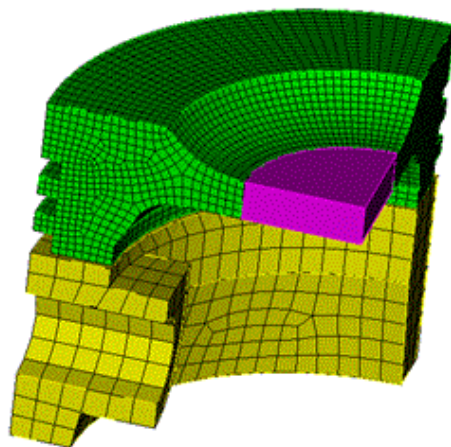


2. На панели команд выберите модуль построения объемной сетки (Режим — **Сетка**, Объект — **Объемная**, Действие — **Интервалы**). Укажите следующие параметры:

- В выпадающем списке выберите: Задать размер;
- Выбор объемов: 2;
- Примерный размер;
- Примерный размер: 0.3.

Нажмите **Применить**.

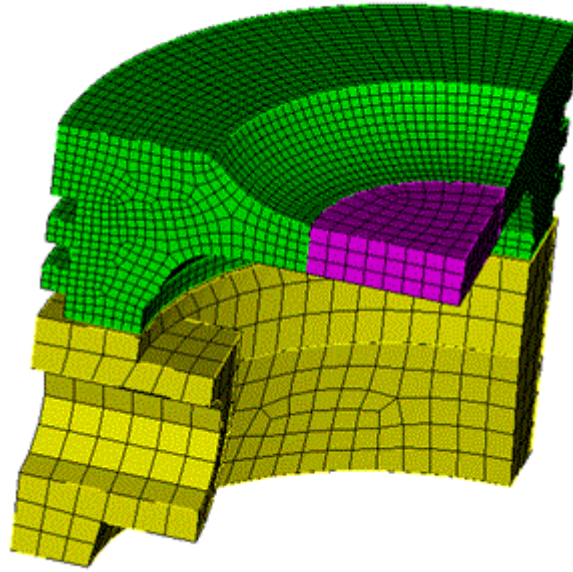
Нажмите **Построить сетку**.



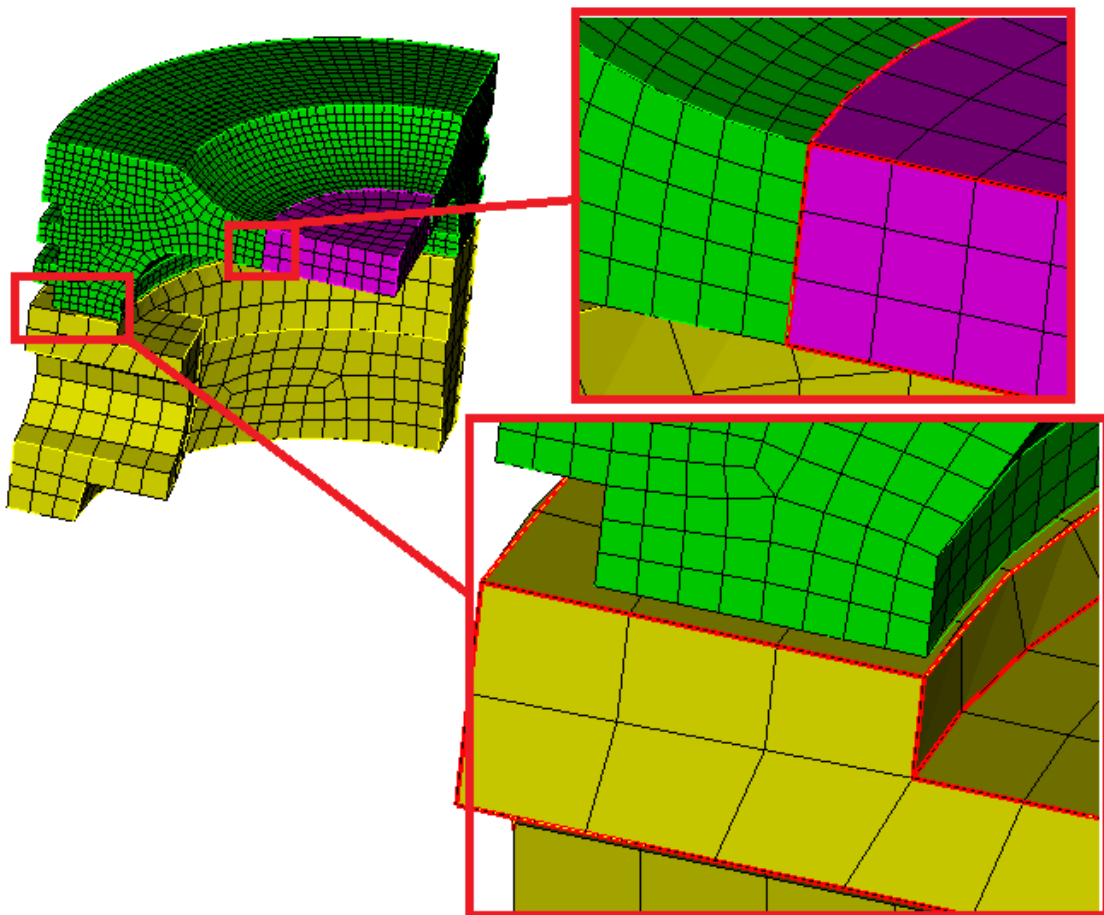
3. На панели команд выберите модуль построения объемной сетки (Режим — **Сетка**, Объект — **Объемная**, Действие — **Интервалы**). Укажите следующие параметры:

- В выпадающем списке выберите: Задать размер;
- Выбор объемов: 2;
- Примерный размер;
- Примерный размер: 0.3.

Нажмите **Применить**. Нажмите **Построить сетку**.



Таким образом, на модели была построена неконформная конечно-элементная сетка.



## Задание материала и свойств блока

1. Создайте материал.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**).

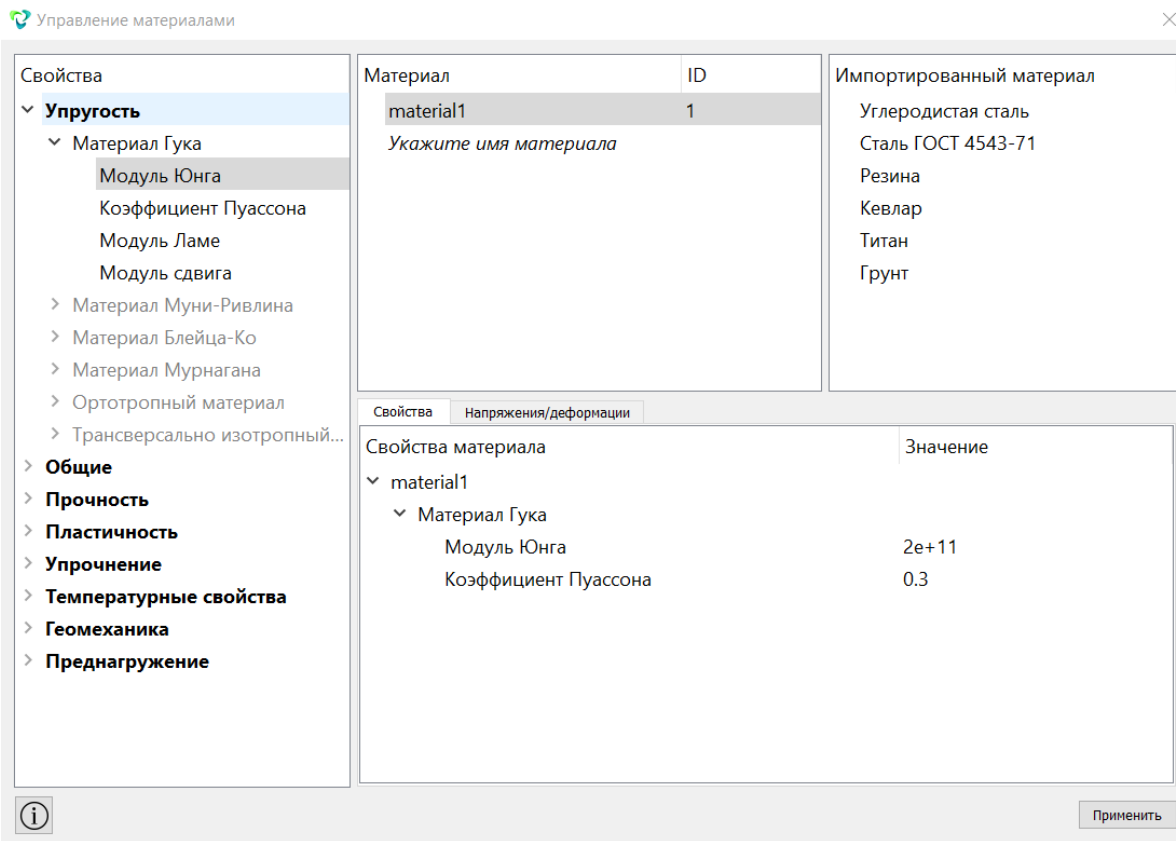
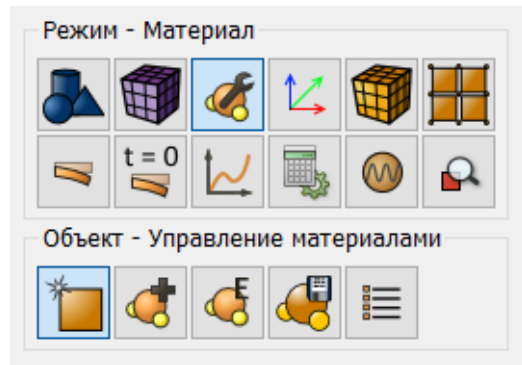
В открывшемся виджете Управление материалами в средней колонке укажите имя материала material1.

В колонке свойств откройте список Упругость и перетащите название Материал Гука в колонку Свойства материала.

Заполните свойства следующим образом:

- Модуль Юнга:  $2e11$ ;
- Коэффициент Пуассона: 0.3;

Нажмите **Применить**. Закройте окно.

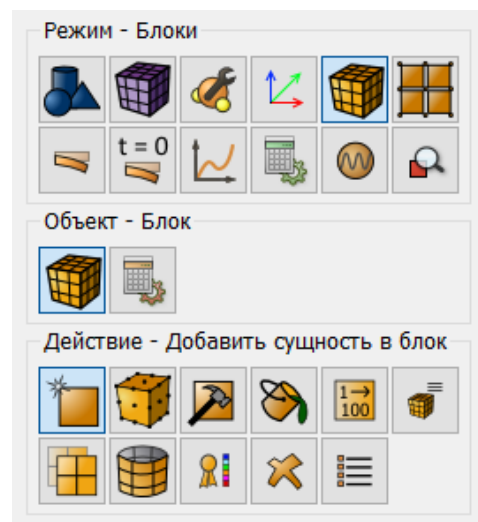


## 2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**. Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Выберите объекты, которые будут объединены в блок: Объем;
- ID объекта(ов): all.

Нажмите **Применить**.



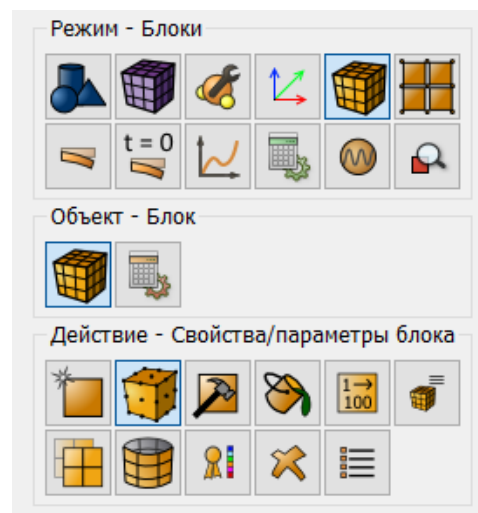
## 3. Задайте параметры блока.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Свойства/параметры блока**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Материал: material1;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Объемное тело;
- Порядок: 1.

Нажмите **Применить**.



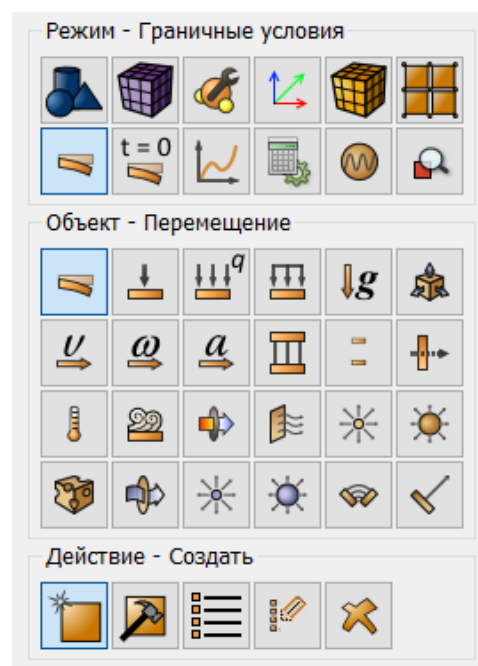
## Задание граничных условий

### 1. Закрепите боковые стороны детали из условия симметрии.

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

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: поверхность;
- ID объектов: 2 27 38 (или выделите мышью вершины, зажимая клавишу *Ctrl*);
- Степени свободы: по X;
- Величина: 0 (можно не заполнять).

Нажмите **Применить**.



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

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: поверхность;
- ID объектов: 5 22 23 36 (или выделите мышью вершины, зажимая клавишу *Ctrl*);
- Степени свободы: по Z;
- Величина: 0 (можно не заполнять).

Нажмите **Применить**.

3. Закрепите отверстие.

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

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: поверхность;
- ID объектов: 30 (или выделите мышью вершины, зажимая клавишу *Ctrl*);
- Степени свободы: Все;
- Величина: 0 (можно не заполнять).

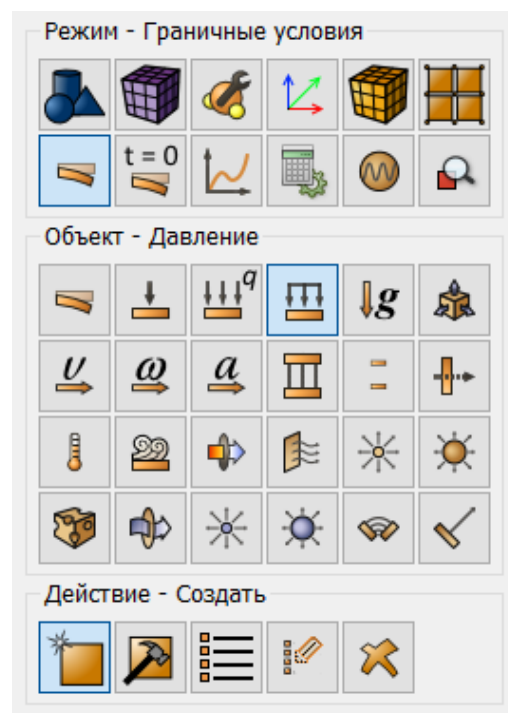
Нажмите **Применить**.

4. 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: 17 37;
- Значение: 1e6 (поддерживается экспоненциальный вид числа с использованием латинской буквы "e").

Нажмите **Применить**.

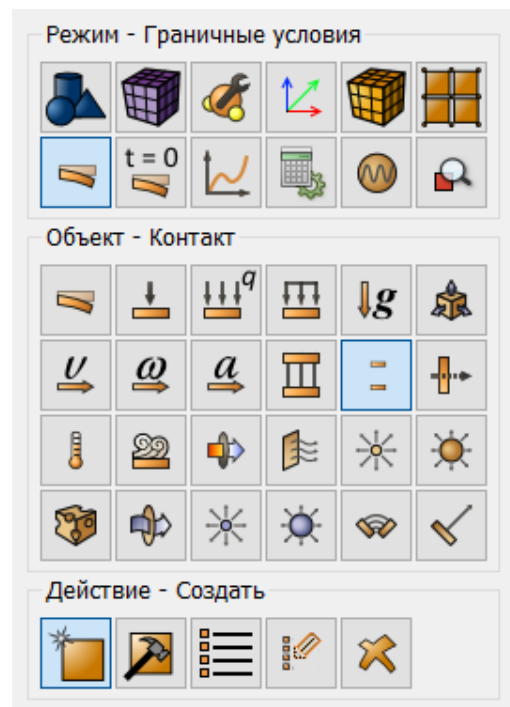


## 5. Задайте условие контакта.

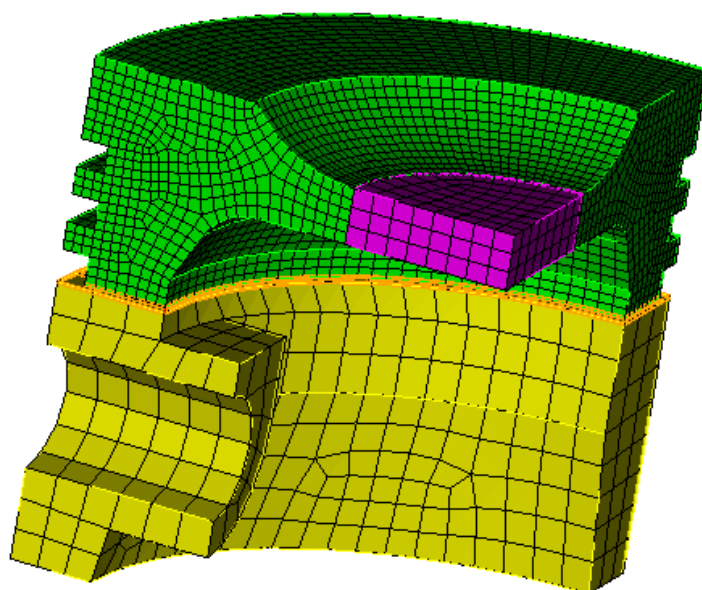
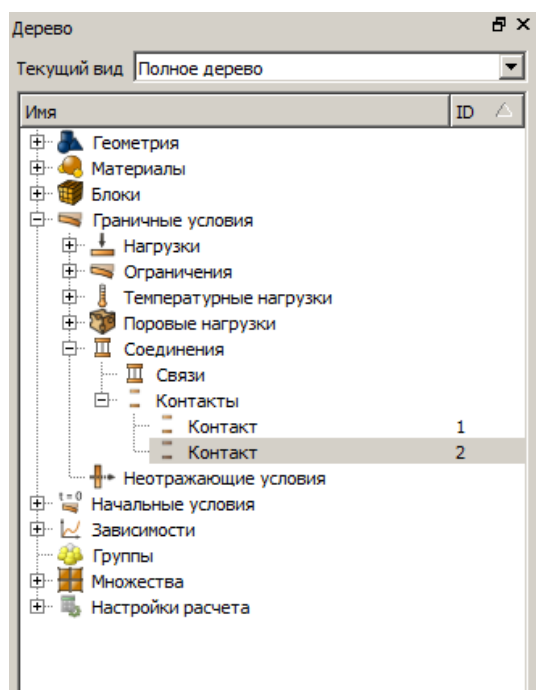
На панели команд выберите Режим — **Граничные условия**, Объект — **Контакт**, Действие — **Создать**. Задайте следующие параметры:

- Автовыбор;
- Список сущностей: Глобально;
- Точность: 0.055;
- Тип: Связанный;
- Метод: Автовыбор.

Нажмите **Применить**.



В Дереве слева найдите Граничные условия – Связи – Контакт. Автоматически определились две контактные пары.



## Запуск расчёта

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

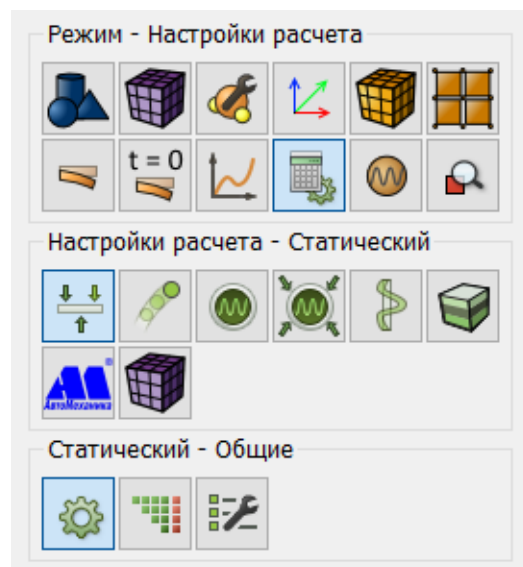
На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим — **Настройки расчёта** — **Статический** — **Общие**). Задайте следующие параметры расчёта:

- Размерность: 3D;
- Модель: Упругость.

Нажмите **Применить**.

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>*”.

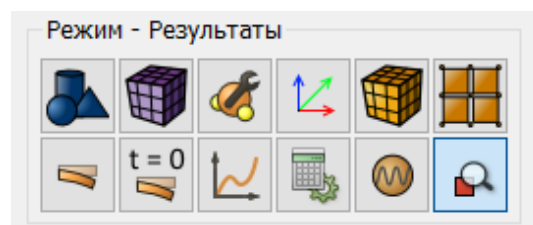


## Анализ результатов

1. Откройте файл с результатами.

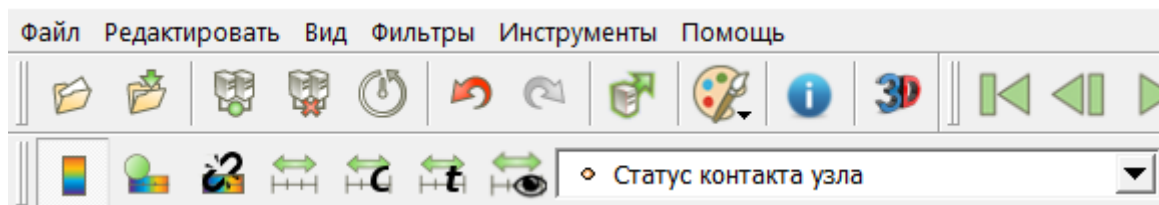
Это можно сделать тремя способами:

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

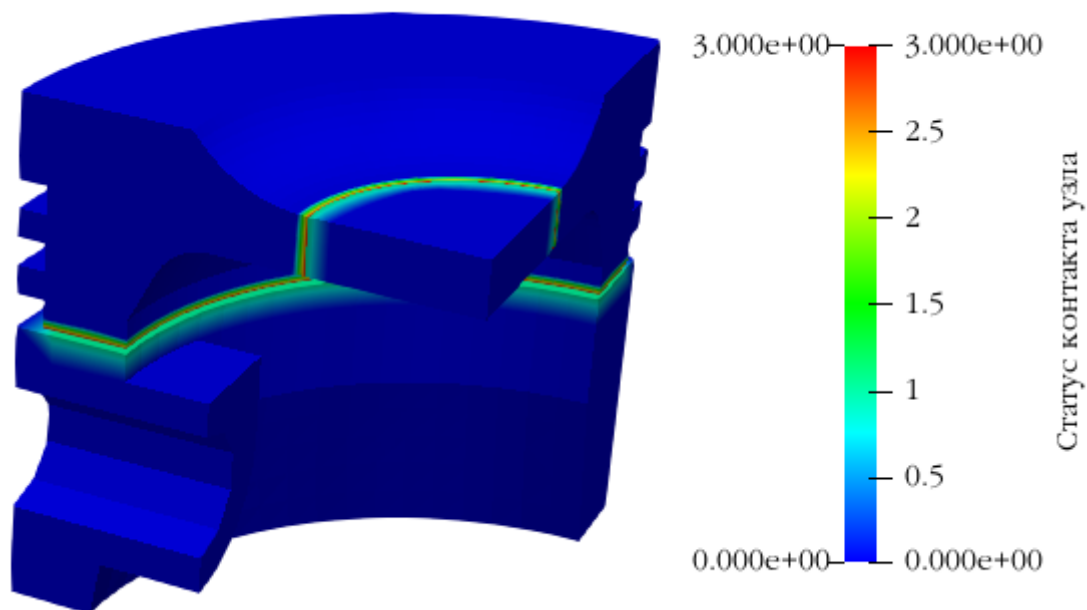


Появится окно **Fidesys Viewer**, в котором вы сможете ознакомиться с результатами расчёта.

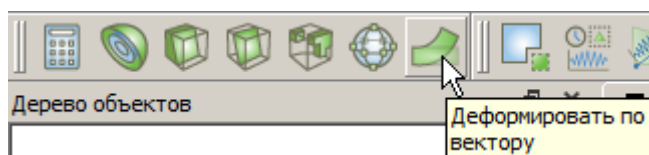
2. Отобразите статус контакта для модели.



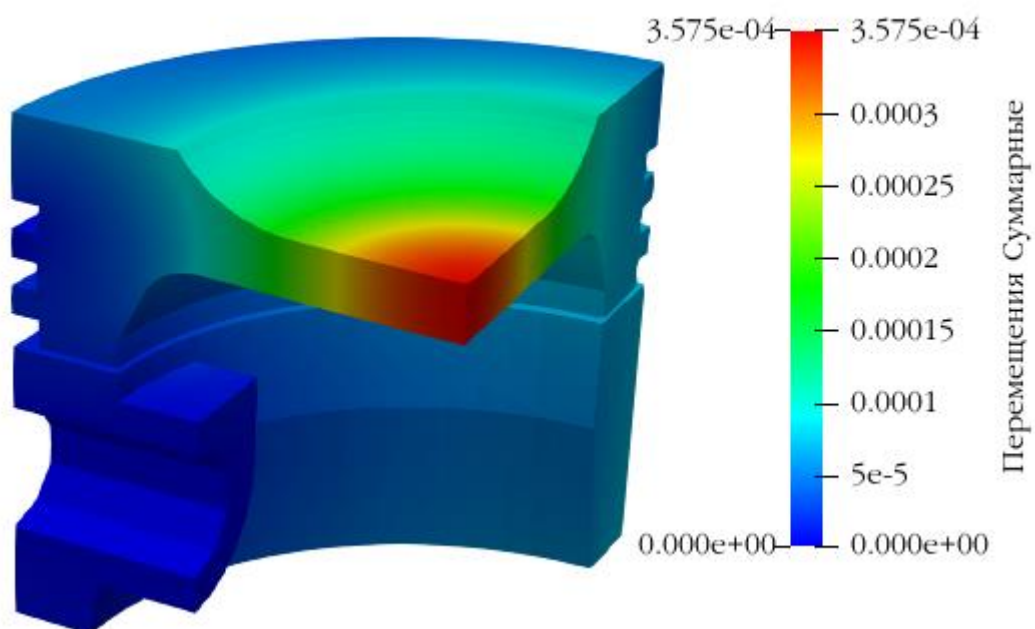




3. Отобразите перемещения для деформированного вида модели.



Укажите масштаб 2000.



## 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**.

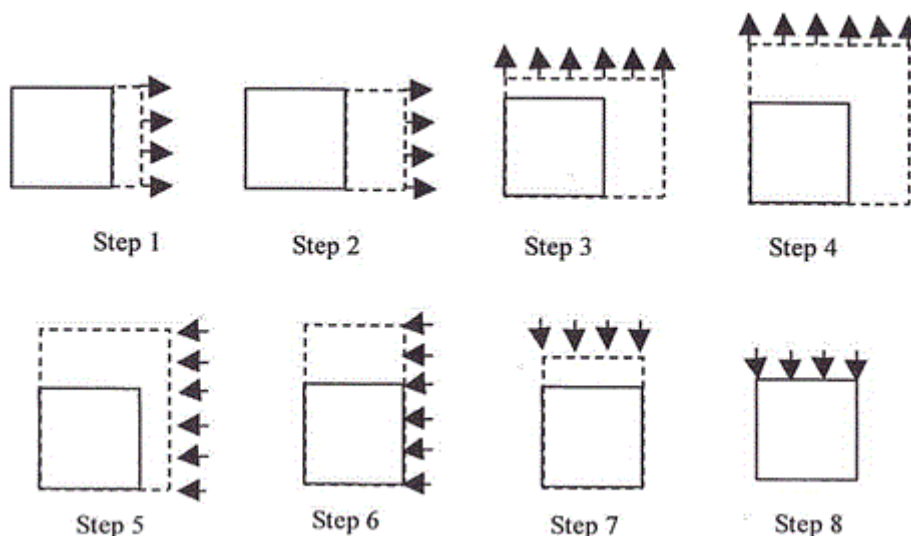
Пример рабочего скрипта (файл сохраняется в D:/Fidesys/calc/test.pvd):

```
reset
import step "C:/Program Files/Fidesys/CAE-Fidesys-
3.1a/preprocessor/bin/help/fidesys_example_tutorials/modeling_contact/images/geom_example_
contact.stp" heal
volume 1 size 0.1
mesh volume 1
volume 2 size 0.3
mesh volume 2
volume 3 size 0.2
mesh volume 3
create material 1
modify material 1 name 'material1'
modify material 1 set property 'MODULUS' value 2e+11
modify material 1 set property 'POISSON' value 0.3
block 1 add volume all
block 1 material 1
block 1 element solid
create displacement on surface 2 27 38 dof 1 fix
create displacement on surface 5 22 23 36 dof 3 fix
create displacement on surface 30 dof all fix
create pressure on surface 17 37 magnitude 1e6
create contact autoselect tolerance 0.055 type tied method auto
analysis type static elasticity dim3
calculation start path "D:/Fidesys/calc/test.pvd"
```

## История нагружения упруго-пластической пластины

Hinton E. *Fundamental Tests for Two and Three-dimensional, Small Strain, Elastoplastic Finite Element Analysis* / Ernest Hinton, M.H. Ezatt. - NAFEMS, 1987.

Решается задача о растяжении-сжатии квадратной пластины. Параметры материала:  $E = 250 \times 10^3 \text{ Н/мм}^2$ ,  $\nu = 0.25$ , предел текучести  $\sigma = 5 \text{ Н/мм}^2$ . Модель разбивается на один конечный элемент. Левая и нижняя стороны закреплены по перпендикулярам. Граничные условия представлены на рисунке ниже:



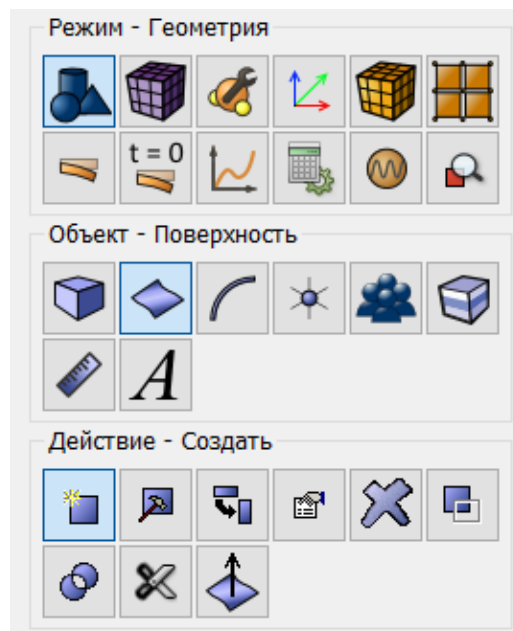
### Построение модели

1. Создайте квадратную пластину.

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

- Ширина: 1;
- Расположение: Z-плоскость.

Нажмите **Применить**.



## 2. Переместите поверхность к началу координат.

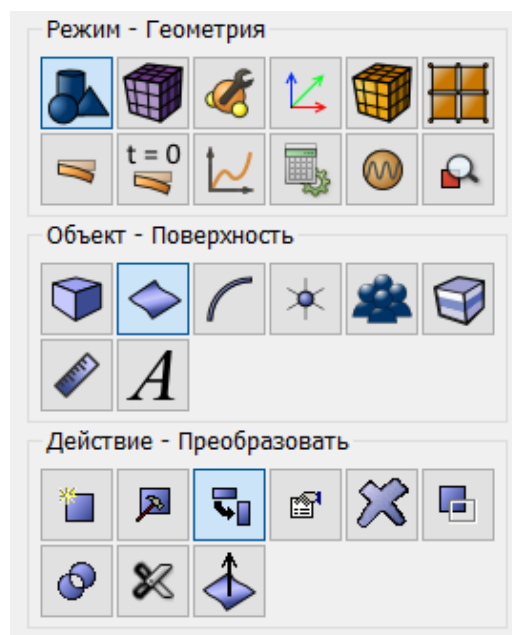
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие — **Преобразовать**). Из списка возможных преобразований выберите **Переместить**. Задайте параметры:

ID поверхности: 1;

- Включая сращенные: убрать флажок;
- Выбрать метод: Расстояние;
- Расстояние по X: 0.5;
- Расстояние по Y: 0.5.

Нажмите **Применить**.

Таким образом, левый нижний угол пластины переместился в начало координат.



## 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 разбиения: Интервал;
- Интервал: 1.

Нажмите **Применить**.

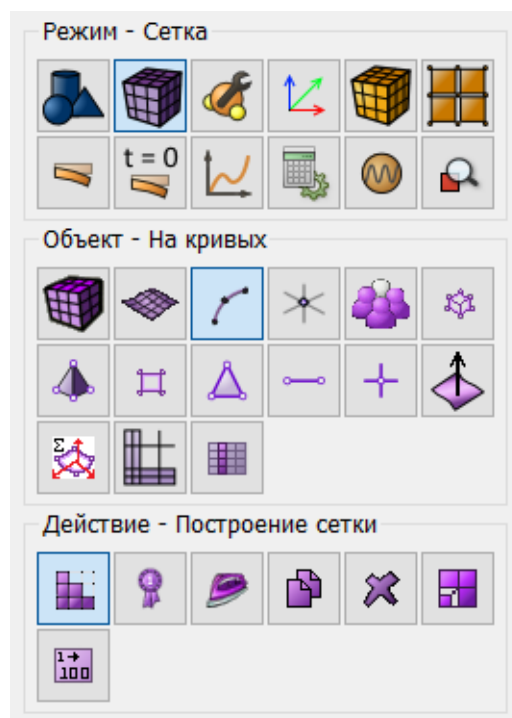
Нажмите **Построить сетку**.

### 2. На панели команд выберите модуль построения поверхностной сетки (Режим — **Сетка**, Объект — **Поверхностная**, Действие — **Построение сетки**):

- Выберите схему построения сетки: Автоматическая;
- Выбор поверхностей: all.

Нажмите **Применить схему**.

Нажмите **Построить сетку**.



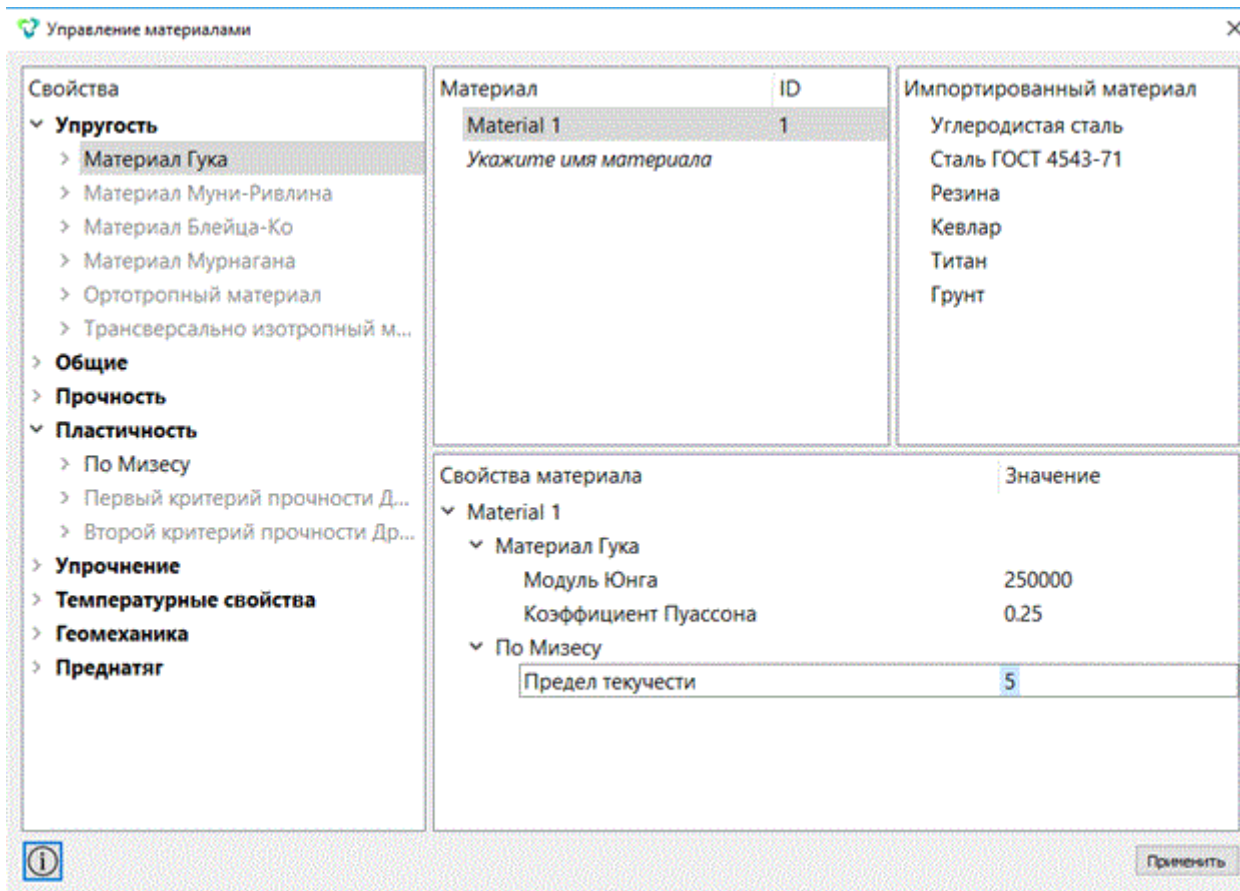
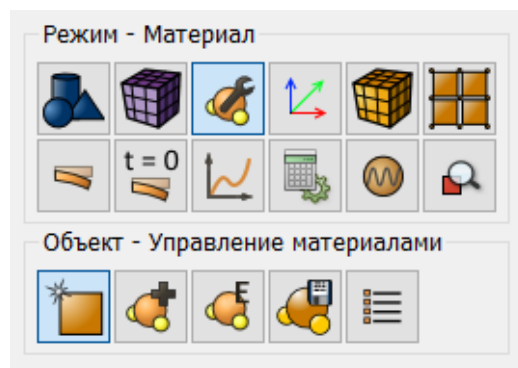
## Задание материала и свойств блока

1. На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**). Укажите имя материала Material 1. Перетащите из левой колонки надпись Материал Гука в колонку Свойства материала. Задайте следующие параметры:

- Модуль Юнга: 250е3;
- Коэффициент Пуассона: 0.25.

В окне слева перейдите в раздел Пластичность - По Мизесу. Перетащите характеристику Предел текучести в окно Свойства материала. Введите значение:

Предел текучести: 5.



Нажмите **Применить**.

## 2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**). Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Список сущностей: Поверхность;
- ID: 1 (или командой all).

Нажмите **Применить**.

