



# FIDESYS

система прочностного анализа

Версия 5.2

**Руководство пользователя**



## Содержание

Введение.....	6
О программе .....	6
Системные требования.....	7
Аппаратные требования .....	7
Операционная система .....	7
Установка .....	8
Microsoft Windows .....	8
Linux.....	10
Активация и пробный период.....	12
Пробный период.....	12
Активация .....	12
Информация о приобретённой лицензии .....	12
Удаление .....	13
Общие сведения о программе .....	14
Структура пакета .....	14
Запуск программного обеспечения .....	14
Главное окно программы .....	14
Новые возможности версии 5.2 .....	16
Дополнения и улучшения функционала .....	16
Дополнения и улучшения постпроцессора.....	16
Работа с программой.....	17
Геометрия .....	17
Импорт геометрии .....	17
Создание геометрии.....	18
Конвертер CDB .....	18
Интеграция BricsCAD\NanoCad .....	20
Интеграция BricsCAD.....	20
Интеграция NanoCAD .....	21
Построение сетки.....	22
Построение объёмной сетки .....	23
Построение конечно-элементной сетки.....	23
Настройки тетраэдральной сетки .....	24
Многопоточное создание сетки.....	28
Метод построения гексаэдральной сетки Sculpt.....	28
Воксельная сетка.....	30
Задание материала.....	31



Добавление материалов.....	31
Задание табличных зависимостей для материалов.....	33
Импорт/Экспорт материалов .....	34
Задание модели пластического течения .....	35
Критерий пластичности Мизеса .....	35
Критерий пластичности Друкера-Прагера .....	38
Полилинейное упрочнение .....	39
Типы элементов (для упругопластических задач).....	41
Особенности настроек решателя .....	41
Ортотропная термоупругость .....	41
Работа с блоками.....	41
Задание свойств оболочек.....	43
Задание свойств балок.....	46
Касательные напряжения при изгибе балки с квадратным сечением.....	47
Задание свойств точечной массы .....	50
Задание свойств пружины.....	51
Локальные системы координат.....	52
Цилиндрические системы координат .....	52
Сферические системы координат.....	53
Задание граничных условий.....	54
Типы граничных условий.....	54
Задание начальных условий.....	55
Типы начальных условий.....	55
Зависимость от времени или координат.....	55
Задание контактного взаимодействия.....	58
Создание контакта .....	58
Типы контактов.....	59
Автовыбор контакта .....	60
Контактный алгоритм.....	62
Типы элементов.....	62
Статус Kontakта .....	63
Болтовой преднатяг .....	63
Задание внутреннего давления для балочных элементов с кольцевым сечением.....	64
Упругое состояние трубы. Формулы Ламе .....	64
Запуск расчёта .....	68
Типы анализа.....	68
Модели задач.....	69



Многошаговые расчеты .....	70
Задание шагов для граничных условий .....	70
Задание шагов расчета для блоков (объемов) .....	71
Задание шагов расчета для материалов .....	72
Метод спектральных элементов .....	74
Краткое описание и преимущества МСЭ .....	74
Использование МСЭ .....	75
Расчёт эффективных свойств неоднородных материалов .....	76
Геометрия модели для расчёта эффективных свойств .....	76
Запуск на расчёт .....	77
Типы элементов .....	78
Расчёт эффективных свойств и его результаты .....	78
Обработка результатов и экспорт эффективного материала .....	83
Данные в формате SEG-Y .....	84
Спектральный анализ .....	87
Задание спектра отклика .....	87
Расчеты для Автомеханики (интеграция с Euler), Универсальный механизм .....	90
Общие положения .....	90
Практическая реализация .....	90
Моделирование движения механической системы, состоящей из деформируемых упругих тел .....	90
Испытание «Переставка» .....	94
Результаты тестовых расчетов .....	95
Аддитивная печать .....	98
Сетка и граничные условия .....	98
Запуск на расчет .....	99
Визуализация результатов и постпроцессинг .....	101
О программе FidesysViewer .....	101
Главное окно программы .....	101
Основные принципы работы .....	102
Отображение на модели полей данных и легенды .....	102
Выделение .....	102
Отображение информации .....	102
Просмотр деформированной модели .....	102
Сферические/цилиндрические системы координат .....	102
Построение графиков вдоль прямой линии .....	102
Построение графиков вдоль кривых .....	103
Построение графиков в зависимости от времени .....	103



Оценка качества сетки.....	103
Срез .....	103
Сечение .....	103
3D-отображение балок и оболочек.....	103
Фильтры.....	103
Сохранение данных .....	112
Пошаговое руководство пользователя .....	114
Статическое нагружение (объемная модель) .....	114
Статическое нагружение (сила тяжести) .....	132
Статическое нагружение (балочная модель, силы реакции).....	143
Статическое нагружение (оболочки).....	153
Гидростатическое давление на цилиндр (задание зависимости ГУ от координат) .....	163
Задача устойчивости (оболочечная модель).....	180
Анализ собственных частот (объемная модель) .....	194
Анализ собственных частот (оболочечная модель).....	203
Задача теплопроводности (объемная модель, работа с двумя блоками) .....	211
Динамическое нагружение: Нестационарная теплопередача (объемная модель, неявная схема) .....	223
Гармонический анализ (балки).....	235
Моделирование связанного контакта.....	249
История нагружения упруго-пластической пластины.....	261
Последовательное добавление объемов в процессе расчета.....	273
Последовательное удаление объемов в процессе расчета.....	284
Распространение сейсмических волн (получение результатов в формате SEG-Y) .....	296
Пороупругопластическая модель скважины (2D).....	312
Задача Герца для двух полусфер, контактирующих в начале координат.....	325
Расчет динамической задачи пластин с контактом.....	340
Оптимизационная задача с использованием Fidesys Python API .....	351
Задача о нагружении внутренним давлением баллона с силовой оболочкой .....	366
Пошаговый пример для демонстрации обнуления напряжений при замене материала на некотором шаге.....	383
Определение эффективных механических характеристик для ортогонально армированного композита.....	395
Статический расчет крыла самолета Bombardier learjet 35 .....	409
Участок грунта с выработкой под действием давления .....	430
Болтовой преднатяг в модели, связанной по касательной .....	446
Линеаризация напряжений вдоль линии приведения на примере соединения К-типа .....	467
Контактная информация.....	493



## 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 *FidesysViewer*, 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: 6 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 11	Ubuntu 16.04, Ubuntu 18.04, Ubuntu 20.04, Ubuntu 22.04
Windows Server 2022	Alt Linux 9.2
Windows 10	Debian 9, Debian 10, Debian 11
Windows Server 2019	RHEL 7, RHEL 8, RHEL 9
Windows Server 2016	Astra Linux Special Edition ПУСБ.10015-01
Windows 8.1	Astra Linux 1.6, Astra Linux 1.7 (ядро – linux-5.4.0-54-generic)
Windows 8	RedOS
Windows Server 2012	Centos 7, Centos 8, Centos 9
Windows Server 2012 R2	Oracle Linux Server 9
Windows 7 SP1	OpenSUSE 15.3, OpenSUSE 15.4
Windows Server 2008 R2 SP1	Rocky Linux 8.5
	Scientific Linux 7

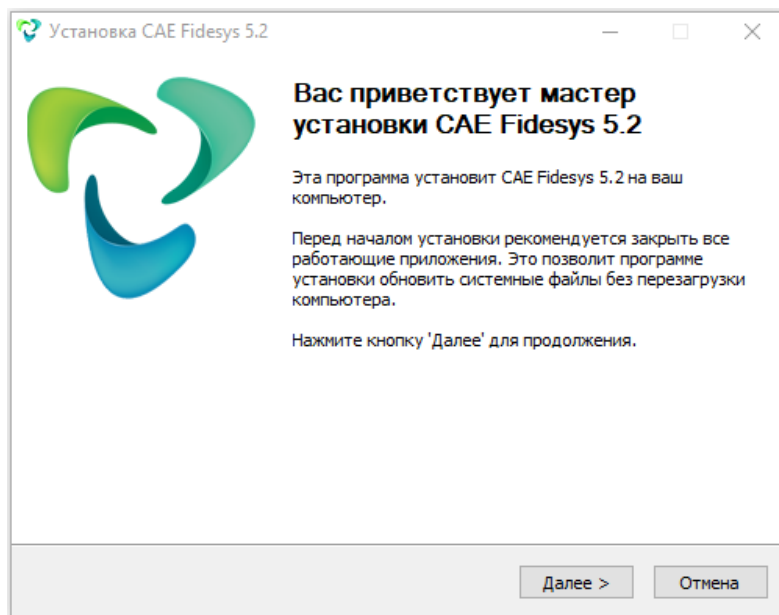
**Важно:** Необходимо установить последние обновления Windows.

## Установка

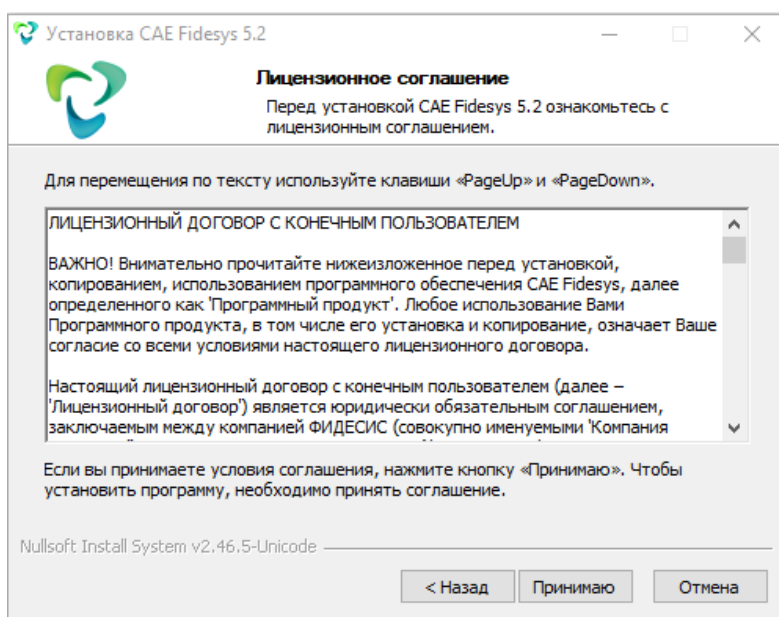
### Microsoft Windows

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.ru> 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**.

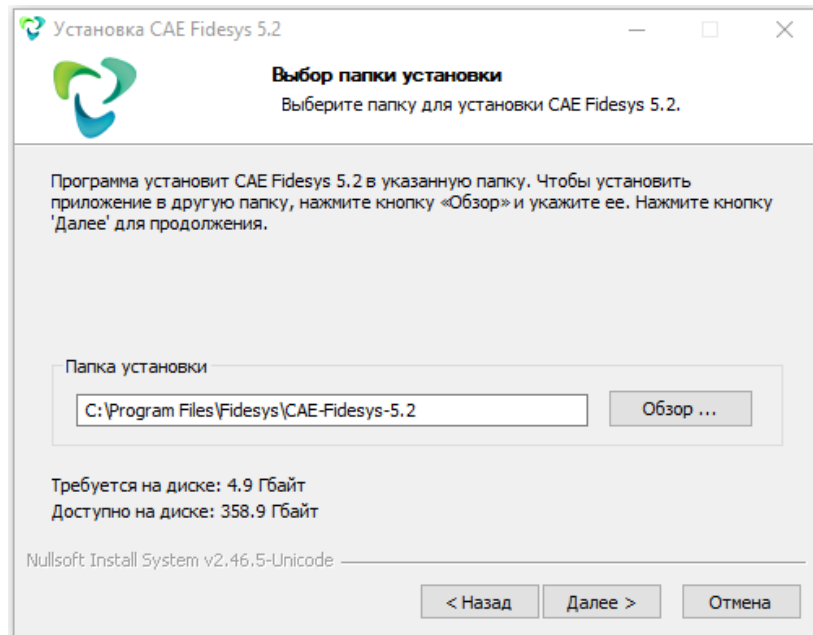


3. Внимательно ознакомьтесь с лицензионным договором. Если вы не согласны с какими-либо его пунктами, нажмите **Отмена**. Если вы полностью согласны с условиями, нажмите **Принимаю**.

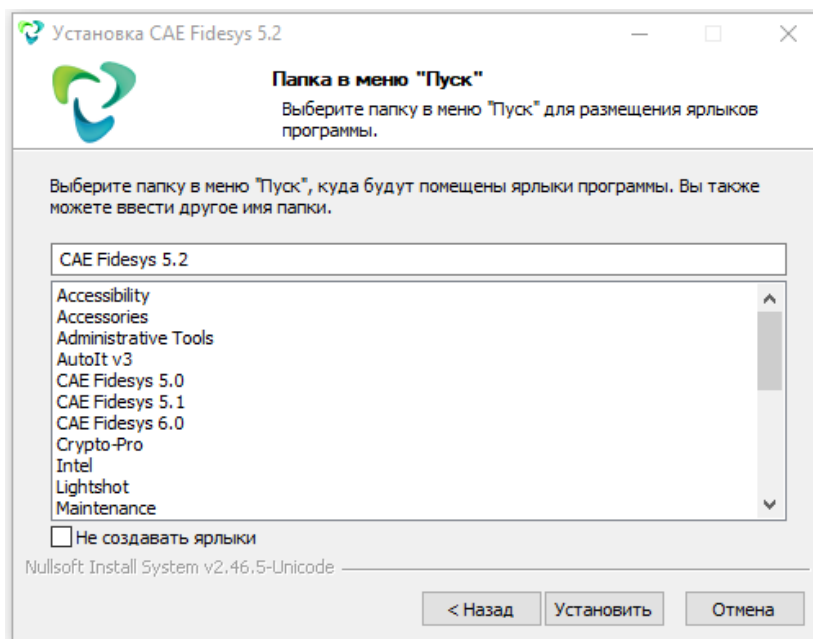


4. Выберите папку для установки программы и нажмите **Далее**.

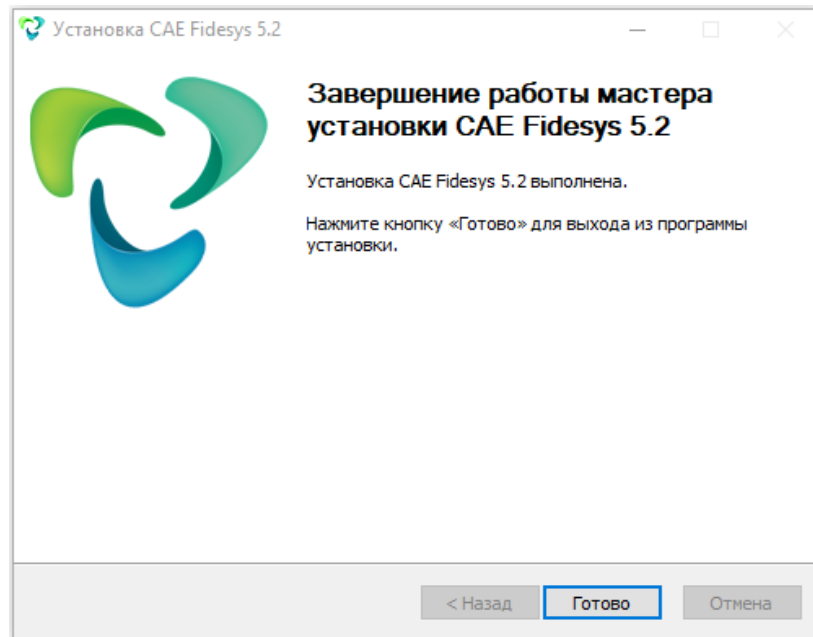




5. Введите название папки в меню «Пуск», в которой будет создан ярлык для запуска программы. Если вы не хотите создавать папку в меню «Пуск», выберите **Не создавать ярлыки**. Нажмите **Установить**.



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. Поддерживаемая операционная система: Ubuntu 20.04.