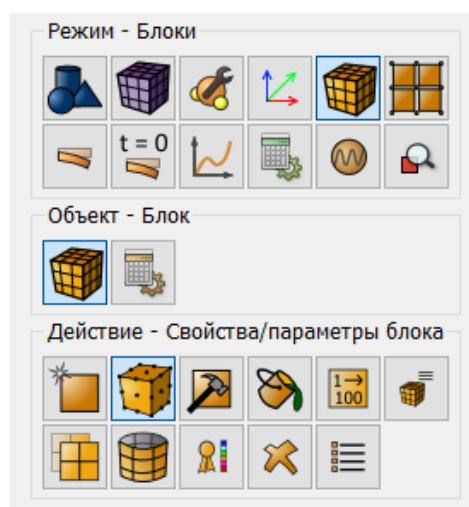
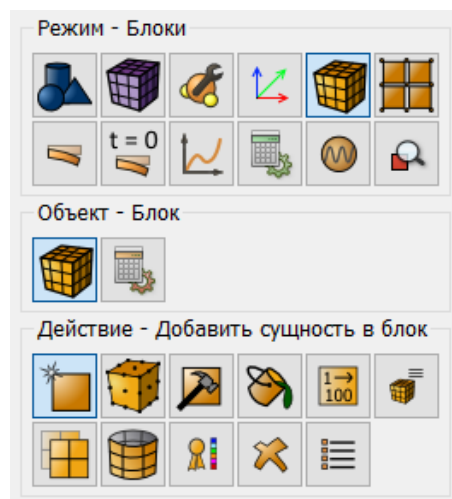
## 3. Задайте параметры блока.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Свойства/параметры блока**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Материал: Material 1;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Плоскость;
- Порядок: 2.

Нажмите **Применить**.



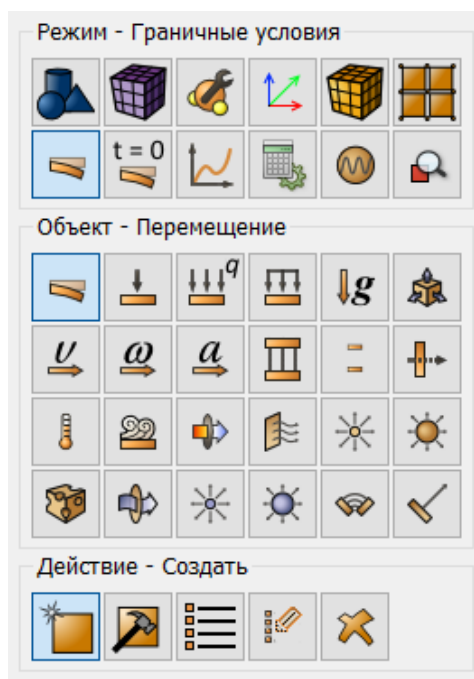
## Задание граничных условий

### 1. Закрепите кривую 3 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: 3;
- Степени свободы: По Y;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.



2. Закрепите кривую 2 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: 2;
- Степени свободы: По X;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

3. Закрепите кривую 4 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: По X;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

4. Закрепите кривую 1 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: 1;
- Степени свободы: По Y;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

### **Установите зависимость ГУ от времени и/или координат**

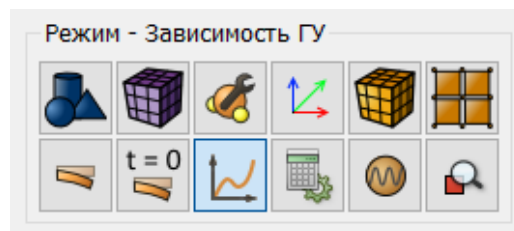
1. Создайте таблицу 1 для перемещений 3.

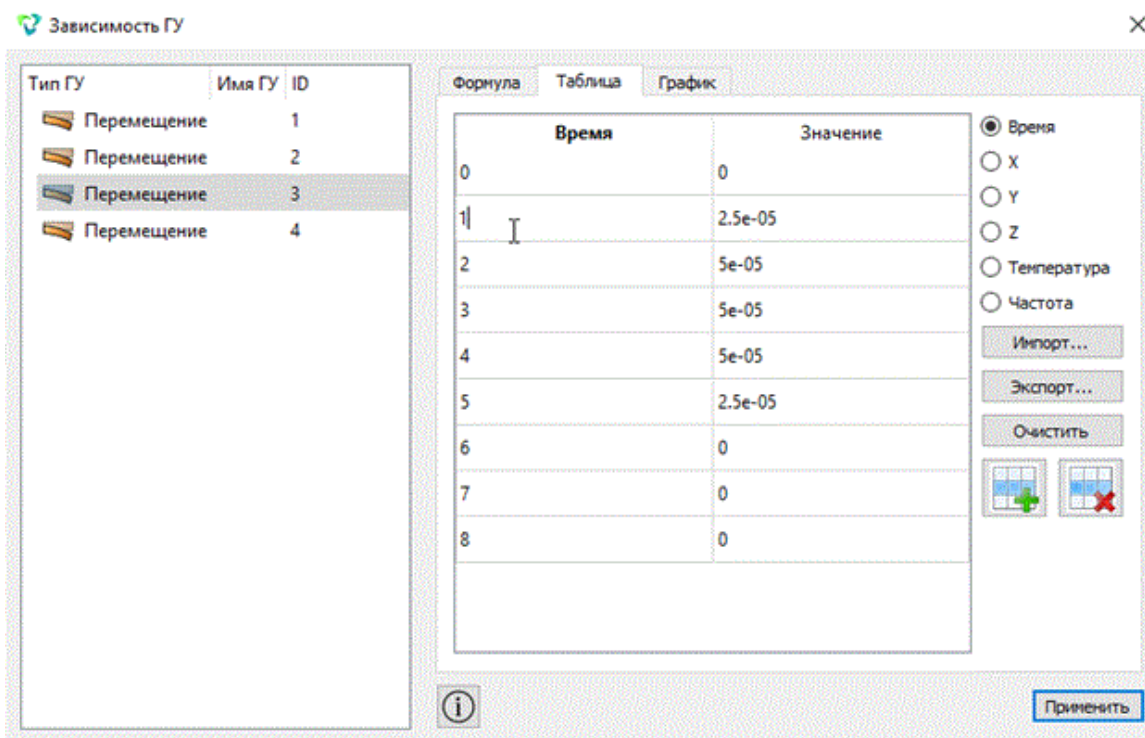
На панели команд выберите Режим — **Зависимость ГУ**.

В окне Зависимость ГУ кликните по **Перемещению 3** и выберите вкладку Таблица.

Установите настройку: Время;

Заполните таблицу следующим образом.





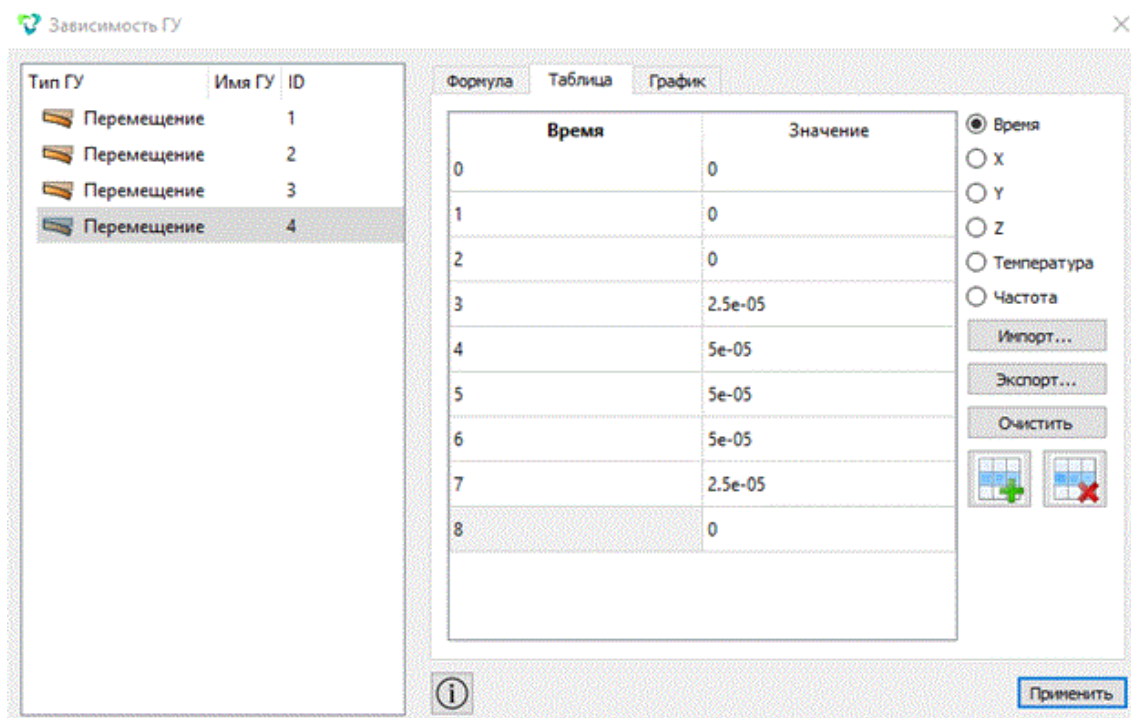
Нажмите **Применить**.

2. Создайте таблицу 2 для перемещений 4.

В окне Зависимость ГУ кликните по **Перемещению 4** и выберите вкладку Таблица.

Установите настройку: Время;

Заполните таблицу следующим образом.



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**).

Размерность: 2D;

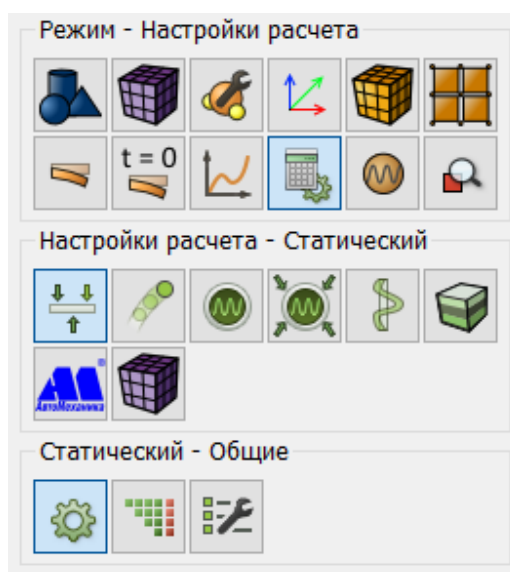
Тип плоской задачи: Плоское деформированное состояние;

Модель: Упругость, Пластичность;

Задать число шагов нагружения: 8.

Нажмите **Применить**.

Нажмите **Начать расчёт**.



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

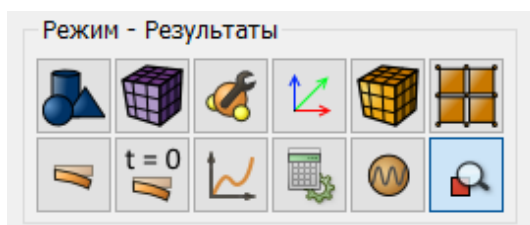
3.

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 двумя способами.

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

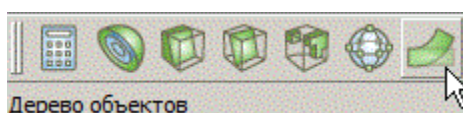


Для анализа результатов перейдите в окно **Fidesys Viewer**.



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

2. Подключите фильтр **Деформировать по вектору** (Меню – Фильтры – Алфавитный указатель – Деформировать по вектору). Или используйте соответствующую кнопку на панели команд :

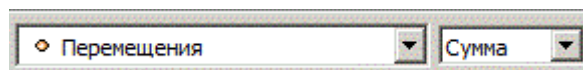



Для данного фильтра на вкладке Свойства установите:

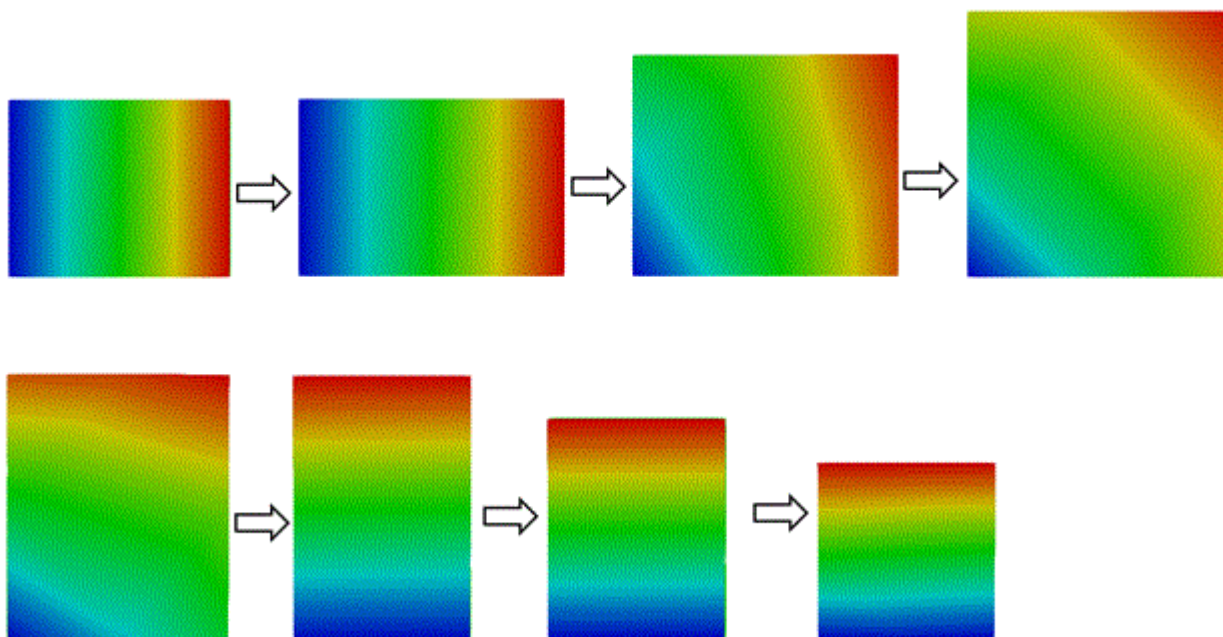
- Вектор: Перемещения;
- Множитель масштаба: 10000;

Нажмите **Применить** (если не включен режим **Автоматически применять изменения**).

3. На верхней панели выберите данные результата расчета для отображения. Из первого выпадающего списка выберите **Перемещения**, из второго – **Сумма**.



4. На панели просмотра шагов установите шаг 1. Вы должны увидеть изображение пластины в начальном состоянии. Далее, нажмите на Воспроизведение . Вы должны увидеть последовательное растяжение, а затем сжатие пластины в соответствии с историей нагружения.



Таким образом, был произведен расчет напряженно-деформированного состояния пластины с учетом истории нагружения.

### **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**.

```
reset
create surface rectangle width 1 zplane
move surface 1 x 0.5 y 0.5
curve all interval 1
curve all scheme equal
mesh curve all
mesh surface all
create material 1
modify material 1 set property 'MODULUS' value 250e3
modify material 1 set property 'POISSON' value 0.25
modify material 1 set property 'MISES_YIELD_STRENGTH' value 5
block 1 add surface 1
block 1 material 1
block 1 element plane order 2
create displacement on curve 3 dof 2 fix 0
create displacement on curve 2 dof 1 fix 0
```



```
create table 1
modify table 1 dependency time
modify table 1 insert row 1
modify table 1 cell 1 1 value 0
modify table 1 cell 1 2 value 0.0
modify table 1 insert row 2
modify table 1 cell 2 1 value 1
modify table 1 cell 2 2 value 2.5e-5
modify table 1 insert row 3
modify table 1 cell 3 1 value 2
modify table 1 cell 3 2 value 5e-5
modify table 1 insert row 4
modify table 1 cell 4 1 value 3
modify table 1 cell 4 2 value 5e-5
modify table 1 insert row 5
modify table 1 cell 5 1 value 4
modify table 1 cell 5 2 value 5e-5
modify table 1 insert row 6
modify table 1 cell 6 1 value 5
modify table 1 cell 6 2 value 2.5e-5
modify table 1 insert row 7
modify table 1 cell 7 1 value 6
modify table 1 cell 7 2 value 0.0
modify table 1 insert row 8
modify table 1 cell 8 1 value 7
modify table 1 cell 8 2 value 0.0
modify table 1 insert row 9
modify table 1 cell 9 1 value 8
modify table 1 cell 9 2 value 0.0
create table 2
modify table 2 dependency time
modify table 2 insert row 1
modify table 2 cell 1 1 value 0
modify table 2 cell 1 2 value 0.0
modify table 2 insert row 2
modify table 2 cell 2 1 value 1
modify table 2 cell 2 2 value 0.0
modify table 2 insert row 3
modify table 2 cell 3 1 value 2
modify table 2 cell 3 2 value 0.0
modify table 2 insert row 4
modify table 2 cell 4 1 value 3
modify table 2 cell 4 2 value 2.5e-5
modify table 2 insert row 5
modify table 2 cell 5 1 value 4
modify table 2 cell 5 2 value 5e-5
modify table 2 insert row 6
modify table 2 cell 6 1 value 5
modify table 2 cell 6 2 value 5e-5
modify table 2 insert row 7
modify table 2 cell 7 1 value 6
modify table 2 cell 7 2 value 5e-5
modify table 2 insert row 8
modify table 2 cell 8 1 value 7
modify table 2 cell 8 2 value 2.5e-5
modify table 2 insert row 9
modify table 2 cell 9 1 value 8
modify table 2 cell 9 2 value 0.0
create displacement on curve 4 dof 1 fix 0
create displacement on curve 1 dof 2 fix 0
bcdep displacement 3 table 1
bcdep displacement 4 table 2
analysis type static elasticity plasticity dim2 planestrain
static steps 8
calculation start path 'D:\example_14.pvd'
```

## Последовательное добавление объемов в процессе расчета

Рассматривается пример многошагового расчета в **CAE Fidesys** с добавлением объема в процессе расчета. Задача решается за два шага нагружения. На первом шаге модель представляет собой параллелепипед, один торец которого закреплен по оси X, на другой приложено давление вдоль оси Y (таким образом, происходит сжатие). На втором шаге расчета для модели убирается граничное условие закрепление по оси X, вместо него к этому же торцу добавляется новый параллелепипед. В месте стыка объемы "склеиваются", противоположный торец нового добавленного объема закрепляется по оси X. При этом объемы продолжают сжиматься.

### Построение модели

1. Создайте первый параллелепипед.

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): 2;
- Y (высота): 1;
- Z (глубина): 0.3.

Нажмите **Применить**.

2. Создайте второй параллелепипед.

Из списка геометрических примитивов выберите **Параллелепипед**. Задайте размеры блока:

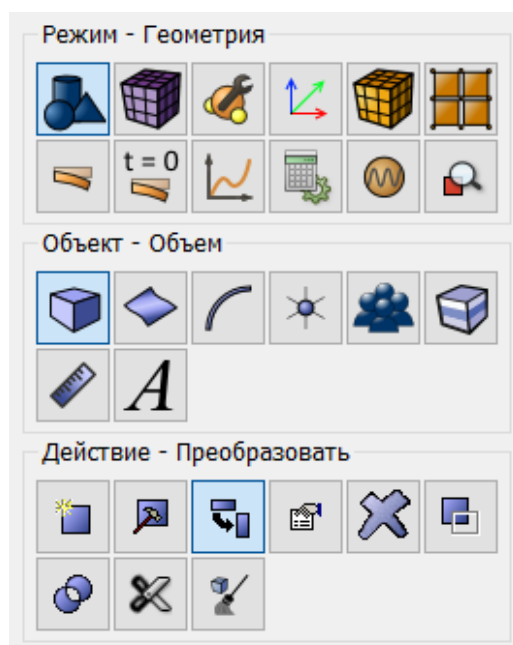
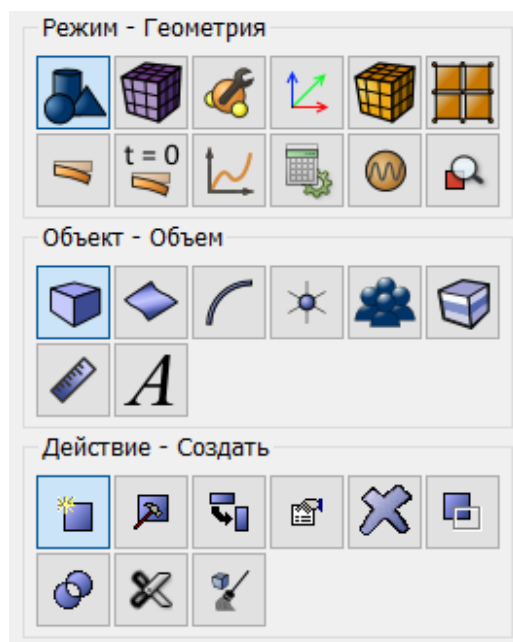
- X (ширина): 1;
- Y (высота): 1;
- Z (глубина): 0.3.

Нажмите **Применить**.

3. Передвиньте первый параллелепипед к началу координат.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объём**, Действие — **Преобразовать**). Из списка возможных преобразований выберите **Переместить**. Задайте параметры:

- ID объема: 1;
- Включая сращенные: убрать флажок;
- Выбрать метод: Расстояние;
- Расстояние по X: 1;
- Расстояние по Y: 0.5;
- Расстояние по Z: 0.15.



Нажмите **Применить**.

4. Передвиньте второй параллелепипед к началу координат.

На панели команд выберите модуль построения объемной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, Действие — **Преобразовать**). Из списка возможных преобразований выберите **Переместить**. Задайте параметры:

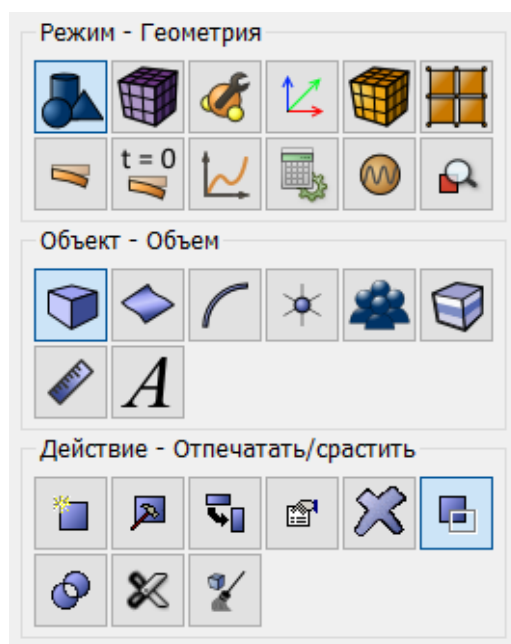
- ID объема: 2;
- Включая сращенные: убрать флажок;
- Выбрать метод: Расстояние;
- Расстояние по X: 2.5;
- Расстояние по Y: 0.5.
- Расстояние по Z: 0.15;

Нажмите **Применить**.

5. Срастите два объема.

На панели команд выберите модуль построения объемной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, Действие — **Отпечатать/Срастить**). Из списка возможных преобразований выберите **Срастить**. В поле **ID объема(ов)** введите: all.й

Нажмите **Применить**.



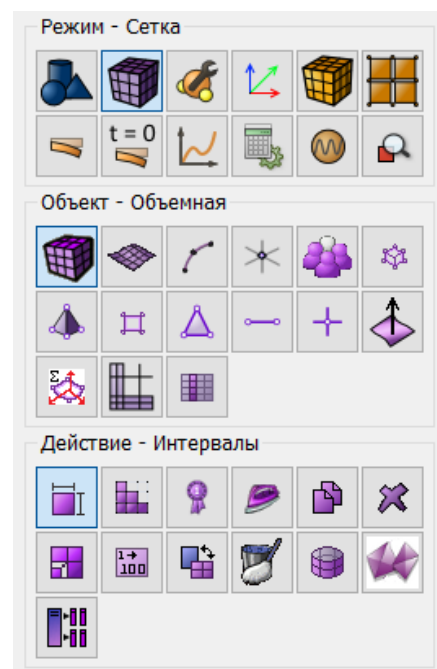
## Построение сетки

На панели команд выберите модуль построения объемной сетки (Режим — **Сетка**, Объект — **Объемная**, Действие — **Интервалы**). Укажите степень измельчения сетки:

- Выберите из выпадающего списка: Задать размер;
- Выбор объемов: all;
- Примерный размер: 0.1.

Нажмите **Применить**.

Нажмите **Построить сетку**.



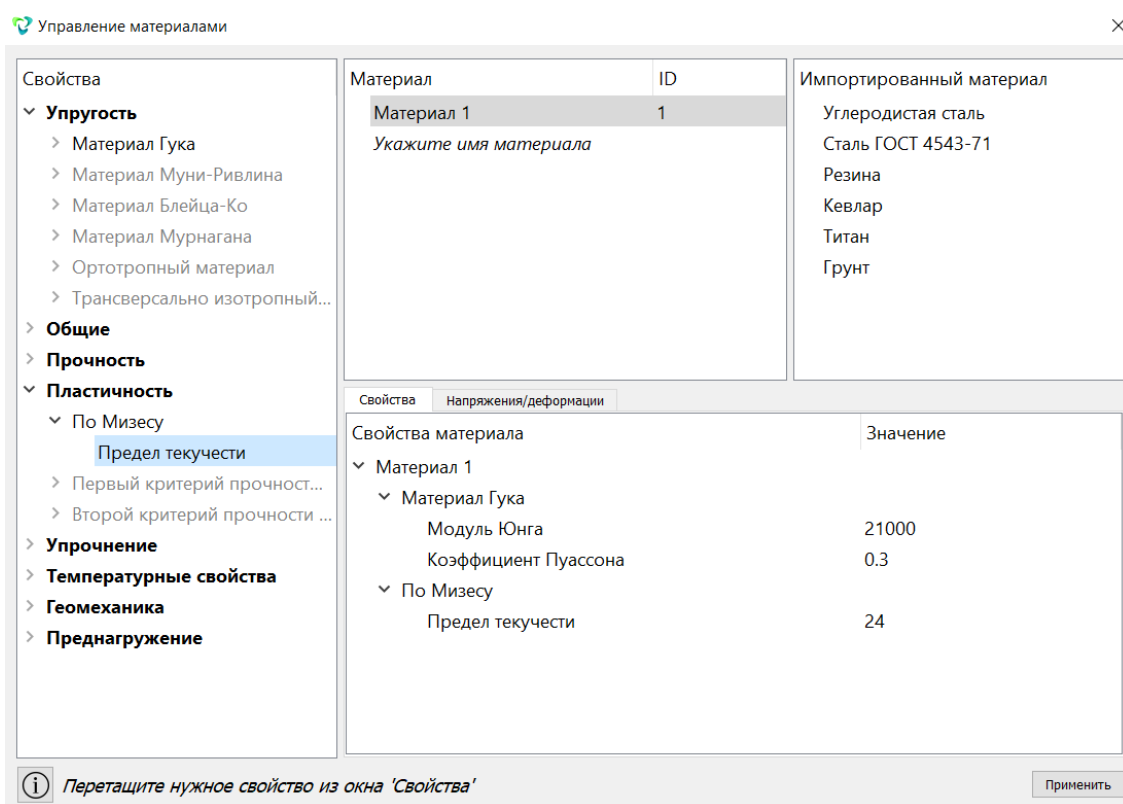
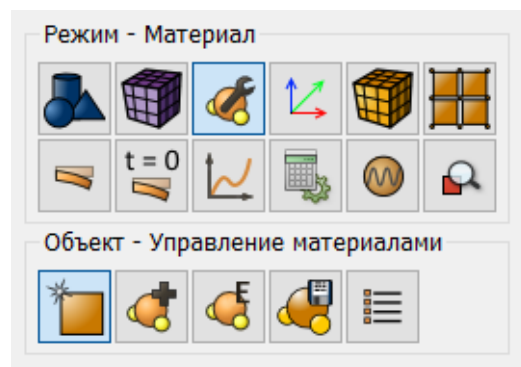
## Задание материала и свойств блока

1. На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**). Укажите имя материала Material 1. Перетащите из левой колонки надпись Материал Гука в колонку Свойства материала. Задайте следующие параметры:

- Модуль Юнга:  $2.1 \times 10^4$ ;
- Коэффициент Пуассона: 0.3.

В левом окне перейдите в Пластичность - По Мизесу и перетащите характеристику Предел текучести в окно Свойства материалов. Задайте:

- Предел текучести: 24.



Нажмите **Применить**.

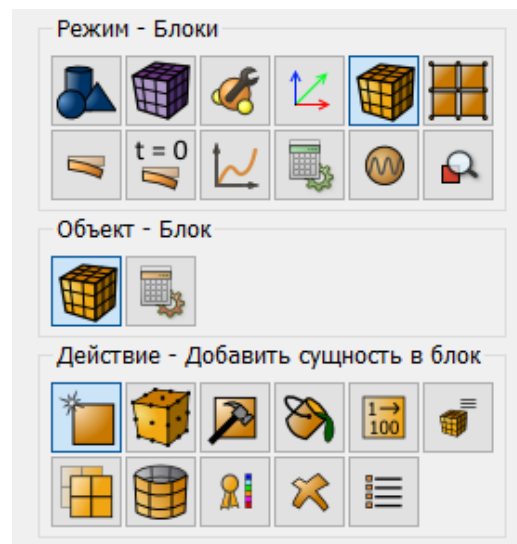
## 2. Создайте блок 1.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Список сущностей: Объем;
- ID объекта(ов): 1.

Нажмите **Применить**.



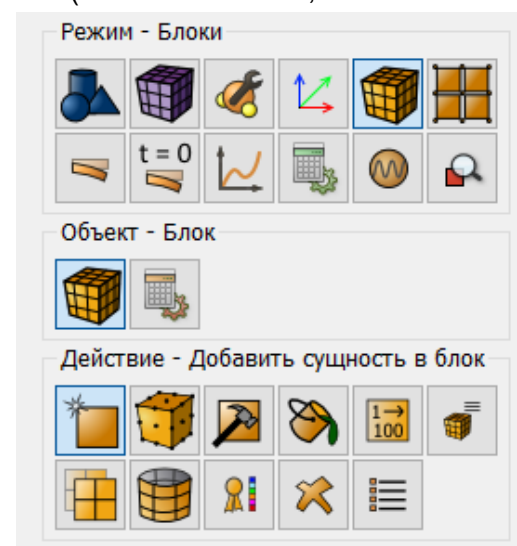
## 2. Создайте блок 2.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока: 2;
- Список сущностей: Объем;
- ID объекта(ов): 2.

Нажмите **Применить**.



## 3. Задайте параметры блока.

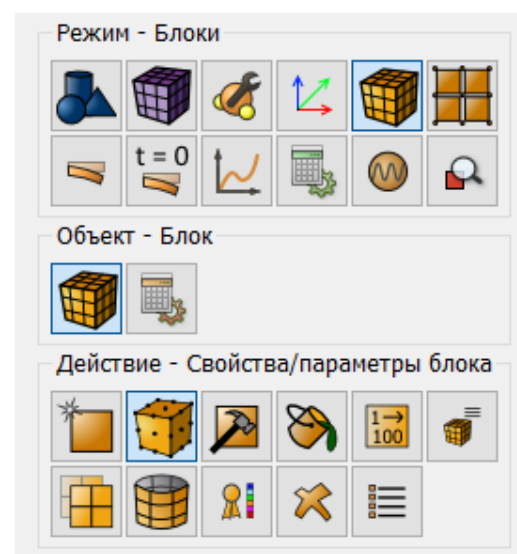
На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Свойства/параметры блока**).

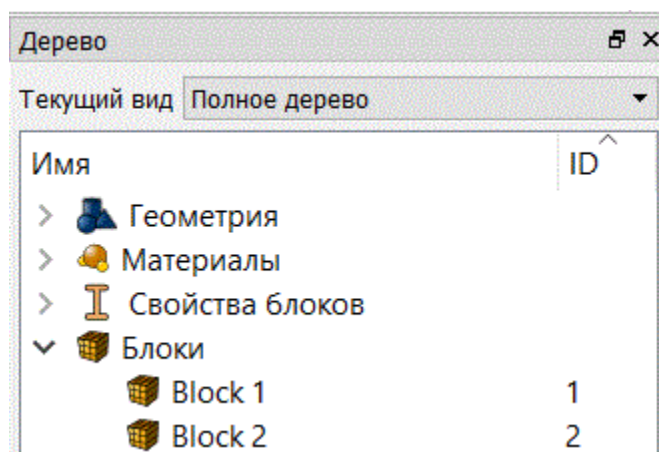
Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): all;
- Материал: Material 1;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Объемное тело;
- Порядок: 2.

Нажмите **Применить**.

В дереве объектов слева можно убедиться, что создалось 2 блока.





### Задание граничных условий

1. Закрепите модель по оси Y.

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

- Автоматическое присвоение ID;
- Список сущностей: Поверхность;
- ID объектов: 3 5 9 11;
- Степени свободы: По Y;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

2. Закрепите модель по оси X.

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

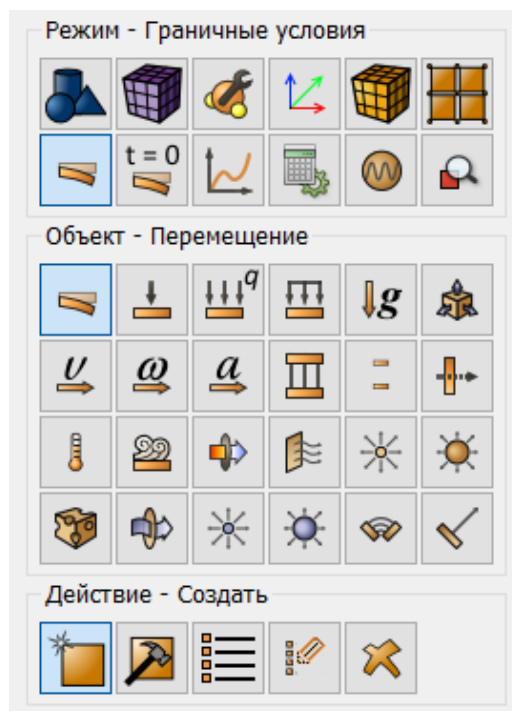
- Автоматическое присвоение ID;
- Список сущностей: Поверхность;
- ID объектов: 6;
- Степени свободы: По X;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

3. Закрепите модель по оси X.

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

- Автоматическое присвоение ID;
- Список сущностей: Поверхность;
- ID объектов: 12;





- Степени свободы: По X;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

4. Закрепите модель по оси Z.

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

- Автоматическое присвоение ID;
- Список сущностей: Поверхность;
- ID объектов: 1 2 7 8;
- Степени свободы: По Z;
- Величина: 0.

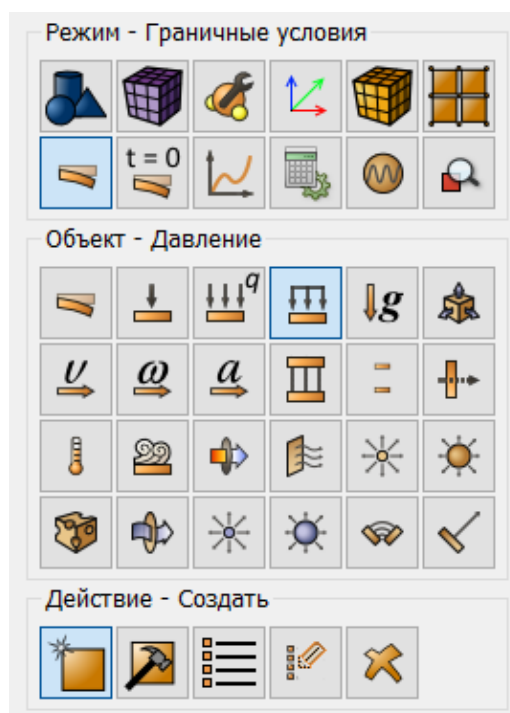
Нажмите **Применить**.

5. Приложите давление 100 МПа на левый торец.

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

- Автоматическое присвоение ID;
- Список сущностей: Поверхность;
- ID объектов: 4;
- Значение: 100.

Нажмите **Применить**.



## Запуск расчёта

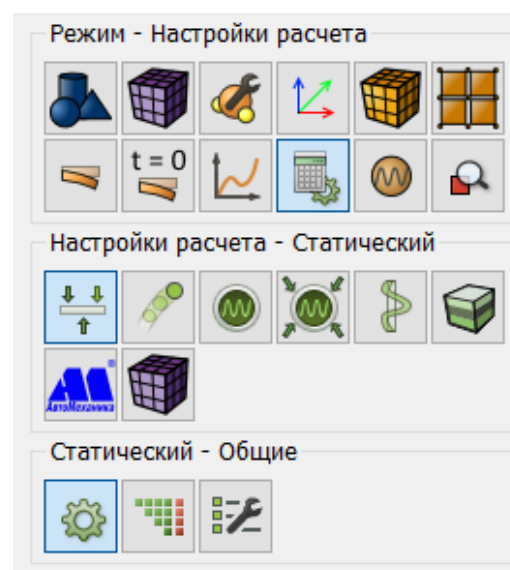
1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим — **Настройки расчёта**, Настройки расчёта — **Статический**, Статический — **Общие**).

- Размерность: 3D;
- Модель: Упругость, Пластичность;
- Задать число шагов нагружения: 2.

Нажмите **Применить**.

2. Перейдите в окно Настройки шагов нагружения.



Задать число шагов нагружения

Число шагов нагружения  ...

Задать настройки нелинейного решателя

i

Задайте для перемещения 2 шаг расчета - 1, на котором данное граничное условие будет активно.

Настройки шагов нагружения ×

Тип ГУ	Имя ГУ	ID	Шаг
Перемещение		1	all
Перемещение		2	1
Перемещение		3	all
Перемещение		4	all
Давление		1	all

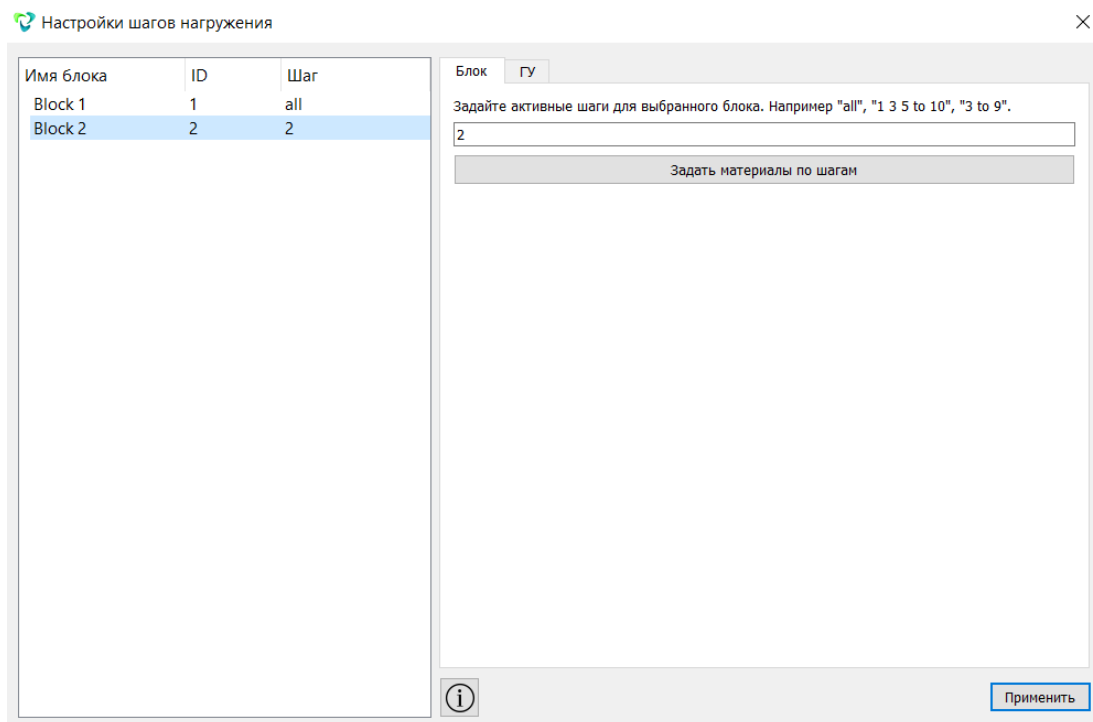
Блок    ГУ

Задайте активные шаги для выбранного ГУ. Например "all", "1 3 5 to 10", "3 to 9".

i

Нажмите **Применить**.