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

2. Инсталлер типа «CAE-Fidesys-5.2.<version>-lin64-<language>-mpi.run». Установка в 2 этапа:

2.1. С пользовательскими правами доступа в терминале запустите run-файл для распаковки установщика  
`./CAE-Fidesys-5.2.<version>-lin64-<language>-mpi.run`

Если файл не является запускаемым, то необходимо его обозначить как запускаемый  
`chmod +x CAE-Fidesys-5.2<version>-lin64-<language>-mpi.run`

Директория установки программы по умолчанию

`./CAE-Fidesys-5.2`

2.2. С правами администратора запустите скрипт установки

`sudo <path_to_install_directory>/install.sh`

2.3. Для удаления программы запустите скрипт

`sudo <path_to_install_directory>/uninstall.sh`

3. Инсталлер типа «CAE-Fidesys-5.2-<language>-mpi\_<version>\_amd64.deb». Установка в 1 этап:

3.1. С правами администратора запустите

`sudo dpkg -i CAE-Fidesys-5.2-<language>-mpi_<version>_amd64.deb`

Директория установки программы по умолчанию

`/opt/fidesys/CAE-Fidesys-5.2`

3.2. Для удаления программы с правами администратора запустите

`sudo dpkg -r CAE-Fidesys-5.2`

4. Запуск



4.1. CAE Fidesys. В консоли/терминале

cae-fidesys-5.2

4.2. FidesysViewer. В консоли/терминале

fidesys-viewer-5.2

## 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 (*FidesysViewer*).

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;
- **FidesysViewer** — постпроцессинг и анализ результатов;

### Запуск программного обеспечения

Программу можно запустить двумя способами:

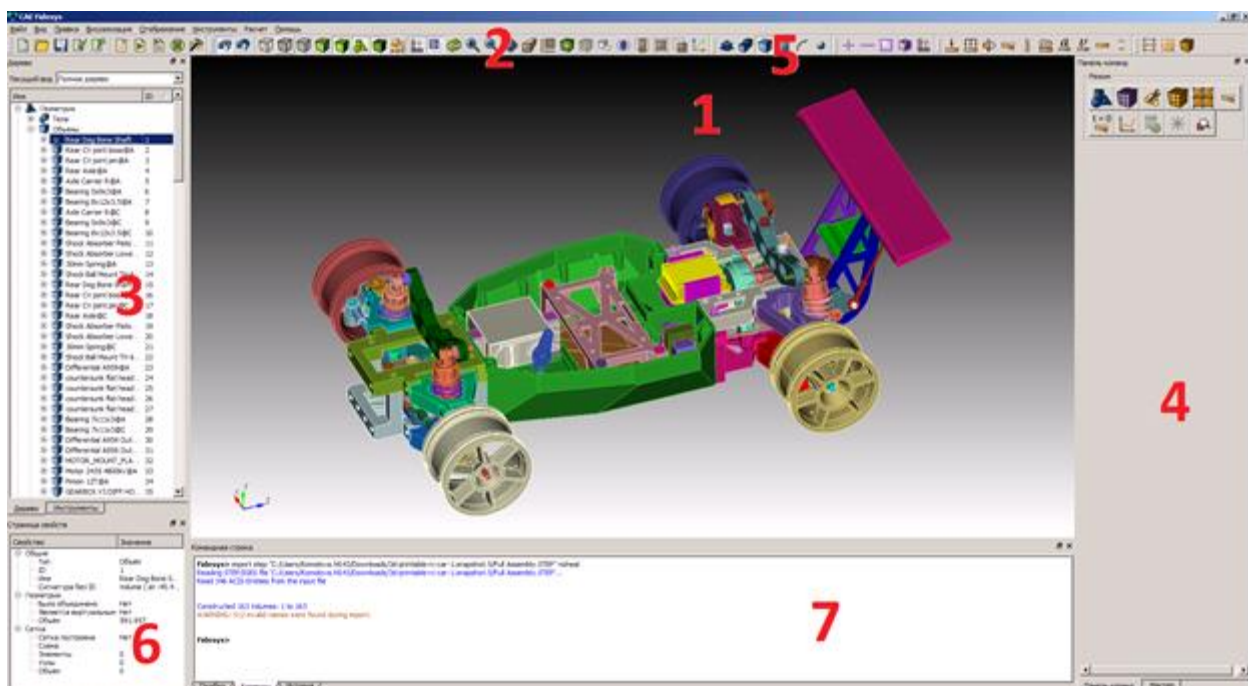
- через меню «Пуск» (если при установке было выбрано создание ярлыков в нём): выбрать **Fidesys** в папке, куда была установлена программа);
- через любой файловый менеджер для Windows из каталога, куда была установлена программа (по умолчанию **C:\Program Files\Fidesys\Fidesys-5.2**): запустить файл **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.

## Новые возможности версии 5.2

Выпущена: декабрь 2022

### *Дополнения и улучшения функционала*

- Добавлено линейное изотропное упрочнение тип 1 для модели Друкера - Прагера
- Добавлена возможность задания температуры в табличном виде в зависимости от  $x, y, z, t$
- Добавлена возможность задания контактов, связей и периодических условий на шагах
- Добавлена возможность задания внутреннего давления в балочные элементы с кольцевым сечением
- Добавлен вывод ускорения в файлы SEG-Y
- В расчете болтовых соединений улучшена работа силового преднатяга
- Добавлена возможность выбора сущности «Узлы на расстоянии» для граничных условий Связи
- Добавлена возможность задания зависимости от температуры в свойствах мультилинейного упрочнения

### *Дополнения и улучшения постпроцессора*

- Добавлен новый фильтр "Линеаризация Напряжений/Деформаций"
- Дополнен фильтр "Системы координат" для просмотра НДС в ламинатных оболочках
- Добавлен новый фильтр "Теория прочности Треска - Сен-Венана"
- Добавлена возможность распараллеливания фильтров, что ускоряет обработку данных



## 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.

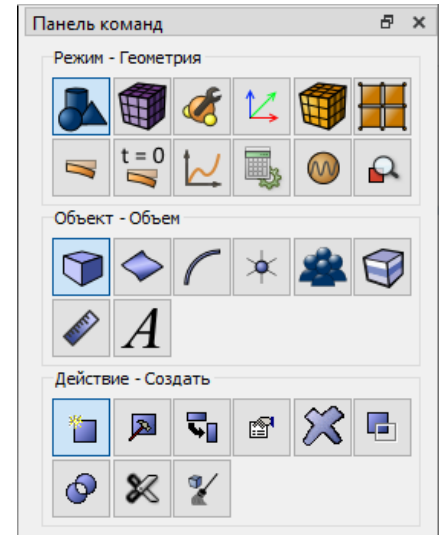
### Импорт геометрии

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);
- GAMBIT Real Geometry (\*.dbs);
- Catia (\*.CATPart, \*.CATProduct, \*.ncgm);
- Parasolid (\*.x\_t, \*.x\_b);
- SolidWorks (\*.sldprt, \*.sldasm);
- JT (\*.jt);
- Pro/E (\*.ptr, \*.asm);
- Exodus (\*.e\*, \*.exo);
- Genesis (\*.g, \*.gen);
- Abaqus (\*.inp);
- STL Files (\*.stl);
- Facets (\*.fac);
- Fluent (\*.msh);
- AzoreCFD (\*.azmsh);
- GAMBIT Neutral (\*.neu);
- I-DEAS (\*.unv);
- Nastran (\*.bdf);
- Patran (\*.pat, \*.neu, \*.out);
- Cubit files (\*.cub);
- Cubit HDF5 (\*.cub5, \*.trellis);
- CATIA v4 (\*.model);
- Ansys Mesh Files (\*.cdb);
- Fidesys Project (\*.fds);
- Fidesys Case (\*.fc);
- VTK UnstructuredGrid (\*.vtu);
- FidesysViewer Data Files (\*.pvd);
- Additive Manufacturing (\*.cli).

## 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**.



## Конвертер CDB

В версии 5.2 фидесиса появилась возможность импортировать файл формата cdb. Формат cdb - формат архивов, который поддерживает программный комплекс Ansys.

В данных файлах содержится следующая информация о модели: сетка конечных элементов, материал, граничных условия, вид анализа, настройки расчета.

Ниже приведена информация о возможностях конвертера cdb в программном комплексе CAE Fidesys.

Таблица 1 - конвертация видов анализа

Название анализа	Название анализа Ansys	Результат конвертации в CAE Fidesys
Статический анализ	Antype,Static	Статический расчет
Анализ собственных колебаний	Antype,Modal	Анализ частот, форм колебаний
Анализ линейной устойчивости	Antype,Buck	Расчет на потерю устойчивости

Таблица 2 - конвертация видов конечного элемента

Название элемента	Название элемента Ansys	Результат конвертации в CAE Fidesys
Твердотельный элемент	solid185	Объёмное тело (1 порядок)
Твердотельный элемент	solid186, solid187	Объёмное тело (2 порядок)
Оболочечный элемент	shell181, shell281	Оболочка (1 и 2 порядок)
Балочный элемент	beam188, beam189	Балка (1 и 2 порядок)
Линейная пружина	combin14	Пружина (тип пружины - линейная пружина)
Комбинированная пружина	combin40	Пружина (тип пружины - комбинированная пружина)
Элемент дискретной массы	mass21	Точечная масса

Таблица 3 - конвертация граничных условий

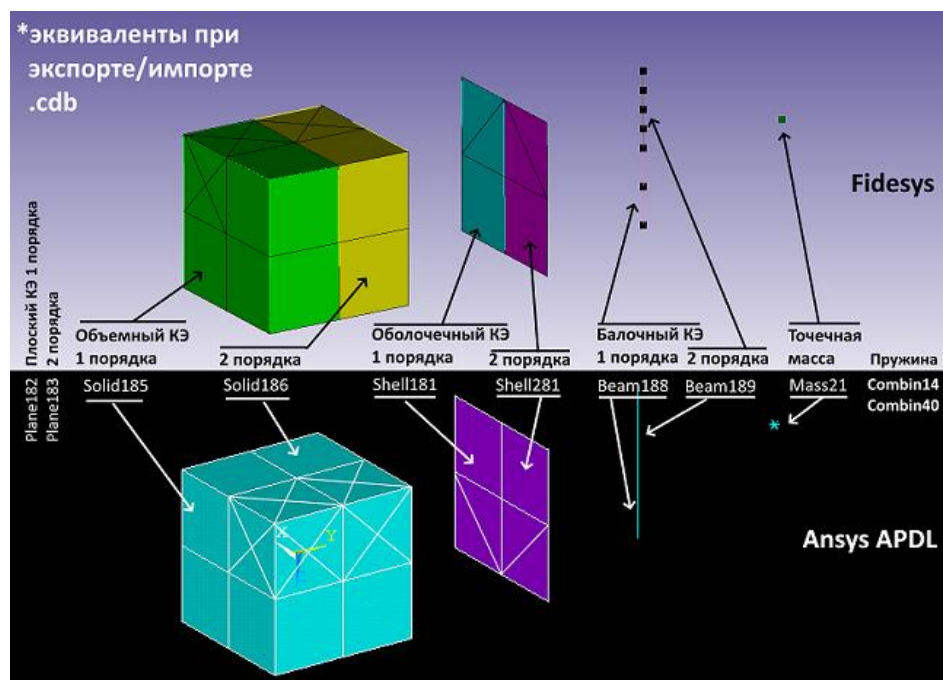
Название гу	Название команды APDL, отвечающее за данное ГУ Ansys	Результат конвертации в CAE Fidesys
Перемещения	D;DK;DL;DA	Перемещения (список сущностей - узлы)
Узловые силы, моменты	F	Точечная сила (список сущностей - Узел)
Связывание степеней свободы	COUPLING	Связи (настройка - степени свободы)
Жесткий регион	CERIG	Связи (настройка - расстояния между сущностями)

Таблица 4 - конвертация физических свойств материала

Название свойств	Название свойств Ansys	Результат конвертации в CAE Fidesys
Линейно-упругий изотропный материал (модуль Юнга, коэффициент Пуассона)	Linear Isotropic Material Properties (EX,PRXY)	Материал Гука (Модуль Юнга, Коэффициент Пуассона)
Массовая плотность	Density	Плотность
Коэффициент температурного расширения	Isotropic Thermal Secant Coefficient	Коэффициент температурного расширения

В Fidesys 5.2 появилась возможность конвертировать поверхностную нагрузку из пакета Ansys. Результатом данной конвертации будет поле "Распределенная сила", находящее во вкладке "Нагрузки".

Соответствие элементов Ansys и CAE Fidesys представлено наглядно на картинке ниже



## Интеграция BricsCAD\NanoCad

При наличии установленных плагинов, применяемых для открытия в препроцессоре моделей, CAE Fidesys поддерживает интеграцию с BricsCAD и NanoCAD.

Ниже приведены две проверки интеграции с внешними CAD/CAE системами NanoCAD и BricsCAD с программным комплексом CAE Fidesys. Проверка считается успешной, если подтверждается успешный экспорт модели в CAE Fidesys.

### Интеграция BricsCAD

На Рис. 1 продемонстрирована деталь технической конструкции в системе автоматизированного проектирования BricsCAD.

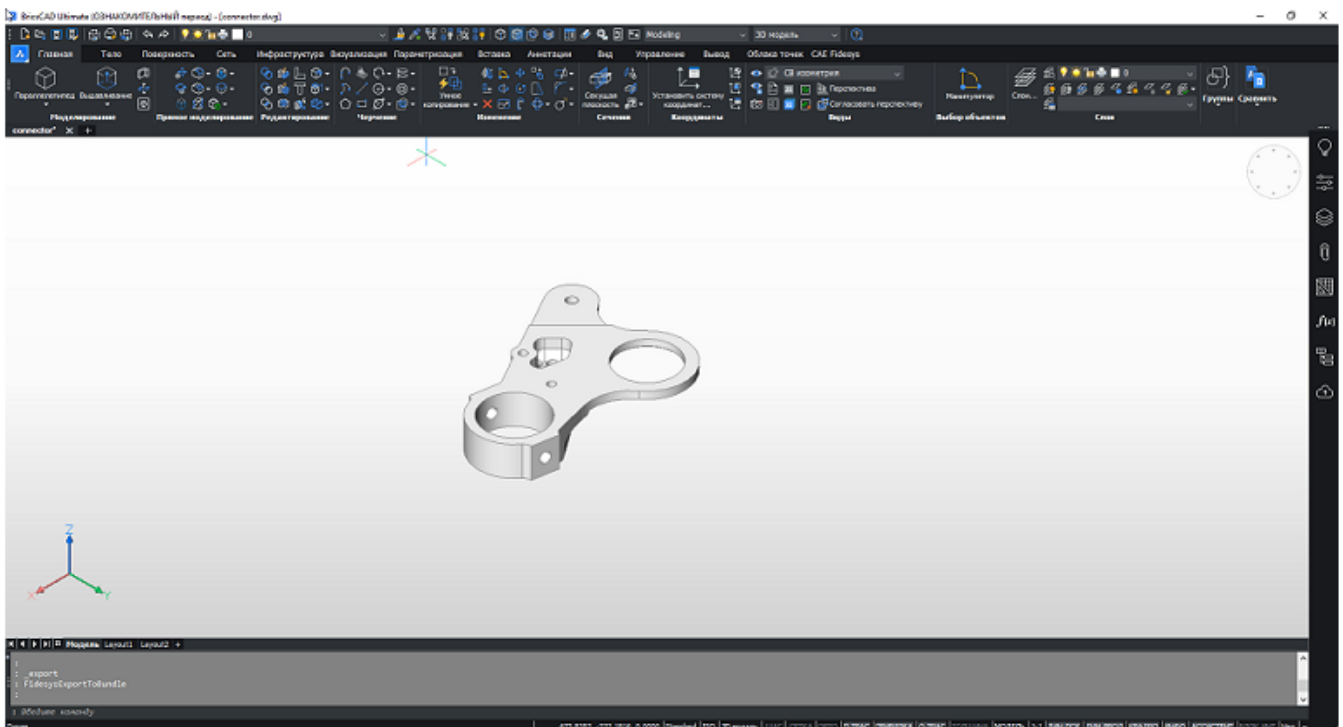


Рис.1 - Геометрическая модель детали технической конструкции

Для экспорта модели в CAE Fidesys необходимо на главной ленте BricsCAD перейти на вкладку и нажать на Открыть в CAE Fidesys (Рис. 2).

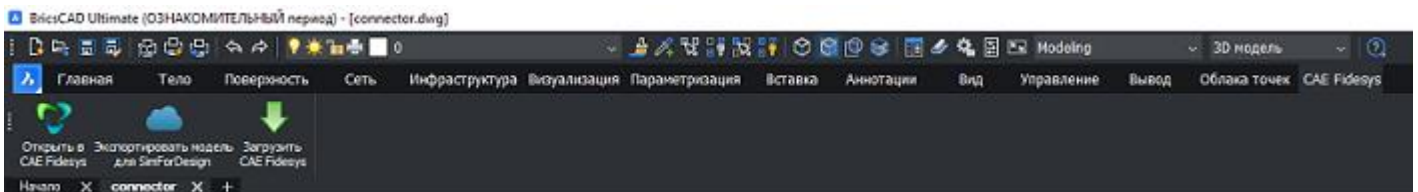


Рис.2 - Экспорт модели в CAE Fidesys

В результате откроется окно программы CAE Fidesys, в котором демонстрируется успешный экспорт детали (Рис. 3).

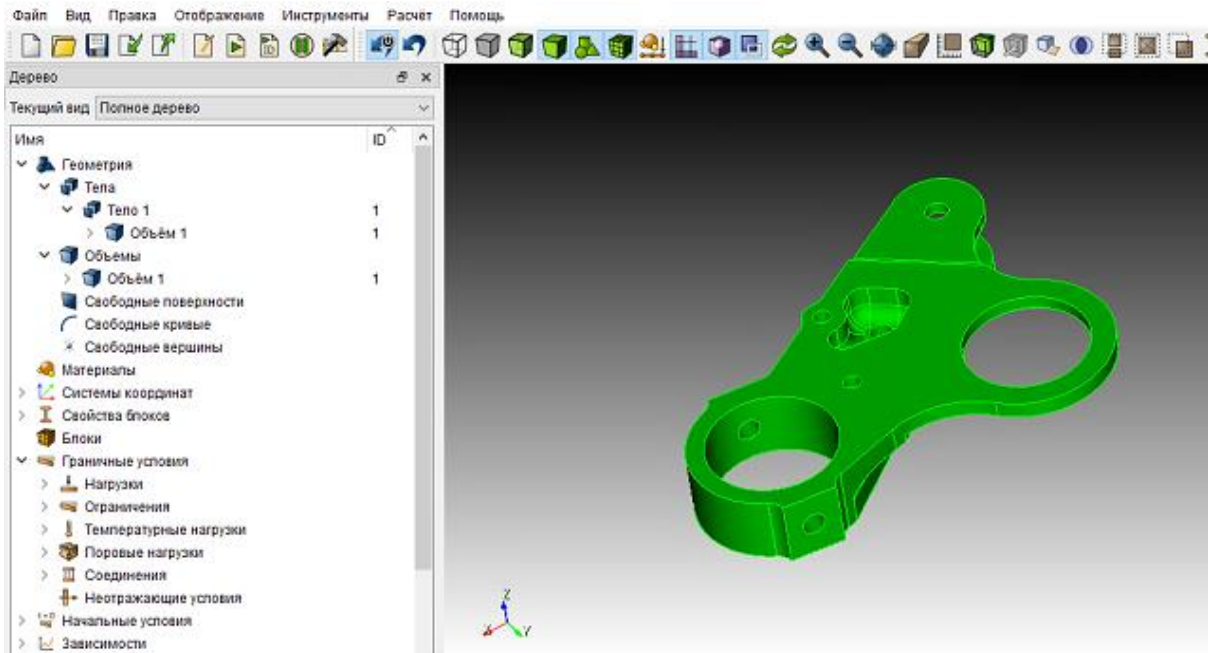


Рис.3 - Успешный экспорт модели в CAE Fidesys

### Интеграция NanoCAD

На Рис. 4 продемонстрирована модель автомобильного диска в системе автоматизированного проектирования NanoCAD.

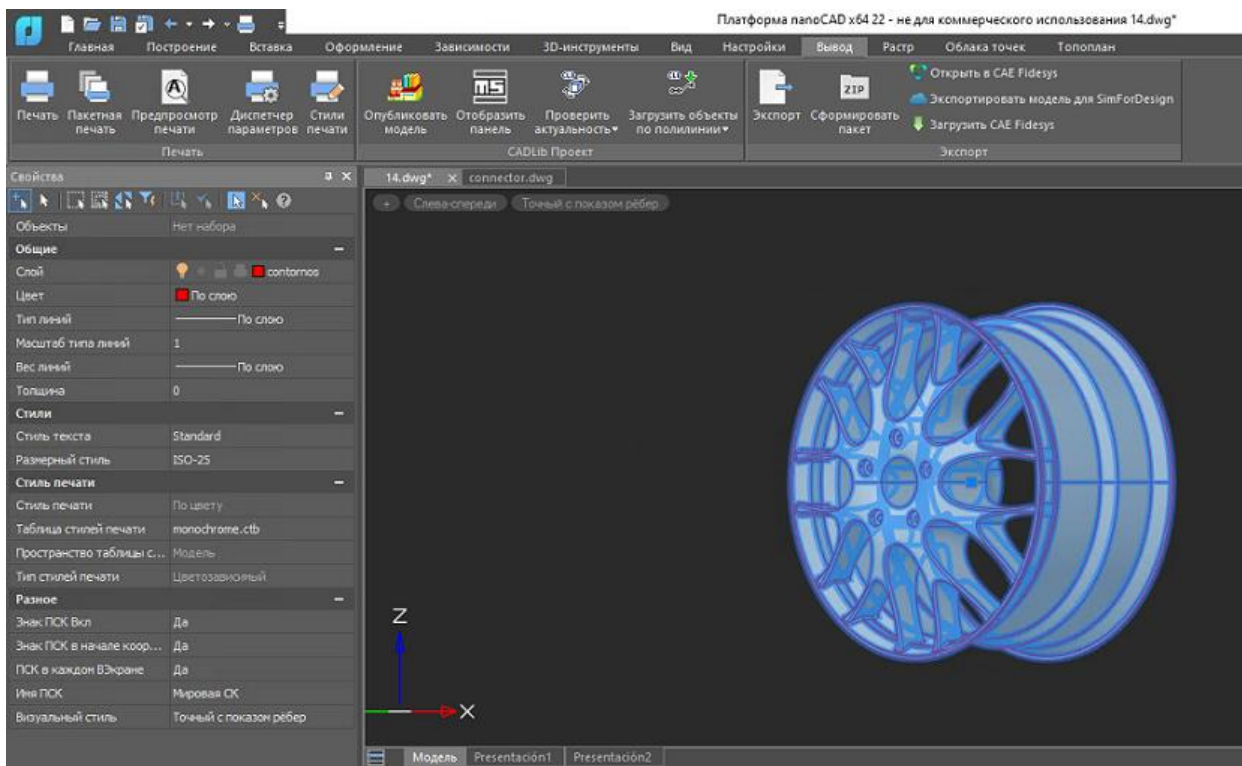


Рис.4 - Геометрическая модель автомобильного диска

Для экспорта модели автомобильного диска в CAE Fidesys необходимо на главной ленте NanoCAD перейти на вкладку **Вывод** и нажать на **Открыть в CAE Fidesys** (Рис. 5).

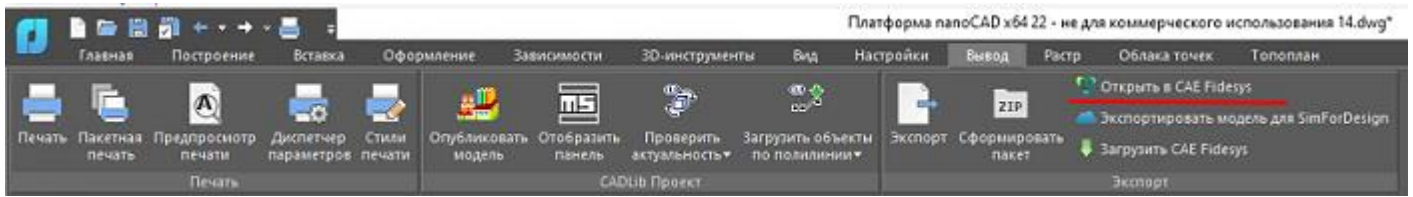


Рис.5 - Экспорт модели в CAE Fidesys

В результате откроется окно программы CAE Fidesys, в котором демонстрируется успешный экспорт автомобильного диска (Рис. 6).

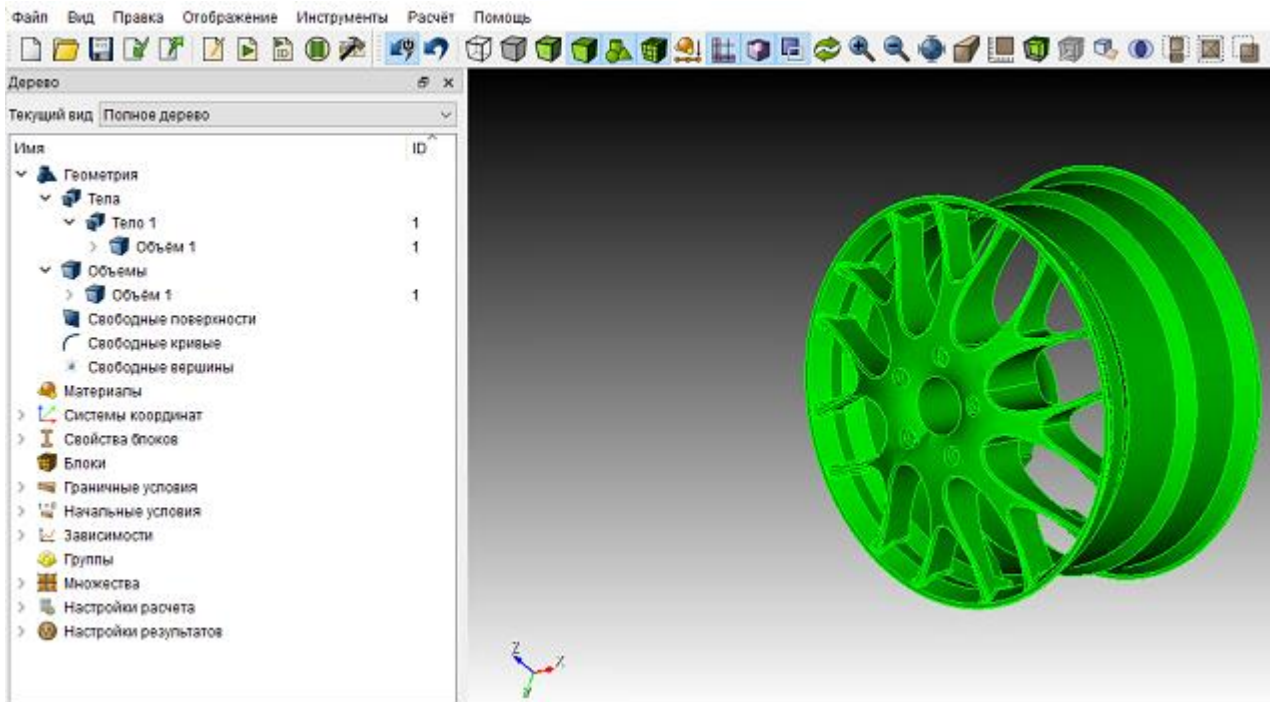


Рис.6 - Успешный экспорт модели автомобильного диска в CAE Fidesys

## 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**.

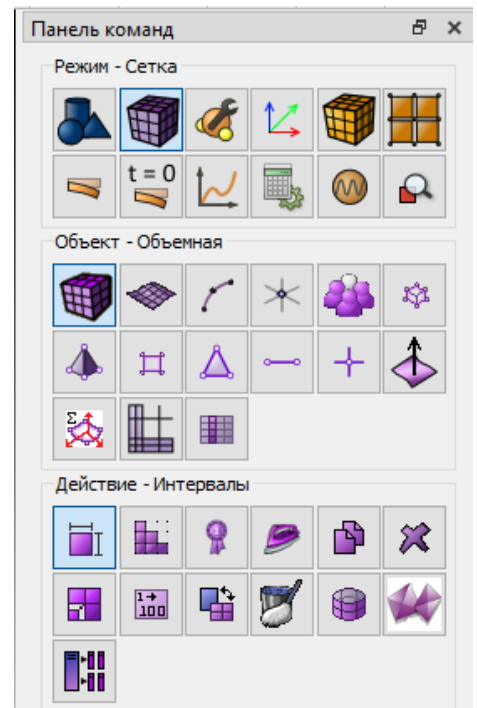
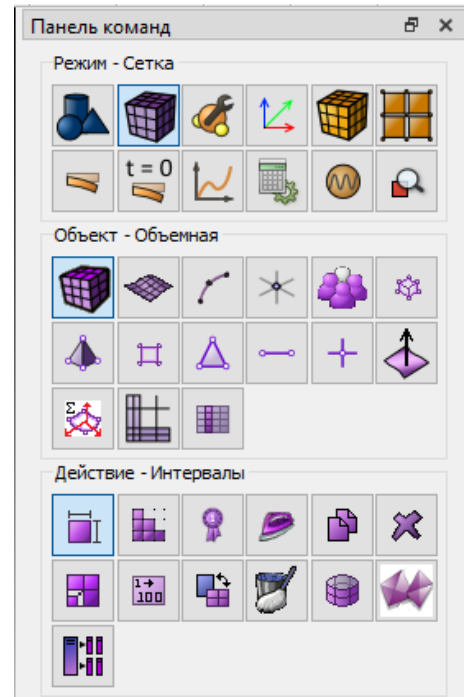
В случае сложной геометрии рекомендуется сначала задать схему построения поверхностной сетки (треугольные или четырёхугольные элементы).

## Построение конечно-элементной сетки

Для построения конечно-элементной сетки выполните следующие действия.

1. На панели команд выберите модуль построения конечно-элементной сетки (Режим — **Сетка**, Объект — **Объёмная**).
2. Укажите степень измельчения сетки (Действие — **Интервалы** — **Задать размер**) каждой поверхности:
  - выберите объёмы (укажите их ID). Несколько объёмов можно перечислить через пробел, все объёмы 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.



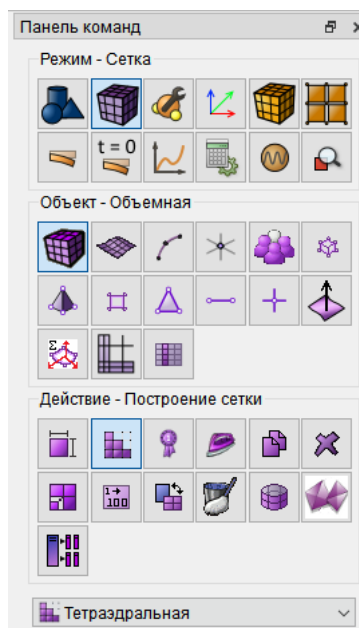
С помощью функционала, доступного через панель команд, можно также:

- 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.

## Настройки тетраэдральной сетки

Для построения тетраэдральной сетки выполните следующие действия:

1. На панели команд выберите модуль построения тетраэдральной сетки (Режим — **Сетка**, Объект — **Объемная**, Действие — **Построение сетки, Тетраэдральная**).

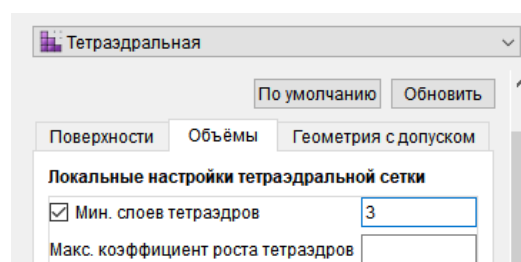


Ниже рассмотрены некоторые настройки тетраэдральной сетки.