3. В окне настройки шагов нагружения выберите блок 2 и укажите, на каком шаге расчета этот блок будет активен.



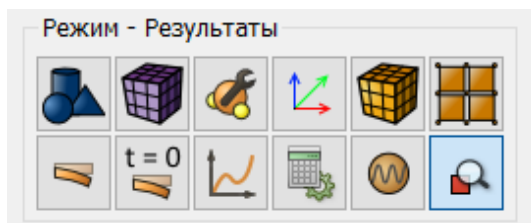
Нажмите **Применить**. Нажмите **Начать расчёт**.

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".

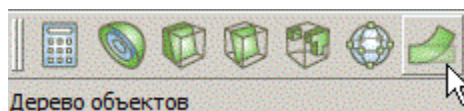
## Анализ результатов

1. Откройте файл с результатами. Это можно сделать тремя способами.
  - Нажмите Ctrl+E.
  - В главном меню выберите Расчет → **Открыть результаты**.
  - На панели команд выберите Режим — **Результаты**. Нажмите **Открыть результат**.



Для постпроцессорного анализа перейдите в окно **Fidesys Viewer**.

1. Подключите фильтр **Деформировать по вектору** (Меню – Фильтры – Алфавитный указатель – Деформировать по вектору). Или используйте соответствующую кнопку на панели команд:




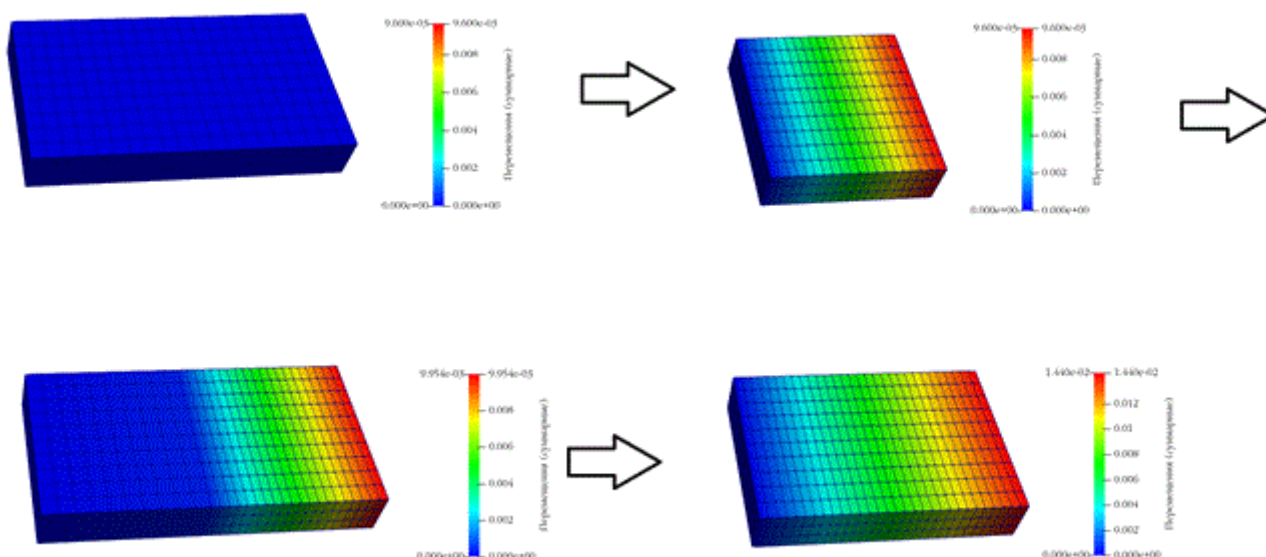
Для данного фильтра на вкладке Свойства установите:

- Вектор: Перемещение;
- Множитель масштаба: 100;
- Нажмите Применить.

2. На верхней панели выберите данные результата расчета для отображения. Из первого выпадающего списка выберите **Перемещения**, из второго – **Сумма**, из третьего – **Поверхность с рёбрами**.



3. На панели просмотра шагов установите шаг 1. Вы должны увидеть изображение в начальном состоянии. Далее, нажмите на Воспроизведение . Вы должны увидеть последовательное сжатие модели в соответствии с историей нагружения.



### 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**.

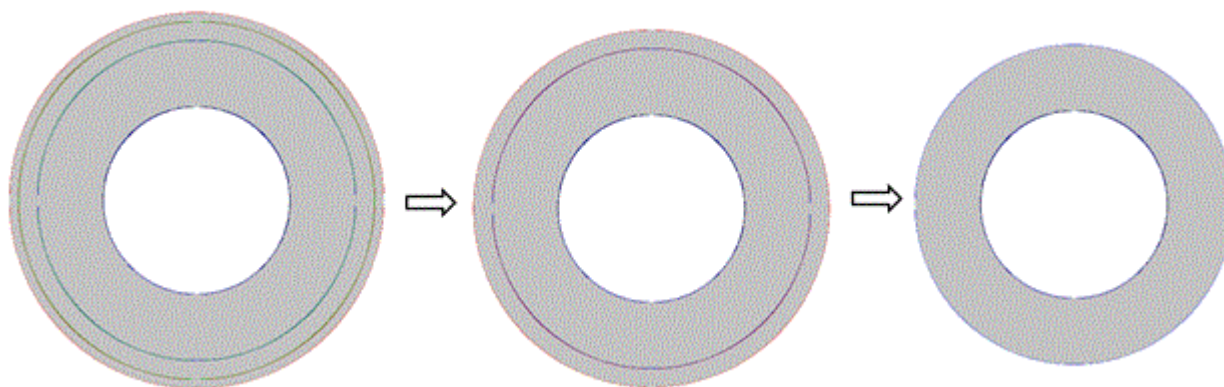
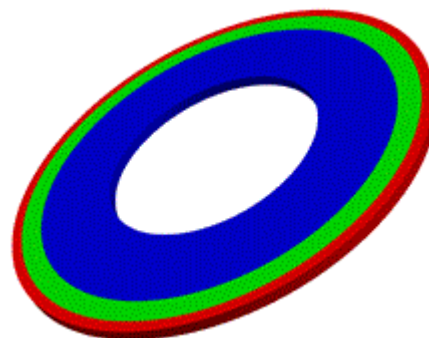
```

reset
#{width1 = 2}
#{width2 = 1}
#{heightY = 1}
#{heightZ = 0.3}
create brick x {width1} y {heightY} z {heightZ}
create brick x {width2} y {heightY} z {heightZ}
move volume 1 x {width1/2} y {heightY/2} z {heightZ/2}
move volume 2 x {width1 + width2/2} y {heightY/2} z {heightZ/2}
merge all
    
```

```
create material 1
modify material 1 set property 'POISSON' value 0.3
modify material 1 set property 'MODULUS' value 2.1e+04
modify material 1 set property 'MISES_YIELD_STRENGTH' value 24
block 1 volume 1
block 2 volume 2
block all material 1#присвойте материал блоку
block all element solid order 2
surface all size {heightY/10}
mesh volume all
create displacement 1 on surface 3 5 9 11 dof 2 fix
create displacement 2 on surface 6 dof 1 fix
create displacement 3 on surface 12 dof 1 fix
create displacement 4 on surface 1 2 7 8 dof 3 fix
create pressure on surface 4 magnitude 100
analysis type static elasticity plasticity dim3
static steps 2
bcdep displacement 2 step 1
block 2 step 2
calculation start path "d:\Fidesys\example_15.pvd"
```

## Последовательное удаление объемов в процессе расчета

Модель представляет собой цилиндрическую трубу, состоящую из трех слоев. Параметры материала для всех трех слоев:  $E = 2.1e4$  Н/мм<sup>2</sup>,  $\nu = 0.3$ , предел текучести  $s = 24$  Н/мм<sup>2</sup>. На внутреннюю поверхность трубы прикладывается равномерное давление 14 Н/мм<sup>2</sup>. Закрепления – из условия симметрии. Задается три шага нагружения: на втором шаге удаляется внешний слой трубы, на третьем шаге удаляется следующий внешний слой трубы. В процессе решения анализируются напряжения с учетом пластического течения и утончения трубы.



## Построение модели

1. Создайте круглую поверхность радиусом 100.

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

- Радиус: 100;
- Расположение: Z-плоскость.

Нажмите **Применить**.

2. Создайте круглую поверхность радиусом 170.

Задайте размеры:

- Радиус: 170;
- Расположение: Z-плоскость.

Нажмите **Применить**.

3. Создайте круглую поверхность радиусом 190.

Задайте размеры:

- Радиус: 190;
- Расположение: Z-плоскость.

Нажмите **Применить**.

4. Создайте круглую поверхность радиусом 200.

Задайте размеры:

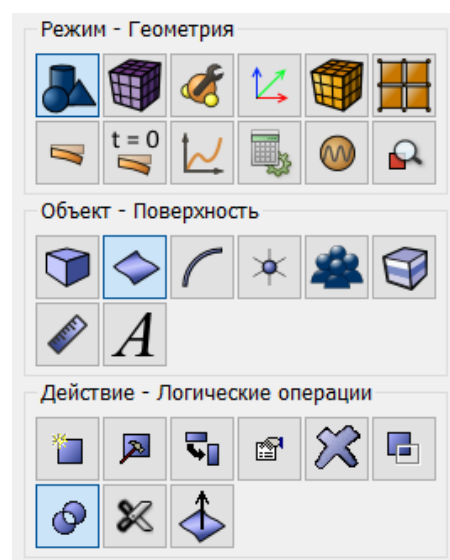
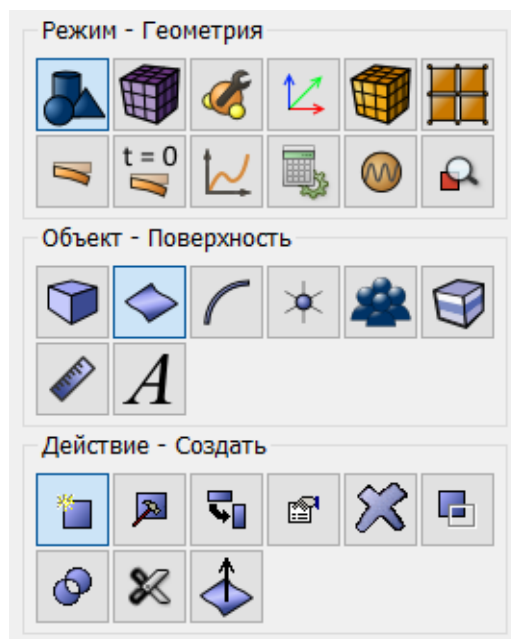
- Радиус: 190;
- Расположение: Z-плоскость.

Нажмите **Применить**.

5. Вычтите поверхность 1 из остальных поверхностей 2 3 4.

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

- ID поверхностей: 2 3 4 (поверхности, из которых будут вычтены другие поверхности);
- ID поверхностей: 1 (поверхности, которые будут вычтены).



Нажмите **Применить**.

6. Вычтите поверхность 5 из поверхности 6.

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

- ID поверхностей: 6 (поверхности, из которых будут вычтены другие поверхности);
- ID поверхностей: 5 (поверхности, которые будут вычтены);
- Поставьте галочку Сохранить оригиналы и выбрать keep both (A and B).

Нажмите **Применить**.

7. Вычтите поверхность 6 из поверхности 7.

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

- ID поверхностей: 7 (поверхности, из которых будут вычтены другие поверхности);
- ID поверхностей: 6 (поверхности, которые будут вычтены).

Нажмите **Применить**.

8. Разрежьте фигуру.

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

- ID поверхности: all (поверхность, которая будет разрезана);
- Разрезать: Плоскость YZ;
- Значение сдвига: 0.

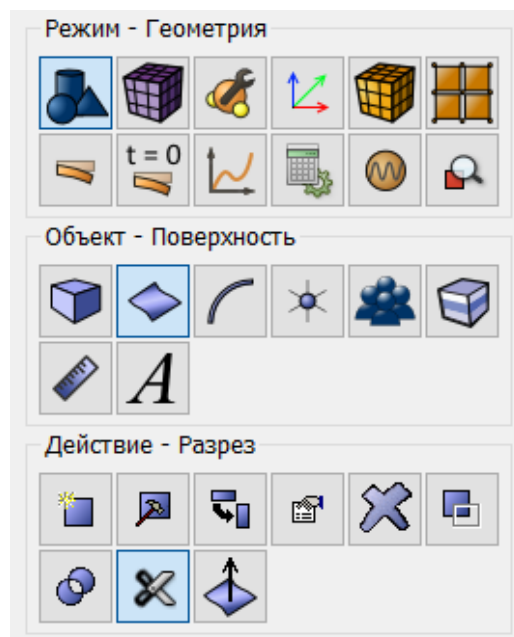
Нажмите **Применить**.

Проделайте тоже самое, но в плоскости ZX:

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

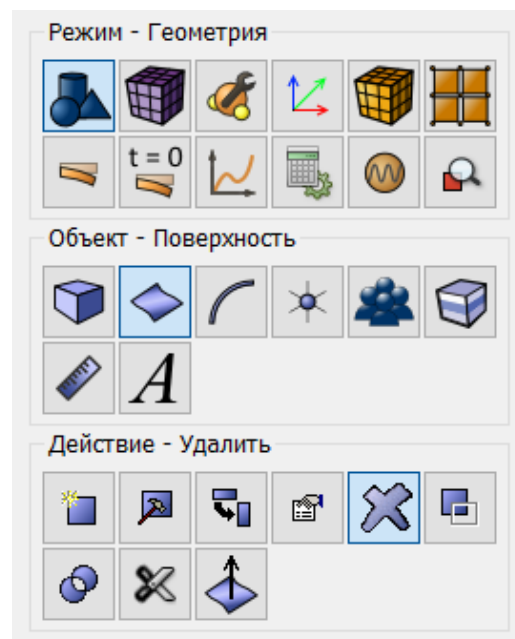
- ID поверхностей: all (поверхность, которая будет разрезана);
- Разрезать: Плоскость ZX;
- Значение сдвига: 0.

Нажмите **Применить**.



## 9. Удалите поверхности.

На панели команд выберите модуль построения объемной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие — **Удалить**). В поле **ID объемов** введите номера – 16 20 24 17 21 25 19 23 27.

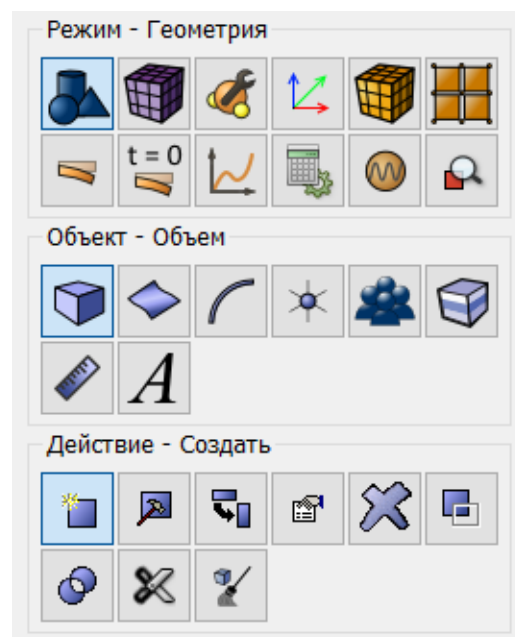


## 10. Сделайте протяжку поверхностей для создания объема:

На панели команд (Режим – **Геометрия**, Объект – **Объем**, Действие – **Создать**). Из списка геометрических примитивов выберите **Протяжка**. Задайте следующие параметры:

- ID поверхности(ей): all;
- Перпендикуляр;
- Расстояние: 10.

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: 71 76 79 87 (через пробелы);
- Выберите способ построения сетки: Равномерно;
- Выберите параметры разбиения: Интервал;
- Интервал: 50 (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:

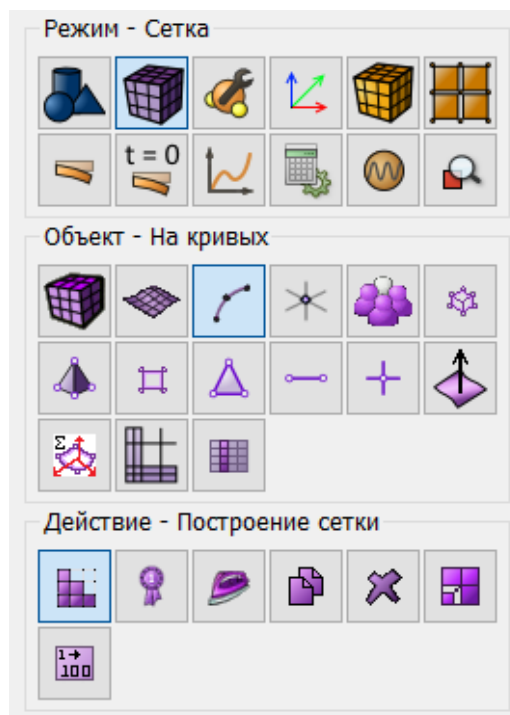
- Выбор кривых: 74 82 90 78 86 94 (через пробелы);
- Выберите способ построения сетки: Равномерно;
- Выберите параметры разбиения: Примерный размер;
- Примерный размер: 2.

Нажмите **Применить**.

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

- Выбор кривых: 75 72 80 88 77 73 81 89 (через пробелы);
- Выберите способ построения сетки: Равномерно;
- Выберите параметры разбиения: Интервал;
- Интервал: 1 (см картинку).

Нажмите **Применить**.

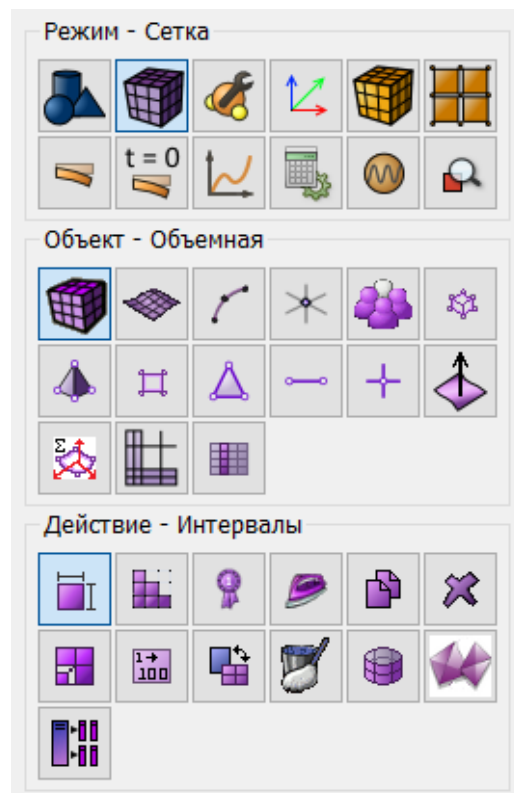


4. На панели команд выберите модуль построения сетки на плоскостях (Режим – **Сетка**, Объект – **Объемная**, Действие – **Интервалы**). Укажите интервал построения сетки:

- Выберите поверхности (укажите их ID): all;
- Выберите режим построения сетки: Автоматическая.

Нажмите **Применить**.

Нажмите **Построить сетку**.



### Задание материала

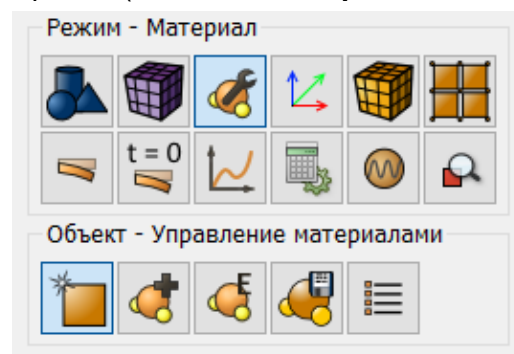
1. На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**). Укажите имя материала material 1.

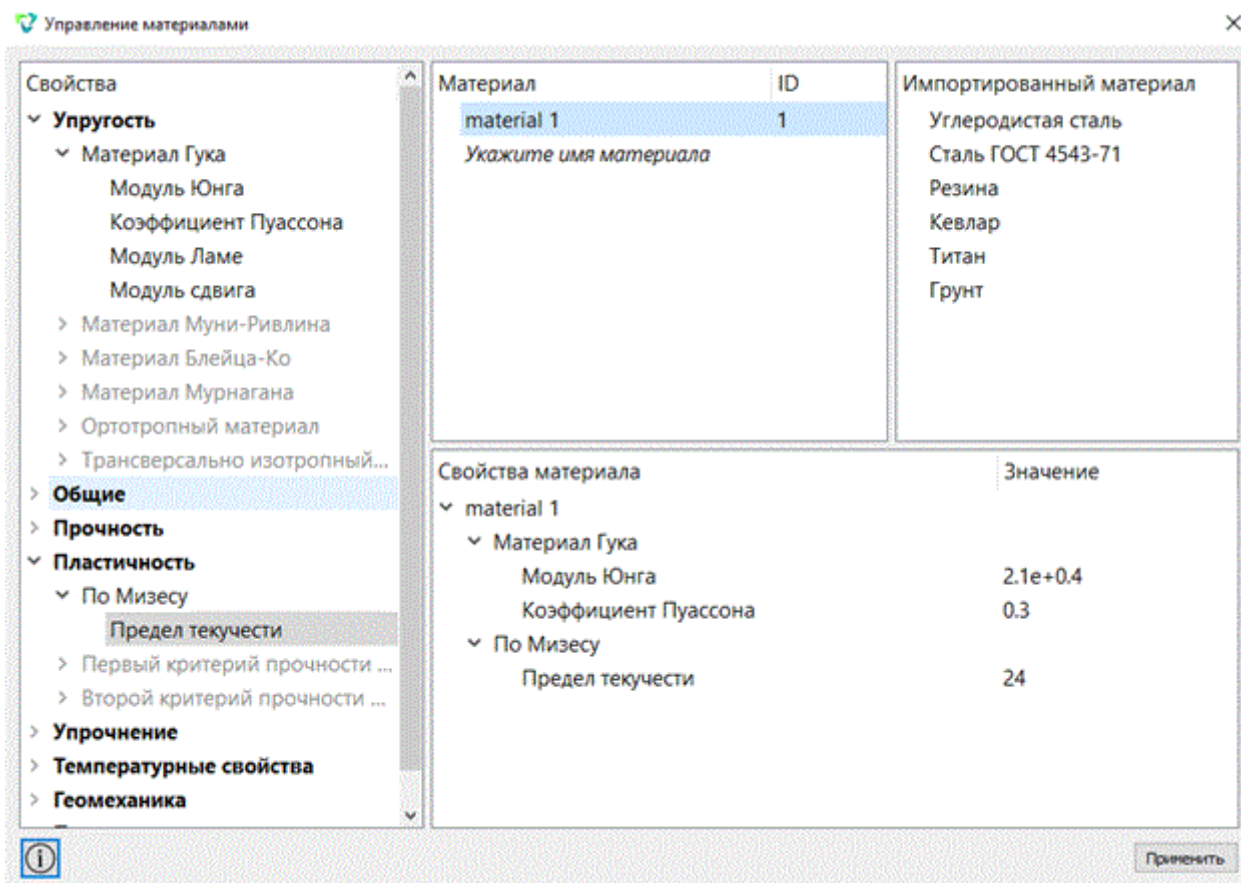
Перетащите из левой колонки надпись **Материал Гука**, а также в разделе **Пластичность** надпись **По Мизесу** в колонку **Свойства материала**. Задайте следующие параметры:

- Модуль Юнга:  $2.1 \times 10^4$ ;
- Коэффициент Пуассона: 0.3.

В левом окне перейдите в **Пластичность - По Мизесу** и перетащите характеристику **Предел текучести** в окно **Свойства материалов**. Задайте:

- Предел текучести: 24.





Нажмите **Применить**.

## Задание граничных условий

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

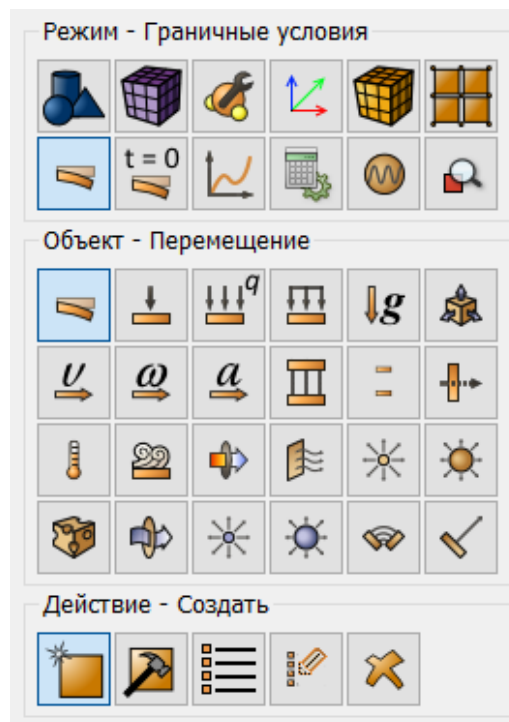
- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 29 34 39;
- Степени свободы: По Y;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

2. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 31 26 41;
- Степени свободы: По X;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.



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

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 32 37 42 18 22 26;
- Степени свободы: По Z;
- Величина: 0.

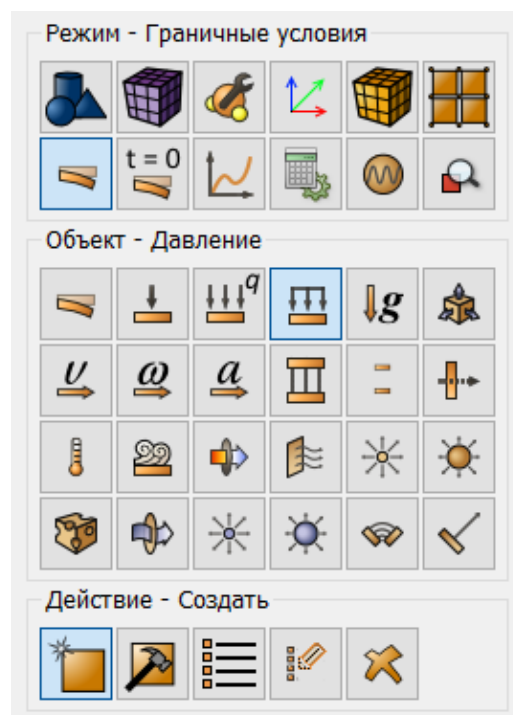
Нажмите **Применить**.

4. 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: 30;
- Значение: 14.

Нажмите **Применить**.



### Задание свойств блока

1. Создайте блоки одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**). Задайте следующие параметры:

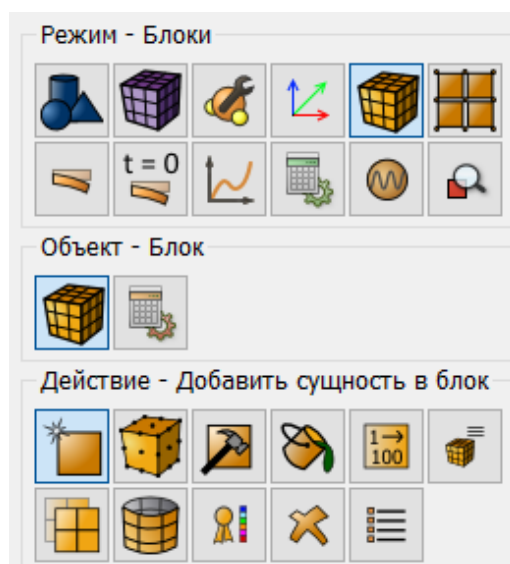
- ID блока: 1;
- Список сущностей: Объем;
- ID объекта(ов): 6.

Нажмите **Применить**.

2. Создайте второй блок.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**). Задайте следующие параметры:

- ID блока: 2;
- Список сущностей: Поверхность;



- ID объекта(ов): 7.

Нажмите **Применить**.

3. Создайте третий блок.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**). Задайте следующие параметры:

- ID блока: 3;
- Список сущностей: Поверхность;
- ID объекта(ов): 8.

Нажмите **Применить**.

4. Задайте параметры блока.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Свойства/параметры блока**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): all;
- Материал: material 1;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Объемное тело;
- Порядок: 2.


Нажмите **Применить**.

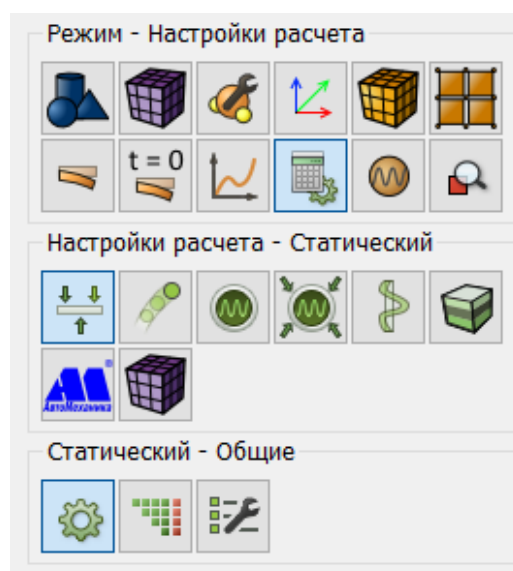
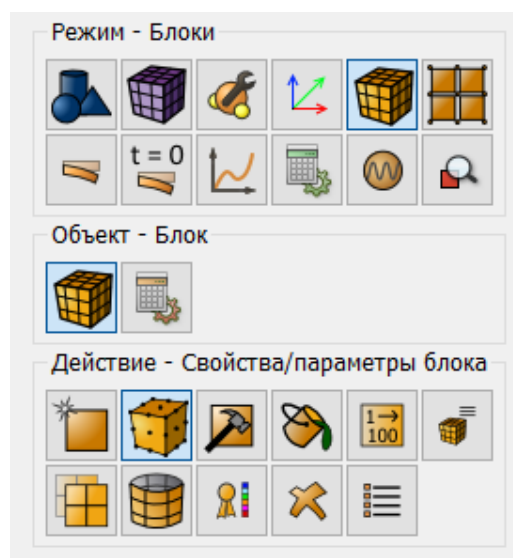
## Запуск расчёта

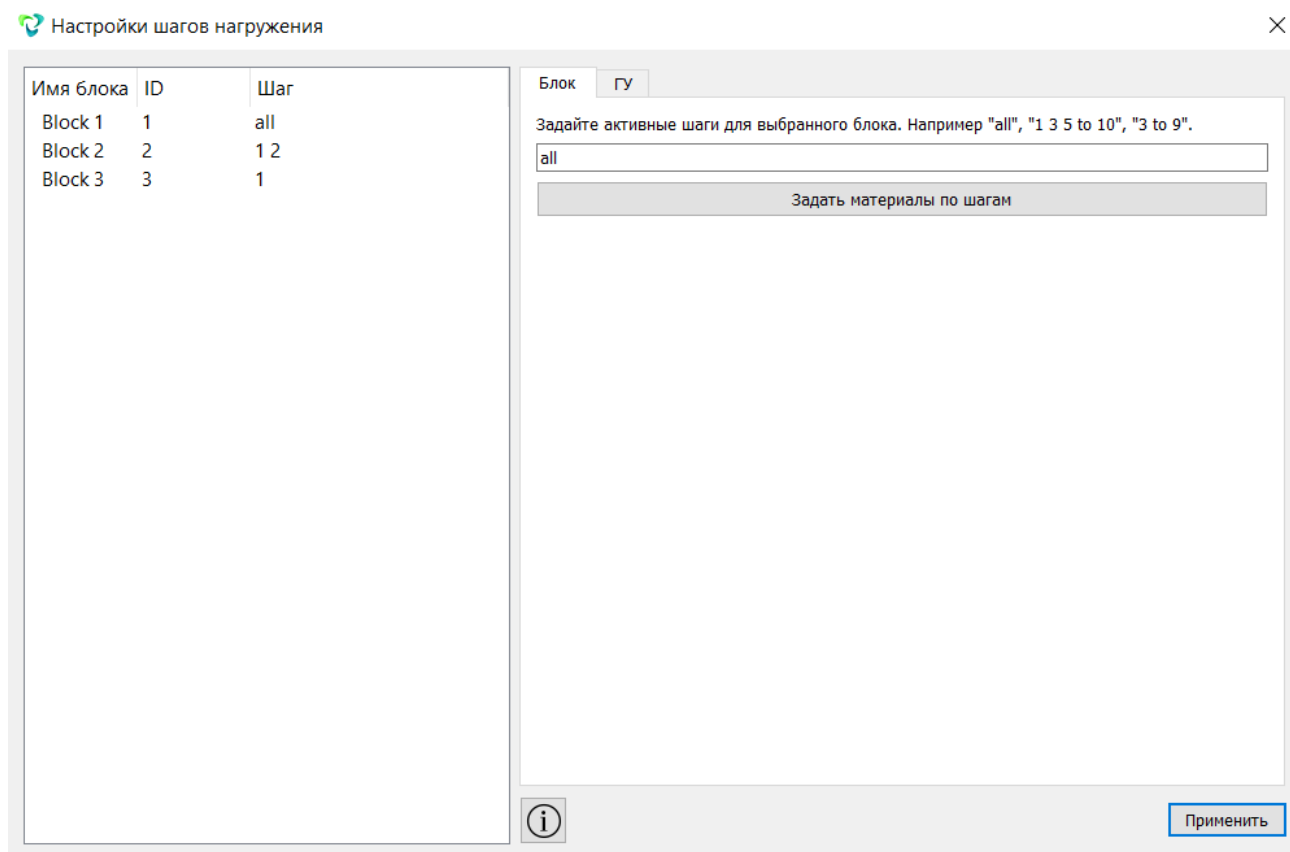
1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

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

- Размерность: 2D;
- Тип плоской задачи: Плоское деформированное состояние;
- Модель: Упругость, Пластичность;
- Задать число шагов нагружения: 3.

Нажмите на троеточие , для того чтобы настроить активные шаги расчета для блока 2 —1 2 (через пробел), а для блока 3 —1.





Нажмите **Применить**. Закройте окно.

Нажмите на панели команд **Применить**, **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 **Режим** → **Результаты**. Нажмите **Открыть последний результат**.
  - На панели команд выберите Результаты (Режим — Результаты, Результаты — Открыть Результаты).

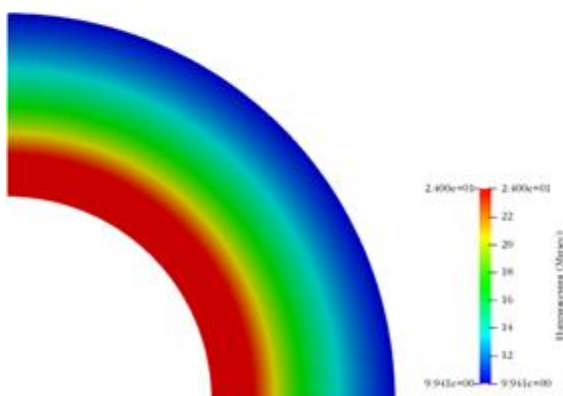
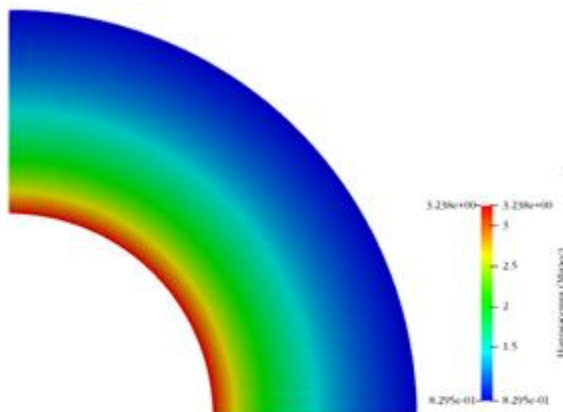
Для постпроцессорного анализа перейдите в окно **Fidesys Viewer**.

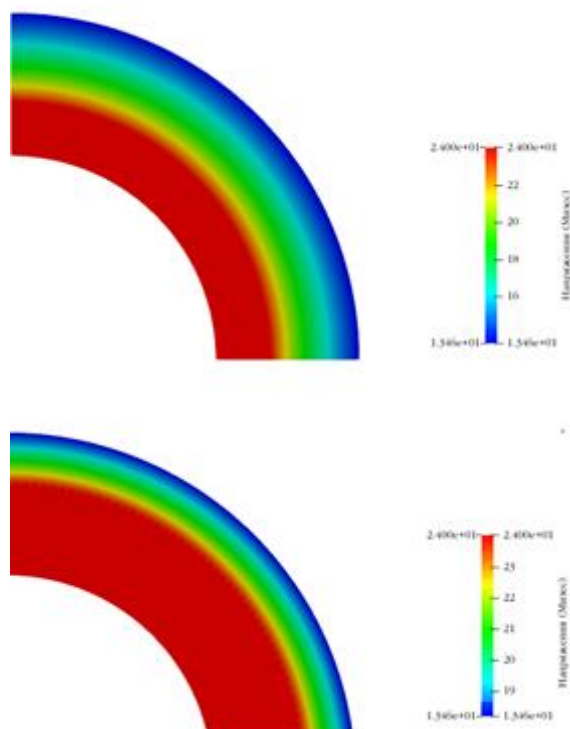
2. На верхней панели выберите данные результата расчета для отображения. Из первого выпадающего списка выберите **Напряжения**, из второго – **Мизес**, из третьего – **Поверхность**.



3. На панели просмотра шагов установите шаг 1. Вы должны увидеть изображение в начальном состоянии. Далее, нажмите на Воспроизведение  .

Вы должны увидеть последовательное удаление слоев на модели в соответствии с историей нагружения.