### 1. Минимально слоев тетраэдров

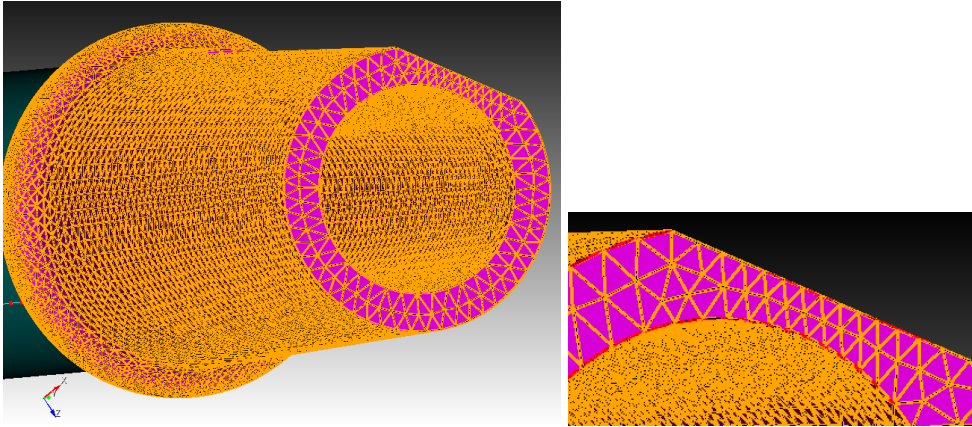
В некоторых тонких областях модели может потребоваться обеспечить минимальное количество слоев элементов по толщине для лучшего отображения физических свойств. Используя параметр близости слоев, указанное минимальное количество слоев тетраэдров будет размещено в тонких областях, даже если размеры тетраэдров упадут ниже размера, назначенного для объема.

По умолчанию для слоев близости установлено значение **ВЫКЛЮЧЕНО**, при этом размеры элементов не будут затронуты в тонких областях.

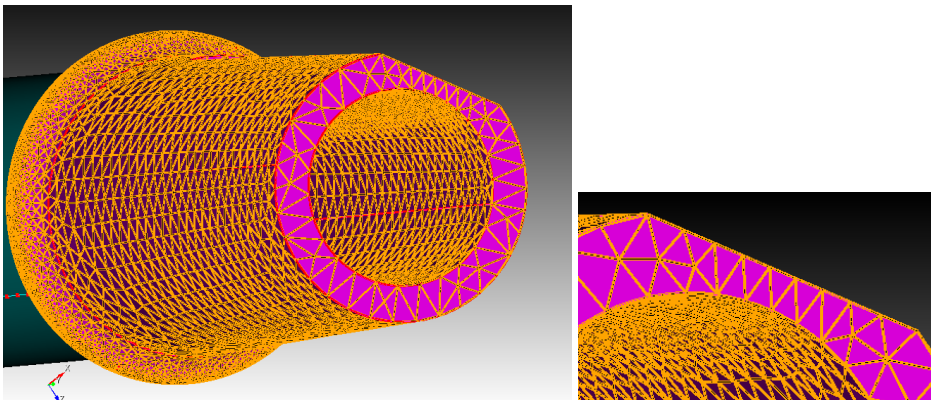




Мин. Слоев 3



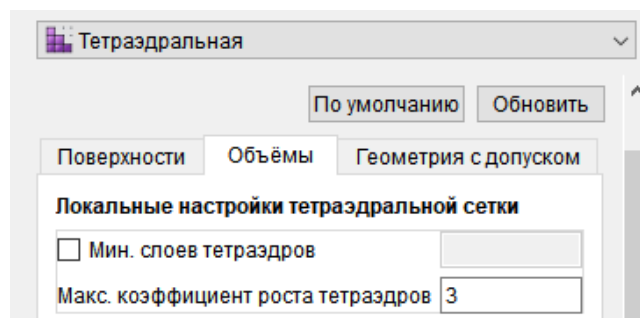
Мин. Слоев 2



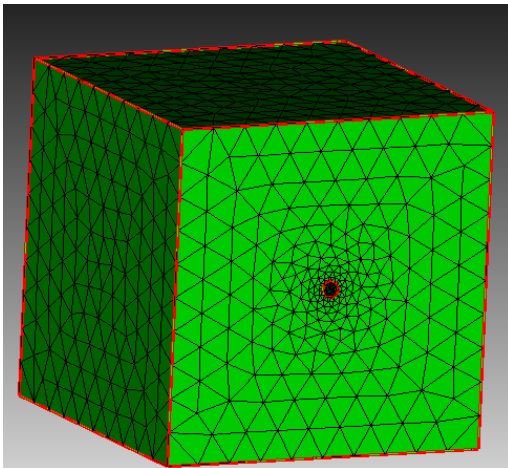
## 2. Максимальный Коэффициент роста тетраэдров

Параметр роста контролирует, насколько быстро размеры тетраэдров могут изменяться при переходе от малых к большим размерам в объеме. Например, значение 1,5 будет пытаться ограничить соотношение между двумя соседними тетраэдрическими ребрами.

Допустимые значения для градации должны быть больше или равны 1,0 и обычно меньше 2 или 3. Чем больше значение, тем быстрее происходит переход. Аналогичным образом, значения, близкие к 1,0, приведут к более однородной сетке. Значение по умолчанию для роста - 1,05, что позволяет несколько медленный переход между размерами в объеме.

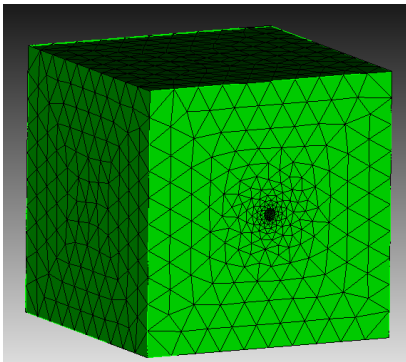


## Коэффициент роста 3



Сетка	
Сетка построена	Да
Схема	tetmesh
Элементы	16073
Узлы	3726
Объём	998.101

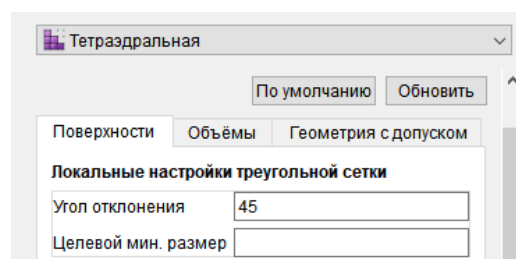
## Коэффициент роста 1



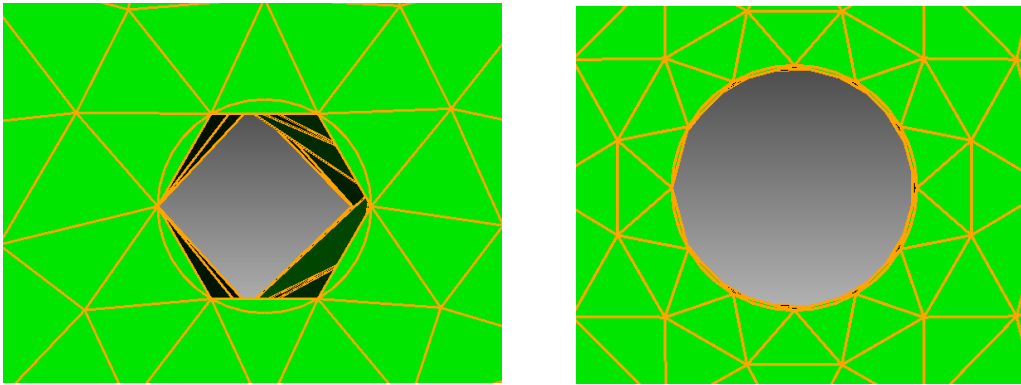
Сетка	
Сетка построена	Да
Схема	tetmesh
Элементы	53777
Узлы	9901
Объём	998.101

## 3. Угол отклонения

Демонстрирует влияние установленного угла аппроксимации геометрии на объем. Размеры треугольников на внутренней стороне поверхностей будут скорректированы, чтобы лучше улавливать кривизну.

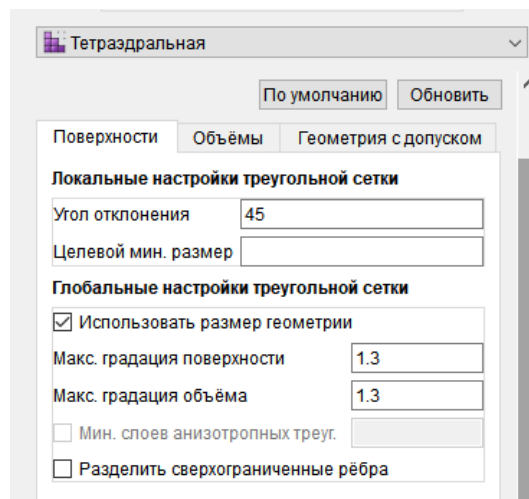


На левом рисунке - Угол отклонения 45, на правом - Угол отклонения 15.

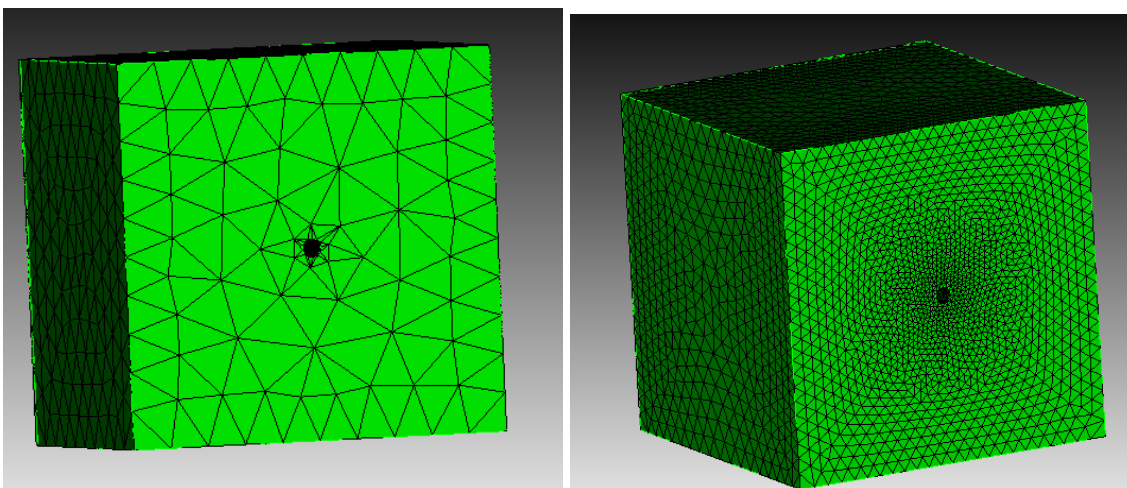


4. Максимальная градация поверхности

Градация поверхности будет контролировать рост треугольников, размер элементов которых определяется ограничивающими кривыми. Применяется градация, чтобы размеры треугольников увеличивались по мере удаления от небольшого объекта.

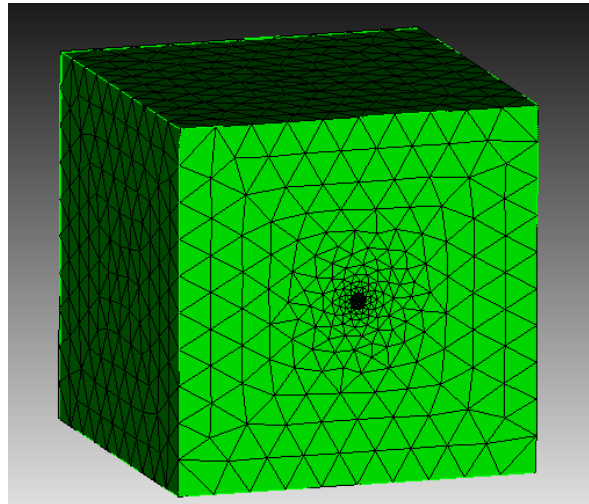
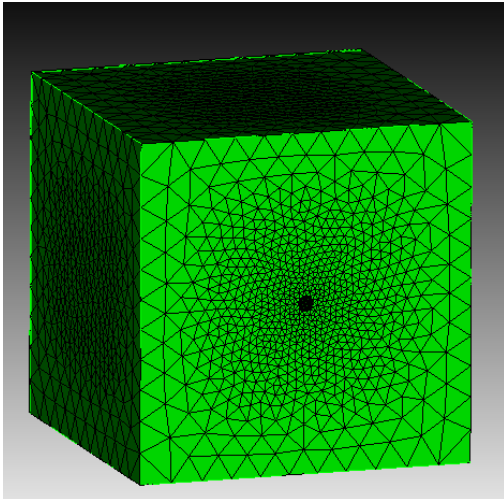


На левой картинке градация поверхности 5, на правой – градация 1.05.



5. Максимальная градация объема

Для левого рисунка - градация поверхности 1.3, градация объема 1.05, для правого - Градация поверхности 1.3, градация объема 5



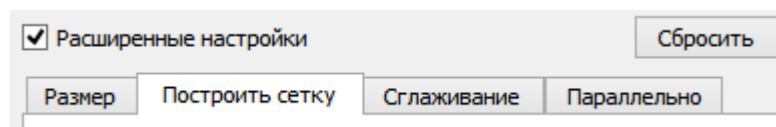
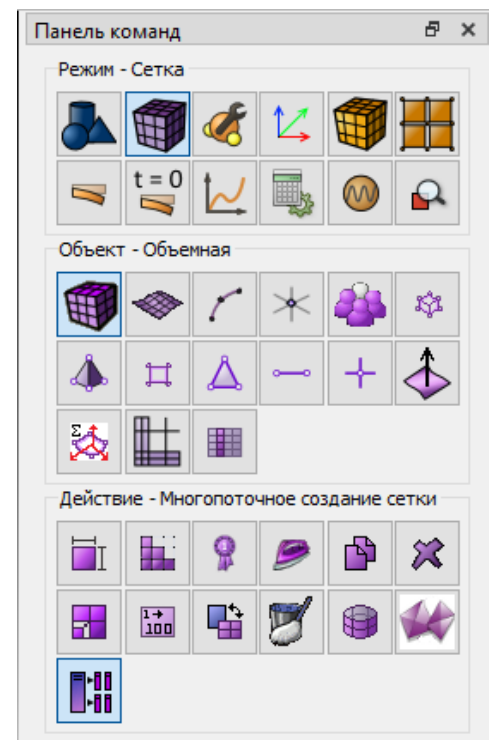
### Многопоточное создание сетки

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)).

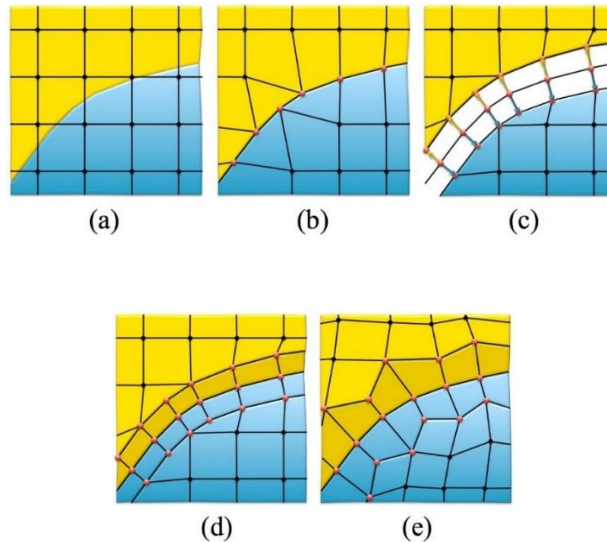
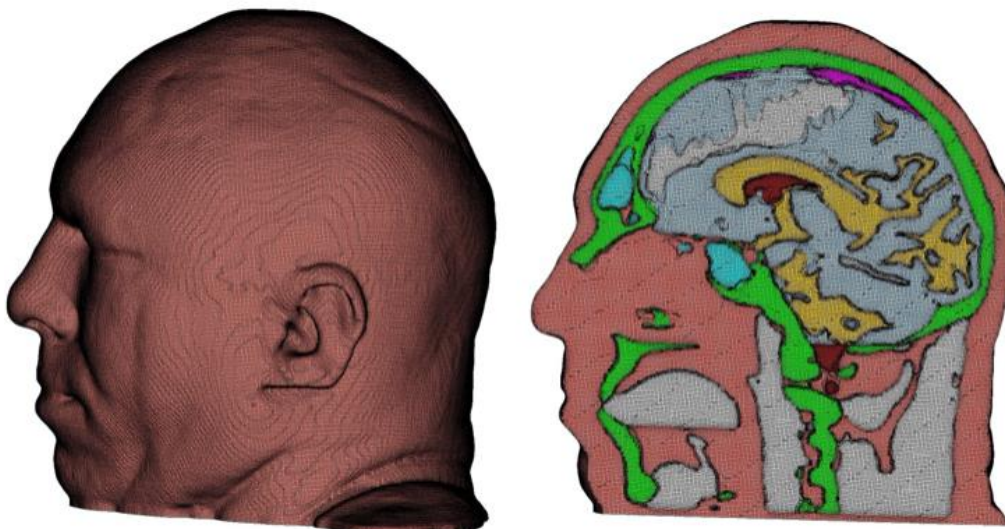


Рисунок 1. Процедура создания гексаэдральной сетки с использованием метода Sculpt

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.



Новые возможности создания гексаэдральной сетки с использованием метода Sculpt

## Воксельная сетка

Область применения: объемы.

Краткая характеристика: На объеме будет построена воксельная сетка.

Настройки: Панель команд, Режим - Сетка, Объект - Объемная, Действие - Построение сетки, Воксельная.

Используемая команда:

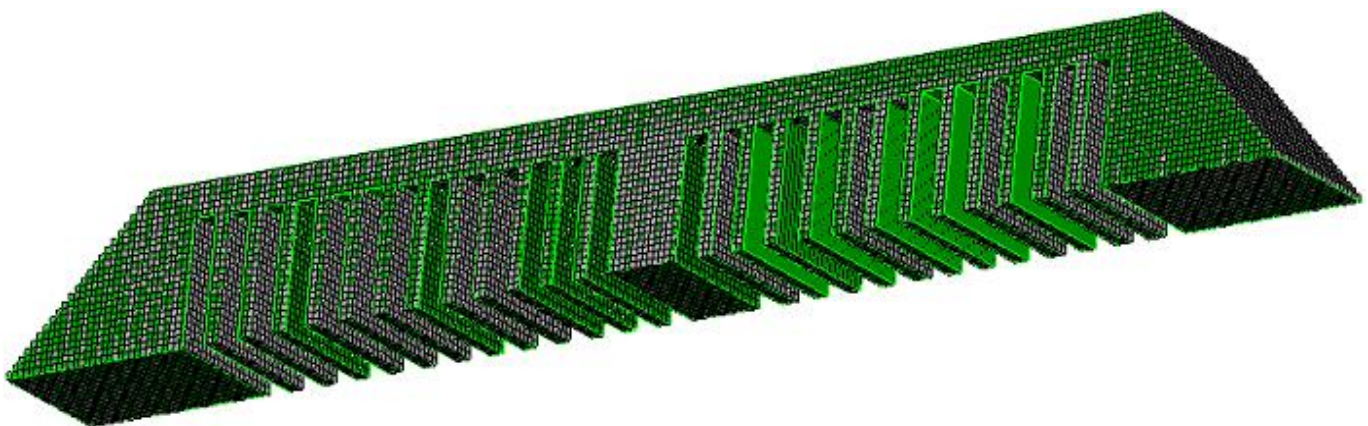
```
voxelmesh x [y ] [z ] [use_api]
```

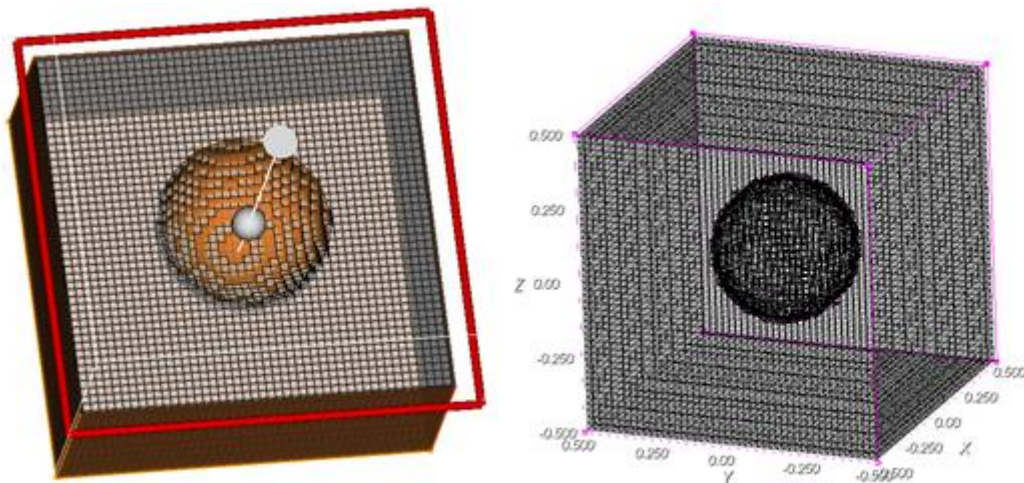
Где

- x, y, z - размеры вокселя;
- use\_api - параметр, указывающий на использования api во время построения сетки (включен по умолчанию).
- При построении воксельной сетки для каждого слоя создается блок, которому в дальнейшем необходимо присвоить материал.

Пояснения: Слово воксель - voxel - образовано от слова Volume и аббревиатуры piXEL (pixel, расшифровывается как PiCture'S ELement, элемент картины). То есть, переводится как "элемент объемного изображения" или "элемент объема изображения". Воксель - это элемент объёмного изображения. Аналог гексаэдральной сетки.

Примеры воксельной сетки





## Задание материала

### Добавление материалов

CAE Fidesys поддерживает следующие материалы:

- Материал Гука;
- Ортоотропный 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  $\nu$ :

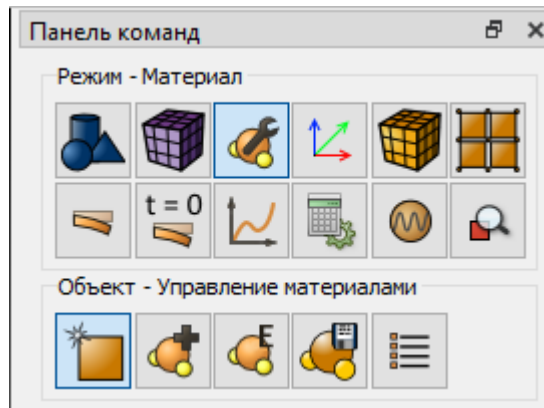
$$D = \frac{1 - 2\nu}{C_{10} + C_{01}}.$$

Потенциал Мурнагана:

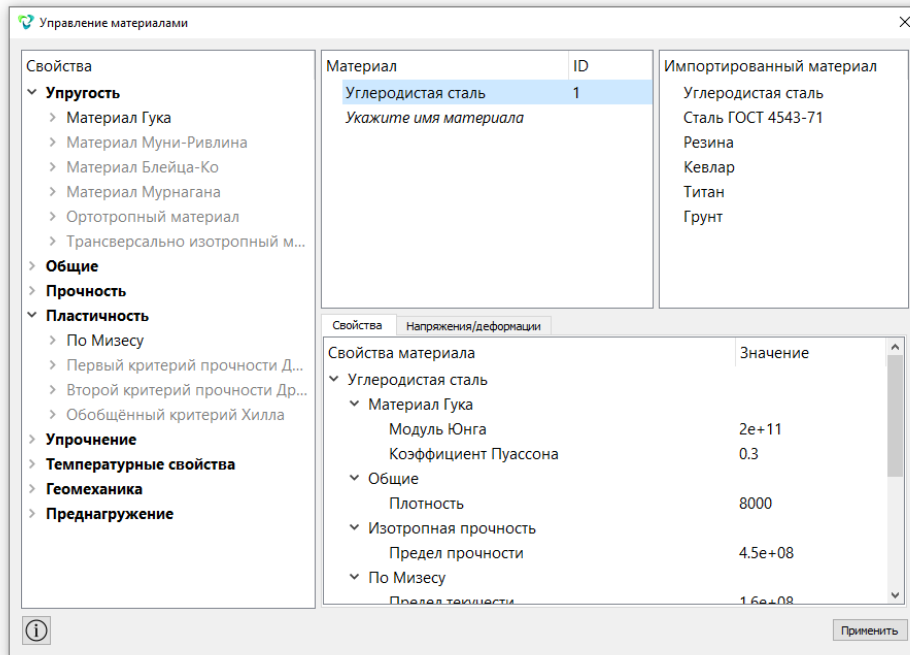
$$\Sigma_{0,n}^0 = \lambda(\varepsilon \cdot I)I + 2G\varepsilon + 3C_3(\varepsilon \cdot I)^2I + C_4(\varepsilon \cdot I)I + 2C_4(\varepsilon \cdot I)\varepsilon + 3C_5\varepsilon^2$$

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 материалами.



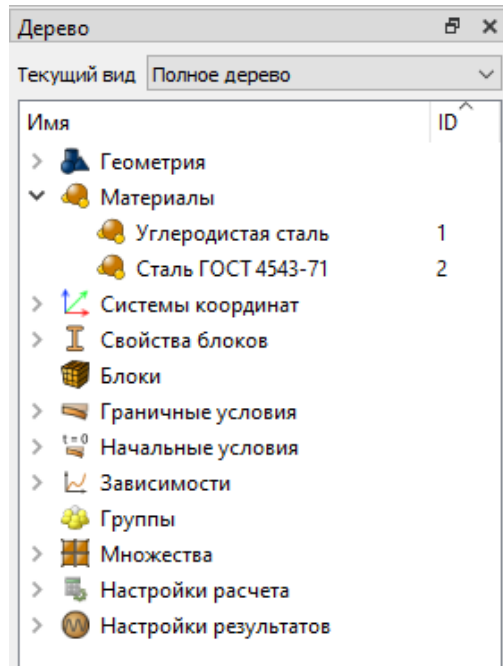
Далее, используя технологию “drag&drop”, добавьте необходимые характеристики из левой колонки в колонку Свойства материала.

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.

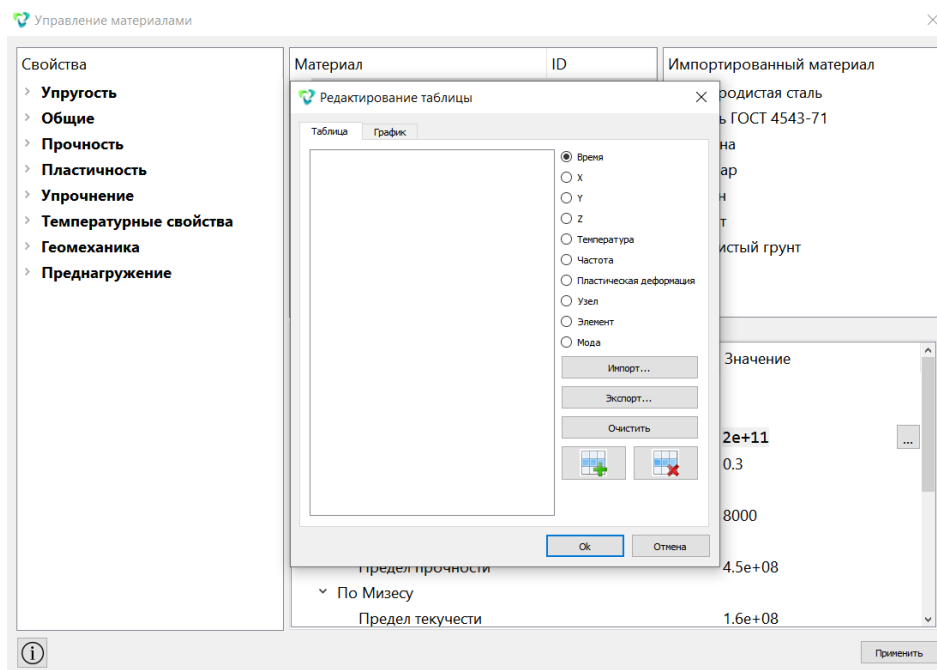




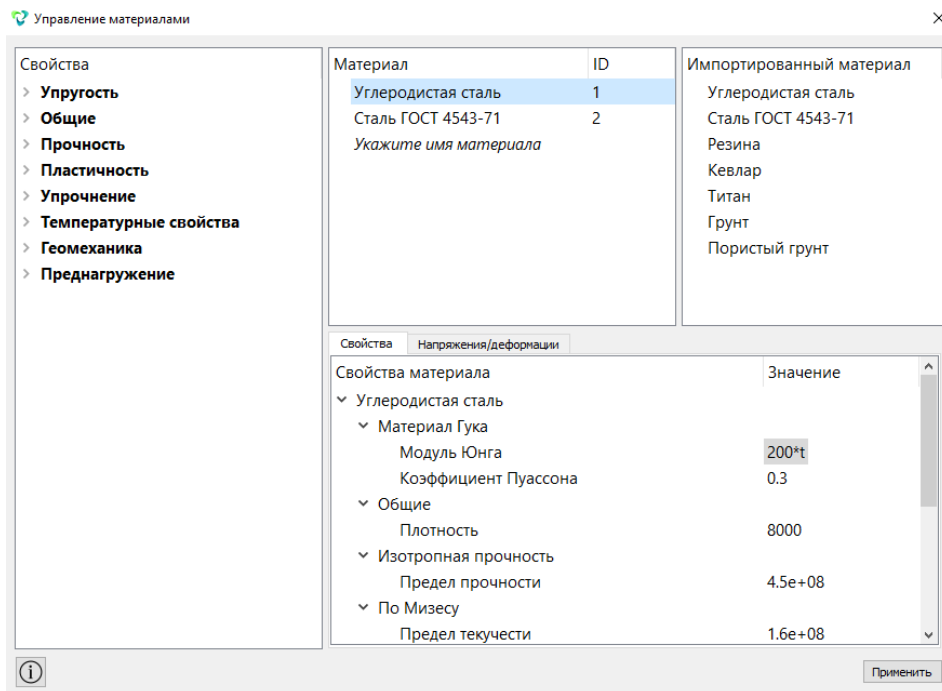
**Важно:** Для того, чтобы связать материал и модель, используется **Блок**.

### 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***

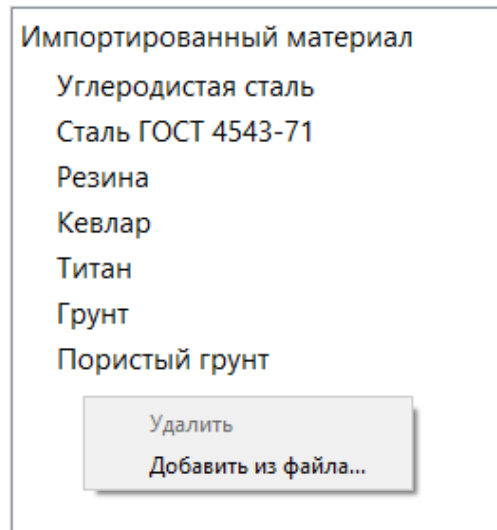
Для импорта материалов кликните правой кнопкой мыши в колонке Импортированный материал. Появится контекстное меню, в котором необходимо выбрать **Добавить из файла**. Укажите путь до импортируемого материала.