### 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**.

```
###guid:617a7d81d83b
###body
reset
set default element hex
create surface circle radius 10 zplane
create surface circle radius 1 zplane
subtract body 2 from body 1
webcut body 1 with plane yplane offset 0
webcut body 3 with plane xplane offset 0
delete Body 4
delete Body 1
merge all

create material 1
modify material 1 set property 'MODULUS' value 1e+09
modify material 1 set property 'POISSON' value 0.25
modify material 1 set property 'COHESION' value 5.43712e+06
modify material 1 set property 'INT_FRICTION_ANGLE' value 21.43
modify material 1 set property 'DILATANCY_ANGLE' value 21.43
modify material 1 set property 'BIOT_ALPHA' value 1
modify material 1 set property 'POROSITY' value 0.25
modify material 1 set property 'PERMEABILITY' value 1e-12
modify material 1 set property 'FLUID_VISCOACITY' value 0.005
modify material 1 set property 'FLUID_BULK_MODULUS' value 1e9

curve 8 12 interval 90
```



```
curve 8 scheme bias factor 1.05 start vertex 7
curve 12 scheme bias factor 1.05 start vertex 11
curve 13 14 interval 30
mesh surface all
create displacement on curve 8 dof 2 fix 0
create displacement on curve 12 dof 1 fix 0
create porepressure on curve 13 14 value 4e7
create pressure on curve 13 magnitude 4e7
create pressure on curve 14 magnitude 8e7
block 1 surface all
block 1 material 1
block 1 element plane order 2
analysis type static elasticity plasticity porefluidtrans dim2 planestrain
nonlinearopts maxiters 100 minloadsteps 30 maxloadsteps 10000000 tolerance 1e-3
calculation start path "d:\Fidesys\test.pvd"
```

## Распространение сейсмических волн (получение результатов в формате SEG-Y)

**CAE Fidesys** позволяет выгрузить результаты решения в формате SEG-Y. В данном примере рассматривается распространение сейсмических волн в грунте на основе задачи Лэмба для 2D случая. Продемонстрированы процедуры расстановки приемников, сохранение и последующий анализ данных в формате SEG-Y.

Модель представляет собой часть плоскости ( $xy$ ), в некоторую вершину приложена точечная сила. Прикладываются неотражающие граничные условия.

### Построение модели

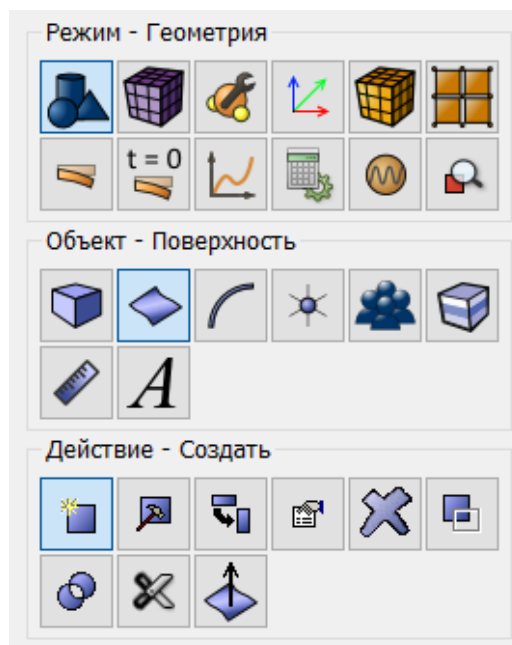
1. Создайте квадратную пластину.

На панели команд выберите модуль построения объемной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие — **Создать**).

Из списка геометрических примитивов выберите **Прямоугольник**. Задайте размеры блока:

- Ширина: 1000;
- Расположение: Z-плоскость.

Нажмите **Применить**.



2. В силу симметрии рассмотрим половину модели.

На панели команд выберите модуль построения объемной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие — **Разрез**).

Из списка возможных видов разреза выберите пункт **Координатная плоскость**. Задайте следующие параметры:

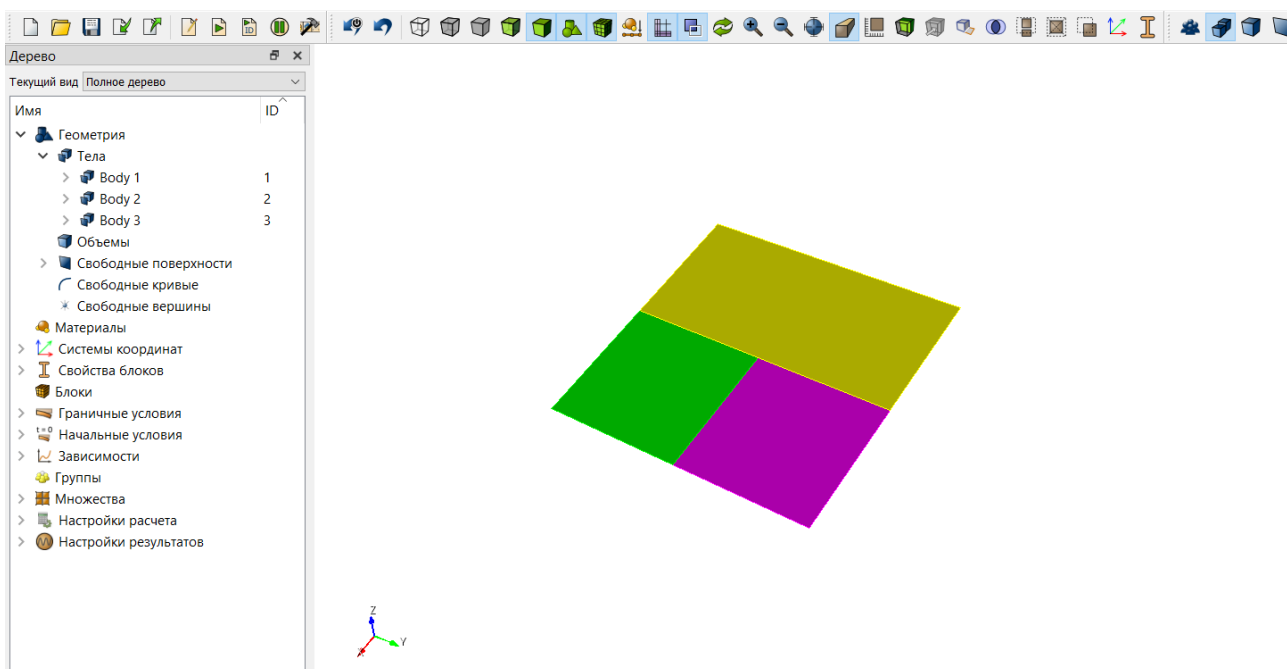
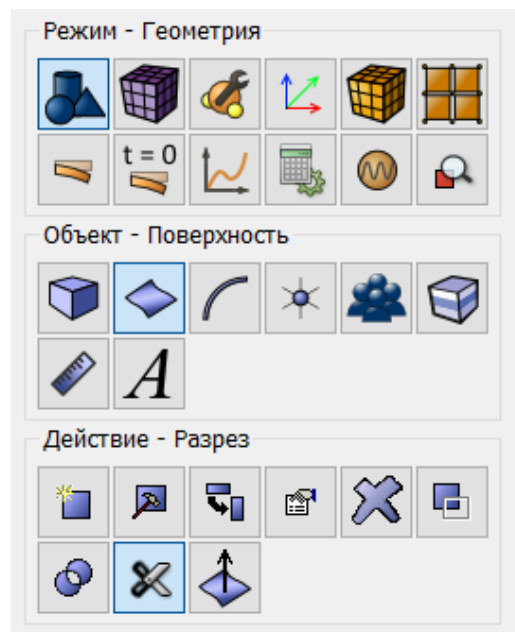
- ID тел(а): 1(тело, которое будет разрезано);
- Разрезать: YZ;
- Значение смещения: 0.

Нажмите **Применить**.

Проделайте то же самое, но в плоскости ZX.

- ID тел(а): 1( тело, которое будет разрезано);
- Разрезать: ZX;
- Значение смещения: 0.

Нажмите **Применить**.



В результате исходное Body 1 в дереве объектов будет поделено на три тела (Body 1, Body 2 и Body 3).

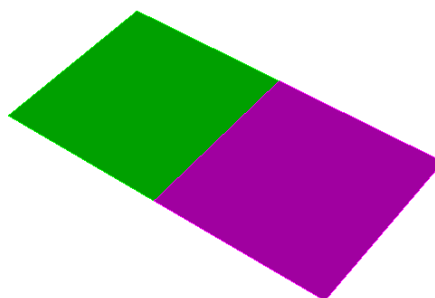
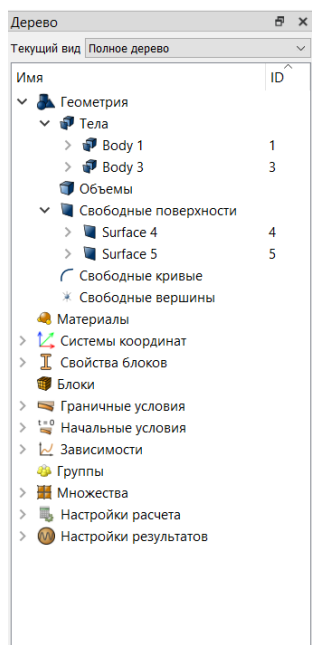
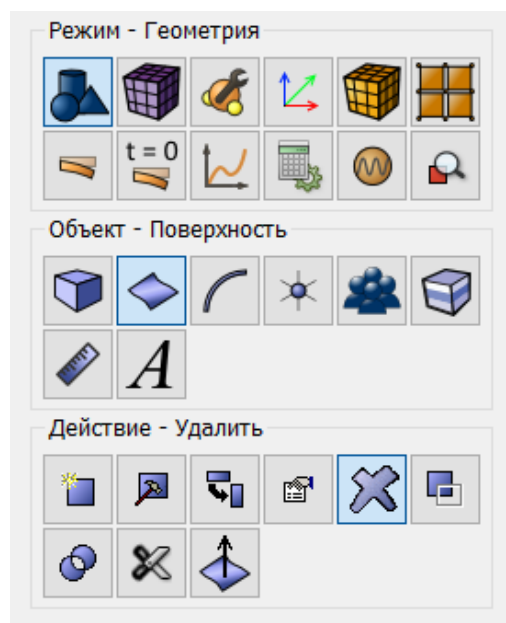
### 3. Удалите поверхность Surface 3.

На панели команд выберите модуль построения объемной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие — **Удалить**).

Задайте параметры:

- ID поверхности(ей): 3.

Нажмите **Применить**.



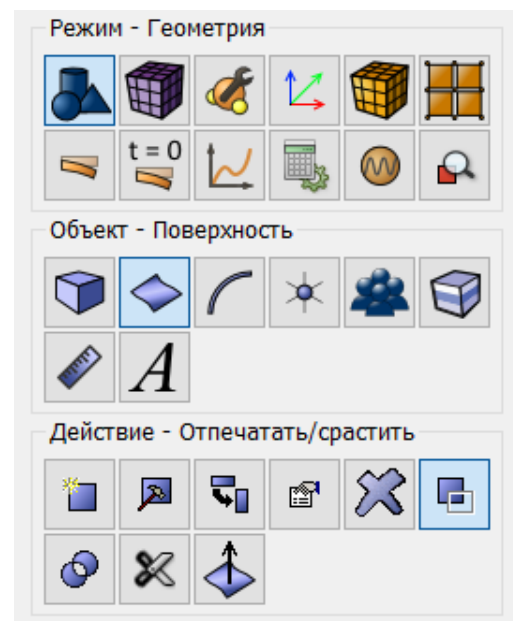
#### 4. Отпечатайте и срастите поверхности.

На панели команд выберите модуль построения объемной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие — **Отпечатать/срастить**).

Задайте следующие параметры:

- ID поверхности(ей): all .

Нажмите **Применить**.



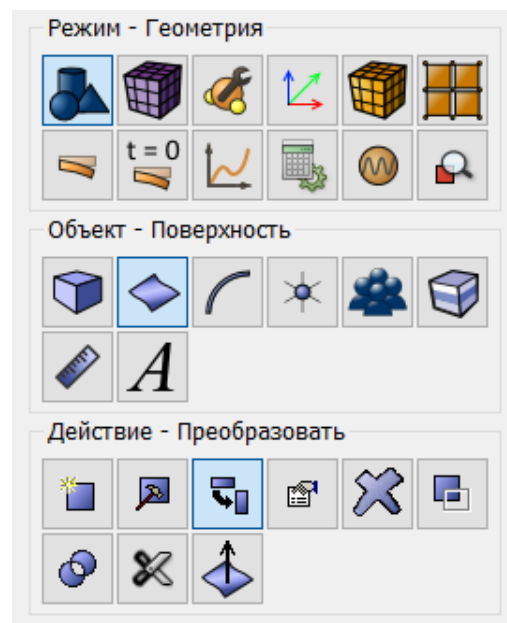
#### 5. Поверните модель.

На панели команд выберите модуль построения объемной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие — **Преобразовать**).

Из выпадающего списка выберите **Повернуть**. Задайте следующие параметры:

- Поверхность ID(s): all;
- Угол: -90;
- Повернуть вокруг: Ось Z.

Нажмите **Применить**.



7. Пропишите в командной строке команды, указанные ниже:

- imprint all;
- merge all.



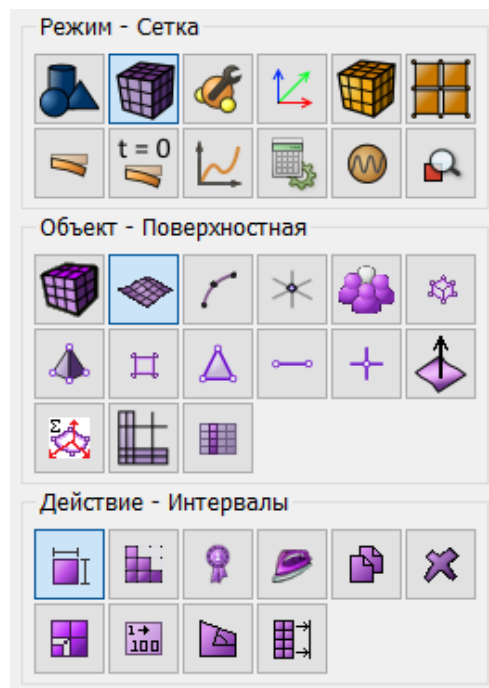
## Построение сетки

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

- Задать размер;
- Выбор поверхностей: all;
- Примерный размер: 250.

Нажмите **Применить**.

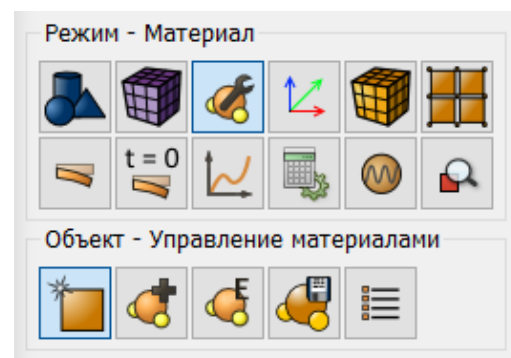
Нажмите **Построить сетку**.

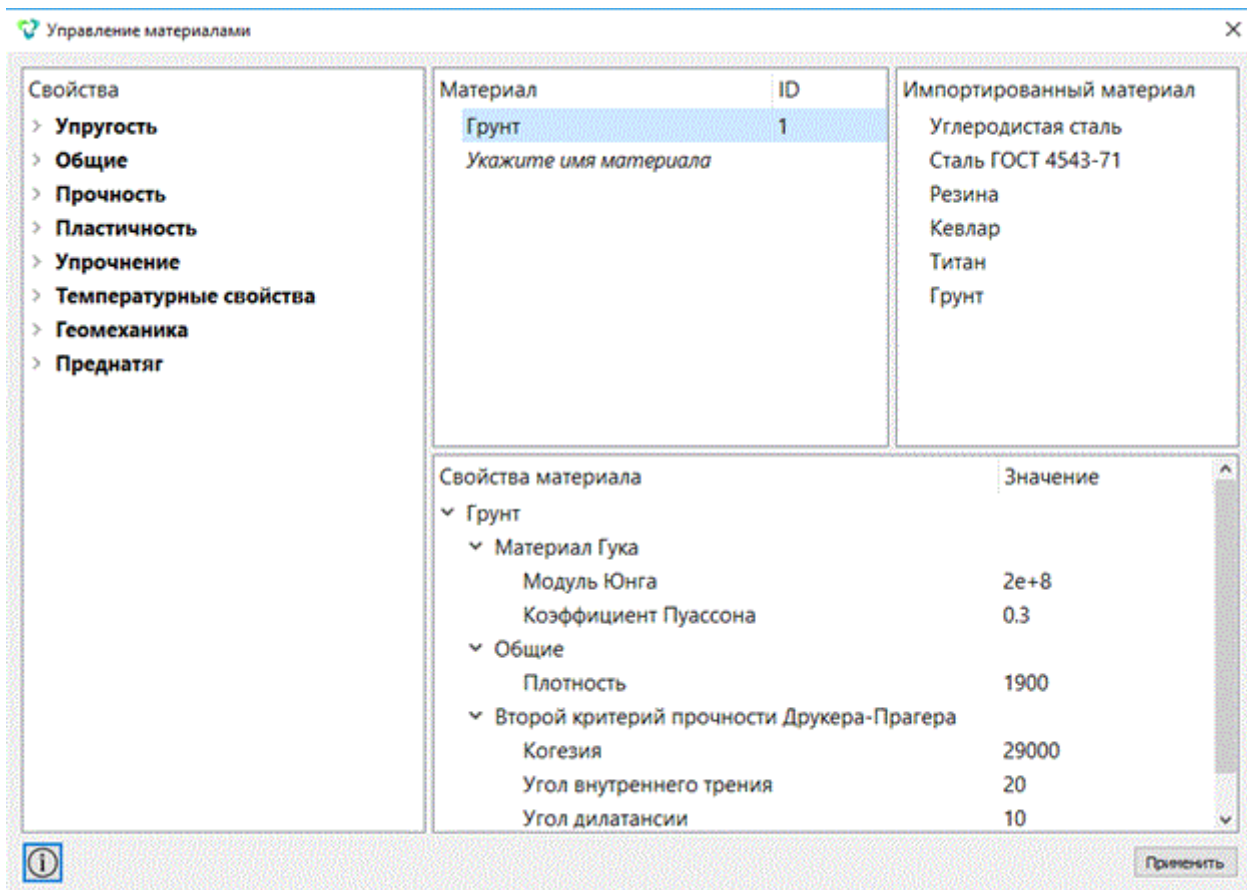


## Задание материала и свойств блока

1. На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**).

Из списка Импортированный материал перетащите **Грунт** в окно Материал ID.





Нажмите **Применить**.

2. Создайте блок одного типа материала.

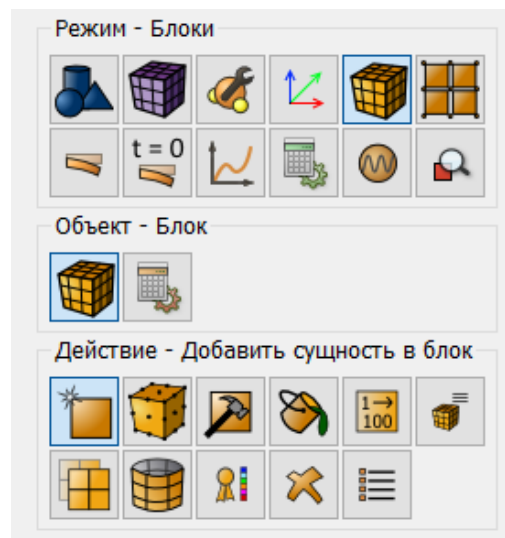
На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Список сущностей: Поверхность;
- ID объекта(ов): all.

Нажмите **Применить**.

3. Задайте параметры блока.

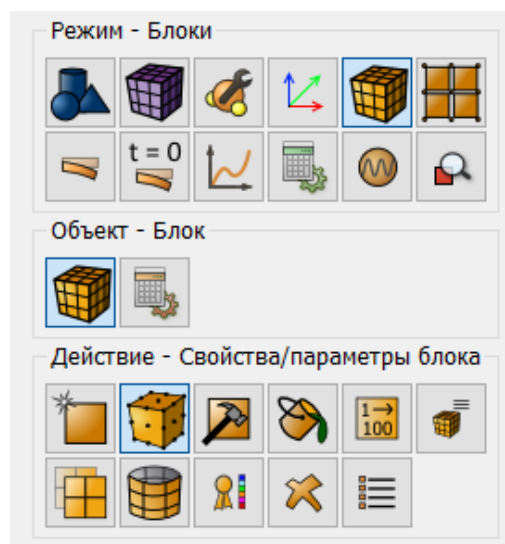


На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Свойства/параметры блока**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Материал: Грунт;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Плоскость;
- Порядок: 4.

Нажмите **Применить**.



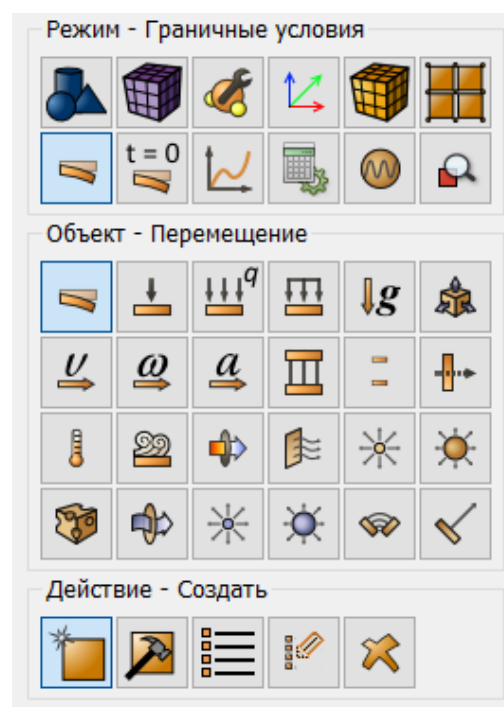
### Задание граничных условий

1. Закрепите кривые 16 и 12 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: 16 12(через пробел);
- Степени свободы: По X;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

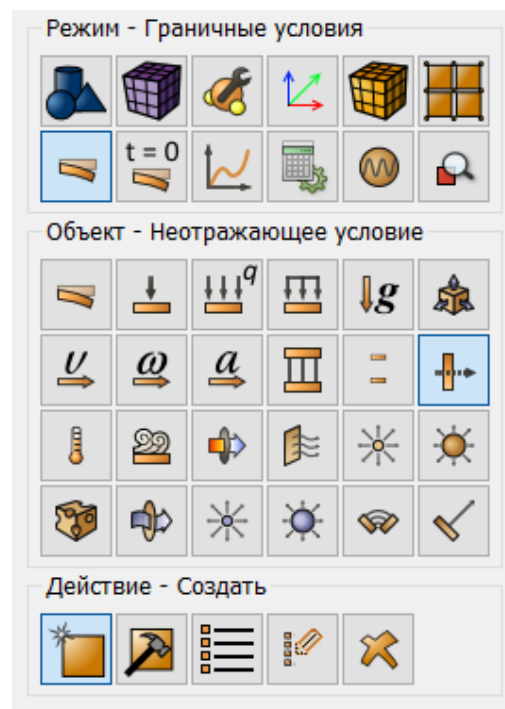


## 2. Задайте неотражающие граничные условия.

На панели команд выберите Режим — **Граничные условия**, Объект — **Неотражающее ГУ**, Действие — **Создать**.  
Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список сущностей: Кривая;
- ID объекта(ов): 7 15 13 6(через пробел).

Нажмите **Применить**.

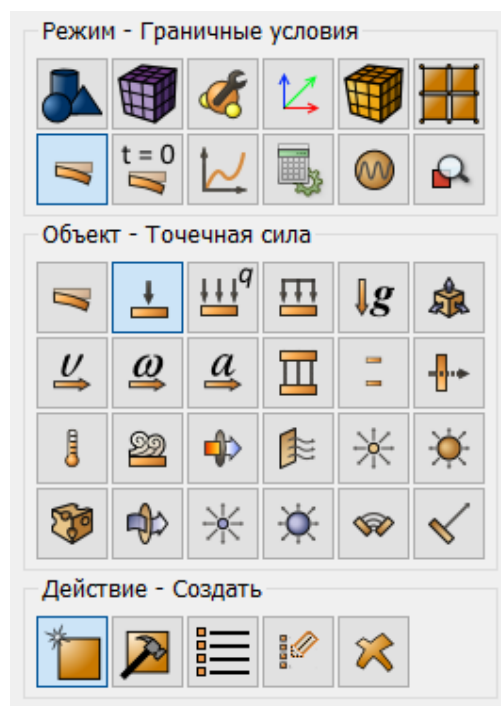


## 3. Задайте точечную силу.

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

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Вершина;
- ID объектов: 10;
- Направление: 0 -1 0(через пробел).

Нажмите **Применить**.





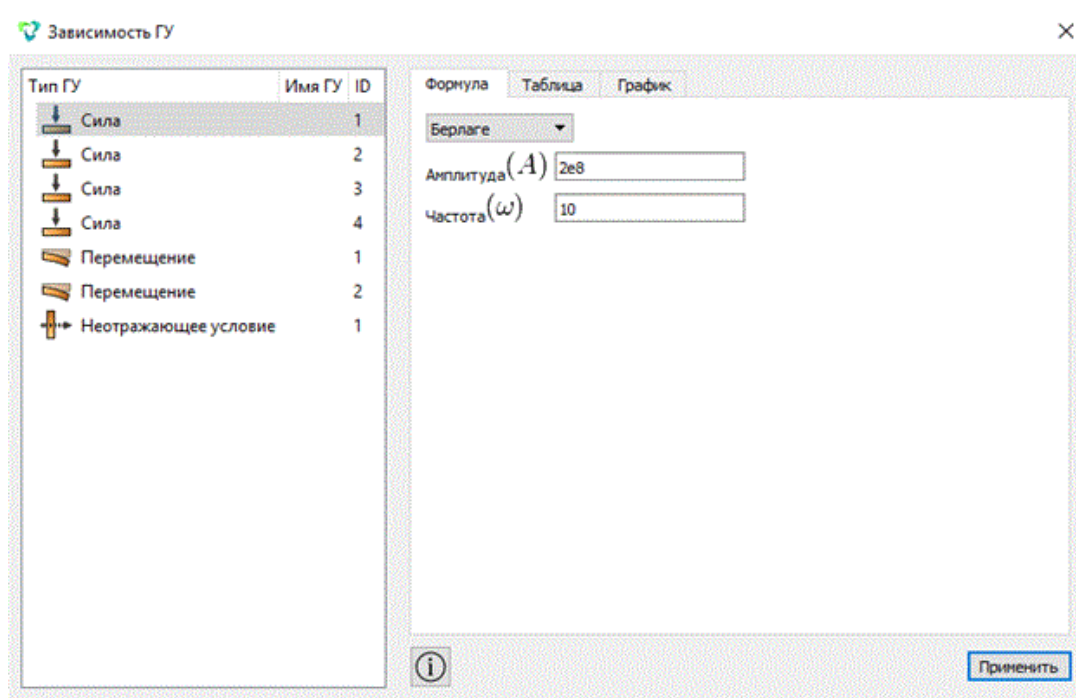
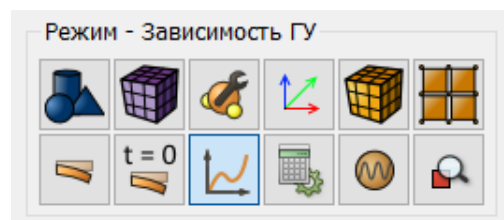
## Установить зависимость ГУ от времени и/или координат

1. Создайте формулу 1 для силы 1.

На панели команд выберите Режим — **Зависимость ГУ**.

В левой колонке кликните по надписи Сила 1. На вкладке Формула в выпадающем списке выберите Берлаге. Задайте следующие параметры:

- Выбрать настройку Формула : Берлаге;
- Амплитуда:  $2e8$ ;
- Частота: 10.



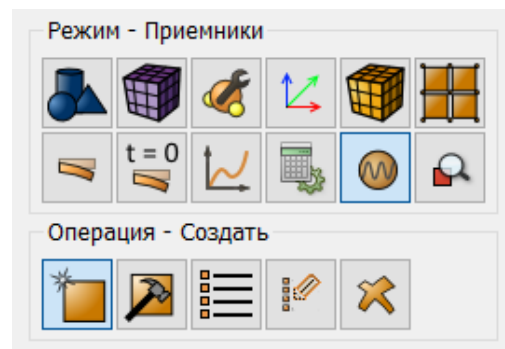
Нажмите **Применить**.

## Приёмники

1. Создайте приемники на кривой 17 по всем направлениям.

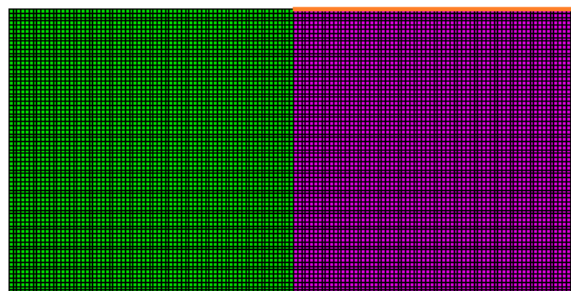
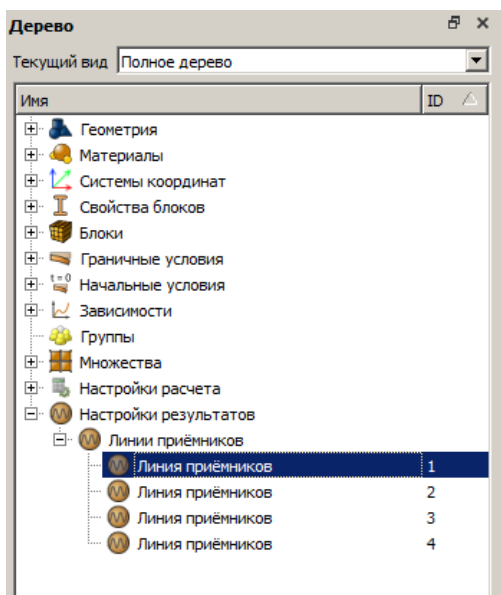
На панели команд выберите Режим — **Приемники**, Операция — **Создать**. Выберите из выпадающего списка те поля, данные которых необходимо сохранить в формате SEG-Y. Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список сущностей: Кривая;
- ID объекта(ов): 17;
- Скорость;
- Переменные: Все.



Нажмите **Применить**.

Линии приемников подсвечиваются на модели желтым цветом при клике в соответствующем разделе Древа.



## Запуск расчёта

Задайте тип задачи, которую требуется решить. На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим — **Настройки расчёта**, Настройки расчёта — **Временной анализ**, Временный анализ — **Общие**).

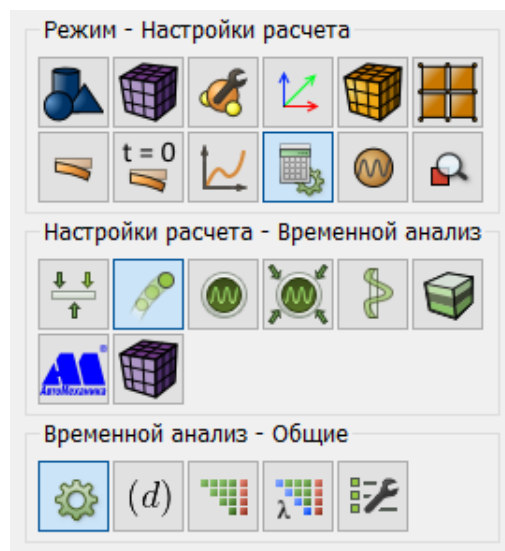
Задайте следующие параметры расчёта:

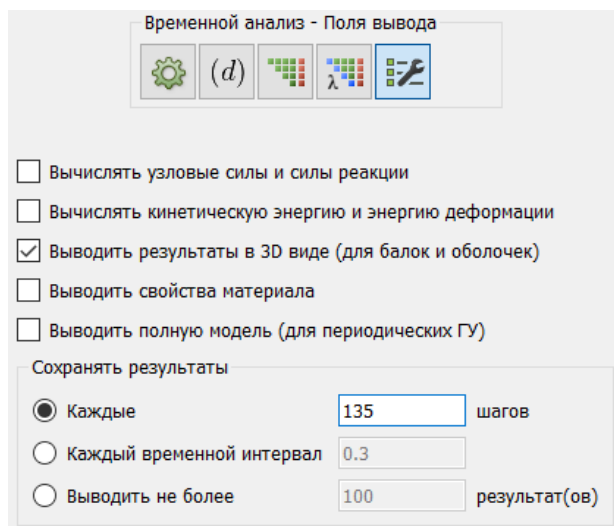
- Размерность: 2D;
- Метод: Полное решение;
- Схема: Явная;
- Максимальное время: 5;
- Количество шагов: 2025;
- Преднагруженная модель: уберите галочку;

Нажмите **Применить**.

Перейдите в раздел настройки полей вывода. Укажите:

- Сохранять результаты: Каждые 135 шагов





Нажмите **Применить**. Нажмите **Начать расчёт**.

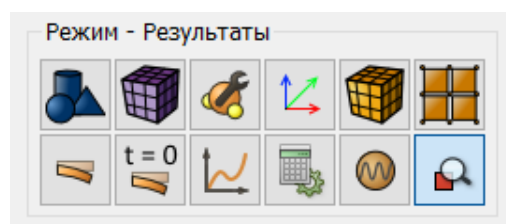
В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат, и введите название файла.

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 двумя способами.


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

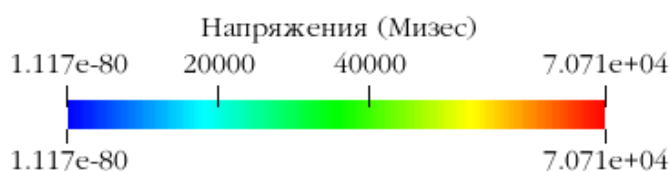
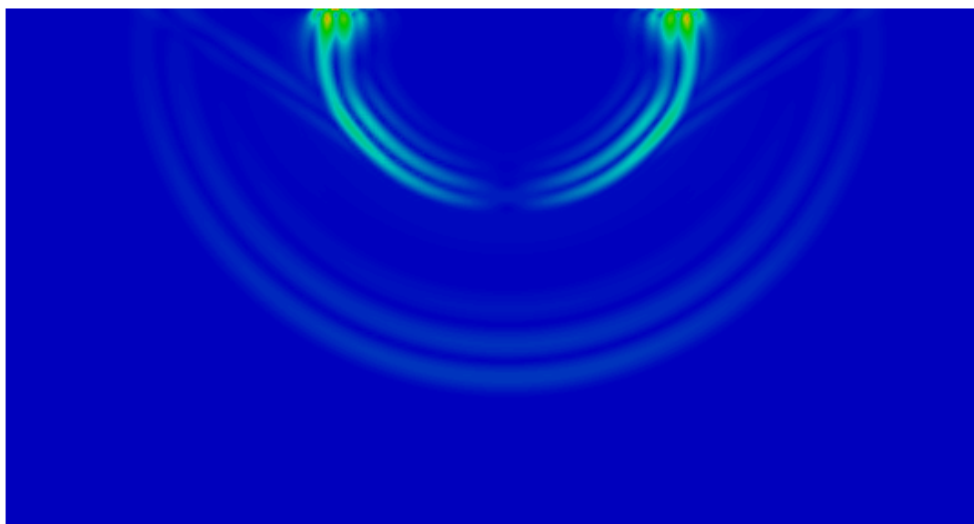


2. Для анализа результатов перейдите в окно **Fidesys Viewer**.

3. На верхней панели выберите данные результата расчёта для отображения. Из первого выпадающего списка выберите **Напряжения**, из второго – **Мизес**.

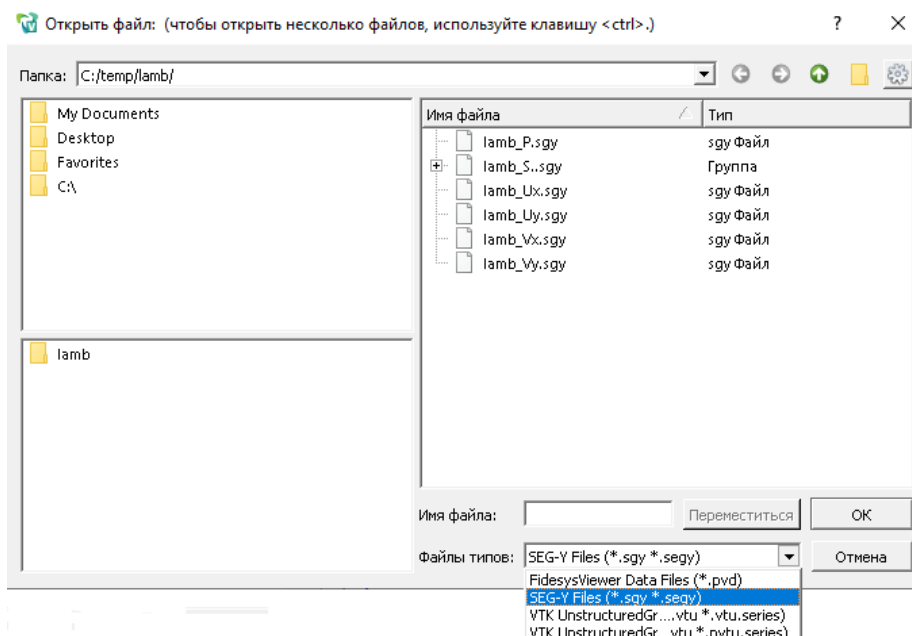


4. На панели просмотра шагов установите шаг 1. Вы должны увидеть изображение пластины в начальном состоянии. Далее, нажмите на Воспроизведение . Вы должны увидеть распространение напряжений с течением времени.

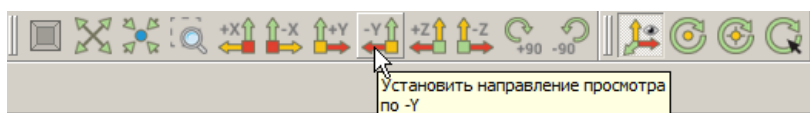


5. Откройте сохраненные данные в формате SEG-Y.

Для этого перейдите в **Меню - Файл - Открыть**. В выпадающем списке типов файлов выберите SEG-Y Files (\*.sgy, \*.segy). Укажите файл для просмотра **test\_Uy.sgs**



Установите направление просмотра вдоль оси Y



В области визуализации отобразились результаты расчета для скоростей  $U_y$  в формате SEG-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**.

```
reset
create surface rectangle width 10000 zplane
webcut body 1 with plane xplane offset 0
webcut body 1 with plane yplane offset 0
delete Surface 3
imprint all
merge all
split curve 11 distance 1000 from vertex 10
imprint all
merge all
surface all size 250
mesh surface all
create material 1 from 'Грунт'
block all add surface all
block 1 add surface all
block 1 material 1
block 1 element plane order 4
create displacement on curve 16 12 dof 1 fix
create absorption on curve 7 15 13 6
create force on vertex 10 force value 1 direction 0 -1 0
bcdep force 1 value 'berlage(2e+8, 10, time)'
```

```
create receiver on curve 17 displacement 1 1 1
create receiver on curve 17 velocity 1 1 1
create receiver on curve 17 principalstress 1 1 1
create receiver on curve 17 pressure
output nodalforce off energy off record3d on log on vtu on material off results everystep
100
analysis type dynamic elasticity dim2 planestrain preload off
dynamic method full_solution scheme explicit maxtime 10 maxsteps 10000
calculation start path 'D:\Fidesys\example_17.pvd'
```

## Пороупругопластическая модель скважины (2D)

Определяется напряженно-деформированное состояние в окрестности вертикальной скважины радиуса  $R_w$ , пробуренной на глубину  $h$ . Пласт считается изотропным, однородным. Задача решается в цилиндрической системе координат.

### Построение модели

1. Создайте первый круг радиусом 10.

На панели команд выберите модуль управление геометрией (Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие — **Создать**).

Из списка геометрических примитивов выберите **Круг**. Задайте размеры:

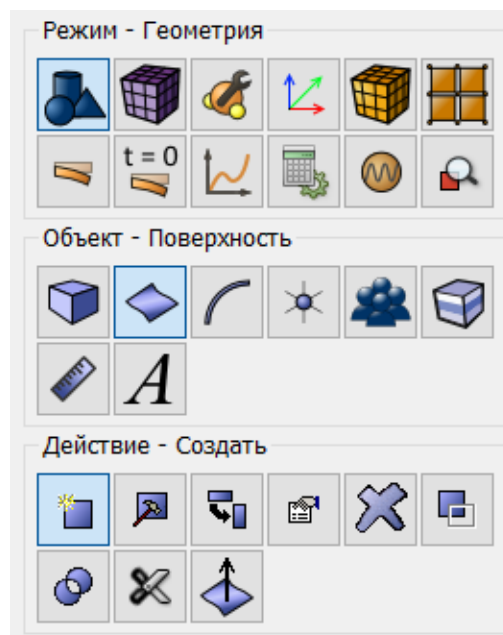
- Радиус: 10;
- Расположение: Z-плоскость.

Нажмите **Применить**.

2. Создайте второй круг радиусом 1.

На панели команд выберите модуль построения объемной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие — **Создать**).

Из списка геометрических примитивов выберите **Круг**. Задайте размеры:



- Радиус: 1;
- Расположение: Z-плоскость.

Нажмите **Применить**.

3. Вычтите первый круг из второго.

На панели команд выберите модуль управление геометрией (Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие — **Логические операции**).

Из списка логических операций выберите **Вычесть**. Задайте следующие параметры:

- A ID поверхности(ей): 1;
- B ID поверхности(ей): 2.

Нажмите **Применить**.

В результате в дереве объектов останется только одно тело (Body 1).

4. Оставьте четверть объёма (симметрия задачи).

На панели команд выберите модуль управление геометрией (Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие — **Разрез**).

Из списка возможных видов разрезов выберите **Координатная плоскость**. Задайте следующие параметры:

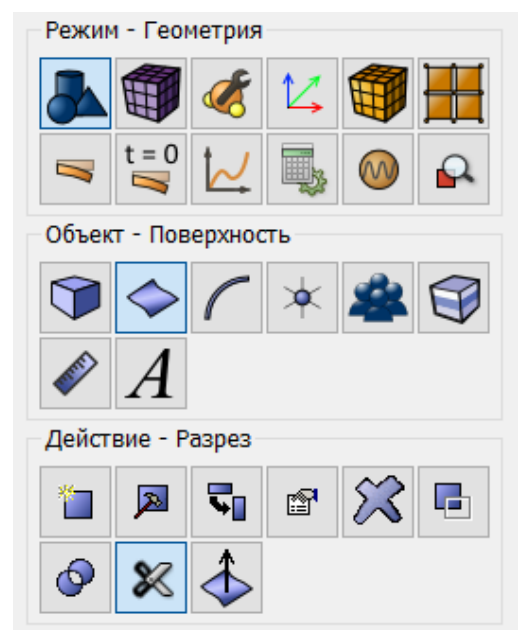
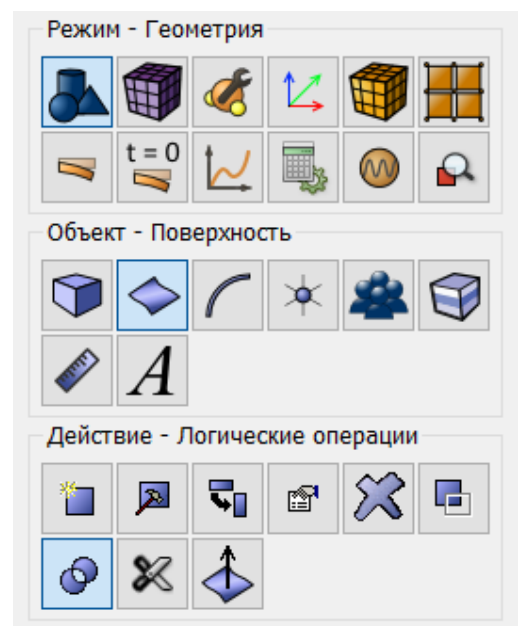
- ID тел(а): 1;
- Разрезать: Плоскость ZX;
- Значение смещения: 0.

Нажмите **Применить**.

Проделайте то же самое, но в плоскости YZ:

- ID тел(а): 3;
- Разрезать: Плоскость YZ;
- Значение смещения: 0.

Нажмите **Применить**.



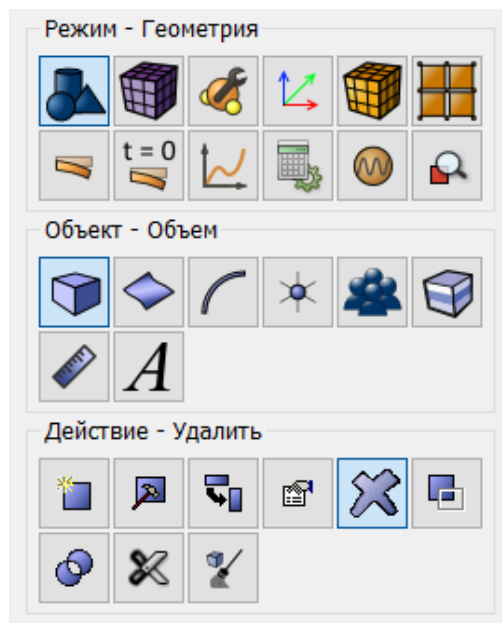
Затем удалите объемы 4 и 1.

На панели команд выберите модуль управление геометрией (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, Действие — **Удалить**).

Задайте параметры:

- ID объема(ов): 4 1(через пробел).

Нажмите **Применить**.



### **Задание материала**

1. На панели команд выберите модуль управление материалами (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**).

Укажите имя материала Material 1. Разверните в левой колонке пункт Упругость и перетащите Материал Гука в колонку Свойства материала. Задайте следующие параметры:

- Модуль Юнга:  $1e+9$ ;
- Коэффициент Пуассона: 0.25.

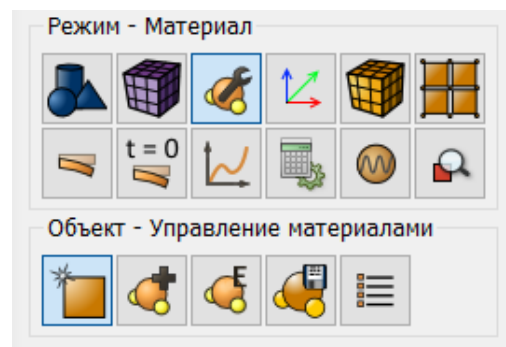
Разверните в левой колонке пункт Пластичность и перетащите Второй критерий прочности Друкера-Прагера в колонку Свойства материала. Задайте следующие параметры:

- Когезия:  $5.43712e+6$ ;
- Угол внутреннего трения: 21.43;
- Угол дилатансии: 21.43.

Разверните в левой колонке пункт Геомеханика и перетащите Изотропная модель Био в колонку Свойства материала. Задайте следующие параметры:

- Пористость: 0.25;
- Проницаемость:  $1e-12$ ;
- Вязкость жидкости: 0.005;
- Число Био: 1;
- Модуль упругости жидкости:  $1e+9$ .

Нажмите **Применить**.





Управление материалами

Свойства

- ▼ **Упругость**
  - > Материал Гука
  - > Материал Муни-Ривлина
  - > Материал Блейца-Ко
  - > Материал Мурнагана
  - > Ортотропный материал
  - > Трансверсально изотропный материал
- > **Общие**
- > **Прочность**
- ▼ **Пластичность**
  - > По Мизесу
  - > Первый критерий прочности Друкера...
  - > Второй критерий прочности Друкера-...
- > **Упрочнение**
- > **Температурные свойства**
- ▼ **Геомеханика**
  - > Изотропная модель Био
  - > Трансверсально изотропная модель Б...
  - > Ортотропная модель Био
- > **Преднапряжение**

Материал	ID
Материал 1	1
<i>Укажите имя материала</i>	

Импортированный материал

- Углеродистая сталь
- Сталь ГОСТ 4543-71
- Резина
- Кевлар
- Титан
- Бронза

Свойства    Напряжения/деформации

Свойства материала	Значение
▼ <b>Материал 1</b>	
▼ <b>Материал Гука</b>	
Модуль Юнга	1e+09
Коэффициент Пуассона	0.25
▼ <b>Второй критерий прочности Друкера-Прагера</b>	
Когезия	5.43712e+06
Угол внутреннего трения	21.43
Угол дилатансии	21.43
▼ <b>Изотропная модель Био</b>	
Пористость	0.25
Проницаемость	1e-12
Вязкость жидкости	0.005
Число Био	1
Модуль упругости жидкости	1e+09

Применить

## Построение сетки

1. На панели команд выберите модуль управление сетками (Режим — **Сетка**, Объект — **На кривых**, Действие — **Построение сетки**).

Укажите степень измельчения сетки:

- Выбор кривых: 8;
- Сгущение;
- Интервалы и сгущения;
- Изменить количество интервалов: 90;
- Коэф. сгущения: 1.05;
- Стартовая вершина: 7.

Нажмите **Применить**.

Режим - Сетка

Объект - На кривых

Действие - Построение сетки

2. На панели команд выберите модуль управление сетками (Режим — **Сетка**, Объект — **На кривых**, Действие — **Построение сетки**). Укажите степень измельчения сетки:

- Выбор кривых: 12;
- Сгущение;
- Интервалы и сгущения;
- Изменить количество интервалов: 90;
- Коэф. сгущения: 1.05;
- Стартовая вершина: 11.

Нажмите **Применить**.

3. На панели команд выберите модуль управление сетками (Режим — **Сетка**, Объект — **На кривых**, Действие — **Построение сетки**). Укажите степень измельчения сетки:

- Выбор кривых: 13 14(через пробел);
- Равномерно;
- Интервал: 30.

Нажмите **Применить**.

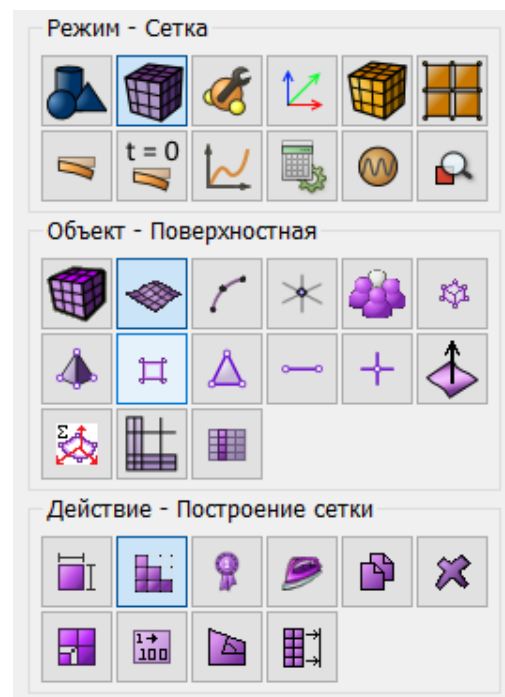
4. Постройте сетку.

На панели команд выберите модуль управление сетками (Режим — **Сетка**, Объект — **Поверхностная**, Действие — **Построение сетки**).

Укажите степень измельчения сетки:

- Автоматическая;
- Выбор поверхностей: all.

Нажмите **Построить сетку**.



## Задание граничных условий

1. Закрепите кривые 8 и 12 в направлении Y и X соответственно.

На панели команд выберите Режим — **Граничные условия**,  
Объект — **Перемещение**, Действие — **Создать**.

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объекта(ов): 8;
- Степени свободы: По Y;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объекта(ов): 12;
- Степени свободы: По X;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

2. Задайте поровое давление.

На панели команд выберите Режим — **Граничные условия**,  
Объект — **Поровое давление**, Действие — **Создать**.

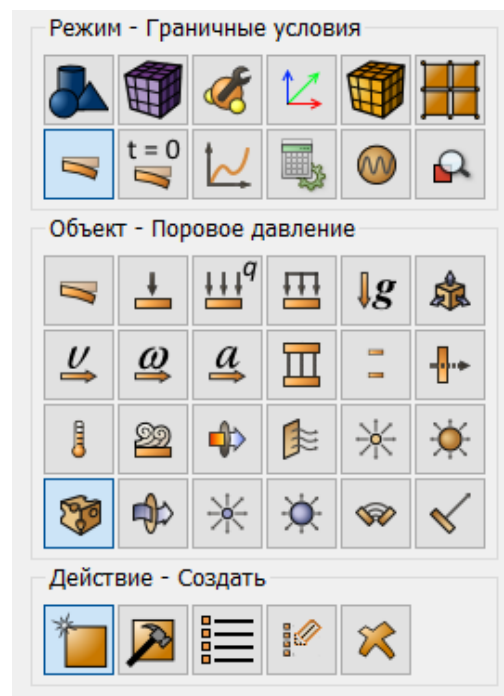
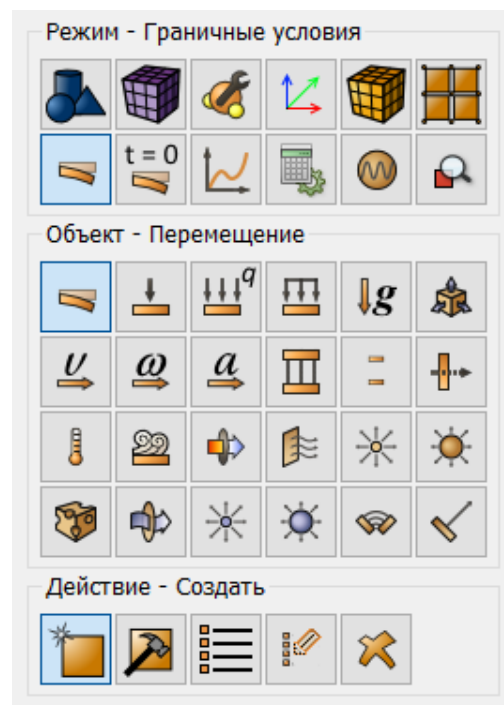
Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список сущностей: Кривая;
- ID объекта(ов): 13 14(через пробел);
- Значение:  $4e+7$ .

Нажмите **Применить**.

3. Задайте давление на кривых 13 и 14.

На панели команд выберите Режим — **Граничные условия**,  
Объект — **Давление**, Действие — **Создать**.



Задайте следующие параметры:

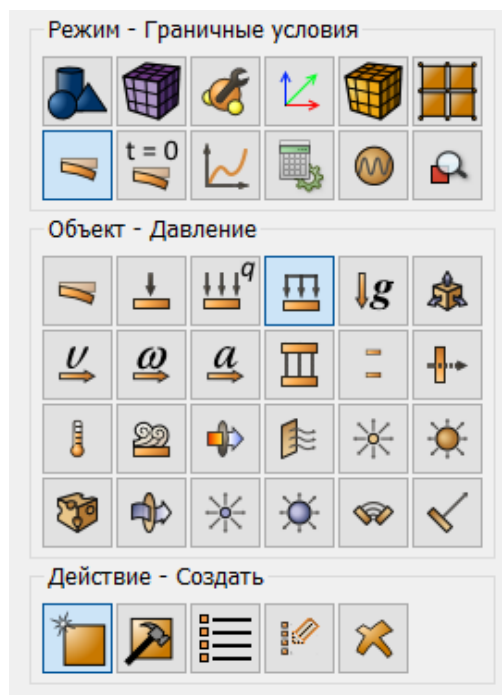
- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объектов: 13;
- Значение:  $4e+7$ .

Нажмите **Применить**.

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объекта(ов): 14;
- Значение:  $8e+7$ .

Нажмите **Применить**.



### Задание свойств блока

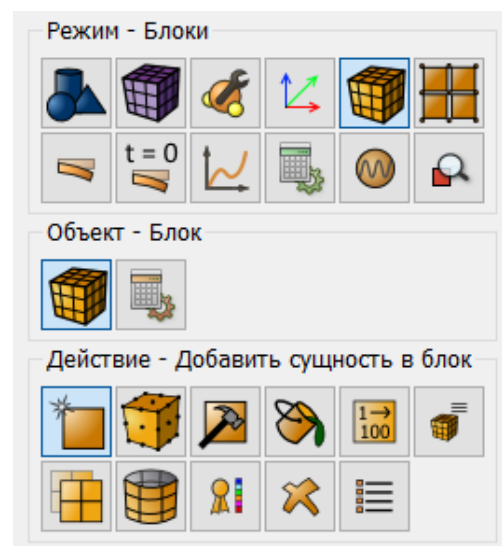
1. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль управление блоками (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Список сущностей: Поверхность;
- ID объекта(ов): all.

Нажмите **Применить**.



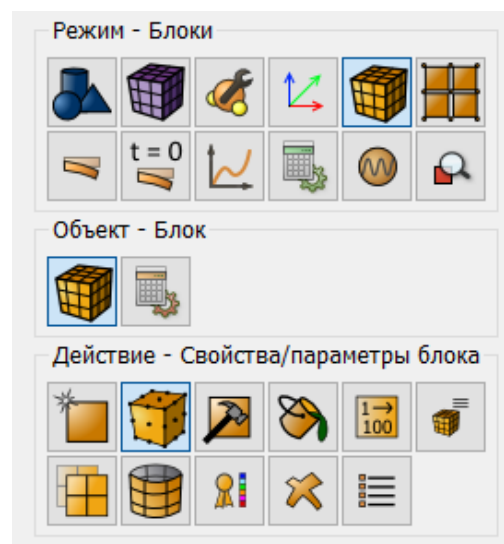
2. Задайте параметры блока.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Свойства/параметры блока**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Материал: Material 1;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Плоскость;
- Порядок: 2.

Нажмите **Применить**.



## Запуск расчёта

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

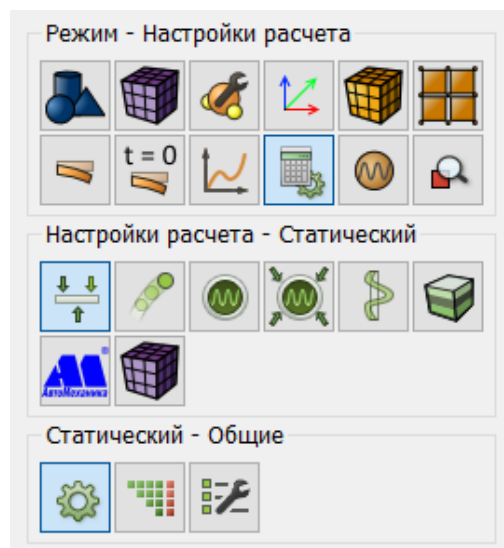
На панели команд выберите модуль настройки расчёта (Режим — **Настройки расчета**, Настройки расчета — **Статический**, Статический — **Общие**).

Выберите:

- Размерность 2D;
- Тип плоской задачи: Плоское деформированное состояние;
- Модель: Упругость, Пластичность, Пьезопроводность;
- Задать настройки нелинейного решателя;
- Мин. число подшагов нагружения: 30;
- Макс. число подшагов нагружения: 10000000;
- Макс. число итераций: 100;
- Точность: 1e-3;
- Целевое число итераций: 5.

Нажмите **Применить**.

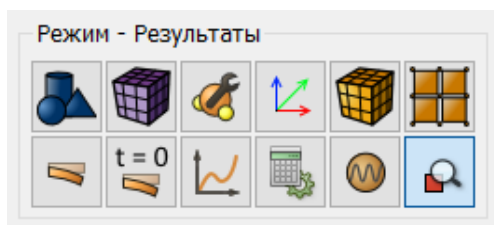
Нажмите **Начать расчет**.



## Анализ результатов

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

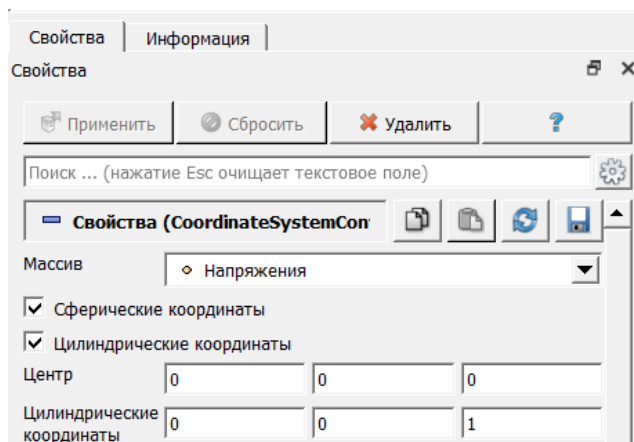
- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите **Расчёт** → **Результаты**. Нажмите **Открыть последний результат**.
- На панели команд выберите **Результаты**. Нажмите **Открыть результаты**.



2. Для анализа результатов перейдите в окно **Fidesys Viewer** .

3. На панели инструментов выберите пункт **Фильтры** → **Алфавитный указатель** → **Системы координат**. В открывшемся окне **Свойства** задайте:

- Массив: Напряжения;
- Центр: (0, 0, 0);
- Цилиндрические координаты: (0, 0, 1).



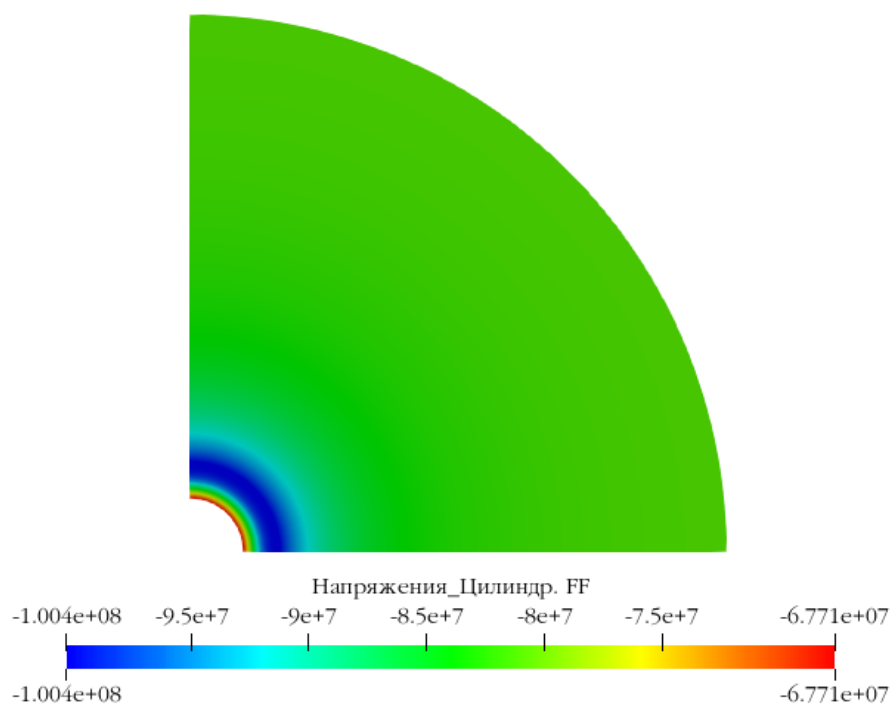
Нажмите **Применить**.

4. Отобразите компоненту  $\sigma_{\theta\theta}$  поля напряжений(цилиндр.) на модели.

На панели инструментов установите следующие параметры:

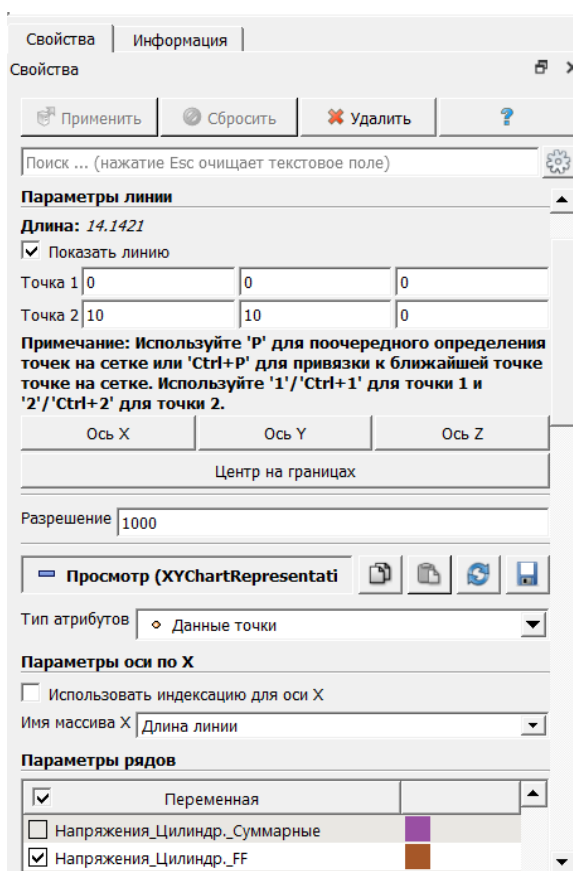
- Тип отображения: Поверхность;
- Поле отображения: Напряжения\_Цилиндр.;
- Компонента отображения: FF.

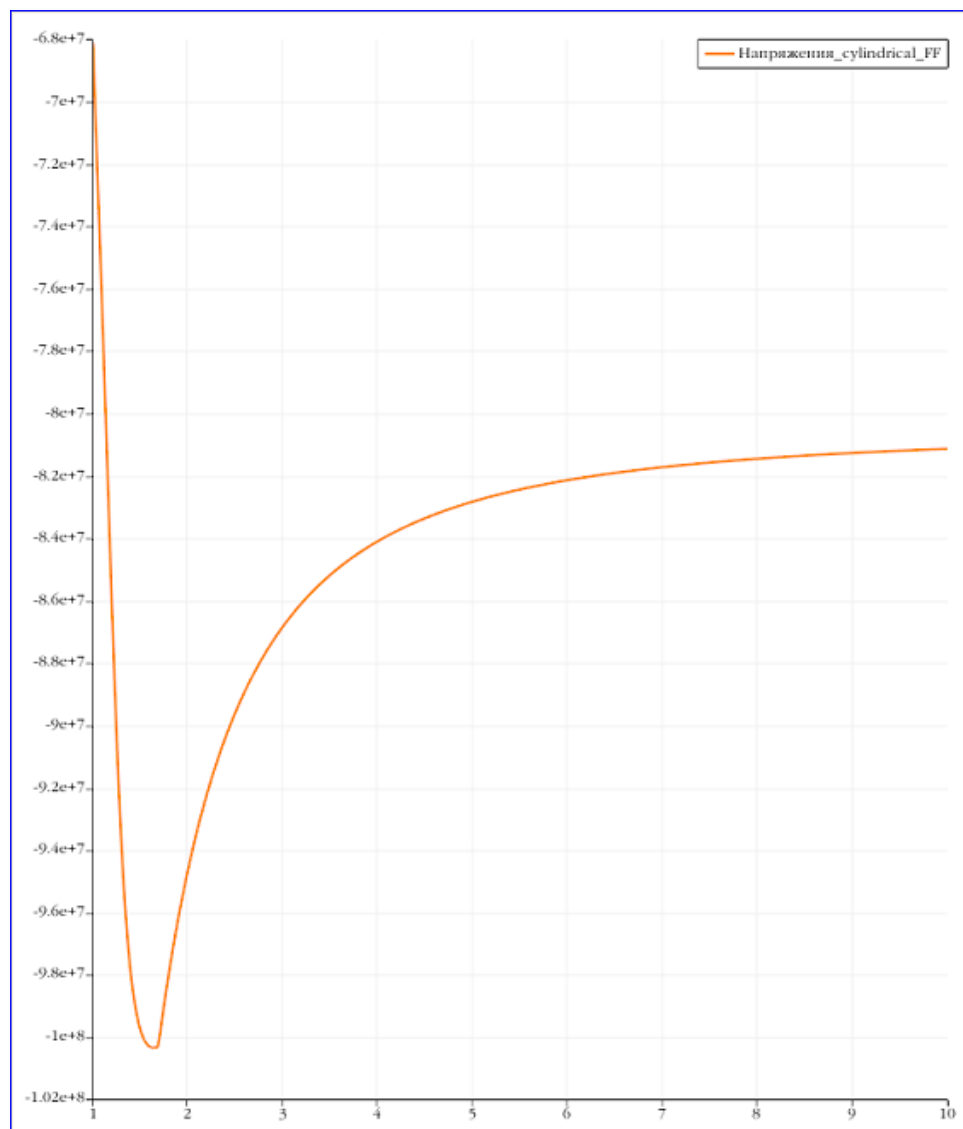




5. На панели инструментов выберите пункт **Фильтры** → **Алфавитный указатель** → **Построить график вдоль линии**. В открывшемся окне **Свойства** задайте:

- Нажмите Применить;
- Параметры рядов: поставьте флажок Напряжения\_Цилиндр\_FF.





### 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**.

```
reset
create surface circle radius 10 zplane
create surface circle radius 1 zplane
subtract surface 2 from surface 1
webcut body 1 with plane yplane offset 0
webcut body 3 with plane xplane offset 0
delete volume 4 1
create material 1
modify material 1 name 'Material 1'
modify material 1 set property 'MODULUS' value 1e+9
modify material 1 set property 'POISSON' value 0.25
modify material 1 set property 'COHESION' value 5.43712e+6
modify material 1 set property 'INT_FRICTION_ANGLE' value 21.43
modify material 1 set property 'DILATANCY_ANGLE' value 21.43
modify material 1 set property 'POROSITY' value 0.25
```

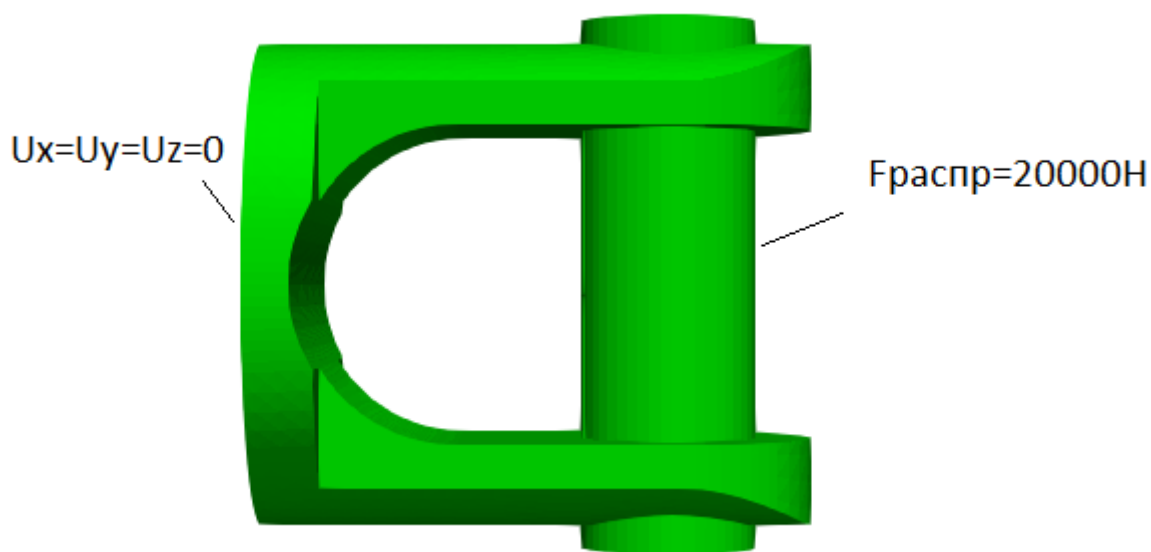




```
modify material 1 set property 'PERMEABILITY' value 1e-12
modify material 1 set property 'FLUID_VISCOCITY' value 0.005
modify material 1 set property 'BIOT_ALPHA' value 1
modify material 1 set property 'FLUID_BULK_MODULUS' value 1e+9
modify material 1 set property 'FLUID_DENSITY' value 1000
curve 8 interval 90
curve 8 scheme bias factor 1.05 start vertex 7
curve 12 interval 90
curve 12 scheme bias factor 1.05 start vertex 11
curve 13 14 interval 30
curve 13 14 scheme equal
surface all scheme auto
mesh surface all
create displacement on curve 8 dof 2 fix 0
create displacement on curve 12 dof 1 fix 0
create porepressure on curve 13 14 value 4e+7
create pressure on curve 13 magnitude 4e+7
create pressure on curve 14 magnitude 8e+7
block 1 add surface 6
block 1 material 1 cs 1 element plane order 2
analysis type static plasticity porefluidtrans elasticity dim2 planestrain
nonlinearopts maxiters 100 minloadsteps 30 maxloadsteps 10000000 tolerance 1e-6
targetiter 5
calculation start path "d:\example_17.pvd"
```

## Пример приложения распределенной по поверхности силы.

Рассматривается упрощенная модель вилки со штифтом. К центральной части штифта приложена растягивающая сила  $F=20000\text{ Н}$ , распределенная по поверхности.

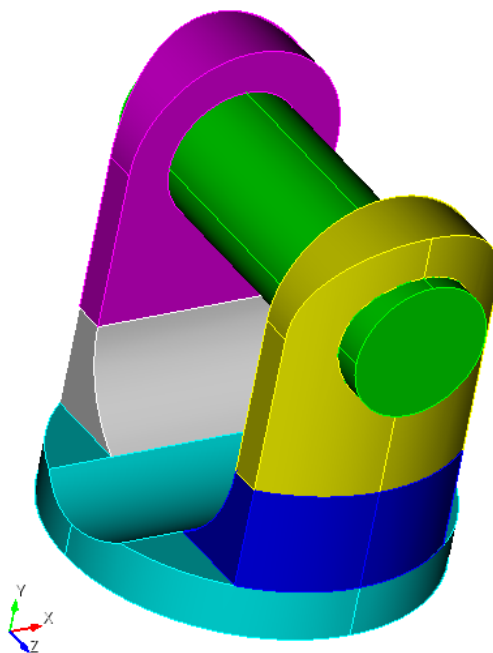
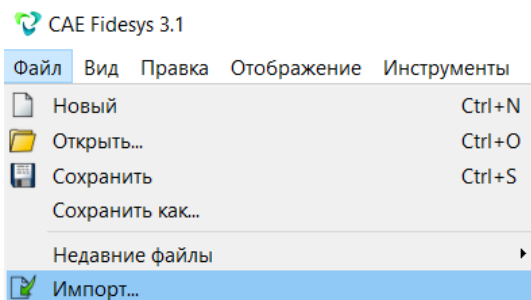


### Загрузка модели.

1.Импортируйте геометрию.

Откройте модель `shtift.stp`

В верхней строке выберите Меню — **Файл** — **Импорт**. Укажите путь до файла `shtift.stp`. В появившемся окне нажмите Готово, оставив все параметры по умолчанию.



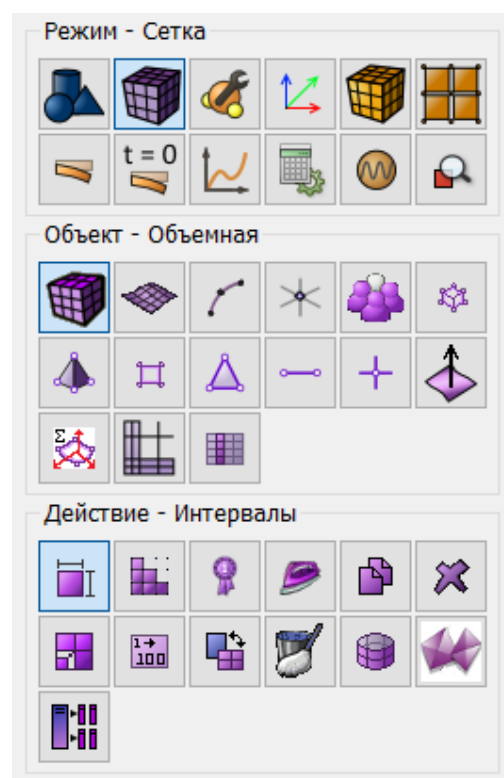
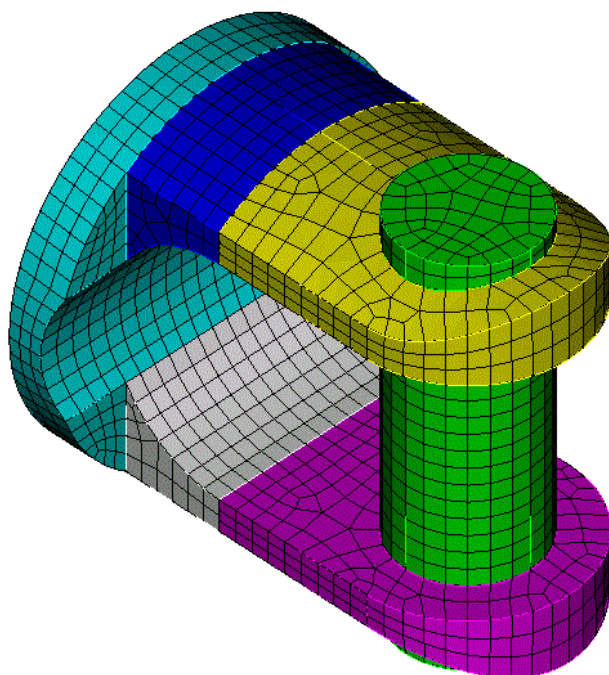
## Построение конечно-элементной сетки

1. На панели команд выберите модуль построения объемной сетки (Режим — **Сетка**, Объект — **Объемная**, Действие — **Интервалы**).