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

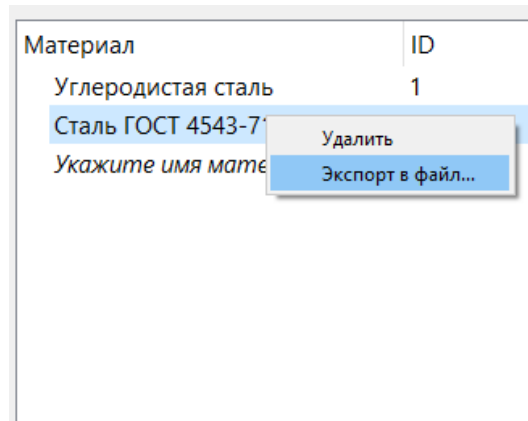
- Если допускается его перезаписать, то поставить галку **Перезаписать**.
- Если необходимо добавить рядом с уже существующим, то поставить галку **Добавить**, и материал добавится с переименованием.
- По умолчанию установлена галка **Игнорировать** - материал не импортируется, остается предыдущий материал.

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**.



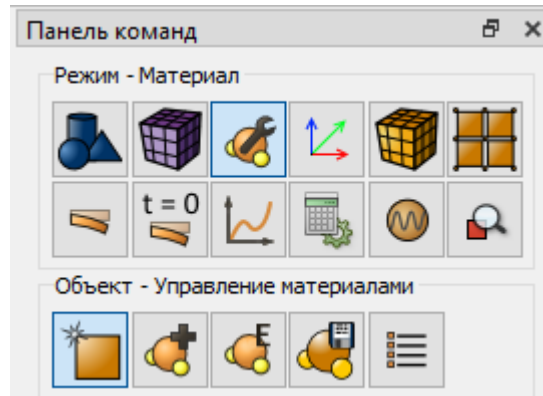
Если значение какого-либо свойства не вводится, то по умолчанию оно принимается равным нулю (кроме модуля сдвига, который определяется автоматически на основе введенных значений  $E$  и  $\nu$ ).

### ***Задание модели пластического течения***

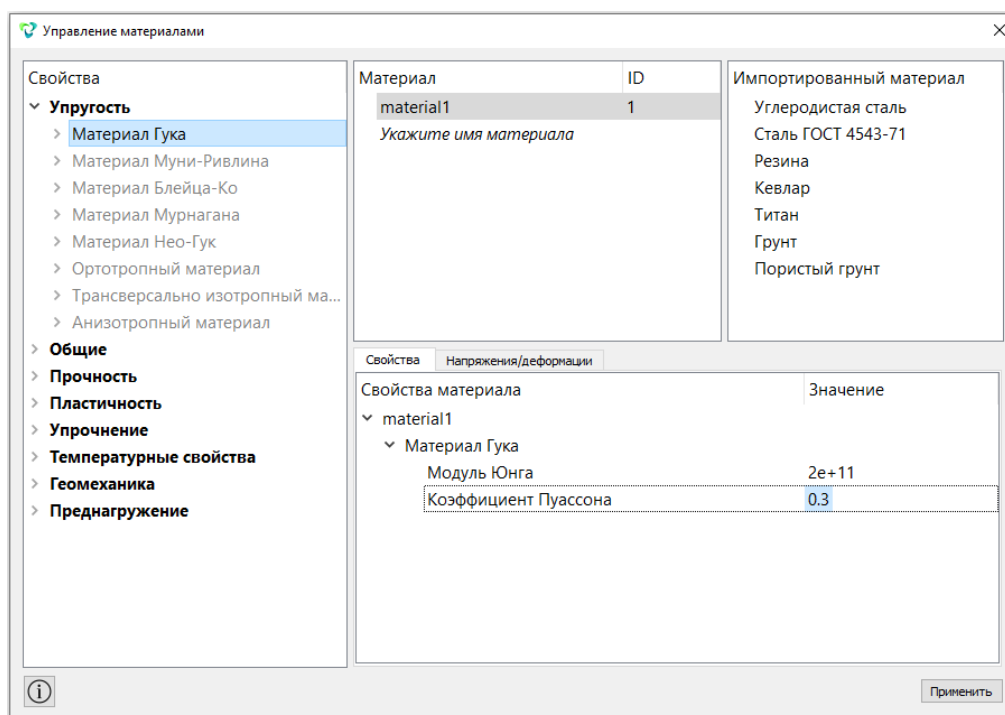
Выбор корректной модели пластического течения материала очень важен для получения правильного решения поставленной задачи. Задачи пластичности являются нелинейными, поэтому требуют значительных компьютерных ресурсов, а решение задач с большими пластическими деформациями может занимать продолжительное 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***

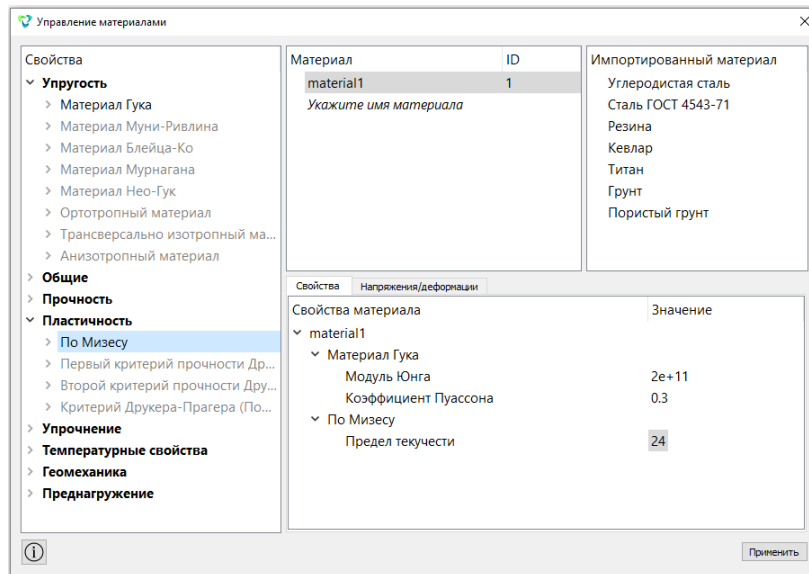
Для того, чтобы добавить в материал Гука пластичность по Мизесу, выберите на панели команд модуль задания свойств материала (Режим – **Блоки**, Объект – **Управление материалами**).



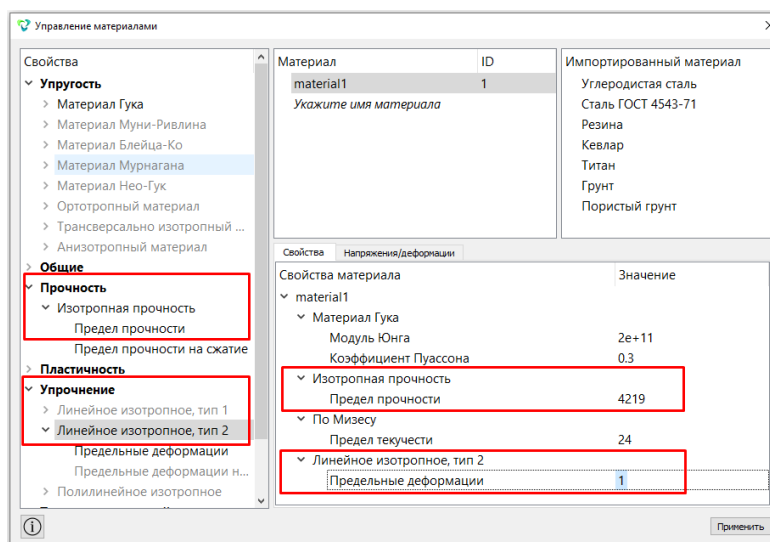
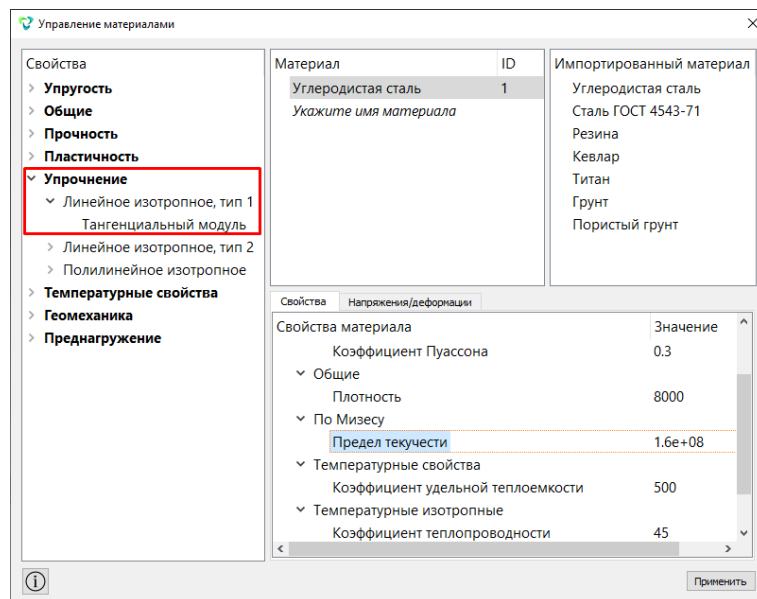
Укажите имя материала. Из левой колонки перетащите надпись **Материал Гука** в колонку **Свойства материала**. Заполните поля **Значения** соответствующим образом:



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



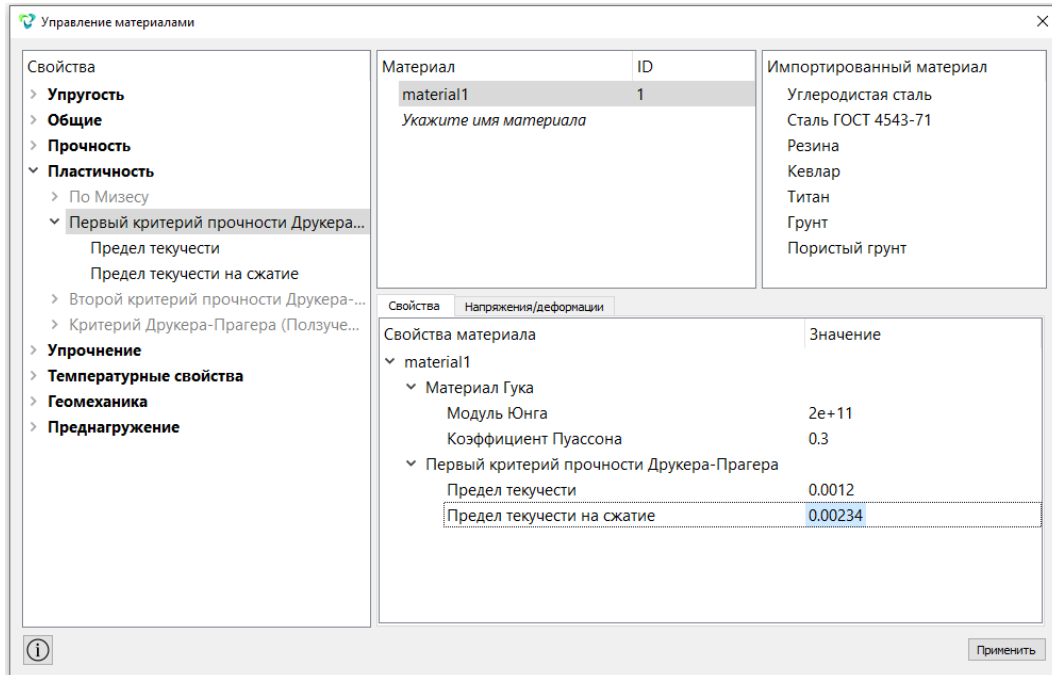
Для получения модели с пластичностью Мизеса с линейным упрочнением, необходимо также ввести или тангенциальный модуль (тип 1) или предел прочности на растяжение и предельные пластические деформации на растяжение (тип 2):



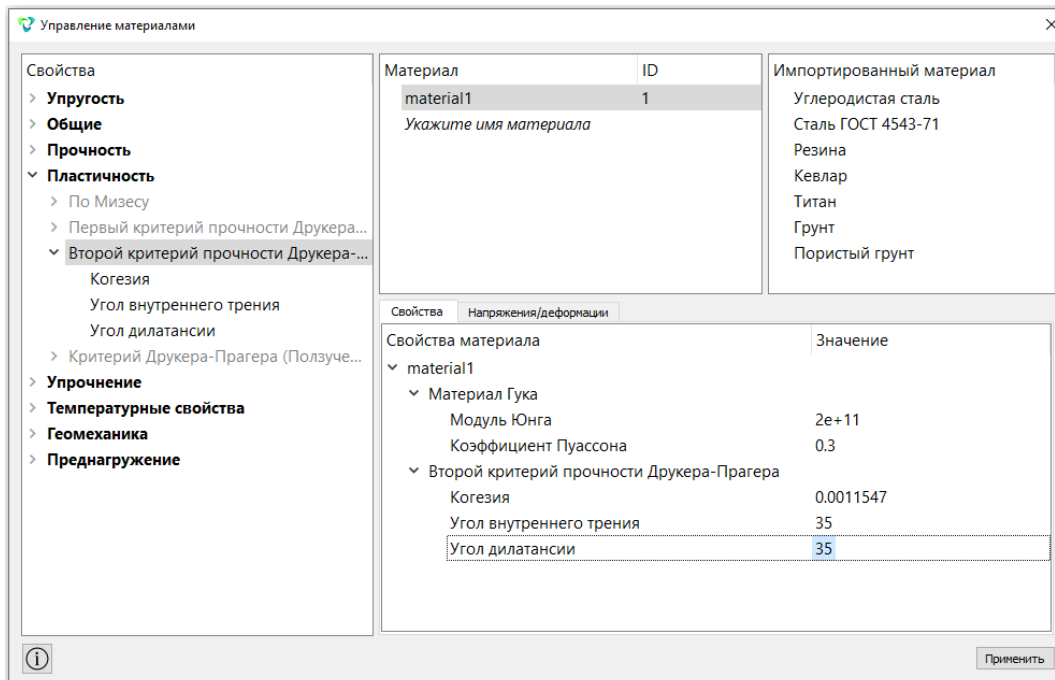
## Критерий пластичности Друкера-Прагера

Для задания пластической модели Друкера-Прагера 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.