Задайте:

- В выпадающем списке выберите: Автоматическая;
- Выбор объемов: all;

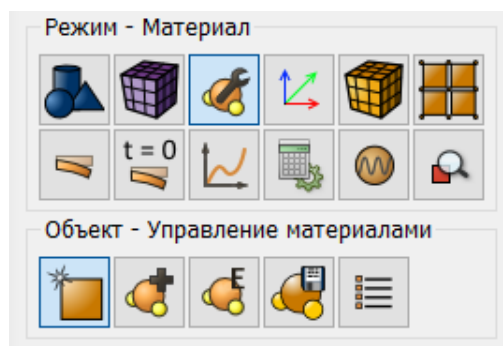
Нажмите **Применить**. **Построить Сетку**



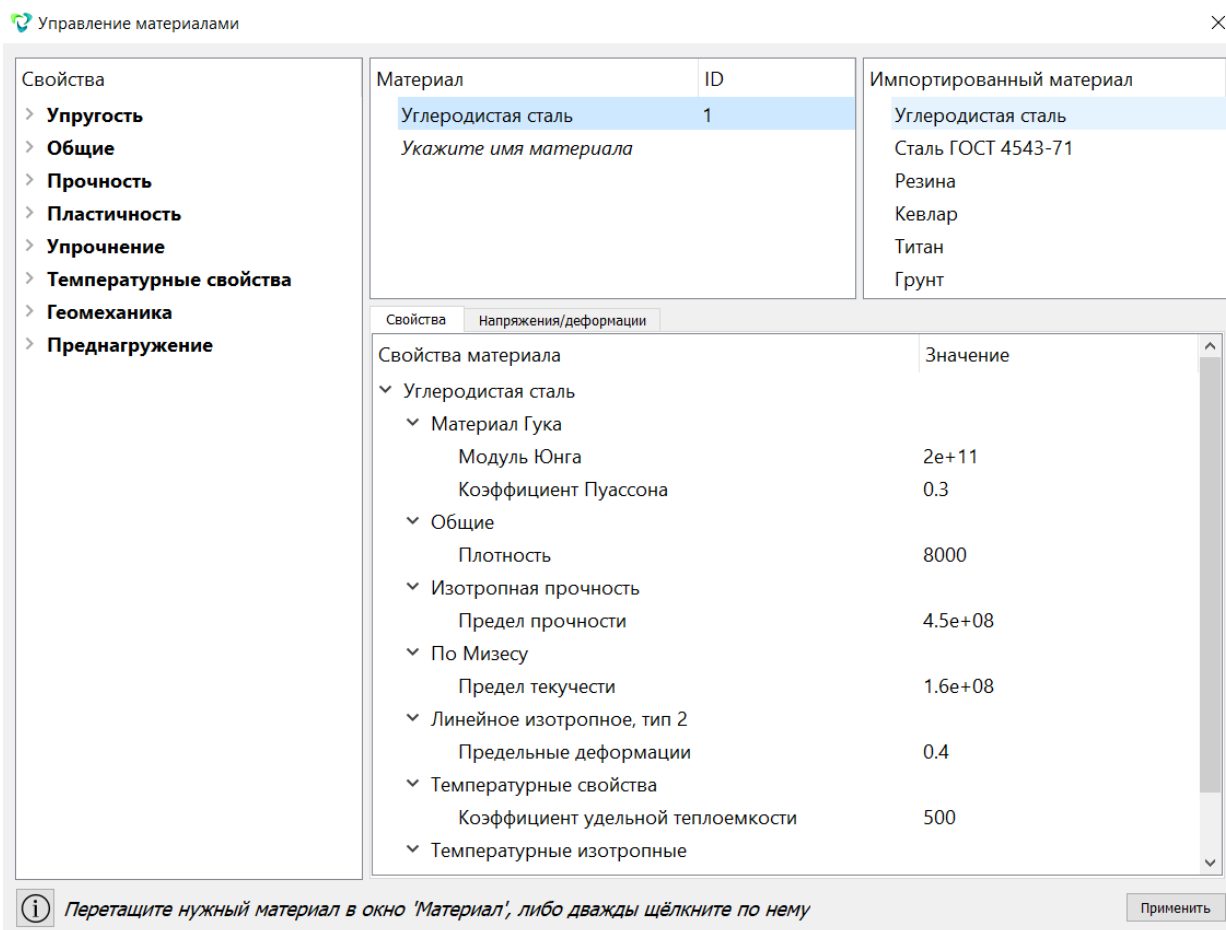
## Задание материала и свойств блока.

1. Создайте материал.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**).



В открывшемся окне Управление материалами из третьей колонки во вторую перенесите материал «Углеродистая сталь».



Нажмите **Применить**. Закройте окно.

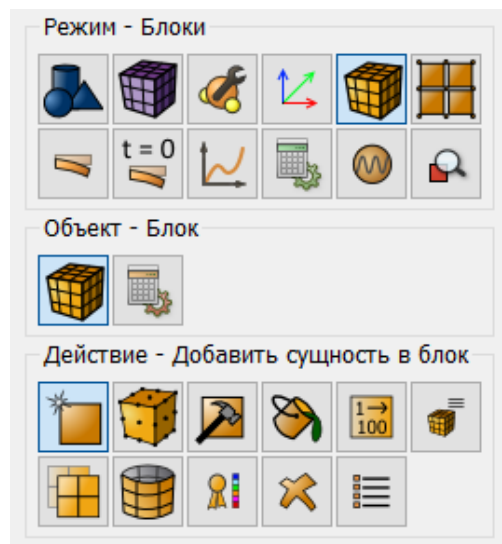
2. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**.

Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Выберите объекты, которые будут объединены в блок: Объем;
- ID объекта(ов): all.

Нажмите **Применить**.



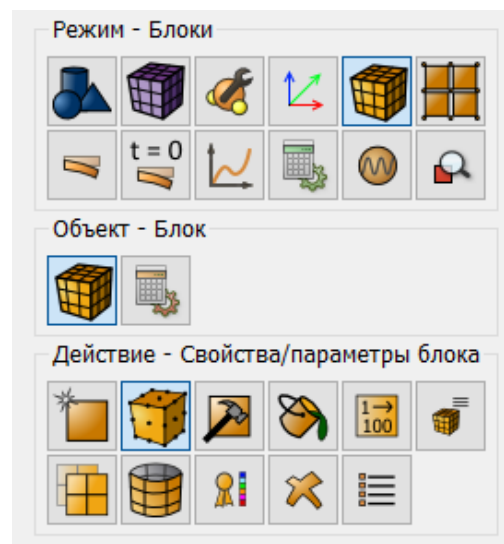
### 3. Задайте параметры блока.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Свойства/параметры блока**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Материал: Углеродистая сталь;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Объемное тело;
- Порядок: 2.

Нажмите **Применить**.



### Задание граничных условий

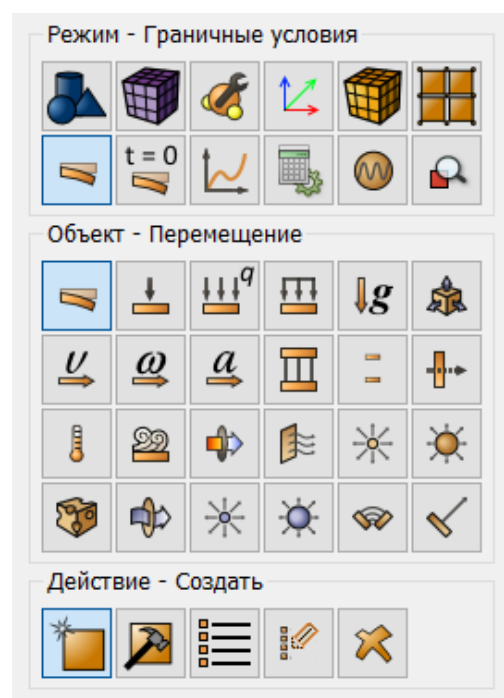
1. Закрепите боковые стороны детали из условия симметрии.

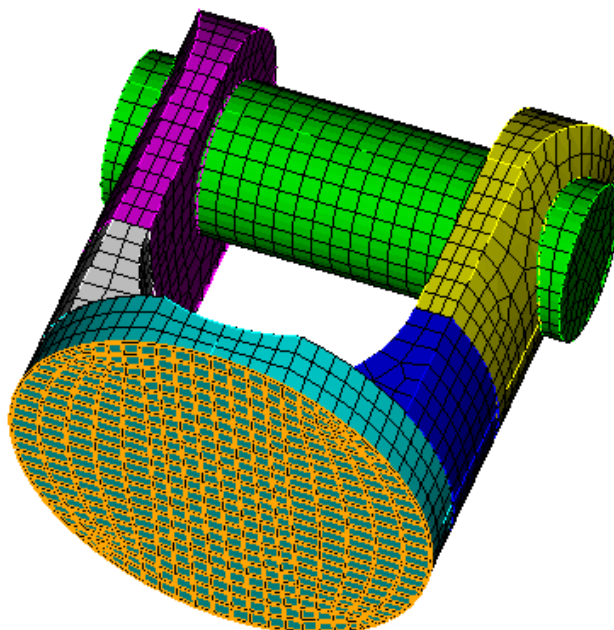
На панели команд выберите Режим — **Граничные условия**, Объект — **Перемещение**, Действие — **Создать**.

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 48;
- Степени свободы: Все;
- Величина: 0 (можно не заполнять).

Нажмите **Применить**.





2. Задайте распределенную по поверхности силу  $F=20000$  Н

На панели команд выберите Режим — **Граничные условия**,  
Объект - **Распределенная сила**, Действие — **Создать**.

Задайте следующие параметры:

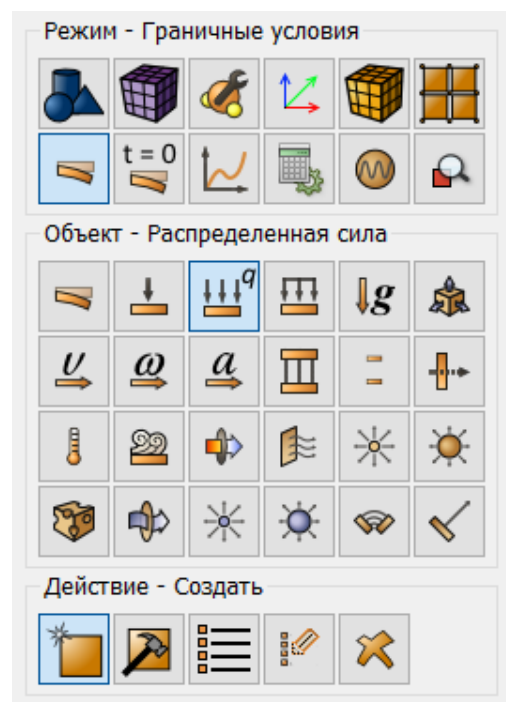
- Автоматическое присвоение ID;
- Список сущностей: Поверхность;
- ID: 14 1 9
- Сила:  $\{20000/350.854\}$  (в фигурных скобках)

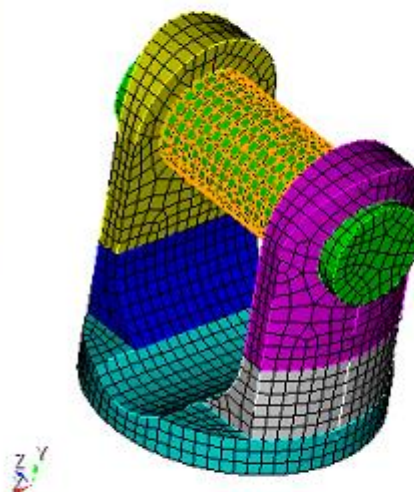
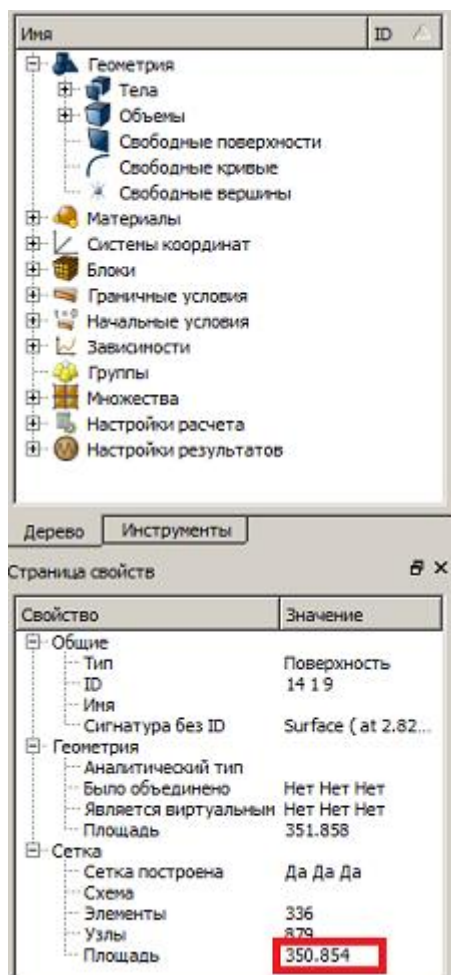
Нажмите **Применить**.

Вектор направления: (0 1 0) (положительное направление оси  $y$ )

Выражение в скобках  $\{ \}$  означает использование встроенного языка Аргерго. Для задания распределенной по поверхности силы в пакете CAE Fidesys необходимо значение силы разделить на площадь поверхности.

Площадь поверхности можно узнать в Дереве слева. Для этого нужно выделить мышью три поверхности в Дереве или на модели. На странице Свойств появится их площадь 350.854.





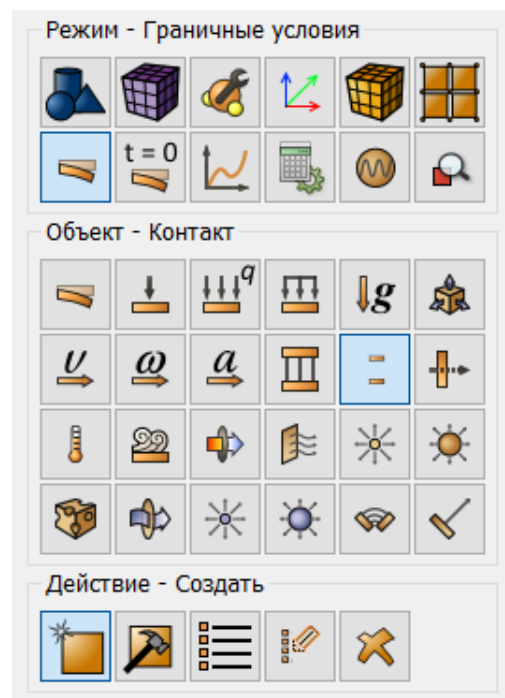
### 3. Задание условия контакта.

На панели команд выберите Режим — **Граничные условия**, Объект — **Контакт**, Действие — **Создать**.

Задайте следующие параметры:

- Автовыбор;
- Список сущностей: Глобально;
- Коэффициент трения: 0;
- Отступ: 0.0005;
- Тип: Связанный;
- Метод: Автовыбор.

Нажмите **Применить**.



## Запуск расчета

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим — **Настройки расчёта**, Настройки расчета — **Статический**, Статический — **Общие**).

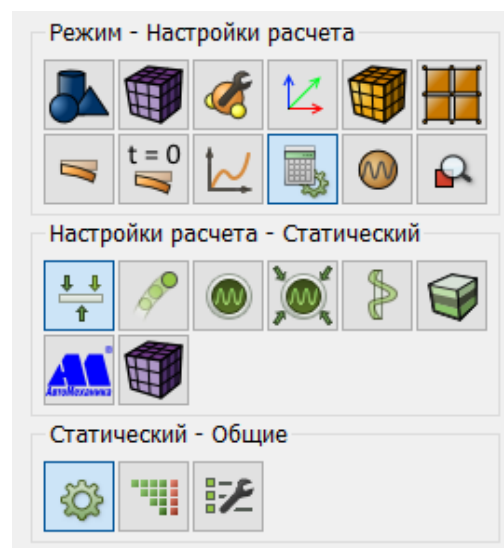
Задайте следующие параметры расчета:

- Размерность: 3D;
- Модель: Упругость.

Нажмите **Применить**.

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".

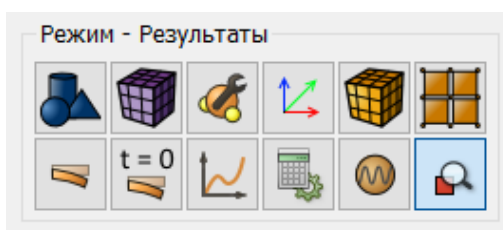


## Анализ результатов

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 Результаты (Режим — Результаты, Результаты — Открыть Результаты).



Появится окно **Fidesys Viewer**, в котором вы сможете ознакомиться с результатами расчёта.

## Анализ результатов

Откройте файл с результатами. Это можно сделать тремя способами:

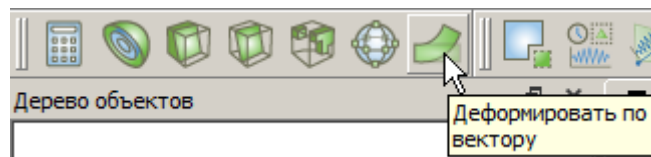
- Нажмите Ctrl+E.
- В главном меню выберите **Расчёт** → **Результаты**. Нажмите **Открыть последний результат**.



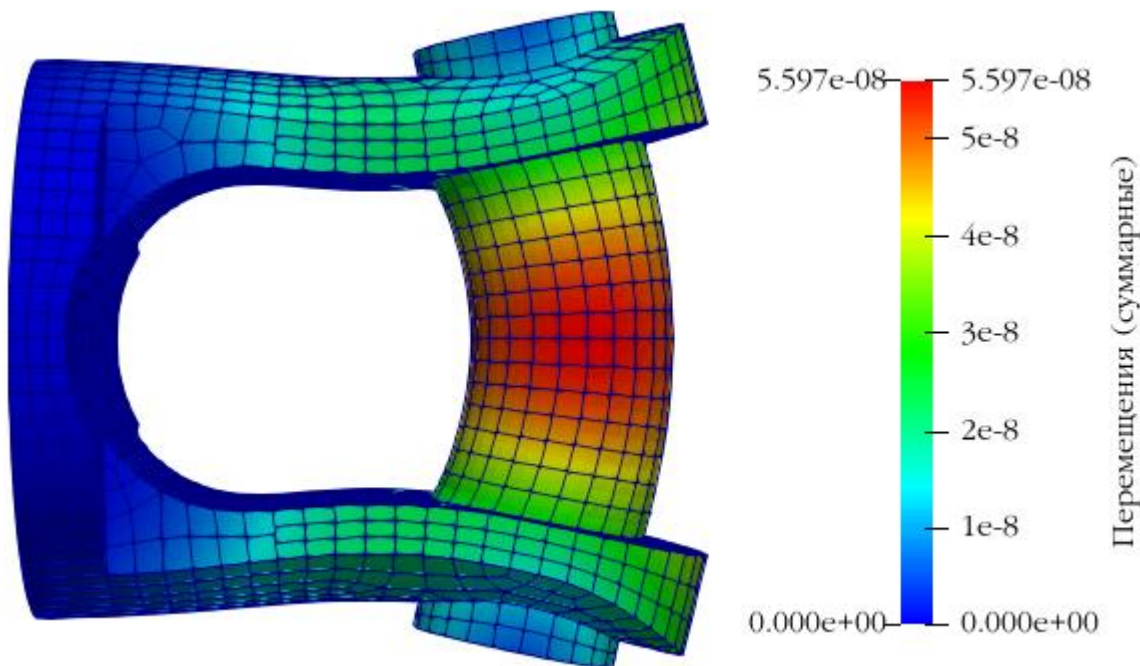
- На панели команд выберите Результаты (Режим — Результаты, Результаты — Открыть Результаты).

Появится окно **Fidesys Viewer**, в котором вы сможете ознакомиться с результатами расчёта.

Отобразите перемещения для деформированного вида модели.



На странице Свойств Укажите Множитель масштаба 5e8.



Перейдите во вкладку Информация для всей модели. Найдите Поле "Суммарная внешняя сила". Значения в этих полях для второй компоненты должно равняться 20000.

Массивы данных

Текущее время данных: 1

Имя	Тип данных
Прочностные свойства	[1.6e+08, 1.6e+08], [4.5e+08, 4.5e+08]
Напряжения	[-217.54, 595.982], [-420.937, 1276.74], [-693.11, 943.941], [-3e...
ID блока	[1, 1]
Глобальный ID элемента	[1, 3812]
ID материала	[1, 1]
Суммарная внешняя сила	[0, 0] [20057.2, 20057.2] [0, 0]
Суммарный внешний момент	[3.76588e-11, 3.76588e-11], [0, 0], [-1.26992e-11, -1.26992e-11]
Суммарная сила реакции	[-2.81981, -2.81981], [-14761.4, -14761.4], [16.164, 16.164]
Суммарный момент реакции	[2381, 2381], [452.682, 452.682], [-5896.28, -5896.28]

## Использование консольного интерфейса

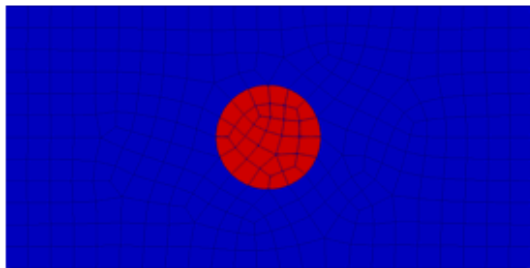
Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса. Ниже приведён код программы, позволяющий выполнить шаги описанного выше руководства, необходимо только **самостоятельно указать полный путь и название сохраняемого файла**.

```
reset
import step "C:/Program Files/Fidesys/CAE-Fidesys-
3.1a/preprocessor/bin/help/fidesys_example_tutorials/distrib_force/images/shtift.stp"
heal
volume all size auto factor 5
mesh volume all
create material 1 from 'Углеродистая сталь'
block 1 add volume all
block 1 material 1
block all element solid order 2
create displacement on surface 48 dof all fix 0
create distributed force on surface 1 9 14 force value {20000/350.854} moment value 0
direction 0 1 0
create contact autoselect friction 0.0 offset 0.0005 ignore_overlap off type tied method
auto
analysis type static elasticity dim3
output nodalforce on energy off midresults on record3d on log on vtu on material off
calculation start path 'D:/results/example_19.pvd'
```

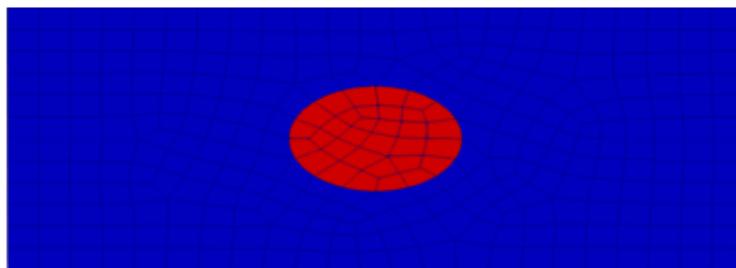
## Задача со сменой материала.

В данном примере рассматривается задача о пошаговом нагружении пластины с включением. При этом в процессе нагружения свойства материала, из которого состоит включение, меняются (алюминий заменяется медью на третьем шаге). Схема нагружения приведена ниже.

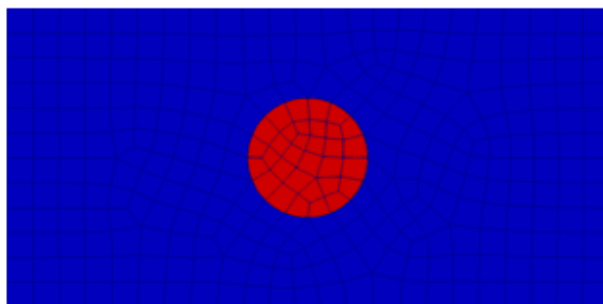
Шаг 1



Шаг 2



Шаг 3



## Геометрическая модель

1.Создайте прямоугольник.

На панели команд выберите Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие **Создать**.

Из списка геометрических примитивов выберите **Прямоугольник**.

Задайте размеры прямоугольника:

- Ширина: 5;
- Высота: 10;
- Z-плоскость.

Нажмите **Применить**.

2.Создайте круг радиусом 1.

Из списка геометрических примитивов выберите **Круг**. Задайте размеры круга:

- Указать используемую окружность: Радиус;
- Радиус: 1;
- Z-плоскость.

Нажмите **Применить**.

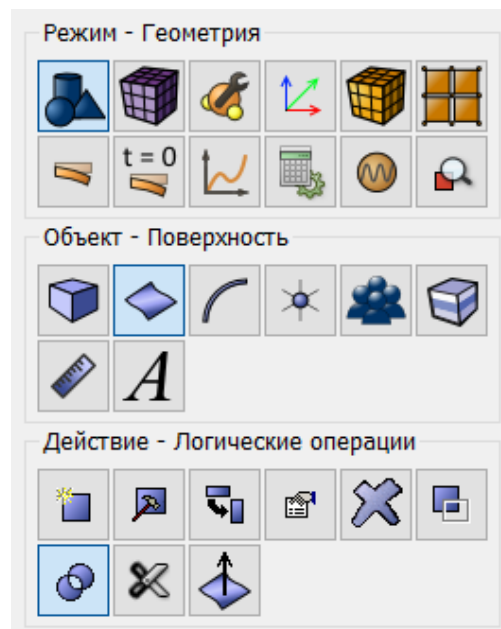
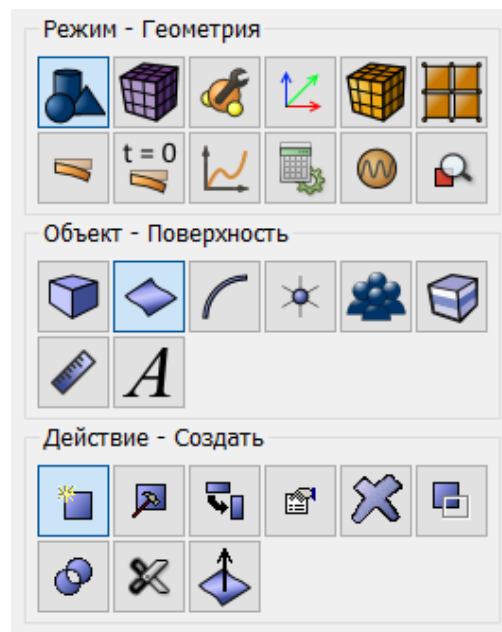
3.Вычтите из прямоугольника круг, сохраняя обе поверхности;

На панели команд выберите Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие **Логические операции**.

Из списка операций выберите **Вычесть**. Задайте следующие параметры:

- ID тел: 1;
- Вычесть тела (ID): 2;
- Выберите Сохранять оригиналы.

Нажмите **Применить**.



4. Удалите поверхность 1.

Для этого выберите в дереве объектов эту поверхность и в контекстном меню нажмите **Удалить**.

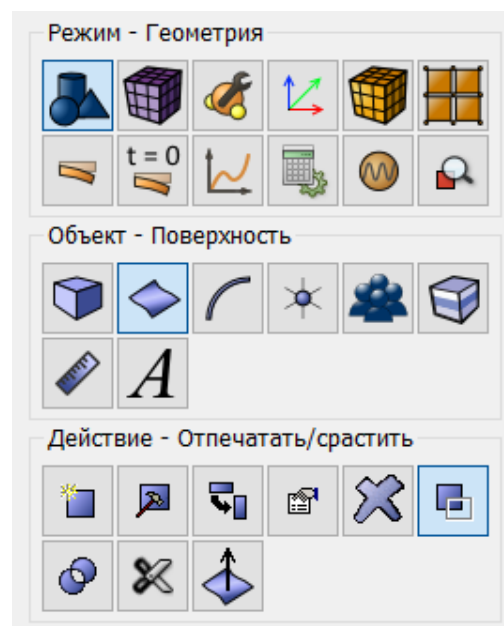
5. Срастите все кривые.

На панели команд выберите Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие **Отпечатать/срастить**.

Из списка операций выберите **Срастить**. Задайте следующие параметры:

- ID поверхности(ей): all.

Нажмите **Применить**.



6. Воспользуйтесь командой `compress all`, чтобы изменить нумерацию поверхностей. Введите в командную строку:

*compress all*

## Построение сетки

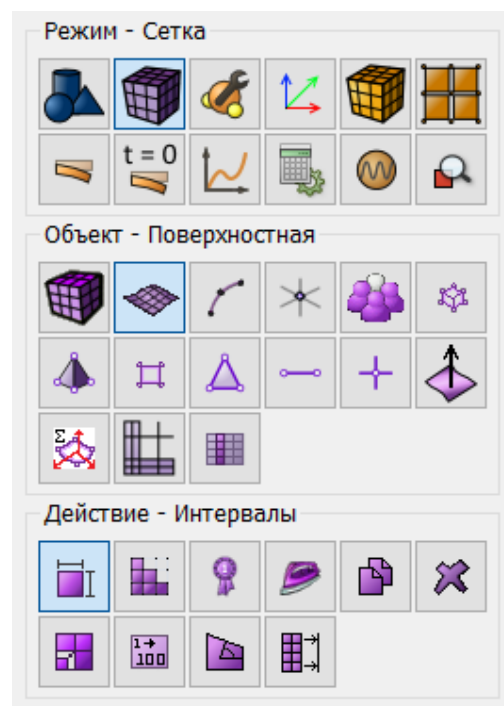
Постройте прямоугольную конечно-элементную сетку.

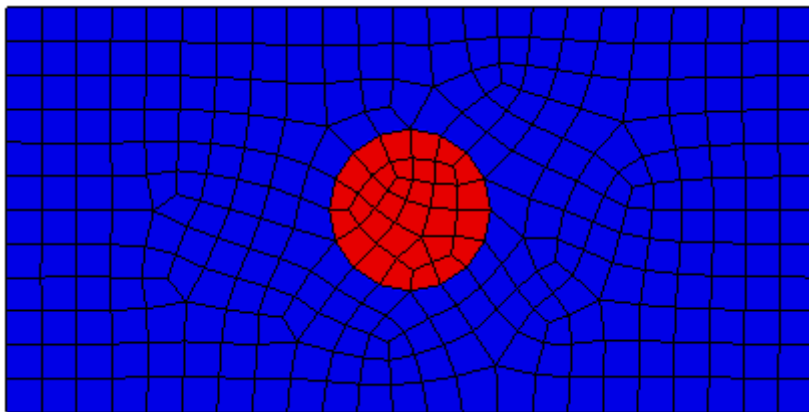
1. В командной строке напишите `set default element hex`.

На панели команд выберите модуль построения поверхностной сетки (Режим — **Сетка**, Объект — **Поверхность**, Действие — **Построение сетки**).

- Выберите Автоматический размер;
- Выбор поверхностей: all.

Нажмите **Задать размер**. Нажмите **Построить сетку**.



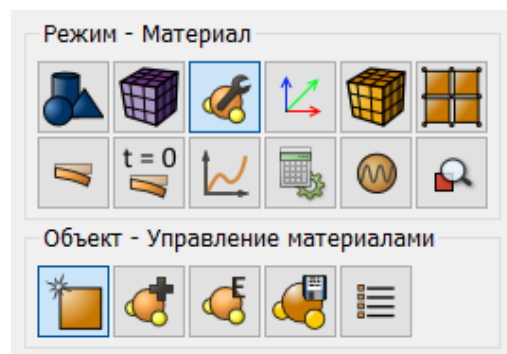


## Задание материалов

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**).

1. Углеродистая сталь:

- Модуль Юнга  $E = 2e11$  Па;
- Коэффициент Пуассона  $\nu = 0.3$ .



Управление материалами

Свойства	Материал	ID	Импортированный материал
> Упругость	Углеродистая сталь	1	Углеродистая сталь
> Общие	Алюминий	2	Сталь ГОСТ 4543-71
> Прочность	Медь	3	Резина
> Пластичность	<i>Укажите имя материала</i>		Кевлар
> Упрочнение			Титан
> Температурные свойства			Грунт
> Геомеханика			
> Преднапряжение			

Свойства	Напряжения/деформации	Значение
Свойства материала		
Углеродистая сталь		
Материал Гука		
Модуль Юнга		2e+11
Коэффициент Пуассона		0.3
Общие		
Плотность		8000
Изотропная прочность		
Предел прочности		4.5e+08
По Мизесу		
Предел текучести		1.6e+08
Линейное изотропное, тип 2		
Предельные деформации		0.4
Температурные свойства		
Коэффициент удельной теплоемкости		500
Температурные изотропные		
Коэффициент теплопроводности		45
Коэффициент температурного расширения		1.2e-05

Применить

## 2. Алюминий:

- Модуль Юнга  $E = 0.7e11$  Па;
- Коэффициент Пуассона  $\nu = 0.34$ .

Управление материалами

Свойства	Материал	ID	Импортированный материал
> Упругость	Углеродистая сталь	1	Углеродистая сталь
> Общие	Алюминий	2	Сталь ГОСТ 4543-71
> Прочность	Медь	3	Резина
> Пластичность	<i>Укажите имя материала</i>		
> Упрочнение			
> Температурные свойства			
> Геомеханика			
> Преднапряжение			

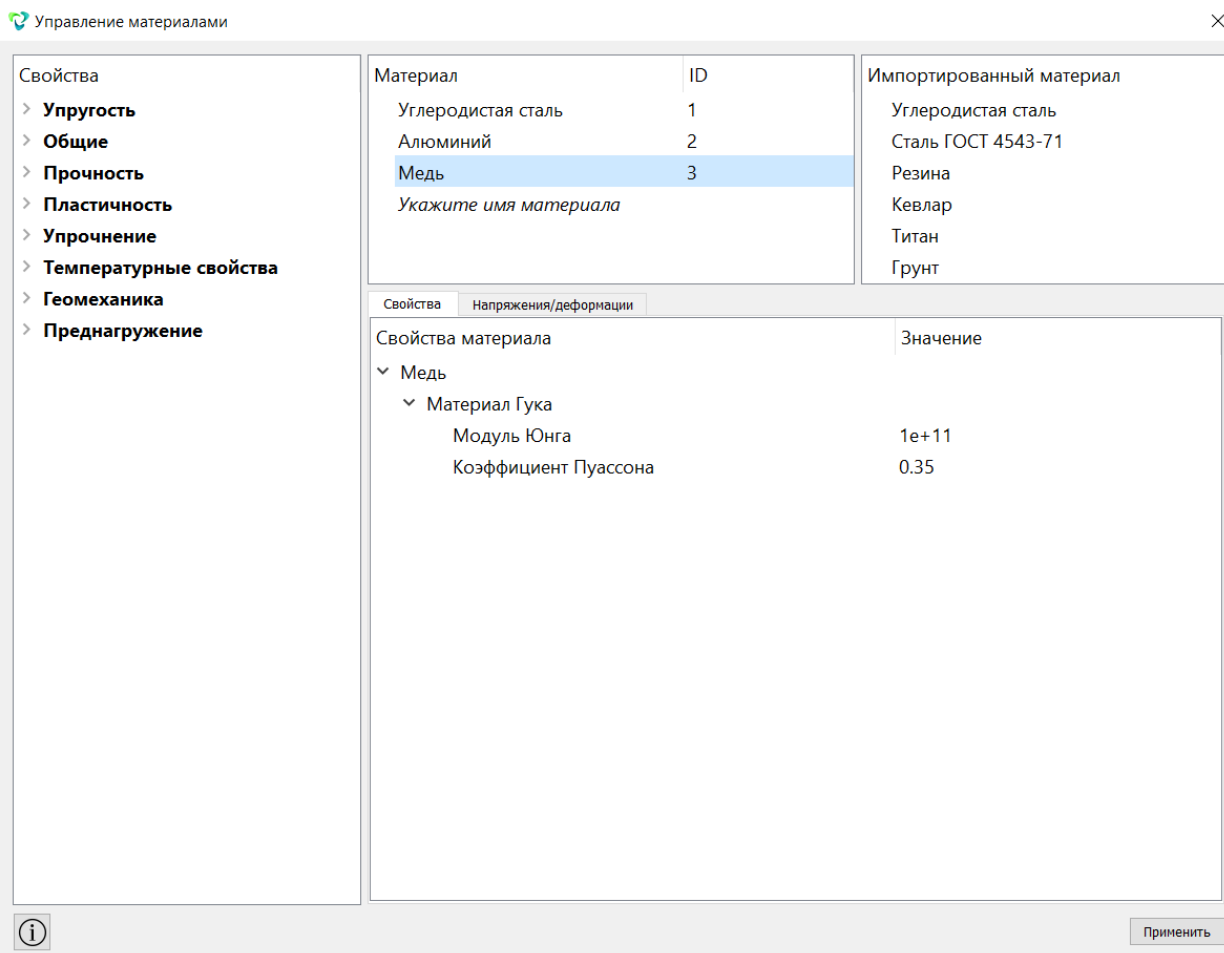
  

Свойства	Напряжения/деформации
Свойства материала	
▼ Алюминий	
▼ Материал Гука	
Модуль Юнга	7e+10
Коэффициент Пуассона	0.34

Применить

## 3. Медь:

- Модуль Юнга  $E = 1e11$  Па;
- Коэффициент Пуассона  $\nu = 0.35$ .



## Задание свойств блока

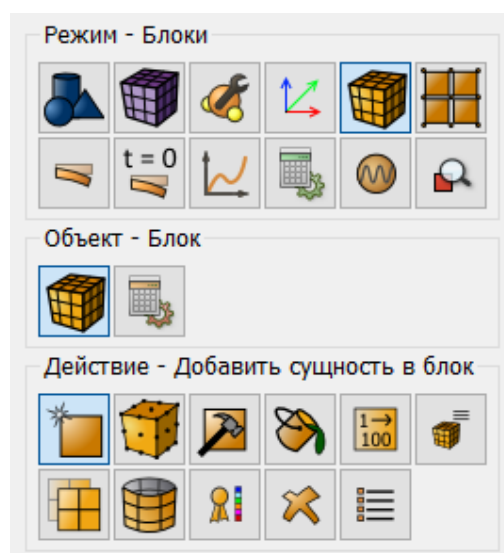
1. Создайте 2 блока "Матрица" и "Включение".

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**).

Задайте следующие параметры:

- Создайте блок №1 "Матрица" из поверхности 2;
- Создайте блок №2 "Включение" из поверхности 1.

Нажмите **Применить**.



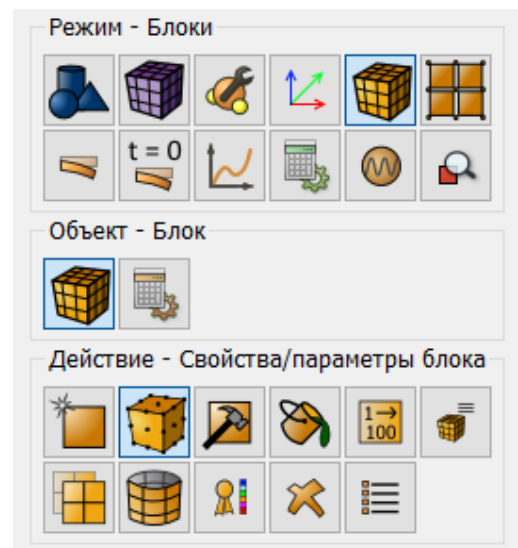
## 2. Задайте параметры для блока №1.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Свойства/параметры блока**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Материал: Углеродистая сталь;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Плоскость;
- Порядок: 2.

Нажмите **Применить**.



## 3. Задайте параметры для блока №2.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Свойства/параметры блока**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 2;
- Материал: Алюминий;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Плоскость;
- Порядок: 2.

Нажмите **Применить**.



## Задание граничных условий

1. Закрепите левую сторону по всем направлениям:

На панели команд выберите Режим — **Граничные условия**, Объект — **Перемещение**, Действие — **Создать**.

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список сущностей: Кривая;
- ID объектов: 3;
- Степени свободы: Все.

Нажмите **Применить**.

2. Закрепите верх и низ по направлению:

На панели команд выберите Режим — **Граничные условия**, Объект — **Перемещение**, Действие — **Создать**.

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список сущностей: Кривая;
- ID объектов: 2 4;
- Степени свободы: по Y.

Нажмите **Применить**.

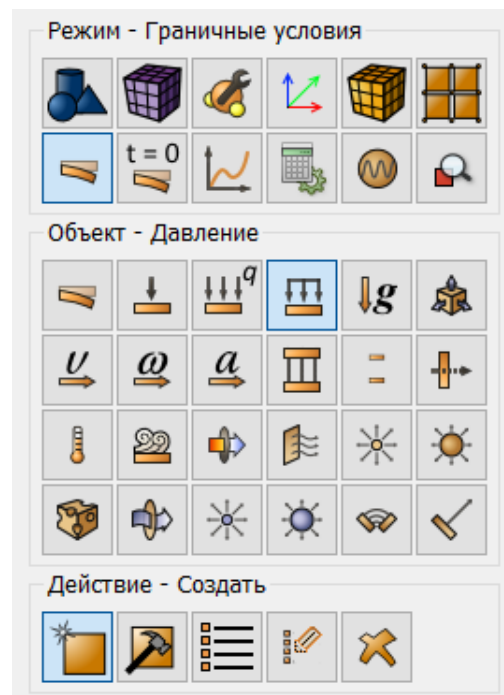
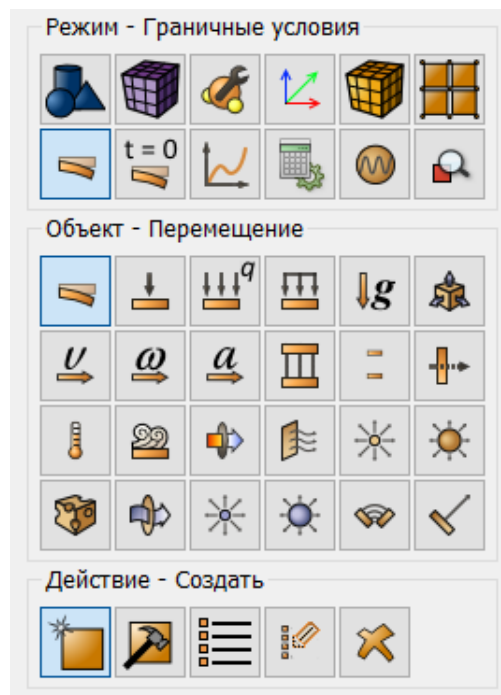
3. Приложите давление:

На панели команд выберите Режим — **Граничные условия**, Объект — **Давление**, Действие — **Создать**.

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объекта(ов): 5;
- Значение: 1.

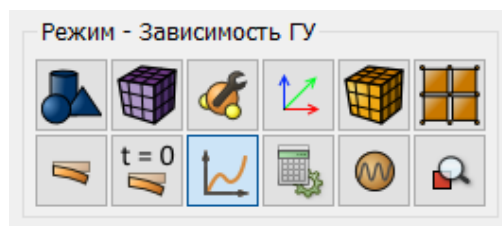
Нажмите **Применить**.



#### 4. Задайте табличную зависимость для давления.

На панели команд выберите Режим — **Зависимость ГУ**.

В окне Зависимость ГУ выберите Давление, перейдите во вкладку Таблица и заполните строки следующим образом:



Зависимость ГУ

×

Тип ГУ	Имя ГУ	ID
Перемещение		1
Перемещение		2
Давление		1

Время	Значение
1	-1000
2	-1000
3	0

Формула    Таблица    График

Время  
 X  
 Y  
 Z  
 Температура  
 Частота  
 Узел  
 Элемент

Импорт...  
Экспорт...  
Очистить

Применить


Нажмите **Применить**.

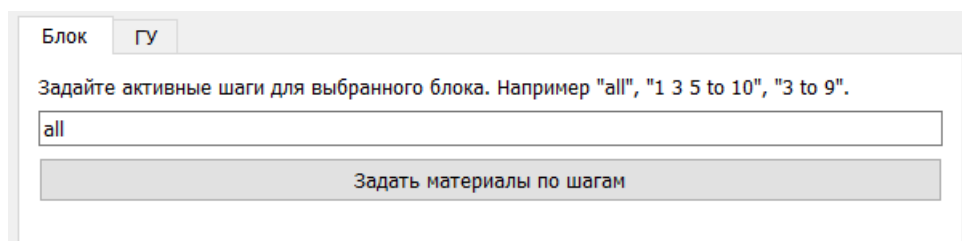
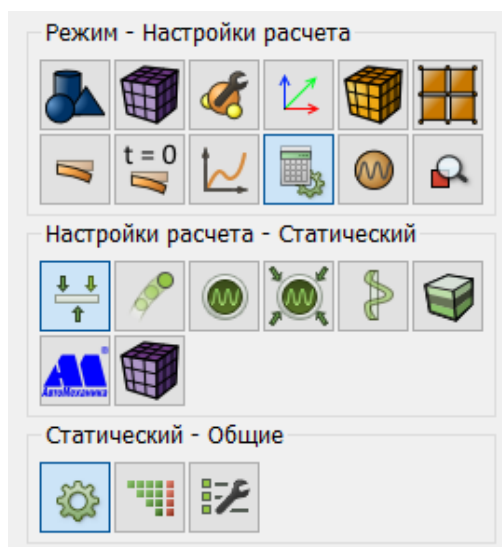
## Запуск расчёта.

1. На панели команд выберите Режим — **Настройки расчета**, Настройки расчета — **Статический**, Статический — **Общие**.

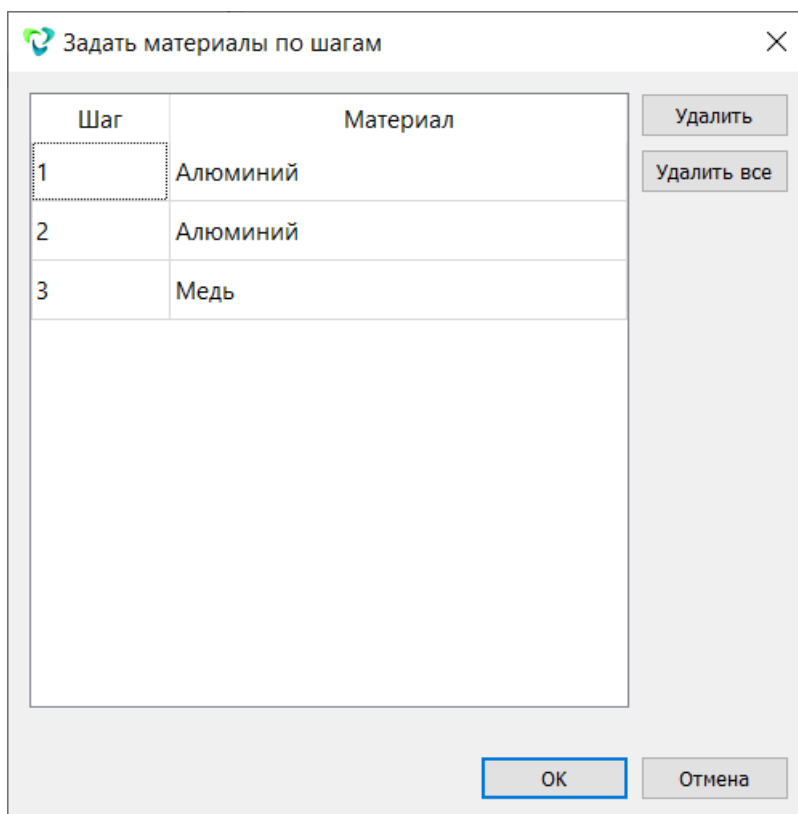
Задайте следующие параметры:

- Размерность: 2D;
- Тип плоской задачи: плоское деформированное состояние;
- Модель: упругость;
- Число шагов нагружения: 3.

Нажмите на кнопку  напротив поля с заданием числа шагов нагружения. В появившемся окне Настройки шагов нагружения нажмите на кнопку **Задать материалы по шагам**.



Далее, укажите в табличном виде номер шага и выберите из списка материал.



Нажмите **ОК**. На панели команд нажмите **Применить**.

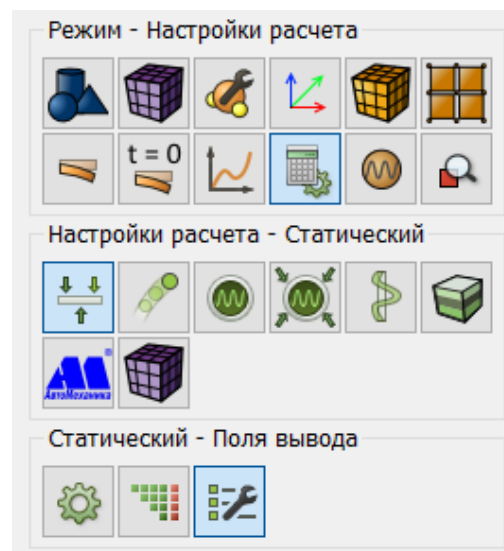
Перейдите в раздел **Поля вывода**.

Поставьте галочку напротив Выводить свойства материала.

Нажмите **Применить**. Нажмите **Начать расчет**.

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".

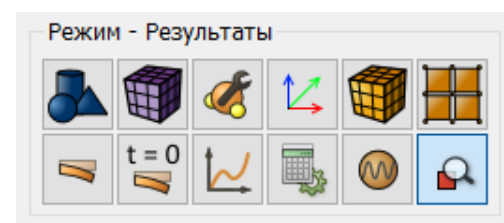


## Анализ результатов

1. Откройте файл с результатами.

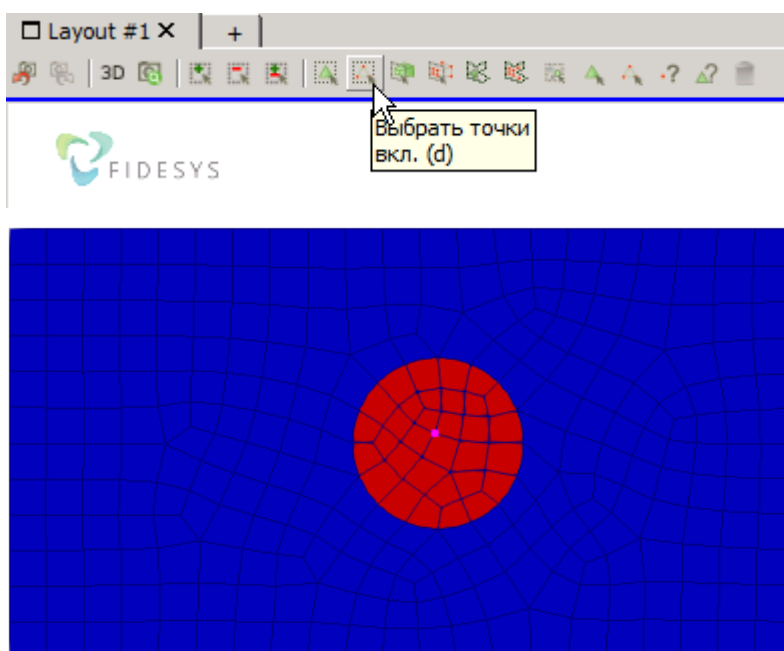
Это можно сделать тремя способами:

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

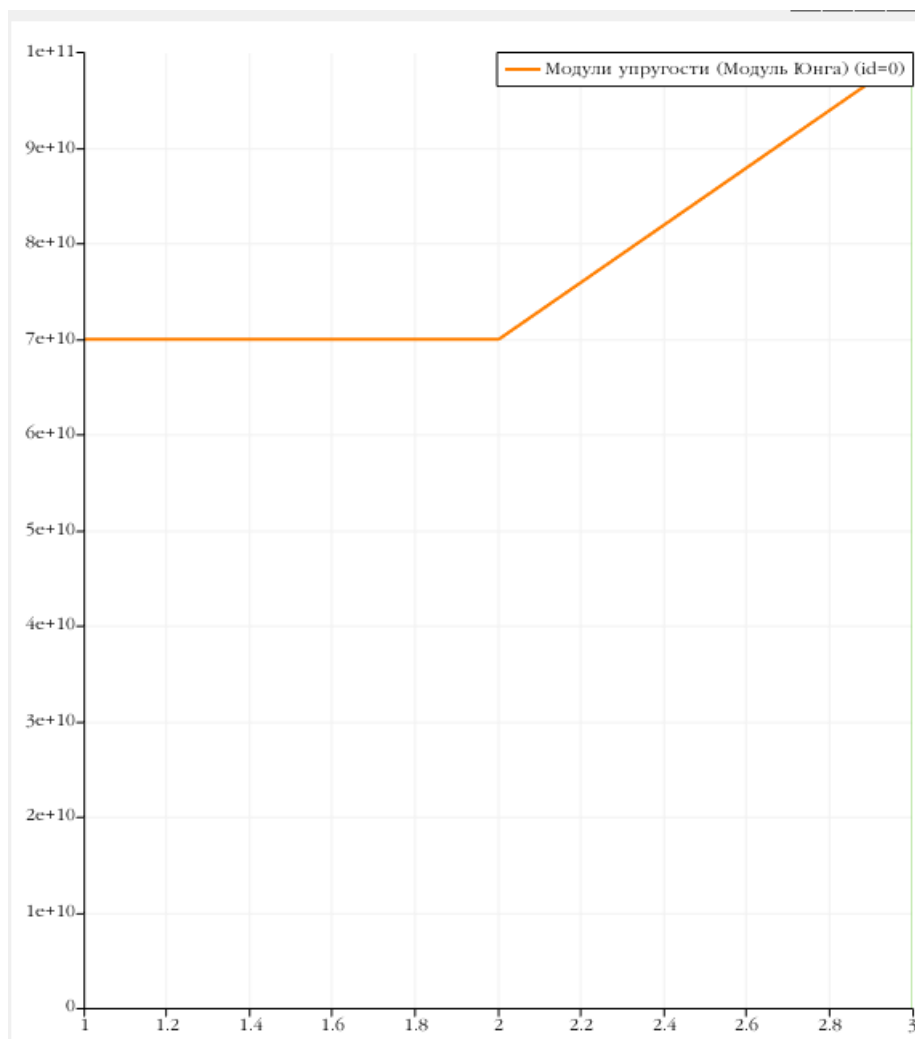


Появится окно **Fidesys Viewer**, в котором вы сможете ознакомиться с результатами расчёта.

Выделите любой узел на поверхности включения с помощью инструмента Выбор точек.

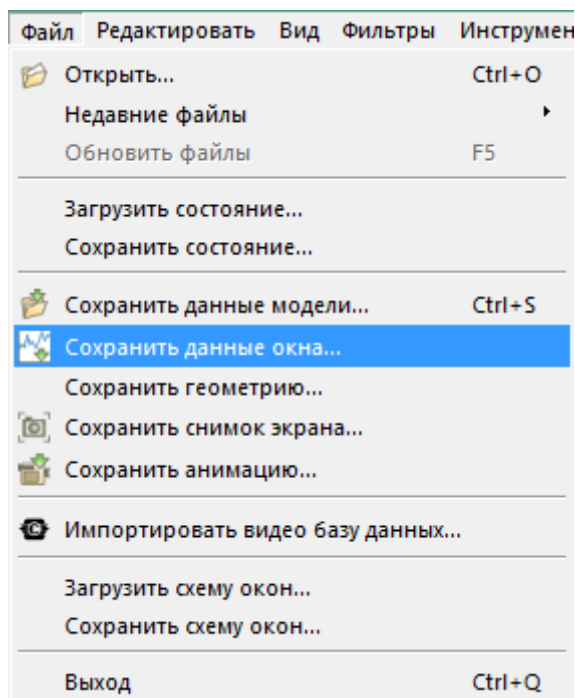


Постройте график от времени для этой точки, чтобы убедиться, что произошло изменение свойств материала в процессе расчета. Выберите **Меню - Фильтр - Алфавитный указатель - Построить выделенное в зависимости от времени**. В качестве поля для отображения на графике выберите Модули упругости (Модуль Юнга).



Для перемасштабирования вертикальной оси на странице свойств зайдите в раздел Диапазон левой си и поставьте галочку напротив Пользовательский диапазон левой оси. Установите минимальное значение  $1e10$ .

Выгрузите полученные данные в таблицу .csv. Для этого зайдите в Меню - Файл - Сохранить данные окна.



Сохраните файл csv, затем откройте его.

Time	Elasticity Modulus_Young's modulus (id=0)				
1	7.00E+10				
2	7.00E+10				
3	1.00E+11				

### 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**.

```
reset
create surface rectangle width 10 height 5 zplane
create surface circle radius 1 zplane
subtract surface 2 from surface 1 keep
delete surface 1
merge curve all
compress all
surface all size auto factor 4
mesh surface all
set duplicate block elements off
create material 1 from 'Углеродистая сталь'
create material 2
modify material 2 name 'Алюминий'
modify material 2 set property 'POISSON' value 0.34
modify material 2 set property 'MODULUS' value 0.7e11
create material 3
modify material 3 name 'Медь'
modify material 3 set property 'MODULUS' value 1e+11
modify material 3 set property 'POISSON' value 0.35
set duplicate block elements off
block 1 add surface 2
set duplicate block elements off
```

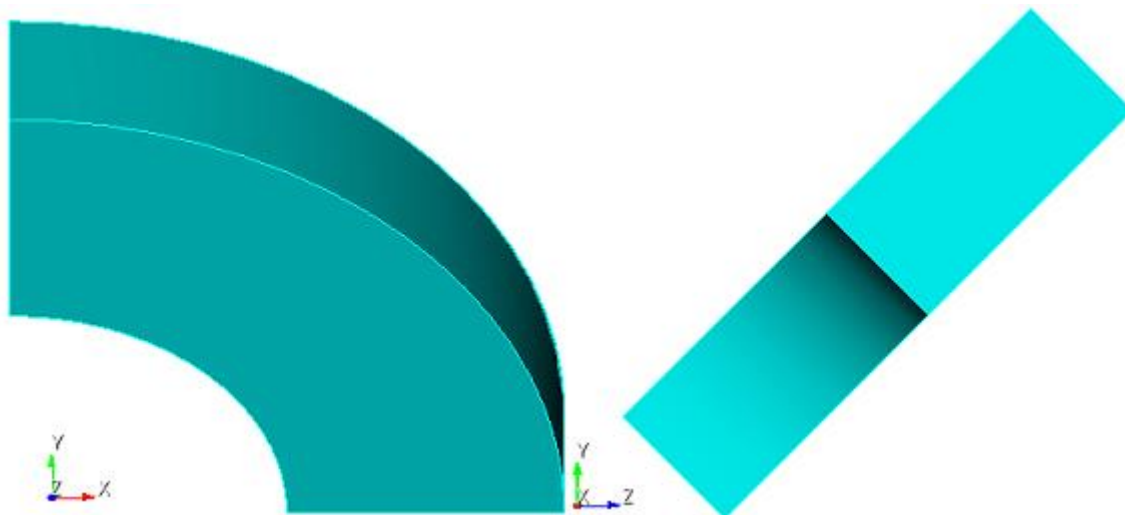


```
block 2 add surface 1
block 1 material 1
block 2 material 2
block all element plane order 2
create displacement on curve 3 dof all fix
create displacement on curve 2 4 dof 2 fix
create pressure on curve 5 magnitude 1
create table 1
modify table 1 dependency time
modify table 1 insert row 1
modify table 1 insert row 1
modify table 1 insert row 1
modify table 1 cell 1 1 value 1
modify table 1 cell 1 2 value -1000
modify table 1 cell 2 1 value 2
modify table 1 cell 2 2 value -1000
modify table 1 cell 3 1 value 3
bcdep pressure 1 table 1
block 2 step 1 2 material 2
block 2 step 3 material 3
block 1 step all
output nodalforce off energy off midresults on record3d on log on vtu on material on
analysis type static elasticity dim2 planestrain
static steps 3
calculation start path 'D:/example_20.pvd'
```

## Симметричные граничные условия для цилиндра.

Рассматривается задача для четверти цилиндрической трубы под внешним и внутренним давлениями.

Центр модели расположен в точке (1,1,1), при этом сама модель наклонена на  $45^\circ$  относительно оси X. Для условия симметрии используется граничное условие Связь по направлению. Предлагается оценить полученные напряжения в цилиндрической системе координат.



### Построение модели

1.Создайте первый круглый цилиндр.

На панели команд выберите модуль построения объемной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, Действие — **Создать**).

Из списка геометрических примитивов выберите **Цилиндр**.  
Задайте размеры цилиндра:

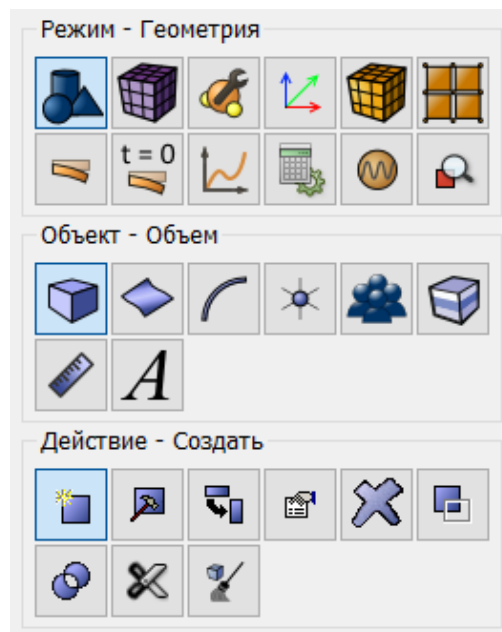
- Высота: 0.5;
- Сечение: Круг;
- Радиус: 2.

Нажмите **Применить**.

2.Создайте второй цилиндр.

- Высота: 0.5;
- Сечение: Круг;
- Радиус: 1.

Нажмите **Применить**.





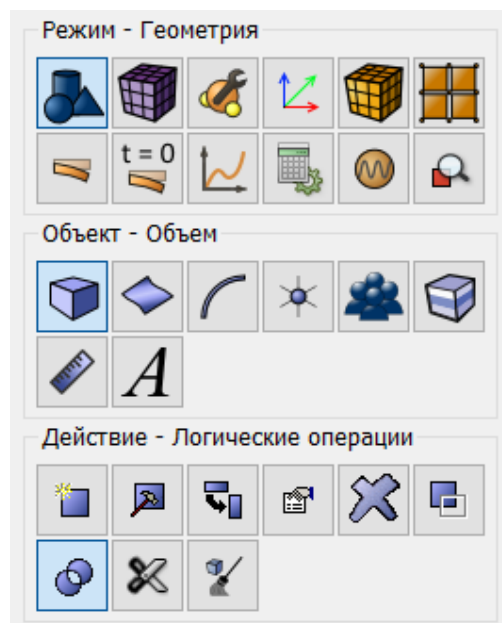
3. Вычтите второй цилиндр из первого.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, Действие — **Логические операции**).

Из списка операций выберите **Вычесть**. Задайте следующие параметры:

- ID объема(ов): 1 (объёмы, из которых будут вычтены другие объёмы);
- ID объема(ов): 2 (объёмы, которые будут вычтены).

Нажмите **Применить**.



4. Оставьте четверть объёма (симметрия задачи).

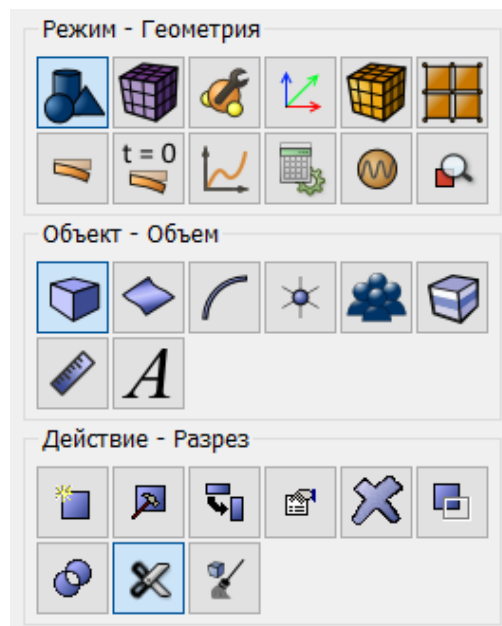
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, Действие — **Разрез**).

Из списка возможных видов разрезов выберите **Координатная плоскость**.

Задайте следующие параметры:

- ID объёмов: 1 (объём, который будет разрезан);
- Разрезать: Плоскость YZ;
- Значение сдвига: 0;

Нажмите **Применить**.

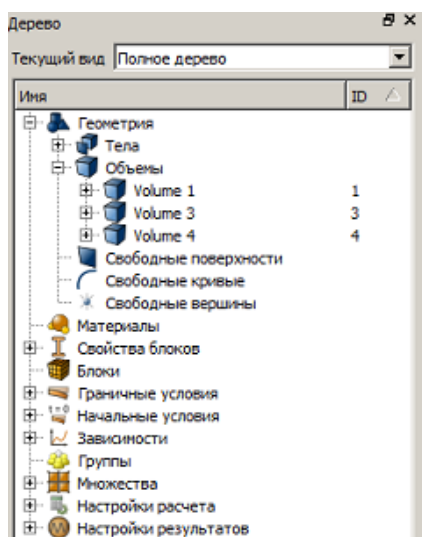


Проделайте то же самое, но в плоскости XZ:

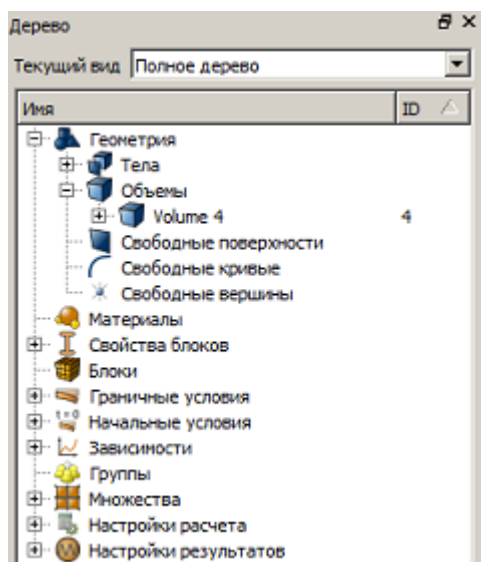
- ID объёмов: 1;
- Разрезать: Плоскость ZX;
- Значение сдвига: 0;

Нажмите **Применить**.

В результате исходный объём в дереве объектов будет поделён на четыре (Volume 1, Volume 3 и Volume 4).



Удалите объёмы 1 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. Поверните модель на 45 градусов вокруг оси x.

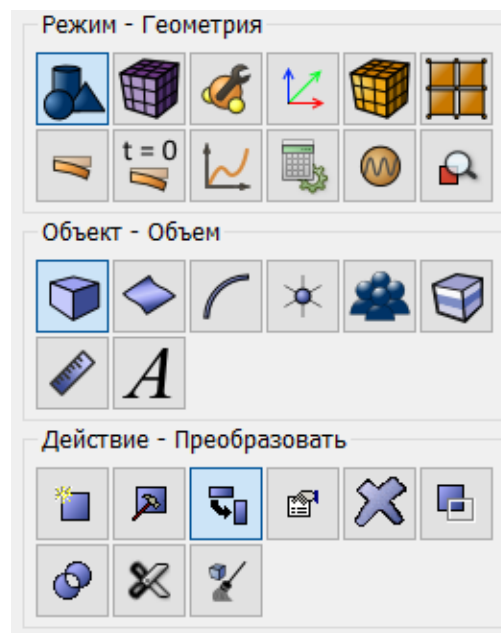
На панели команд выберите модуль построения объемной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, Действие — **Преобразовать**).

Из списка возможных видов преобразований выберите **Повернуть**.

Задайте следующие параметры:

- ID объемов: 4;
- Включая сращенные;
- Угол: 45;
- Повернуть вокруг: Ось X;

Нажмите **Применить**.



6. Переместите модель.

На панели команд выберите модуль построения объемной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, Действие — **Преобразовать**).

Из списка возможных видов преобразований выберите **Переместить**.

Задайте следующие параметры:

- ID объемов: 4;
- Включая сращенные;
- Выбрать метод: Расстояние;
- Расстояник по X: 1;
- Расстояник по Y: 1;
- Расстояник по Z: 1;

Нажмите **Применить**.

Таким образом, построена модель четверти цилиндрической трубы, повернутой на 45° и с центром в точке (1,1,1).

## Построение сетки

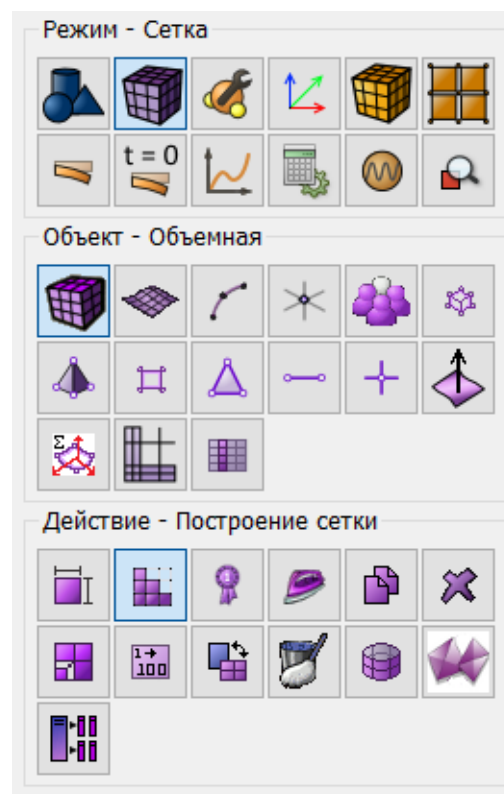
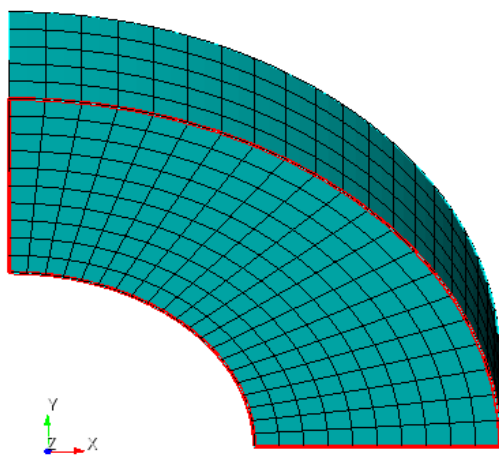
На панели команд выберите модуль построения объёмной сетки (Режим — **Сетка**, Объект — **Объёмная**, Действие — **Построение сетки**).

Укажите следующие параметры:

- Автоматический размер;
- Выбор объёмов: 4;

Нажмите **Задать размер**.

Нажмите **Построить сетку**.



## Задание граничных условий

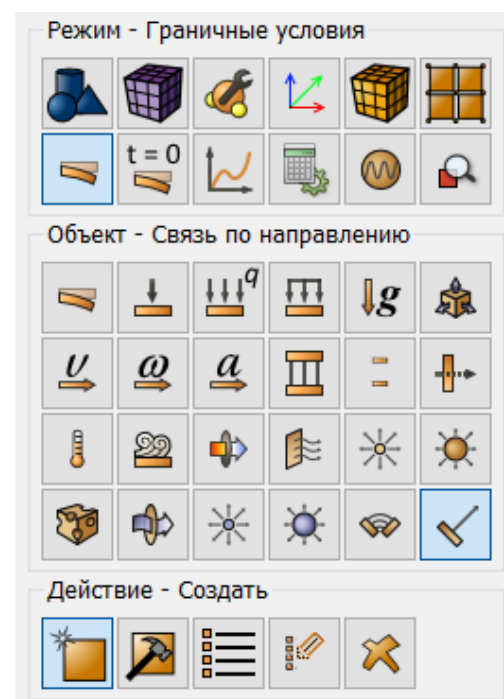
1. Задайте связь по направлению.

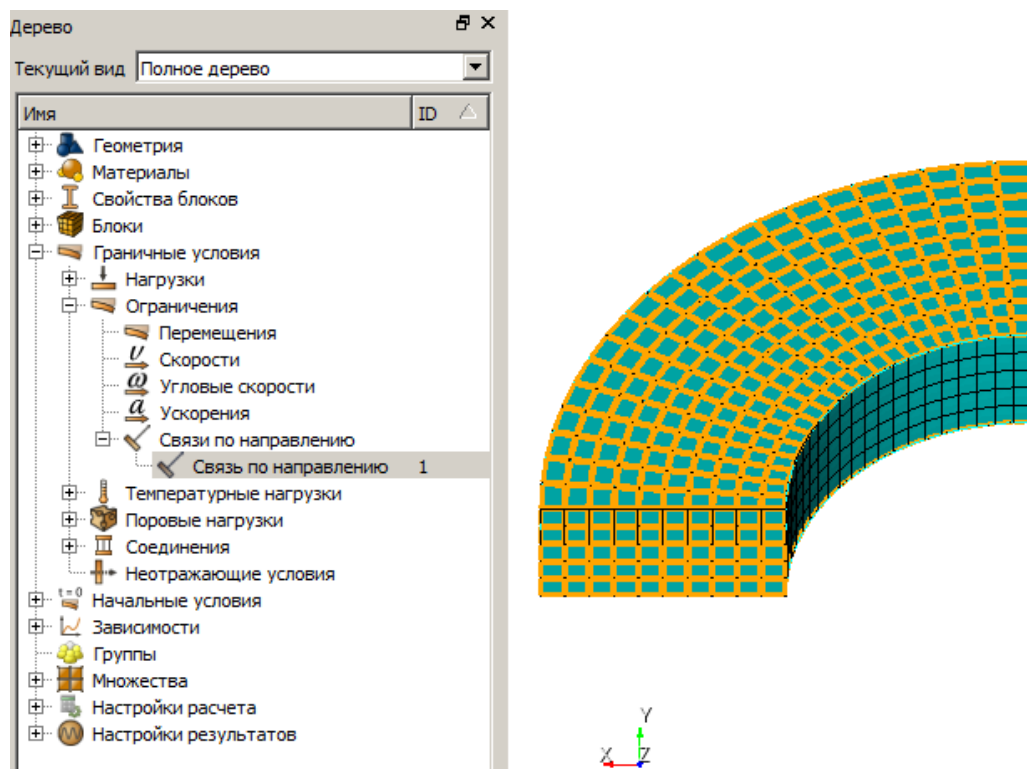
На панели команд выберите Режим — **Граничные условия**, Объект — **Связь по направлению**, Действие — **Создать**.

Укажите следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список сущностей: Поверхность;
- ID объекта(ов): 31 27 11 29;
- Тип: Перемещение;
- Направление: нормаль;
- Значение: 0;

Нажмите **Применить**





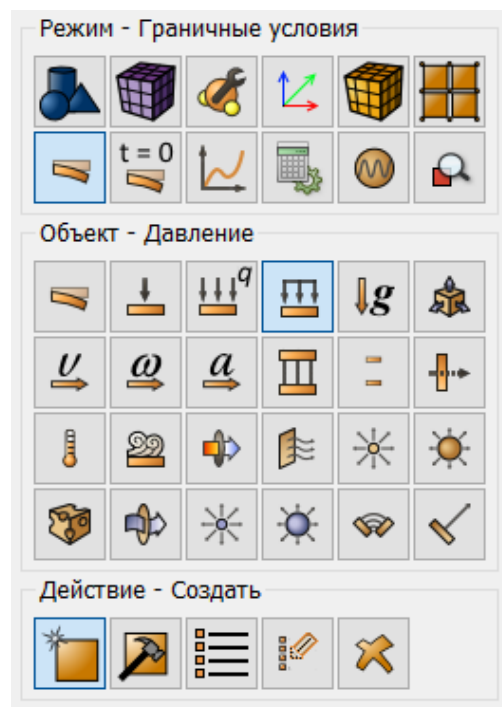
2. Приложите давление на внутреннюю грань.

На панели команд выберите Режим — **Граничные условия**, Объект — **Давление**, Действие — **Создать**.

Укажите следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объекта(ов): 30;
- Значение: 1e6;

Нажмите **Применить**.



3. Приложите давление к верхней грани.

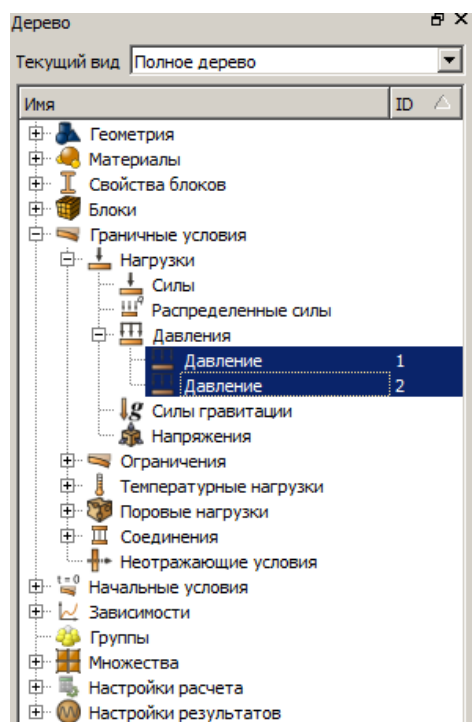
На панели команд выберите Режим — **Граничные условия**, Объект — **Давление**, Действие — **Создать**.

Укажите следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;

- ID объекта(ов): 28;
- Значение: 0.5e6;

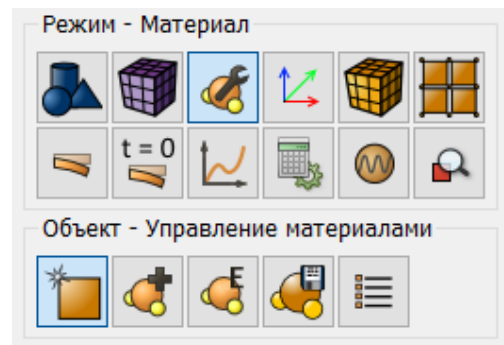
Нажмите **Применить**.

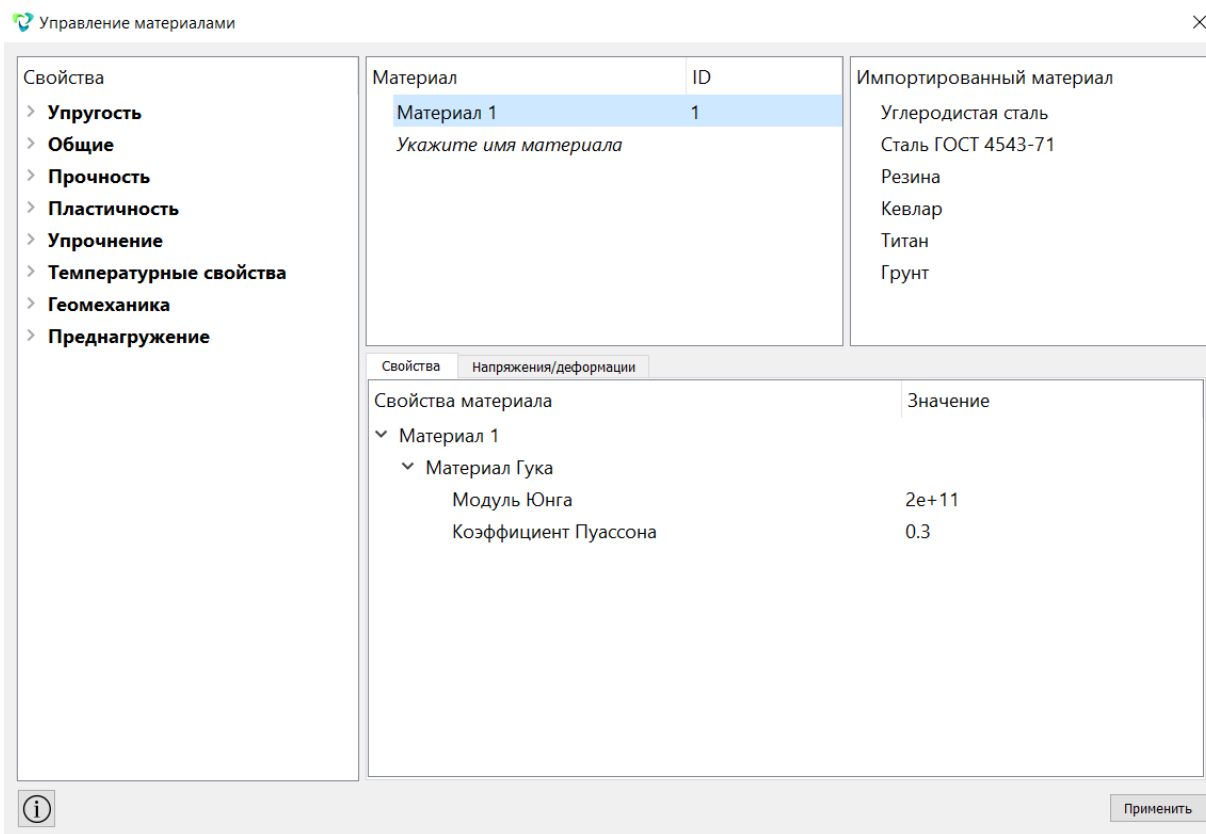


### Создание материала

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**).