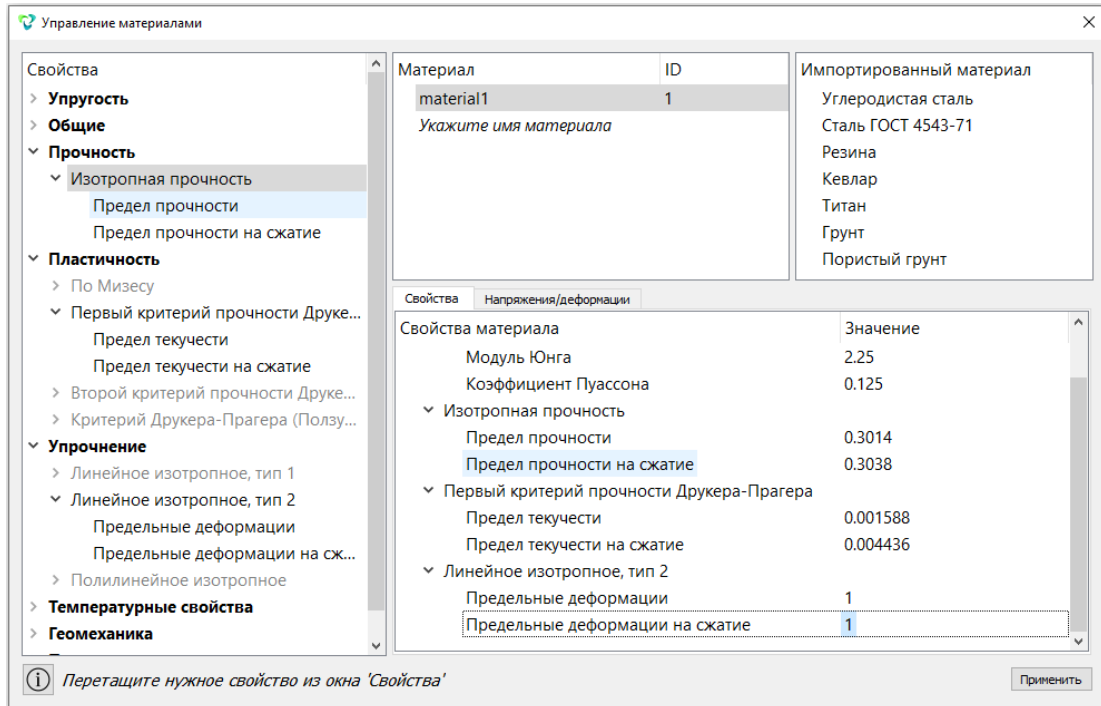
«Первый критерий прочности Друкера-Прагера» предполагает задание свойств материала «Предел текучести», «Предел текучести на сжатие»:



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):

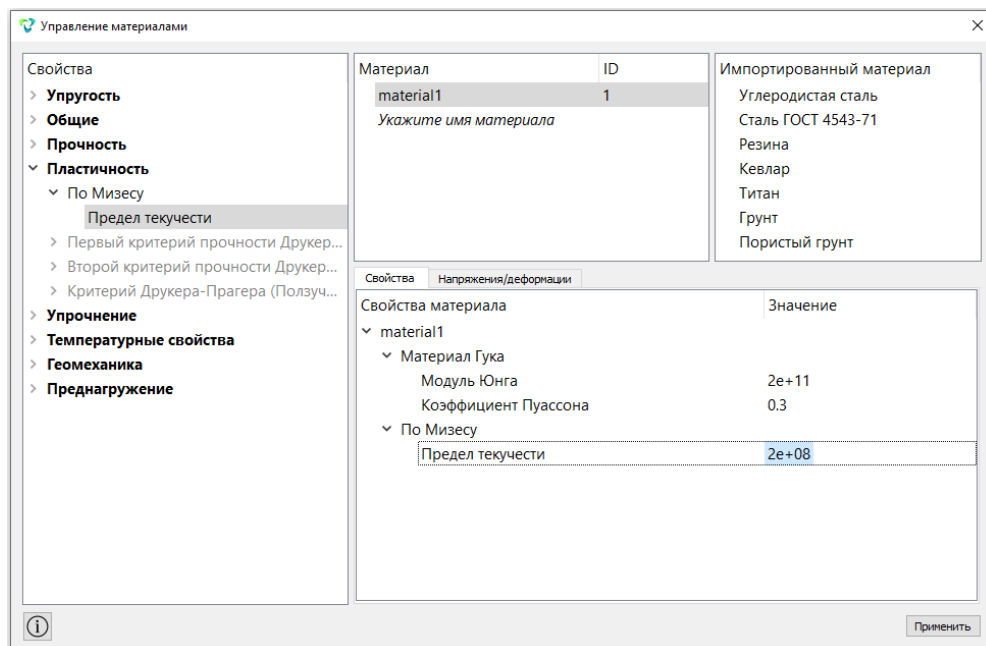


## Полилинейное упрочнение

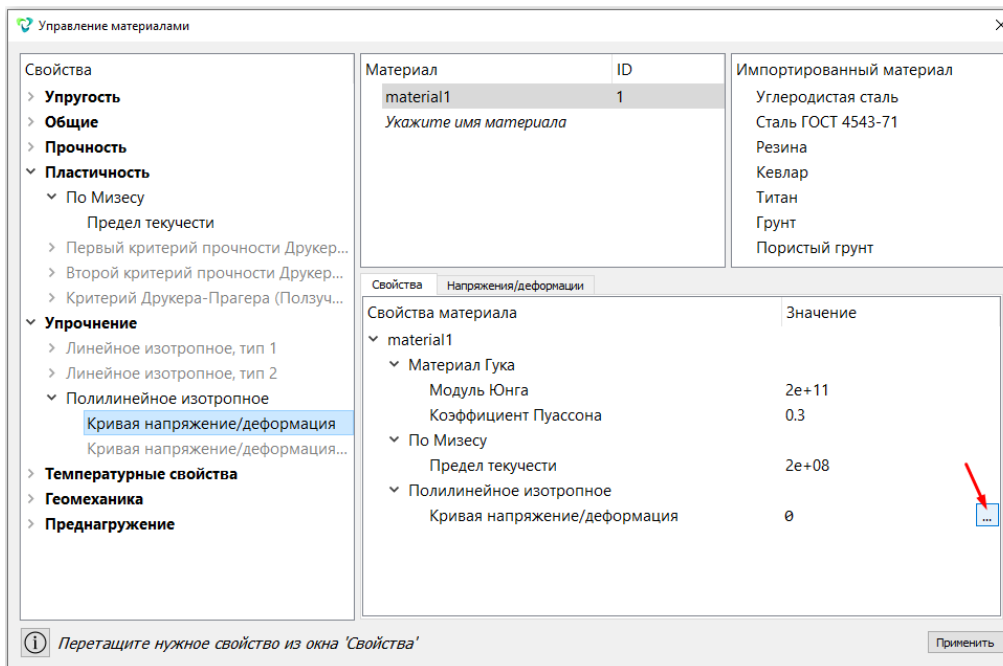
Также с пластичностью Мизеса или Друкера-Прагера (в случае симметричного, когда угол дилатансии равен 0, несимметричного упрочнений) в *CAE Fidesys* доступен более общий вид упрочнения - полилинейное упрочнение, для задания которого необходимо заполнить таблицу-свойство материала «**Кривая сигма/эпсилон**» (в таблице задаются пары значений из опыта на одноосное растяжение «пластическая компонента деформаций  $\epsilon_{11}$ » - «истинное напряжение  $S_{11}$ »):

Для задания полилинейного упрочнения необходимо создать материал и задать упругие свойства.

Из раздела Пластичность → По Мизесу добавьте в свойства вашего материала предел текучести и и задайте величину.



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

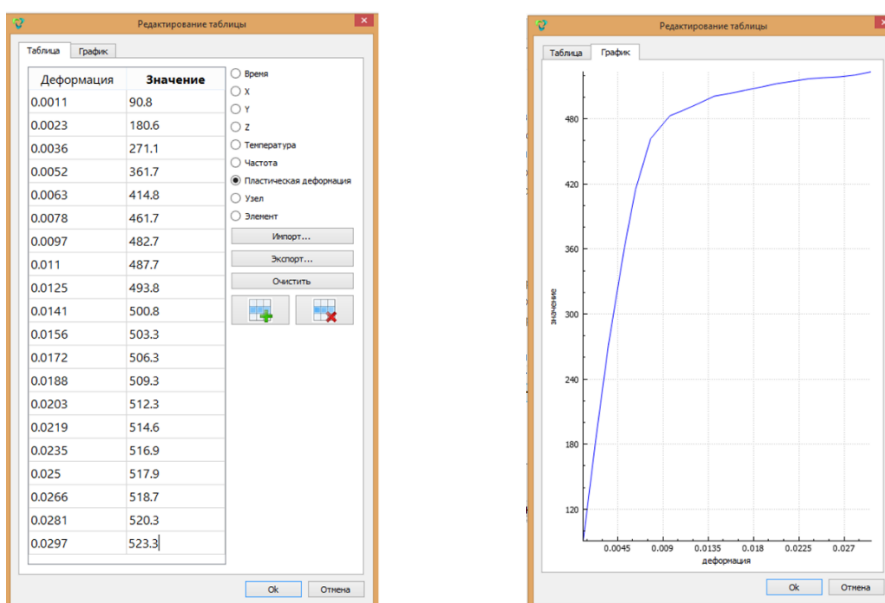


По умолчанию значение равно 0, поэтому необходимо вручную задать величины напряжений  $\sigma$  и деформаций  $\epsilon$  с экспериментальной кривой выбранного материала. (Под экспериментальной кривой подразумевается одноосное растяжение образца из выбранного материала). Дважды кликните левой клавишей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



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



## Типы элементов (для упругопластических задач)

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.

## Ортотропная термоупругость

Для расчета ортотропной термоупругости должны быть заданы упругие ( $E_x, E_y, E_z, \nu_{xy}, \nu_{xz}, \nu_{yz}, G_{xy}, G_{xz}, G_{yz}$ ) и термоупругие ( $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ ) характеристики материала. В случае расчета ортотропного объемного тела константы будут относиться к СК блока, в случае ортотропной термоупругости оболочек - к СК оболочечных элементов. СК оболочечных элементов определяются путем проецирования СК блока оболочки на плоскость каждого элемента, с учетом того, что в каждом оболочечном элементов ось Z обязательно будет перпендикулярна плоскости элемента, X будет получен путем проецирования СК блока на плоскость элемента, а Y перпендикулярен X и Z.

## 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:

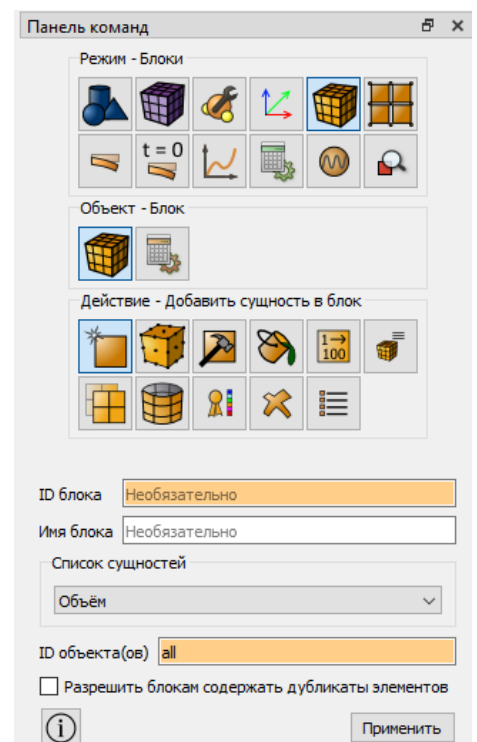
- создать блок с указанием ID геометрического объекта;
- присвоить свойства блоку (материал, тип элемента, порядок элемента).

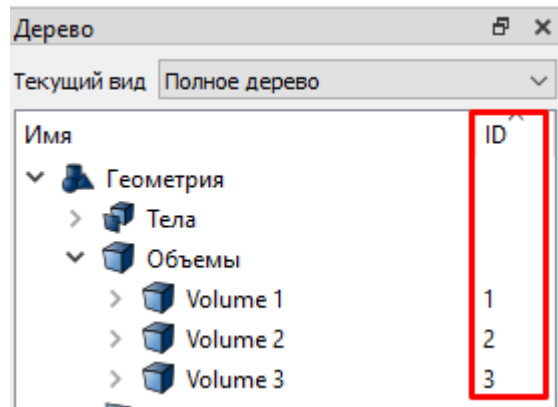
Рассмотрим эти пункты подробнее.

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.

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

- в дереве объектов слева;

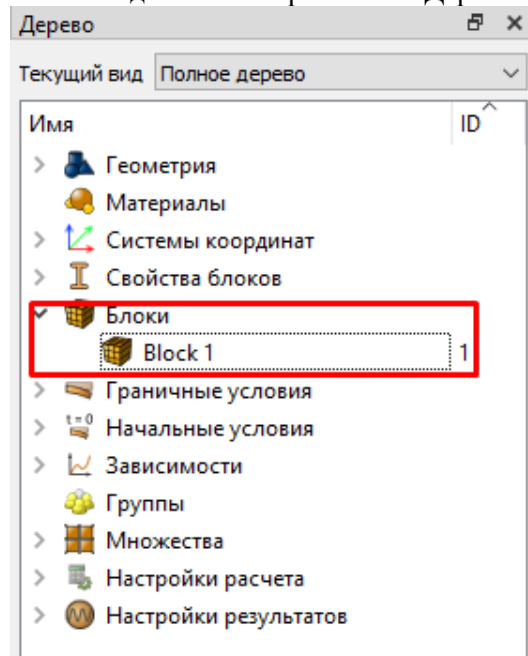




- кликнув мышью по интересующим геометрическим объектам — их ID автоматически появится в соответствующем поле.

Поле ID блока необходимо указать порядковый номер.

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



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

List block 1

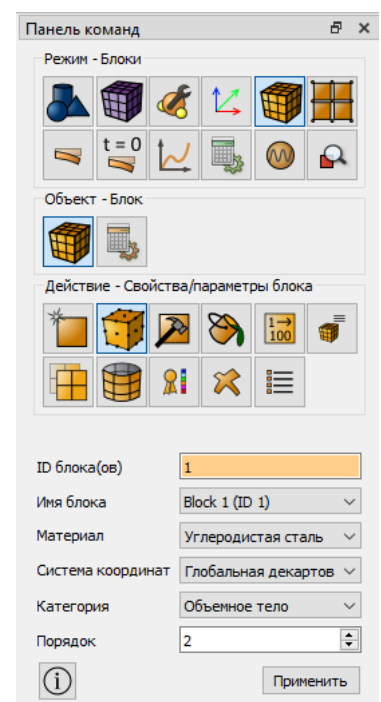
В консоли вы увидите список объектов, вошедших в блок.

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.

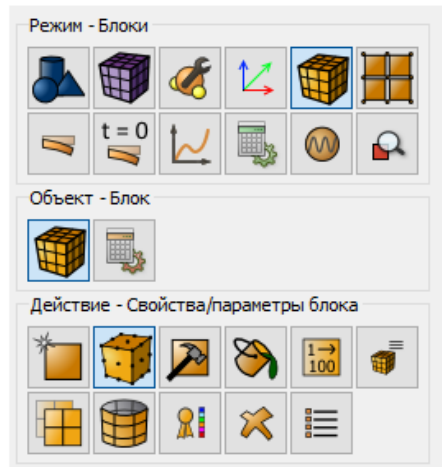
В зависимости от выбранной категории элемента ниже может появиться специальная кнопка для задания конкретных свойств [балок](#), [оболочек](#), [пружин](#) или [точечных масс](#). При нажатии на кнопку должно появиться новое окно с полями для ввода свойств указанных элементов.

## Задание свойств оболочек

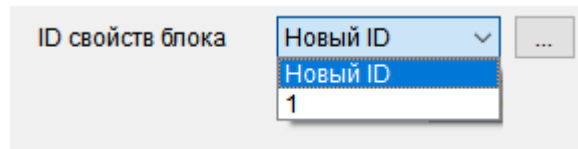
Для расчета тонкостенных конструкций, моделируемых оболочечными конечными элементами, необходимо задать геометрические параметры сечений оболочек: толщину и эксцентриситет. Эти геометрические параметры назначаются блоку элементов.

CAE Fidesys поддерживает оболочечные конечные элементы SHELL/SHELL4/SHELL8/TRISHELL/TRISHELL3/TRISHELL6, также поддерживаются спектральные оболочечные элементы.

Чтобы задать свойства оболочек – толщину и эксцентриситет – перейдите в (Режим – Блоки, Объект – Блок, Действие – Свойства/параметры блока). Категория при задании типа элемента блоку должна быть **Оболочка**.




При выборе категории Оболочка должна появиться кнопка ID свойств блока. При этом есть возможность создать новое сечение оболочки или выбрать существующие ID.




При нажатии на кнопку "троеточие" открывается новое окно для задания необходимых параметров. Укажите:

- Толщину каждого слоя оболочки;
- Материал для каждого слоя оболочки;
- Угол;
- Эксцентриситет.