- Модуль Юнга  $E = 2e+11$ ;
- Коэффициент Пуассона  $\nu = 0.3$ ;





## Задание свойств блока

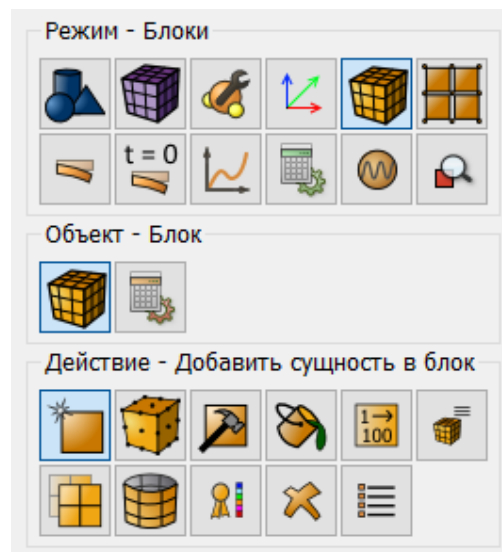
1. Создайте блок одного типа материала.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**).

Укажите следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Список сущностей: Объем;
- ID объектов: 4;

Нажмите **Применить**.



## 2. Задайте параметры блока.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Свойства/параметры блока**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Материал: Material 1;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Объемное тело;
- Порядок: 2.

Нажмите **Применить**.

## Запуск расчёта.

### 1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим — **Настройки расчёта**, Настройки расчёта — **Статический**, Статический — **Общие**).

Выберите:

- Размерность: 3D;
- Модель: упругость.

Нажмите **Применить**.

Нажмите **Начать расчёт**.

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

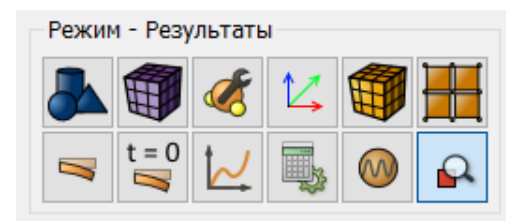
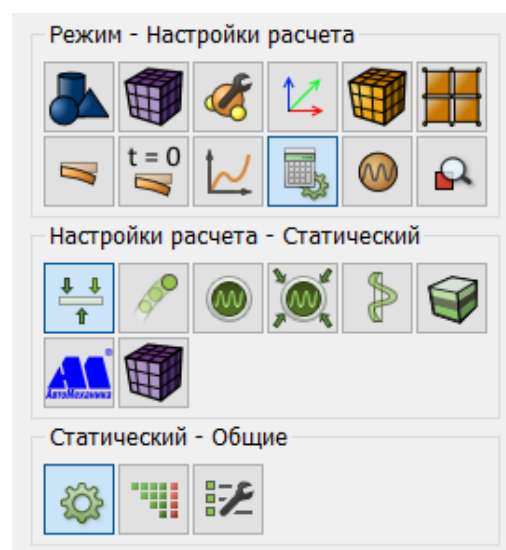
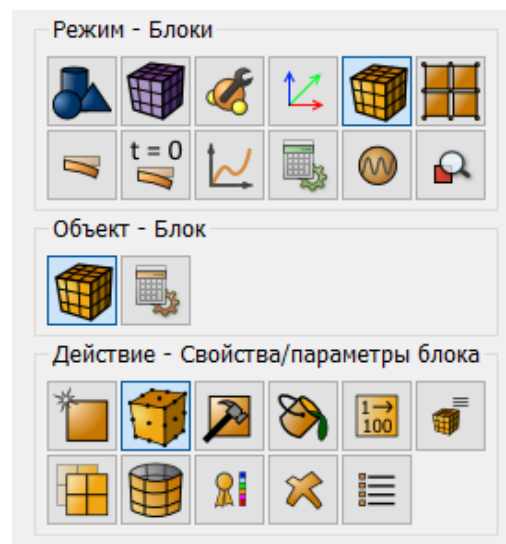
3. В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: "Calculation finished successfully at "date time".

## 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 Результаты (Режим — Результаты, Результаты — Открыть Результаты).





Появится окно **Fidesys Viewer**, в котором вы сможете ознакомиться с результатами расчёта.

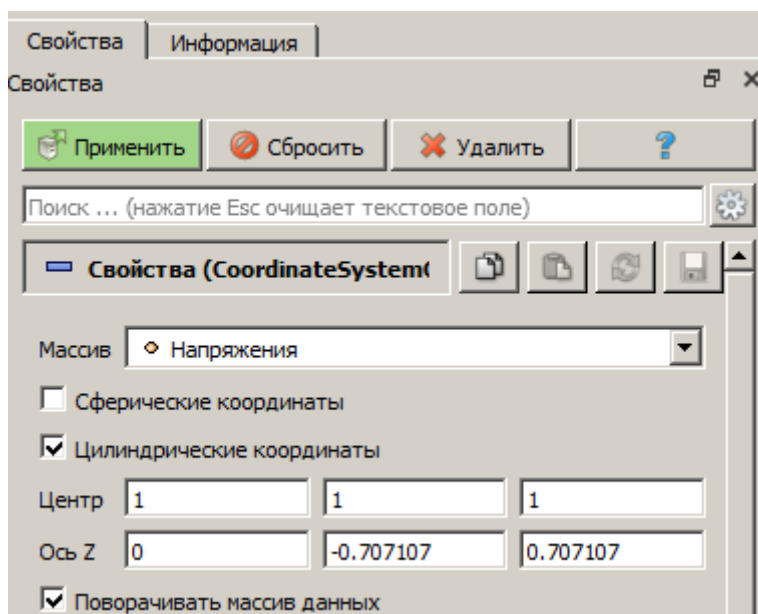
Для просмотра напряжений в цилиндрической системе координат, подключите фильтр Системы координат и введите соответствующие параметры.

Выберите в верхней строке **Фильтр - Алфавитный указатель - Системы координат**.

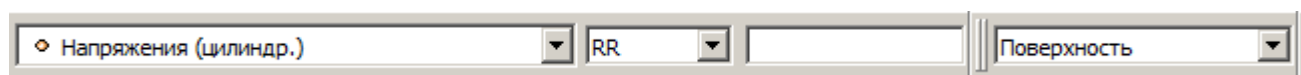
В появившемся фильтре на странице **Свойств** введите:

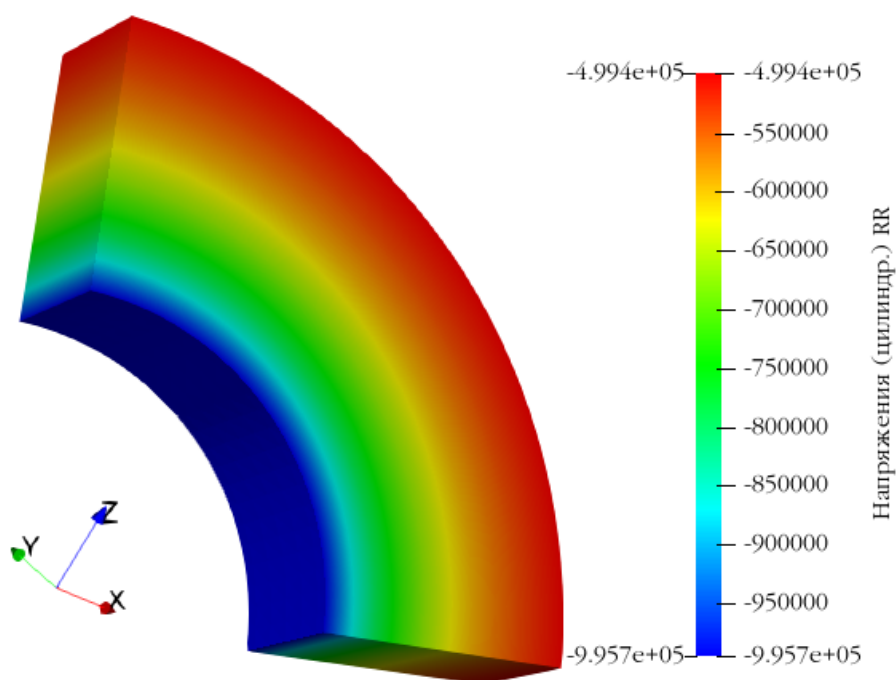
- Массив: Напряжения;
- Цилиндрические координаты;
- Центр: (1,1,1);
- Ось: (0,-0.707107,0.707107) .

Нажмите **Применить**.

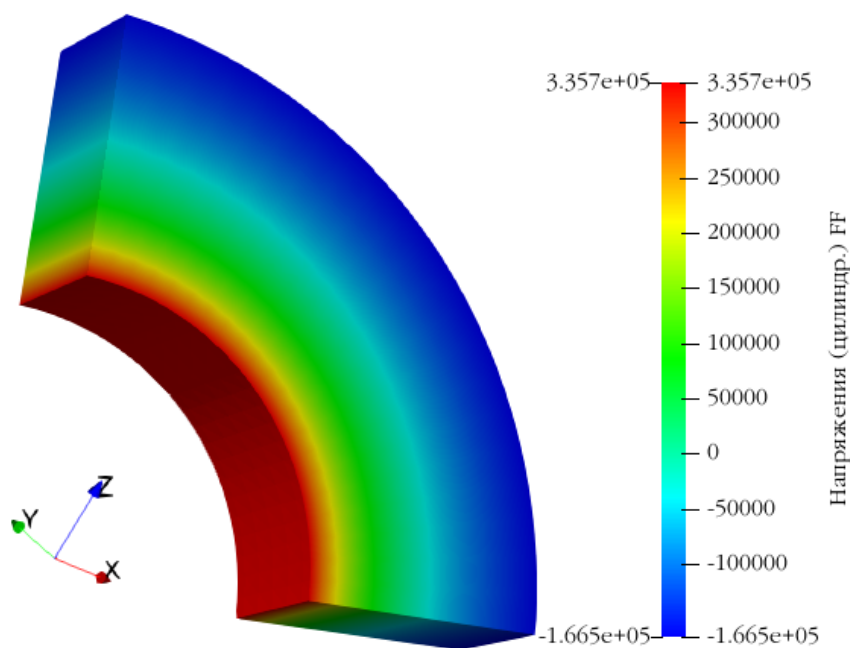


Далее, отобразите компоненту Напряжения RR на модели. Для этого выберите соответствующую компоненту:





Далее, отобразите компоненту Напряжения FF :



### 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**.

```
reset
create Cylinder height 0.5 radius 2
create Cylinder height 0.5 radius 1
subtract volume 2 from volume 1
webcut volume 1 with plane xplane offset 0 noimprint nomerge
webcut volume 1 with plane yplane offset 0 noimprint nomerge
```



```
delete Volume 1 3
rotate Volume 4 angle 45 about X include_merged
move Volume 4 x 1 y 1 z 1 include_merged
volume 4 size auto factor 5
mesh volume 4
create directionrestraint on surface 31 27 11 29 displacement value 0 normal
create pressure on surface 30 magnitude 1e6
create pressure on surface 28 magnitude 0.5e6
create material 1
modify material 1 set property 'POISSON' value 0.3
modify material 1 set property 'MODULUS' value 200e9
set duplicate block elements off
block 1 volume 4
block 1 material 'Material 1'
block 1 element solid order 2
analysis type static elasticity dim3
calculation start path 'D:/example_21.pvd'
```

## Линейно-спектральный анализ балки при помощи спектра реакции

В данной задаче на опору (точку A) безмассовой балки воздействует акселерограмма, представленная в виде спектра отклика абсолютного ускорения.

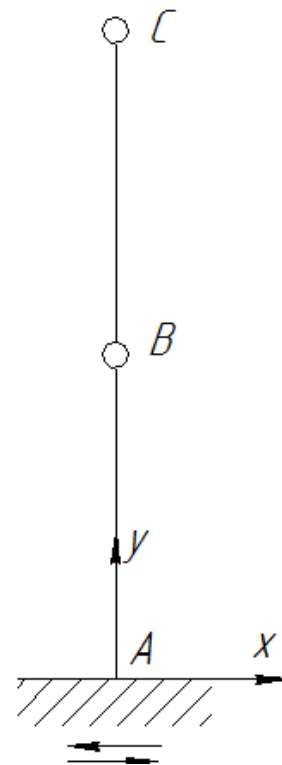
Балка жестко закреплена в точке A. По всей балке запрещено линейное перемещение вдоль оси Z. Длина  $AB = BC = 2$ . В точках B, C инерционный элемент с одним узлом массой 100.

Параметры материала балки: модуль Юнга  $E = 2e11$ ; Коэффициент Пуассона  $\nu = 0.3$ ; Плотность  $\rho = 1e-07$ . Коэффициент относительного демпфирования 2% на каждой моде.

Спектр отклика абсолютного ускорения приведен в таблице ниже.

f	ax
3.28	2.98
21.82	1.38

Данную таблицу необходимо создать как CSV-файл и потом импортировать в Fidesys Viewer (на изображении приведен образец задания таблицы в Excel).



### Построение модели

1. Создайте конструкцию из двух балок (AB и BC)

На панели инструментов выберите модуль построения линий (Режим — **Геометрия**, Объект — **Кривая**, Действие — **Создать**).

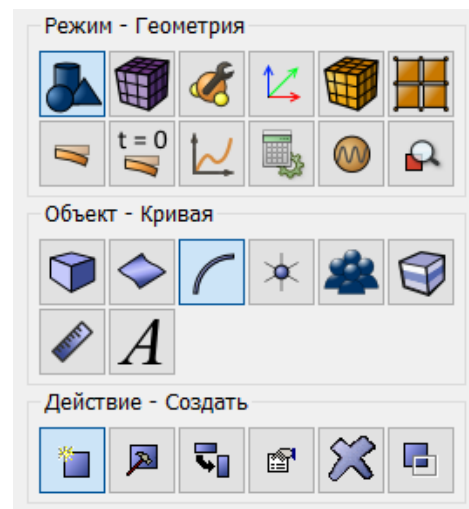
Из выпадающего списка выберите **Линия**

На панели **Построить**, используя выберите **Положение и направление**.

Далее, укажите необходимые данные для создания первой линии:

- Расположение: 0 0 0 (через пробел);
- Направление: 0 1 0;
- Длина: 2.

Нажмите **Применить**



Укажите необходимые данные для создания второй линии:

- Расположение: 0 2 0 (через пробел);
- Направление: 0 1 0;
- Длина: 2.

Нажмите **Применить**

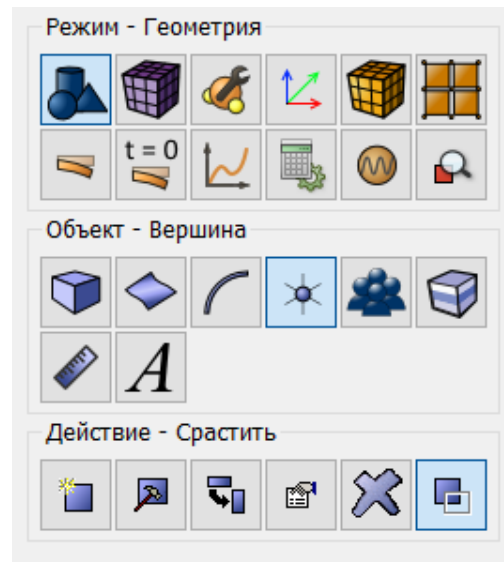
2.Срастите вершины на полученных балках. На панели инструментов выберите модуль построения вершин (Режим — **Геометрия**, Объект — **Вершина**, Действие — **Срастить**).

Укажите

- ID вершин(ы): all.

Нажмите **Применить**

Получилась балочная конструкция



## Построение сетки

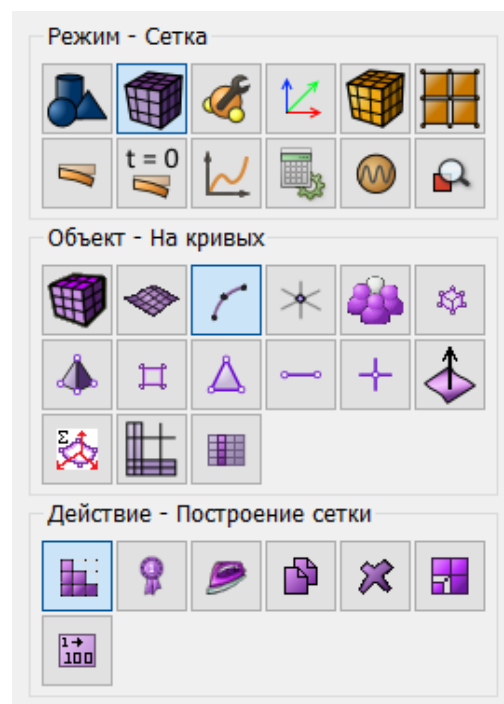
1.На панели команд выберите модуль построения сетки на кривых (Режим — **Сетка**, Объект — **На Кривых**, Действие — **Построение сетки**).

Укажите следующие параметры

- Выбор кривых: all;
- Из выпадающего списка выберите **равномерно**;
- Выберите радиокнопку **Интервал**;
- В графе **Интервал** поставьте 1.

Нажмите **Применить**.

Нажмите **Построить сетку**.



## Задание материала и свойств блока

1.Создайте материал.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**).

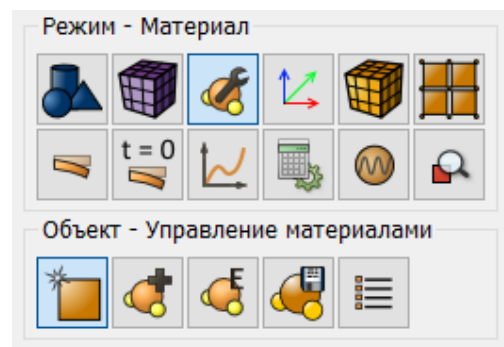
В открывшемся виджете **Управление материалами** в средней колонке укажите имя материала material1.

В колонке свойств откройте список **Упругость** и перетащите название **Материал Гука** в колонку **Свойства материала**.

В колонке свойств откройте список **Общие** и перетащите название **Плотность** в колонку **Свойства материала**.

Заполните свойства следующим образом:

- Модуль Юнга:  $2e+11$ ;
- Коэффициент Пуассона: 0.33;
- Плотность:  $1e-07$ .



Свойства	Материал	ID	Импортированный материал
<ul style="list-style-type: none"> <li>▾ <b>Упругость</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▸ Материал Гука</li> <li>▸ Материал Муни-Ривлина</li> <li>▸ Материал Блейца-Ко</li> <li>▸ Материал Мурнагана</li> <li>▸ Ортотропный материал</li> <li>▸ Трансверсально изотропный м...</li> </ul> </li> <li>▾ <b>Общие</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Плотность</li> <li>Коэффициент постоянного дем...</li> <li>Коэффициент массового демпф...</li> <li>Коэффициент демпфирования ...</li> </ul> </li> <li>▾ <b>Прочность</b></li> <li>▾ <b>Пластичность</b></li> <li>▾ <b>Упрочнение</b></li> <li>▾ <b>Температурные свойства</b></li> <li>▾ <b>Геомеханика</b></li> <li>▾ <b>Преднапряжение</b></li> <li>▾ <b>Вязкоупругость</b></li> </ul>	material 1	1	Углеродистая сталь Сталь ГОСТ 4543-71 Резина Кевлар Титан Грунт

Свойства	Напряжения/деформации	Значение
<ul style="list-style-type: none"> <li>▾ material 1                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▾ Материал Гука                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>Модуль Юнга: <math>2e+11</math></li> <li>Коэффициент Пуассона: 0.33</li> </ul> </li> <li>▾ Общие                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>Плотность: <math>1e-07</math></li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>		

Применить

Нажмите **Применить**.

Закройте окно.

2. Создайте блок для каждого вида конечного элемента.

На панели команд выберите Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**.

Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- В выпадающем списке список сущностей выберите **Кривая**;
- ID объекта(ов): all.

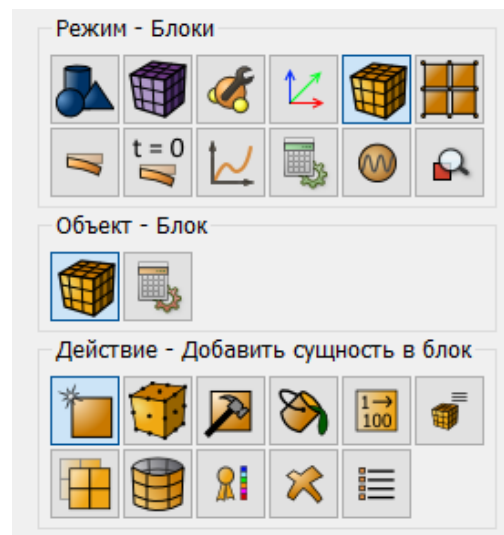
Нажмите **Применить**

Для создания блоков вершин:

- ID блока: 2;
- В выпадающем списке список сущностей выберите **Вершина**;
- ID объекта(ов): 2.

Нажмите **Применить**

Для создания второго блока вершин проделайте аналогичные действия, только в **ID блока** поставьте 3, в **ID объекта(ов)** поставьте 4.



3. Задайте параметры блока.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Свойства/параметры блока**).

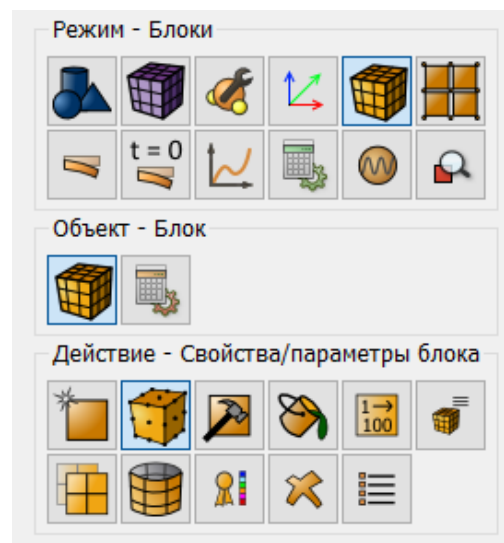
Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Материал: Material 1;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Балка;
- Порядок: 2.

Нажмите **Задать свойства балки**. Из выпадающего списка Профиль сечения выберите **Прямоугольник**.

Задайте следующие параметры:

- Профиль сечения: Установить параметры вручную;
- Эксцентриситет по Y: 0;
- Эксцентриситет по Z: 0;
- Момент инерции  $I_y$ :  $0.5e-5$ ;
- Момент инерции  $I_z$ :  $0.5e-5$ ;
- Момент инерции  $I_p$ : 0;
- Момент инерции  $I_{yz}$ : 0;
- Момент инерции на кручение: 0;
- Площадь: 0.00785;
- Максимальная координата по Y: 0;
- Максимальная координата по Z: 0;



- Коэффициент сдвига YY: 1;
- Коэффициент сдвига ZZ: 1;
- Коэффициент сдвига ZY: 0;
- Координата центра изгиба Y: 0;
- Координата центра изгиба Z: 0;
- Секториальный момент инерции  $I_{\omega}$ : 0.

Нажмите **Применить**.

Закройте окно **Задать свойство балки**. Нажмите **Применить**.

#### 4. Задайте параметры блока.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Свойства/параметры блока**).

Задайте следующие параметры:

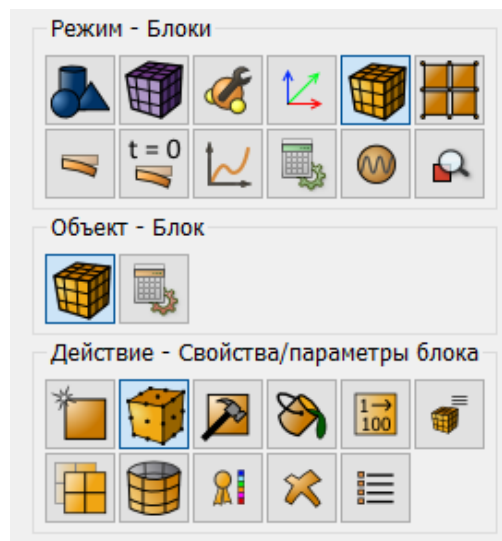
- ID блока(ов): 2 3;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Точечная масса;

Нажмите **Задать свойства точечной массы**. Задайте следующие параметры:

- Масса: 100;
- Момент инерции: 0.

Нажмите **Применить**.

Закройте окно **Задать свойства точечной массы**. Нажмите **Применить**.





## Задание граничных условий

1. Закрепите вершину A по всем линейным перемещениям и поворотам.

На панели команд выберите Режим — **Граничные условия**, Объект — **Перемещение**, Действие — **Создать**.

Задаем следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Вершина;
- ID объектов: 1;
- Степени свободы: Все.

Нажмите **Применить**

2. Закрепите всю балку по линейному перемещению вдоль оси Z.

Задаем следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объектов: all;
- Степени свободы: По Z.

Нажмите **Применить**

## Запуск расчета

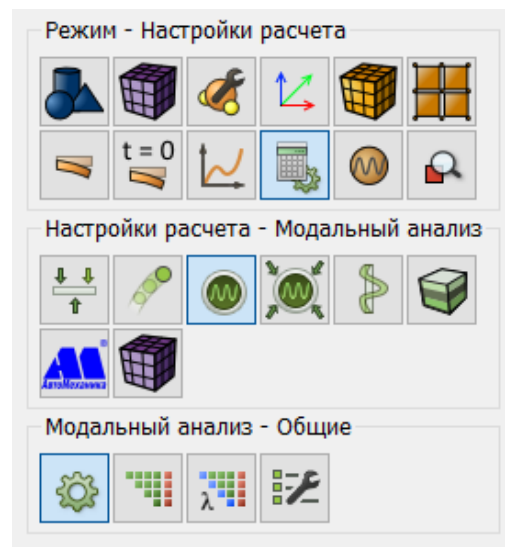
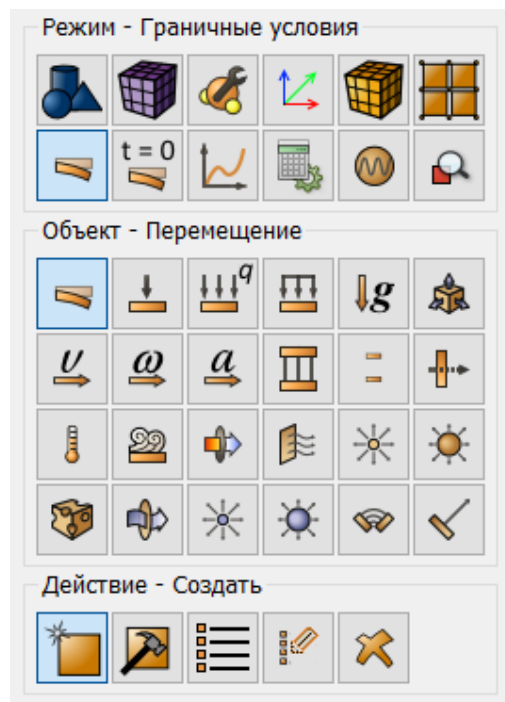
1. Задайте общие настройки для модального анализа.

На панели команд выберите модуль настройки расчёта (Режим — **Настройки расчёта**, Настройки расчёта — **Модальный анализ**, Модальный анализ — **Общие**)

Задайте следующие параметры:

- Число собственных частот: 2;
- Все остальные параметры принимаются по умолчанию.

Нажмите **Применить**.



## 2. Задайте настройки полей вывода модального анализа

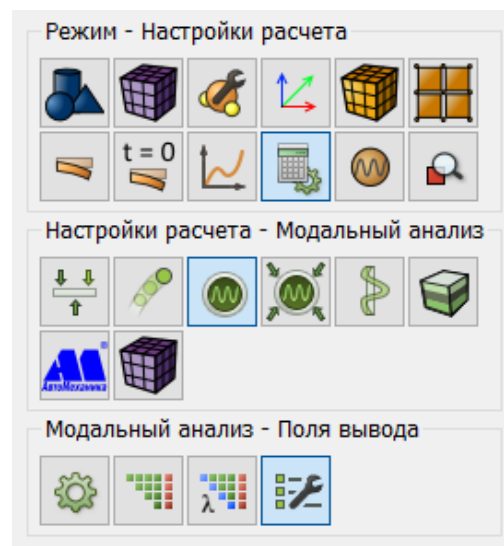
На панели команд выберите модуль настройки расчёта (Режим — **Настройки расчёта**, Настройки расчёта — **Модальный анализ**, Модальный анализ — **Поля вывода**)

Поставьте следующие флаги:

- Вычислять Эффективные массы;
- Выводить результаты в 3D-виде.

Нажмите **Применить**.

Нажмите **Запуск расчёта**.



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".

4. После завершения расчёта в командной строке появятся результаты.

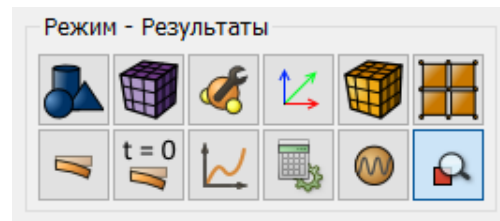
Командная строка							
<b>EIGENFREQUENCY</b>							
Number	Eigenfrequency (Hz)						
1	3.284639						
2	21.821120						
<b>PARTICIPATION FACTOR</b>							
Number	Eigenfrequency (Hz)	Along X	Along Y	Along Z	Around X	Around Y	Around Z
1	3.284639	-12.575230	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	44.195898
2	21.821120	-6.470209	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	6.835396
<b>EFFECTIVE MASS</b>							
Number	Eigenfrequency (Hz)	Along X	Along Y	Along Z	Around X	Around Y	Around Z
1	3.284639	158.136401	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1953.277361
2	21.821120	41.863599	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	46.722639
Total	200.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	2000.000000
Ratio	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000

## 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 Результаты (Режим — Результаты, Результаты — Открыть Результаты).



Появится окно Fidesys Viewer, в котором вы сможете ознакомиться с результатами расчёта.

В главном меню перейдите по вкладке **Фильтры - Алфавитный указатель – Линейно-спектральный анализ**.

Во вкладке Свойства Установите следующие параметры:

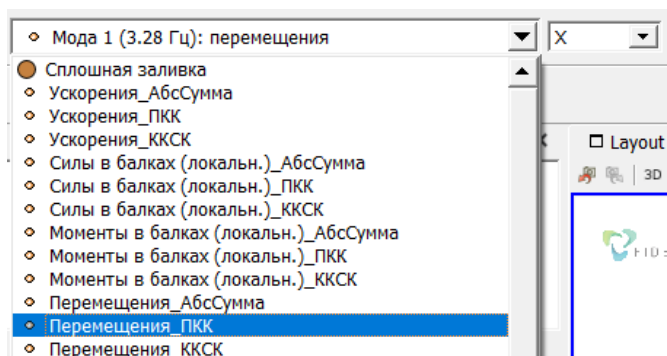
- Поставьте флаг **Абсолютная сумма**;
- Поставьте флаг **Корень квадратный из суммы мод**;
- Поставьте флаг **Полная квадратичная комбинация**;
- Постоянный коэффициент демфирования моды: 0.02;
- Укажите путь CSV-файла, созданный в начале примера, на своем компьютере;

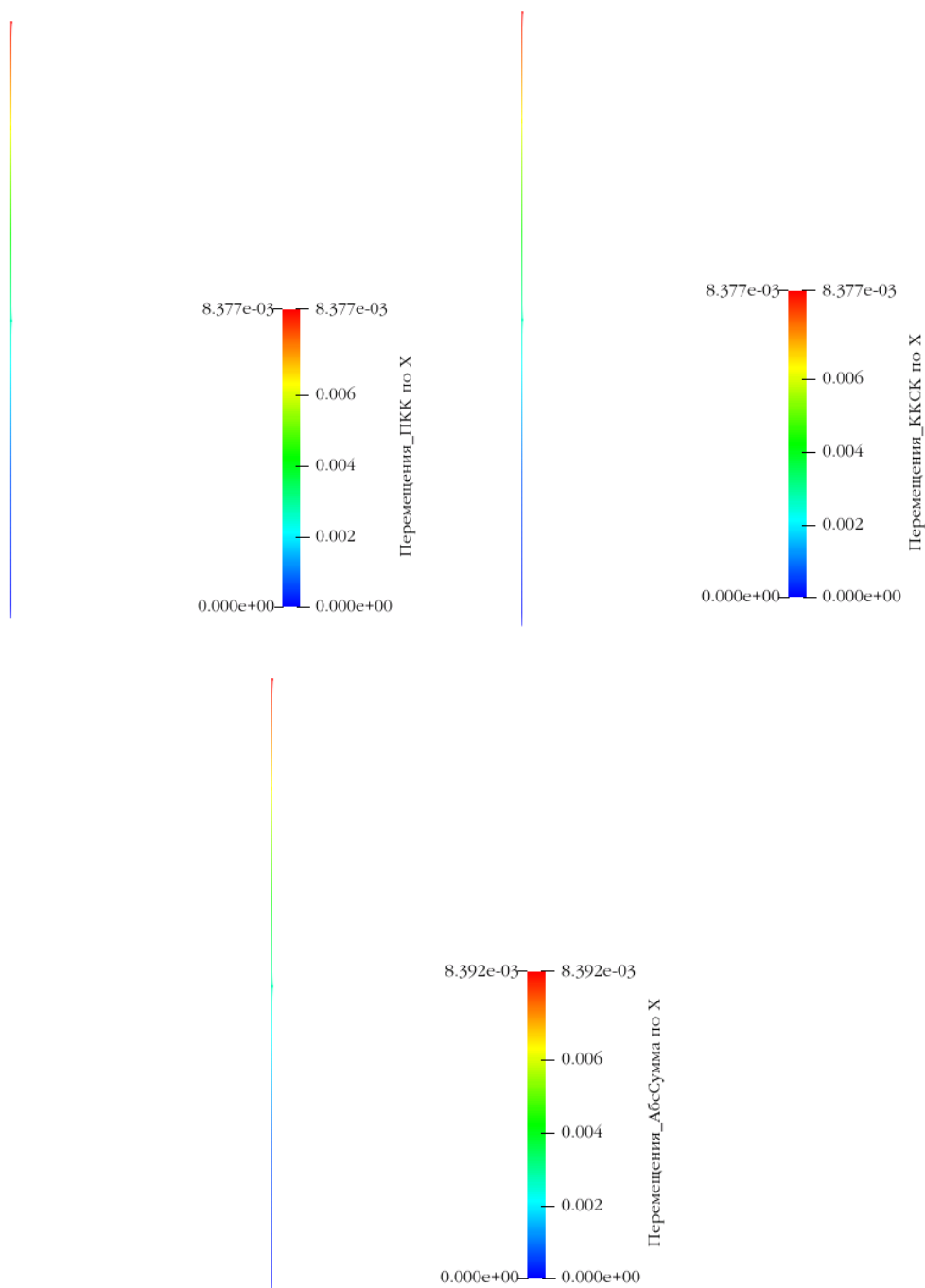
Нажмите **Применить**

## Вывод результатов

1. Отобразите результаты перемещений вдоль оси X, полученные разными методами комбинации мод.

- В выпадающем списке полей последовательно выберите результаты **Перемещение\_АбсСумма**, **Перемещение\_ПКК**, **Перемещение\_ККСК**;
- В выпадающем списке осей координат выберите X.





### **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**.

```
reset
create curve location 0 0 0 direction 0 1 0 length 2
create curve location 0 2 0 direction 0 1 0 length 2
merge vertex all
curve all interval 1
curve all scheme equal
```



```
curve all interval 1
curve all scheme equal
mesh curve all
create material 1
modify material 1 name 'material 1'
modify material 1 set property 'MODULUS' value 2e+11
modify material 1 set property 'POISSON' value 0.33
modify material 1 set property 'DENSITY' value 1e-07
set duplicate block elements off
block 1 add curve all
block 1 material 1
set duplicate block elements off
block 2 add vertex 2
set duplicate block elements off
block 3 add vertex 4
set duplicate block elements off
block 1 element beam order 2
block 2 3 element lumpmass
create beam properties 1
modify beam properties 1 type 'Custom'
modify beam properties 1 ey 0.0
modify beam properties 1 ez 0.0
modify beam properties 1 angle 0.0
modify beam properties 1 Iy 0.5e-05
modify beam properties 1 Iz 0.5e-05
modify beam properties 1 Ip 0
modify beam properties 1 Iyz 0
modify beam properties 1 It 0
modify beam properties 1 area 0.00785
modify beam properties 1 max_y 0
modify beam properties 1 max_z 0
modify beam properties 1 shear_coefficient_yy 1
modify beam properties 1 shear_coefficient_zz 1
modify beam properties 1 shear_coefficient_zy 0
modify beam properties 1 shear_center_y 0
modify beam properties 1 shear_center_z 0
modify beam properties 1 Iw 0
modify beam properties 1 warping_dof on
block 1 beam properties 1
create lumpmass properties 2
modify lumpmass properties 2 mass 100
modify lumpmass properties 2 mass_inertia 0
block 2 lumpmass properties 2
create lumpmass properties 3
modify lumpmass properties 3 mass 100
modify lumpmass properties 3 mass_inertia 0
block 3 lumpmass properties 3
create displacement on vertex 1 dof all fix 0
create displacement on curve all dof 3 fix 0
analysis type eigenfrequencies dim3 preload off
eigenvalue find 2 smallest
output nodalforce off energy off record3d on log on vtu on material off
effective_mass on rotation_center 0 0 0
calculation start path "d:\Fidesys\result.pvd"
```



## Контактная информация

<http://www.cae-fidesys.com>

[support@cae-fidesys.com](mailto:support@cae-fidesys.com)

[+7 \(495\) 177-36-18](tel:+7(495)177-36-18)