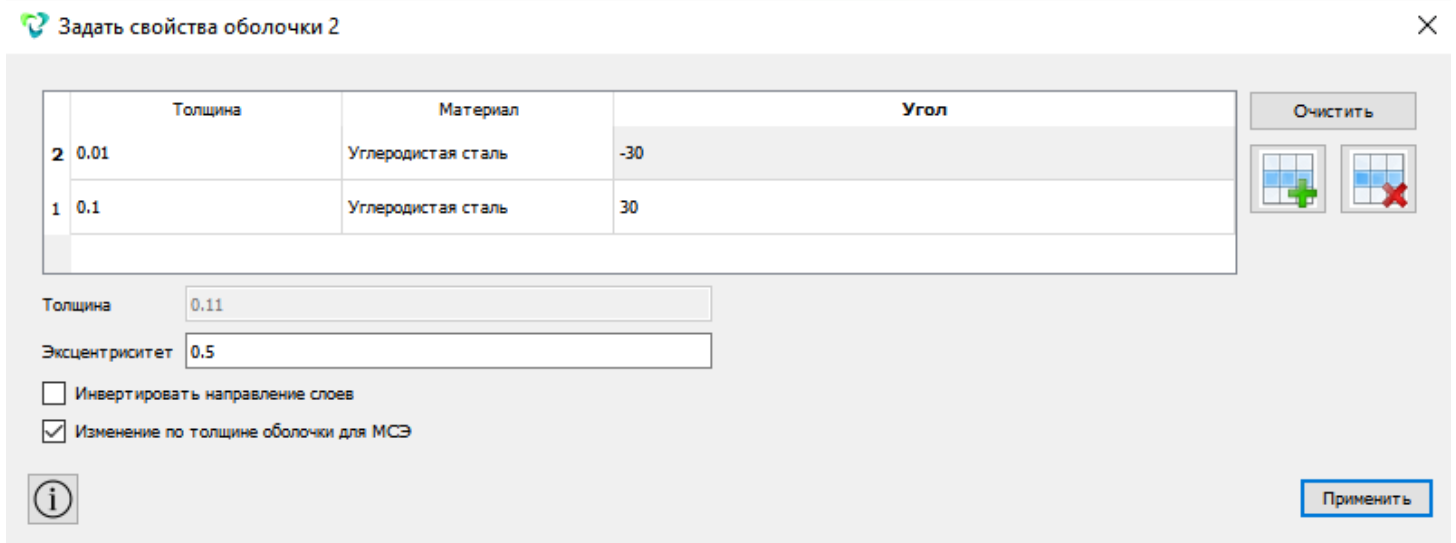
**Важно:** Эксцентриситет для оболочечного элемента изменяется от 0 до 1 и определяет расстояние между поверхностью оболочки, рассматриваемой в рамках геометрической или сеточной модели, и срединной поверхностью оболочки (фактически, смещение по толщине срединной поверхности относительно верхней поверхности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

 Просмотр сечения оболочки в 3D-виде возможен в препроцессоре CAE Fidesys при нажатии кнопки Показать 3D-вид.

 Просмотр сечения оболочки в 3D-виде возможен в постпроцессоре FidesysViewer при нажатии кнопки 3D-вид в стандартной строке. Для этого необходимо перед запуском на расчет установить опцию Поля вывода - Выводить результаты в 3D-виде.

### Многослойные оболочки

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



### Поворот НДС слоя в системе координат элементов

В случае моделирования многослойных ламинатов со слоями, лежащими под углом к какой-либо системе координат, вначале создается система координат для блока с оболочечными элементами. Эта СК проецируется на каждый элемент и, соответственно, в каждом элементе образуется своя СК.

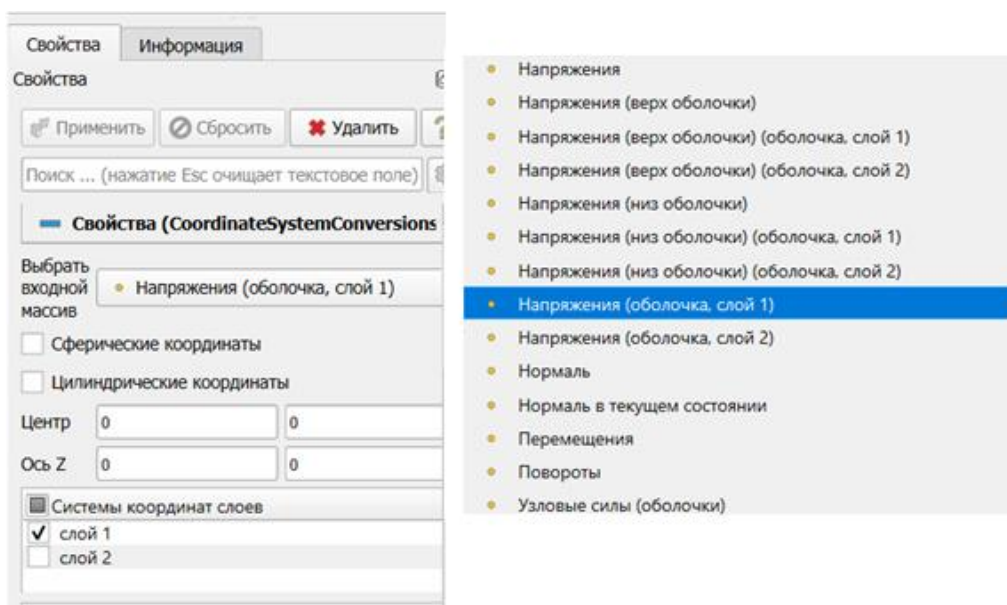
Задавая схему армирования ламината необходимо задать толщины каждого слоя и углы их армирования относительно СК элементов блока. Таким образом, для анализа напряжений в слоях необходимо вывести напряжения в СК слоя. В таком случае Напряжения XX можно интерпретировать как напряжения вдоль волокон, напряжения YY поперек волокон и XY - как сдвиговые напряжения в слое.

Для отображения напряжений в системе координат элемента (и слоя), необходимо использовать в постпроцессоре фильтр «Системы координат»: Фильтры – Алфавитный указатель – Системы координат.

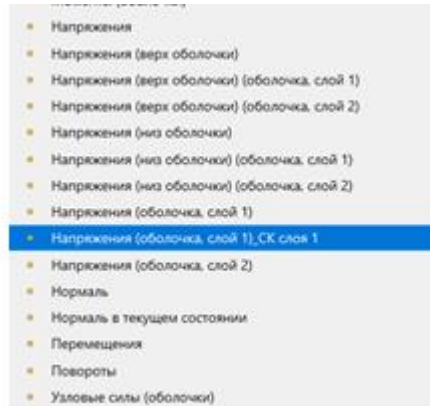
### Вывод напряжений по слоям

Для отображения напряжений в слое многослойной оболочки в FidesysViewer необходимо воспользоваться фильтром «Системы координат».

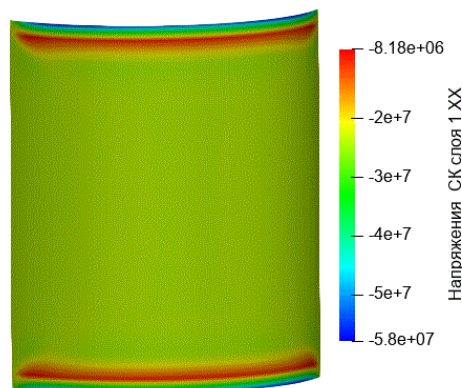
В «Свойствах» применяемого фильтра в качестве входного массива необходимо выбрать напряжения в соответствующем слое и выбрать соответствующий номер слоя во вкладке «Системы координат слоев».



После применения этого фильтра появится массив напряжения в этом слое в системе координат этого слоя.



Результат отображения:



## Задание свойств балок

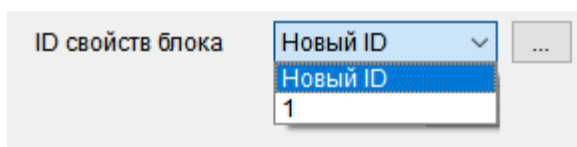
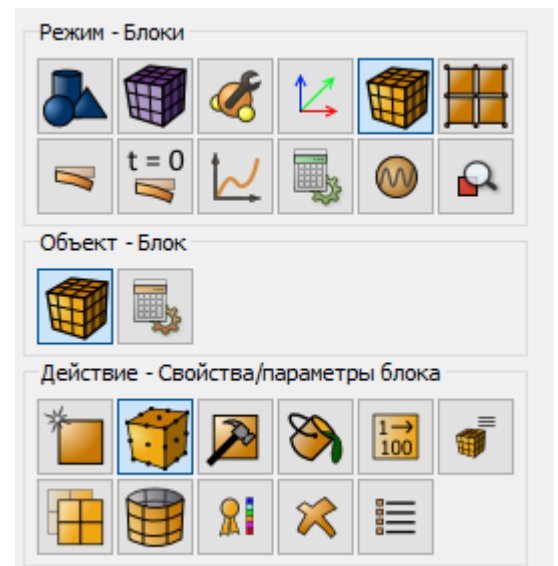
Для расчета конструкций, моделируемых балочными конечными элементами, необходимо задать геометрические параметры сечений этих элементов. Геометрические параметры сечений назначаются блоку элементов.

CAE Fidesys поддерживает балочные элементы первого и второго порядков -BEAM/BEAM2 и BEAM3, соответственно.

1. Чтобы задать сечения балок с помощью геометрических характеристик или моментов инерции, перейдите в (Режим – **Блоки**, Объект – **Блок**, Действие – **Свойства/параметры блока**).

Категория при задании типа элемента блоку должна быть **Балка**.

При выборе категории Балка должна появиться кнопка ID свойств блока. При этом есть возможность создать новое сечение балки или выбрать существующие ID.



На появившемся окне укажите:


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


Нажмите **Применить**.

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

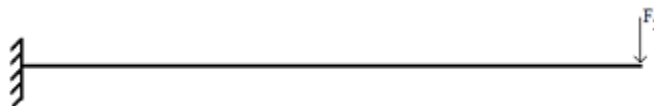
Угол поворота системы координат	0.0
Рассчитать относительно	Центр масс
Качество сетки сечения:	
Грубо	Точно
<input checked="" type="checkbox"/> С учётом деформации	
Профиль сечения	Прямоугольник
Высота (H)	0.1
Ширина (B)	0.1
Эксцентриситет по Y	0.0
Эксцентриситет по Z	0.0
Вычисленные характеристики:	
Момент инерции Iy	8.33333e-06
Момент инерции Iz	8.33333e-06
Момент инерции Iy-z	1.66667e-05
Момент инерции на кручение	1.40833e-05
Площадь	0.01

 Просмотр сечения балки в 3D-виде возможен в препроцессоре CAE Fidesys при нажатии кнопки Показать 3D-вид.

 Просмотр сечения балки в 3D-виде возможен в постпроцессоре FidesysViewer при нажатии кнопки 3D-вид после выполнения расчета. Для этого необходимо перед запуском на расчет установить опцию Поля - вывода - Выводить результаты в 3D-виде.

### 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:

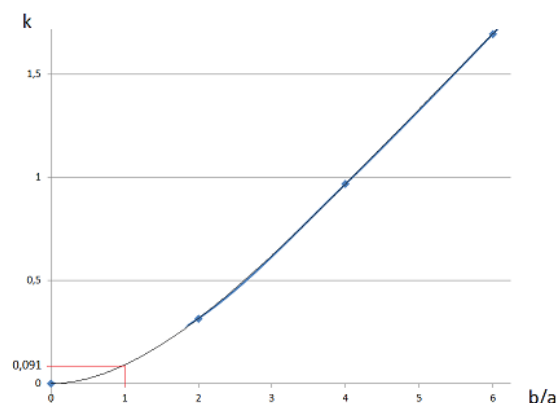
$$\sigma_{xz\_max} = k \frac{3P}{2A}$$

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

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.





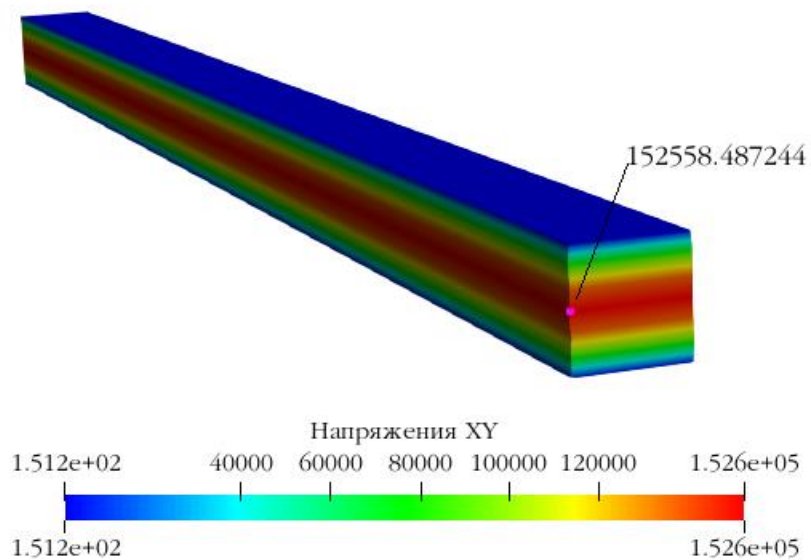
Таким образом, получено значение  $k=0.091$ , соответствующее соотношению  $(b/a)=1$ . Итоговое значение напряжения  $\sigma_{yz\_max}$

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

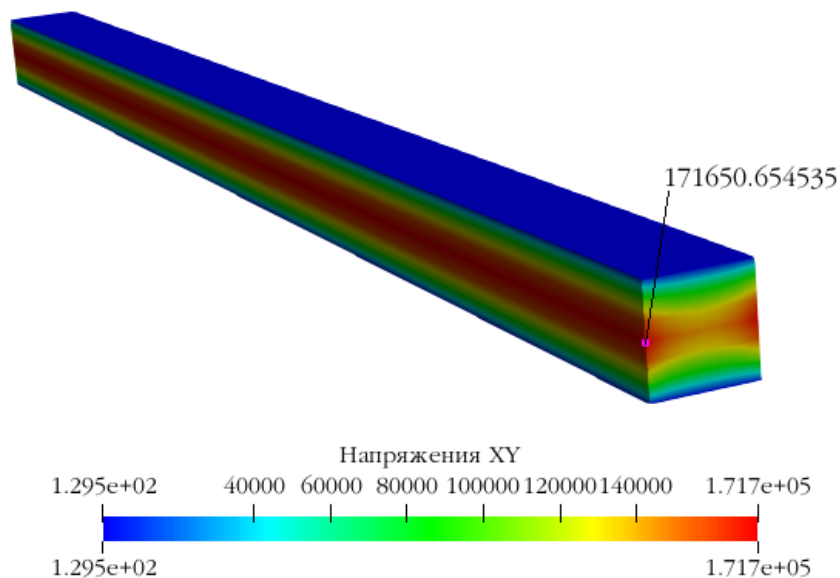
$$\sigma_{xz\_max} = 0.091 \cdot 1.5 \cdot 10^5 = 1.365 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

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:

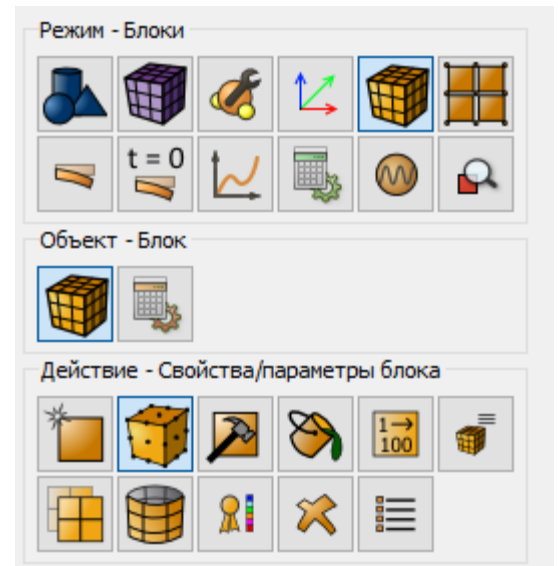
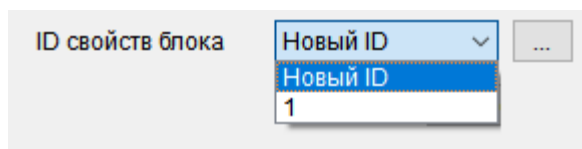
[1] Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости: Пер. с англ./Под ред. Г. С. Шапиро.— 2-е изд.— М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979, 560 с. (364-370)

## 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 масса. Ниже появится кнопка Задать свойства точечной массы, нажав на которую откроется окно для задания свойств.

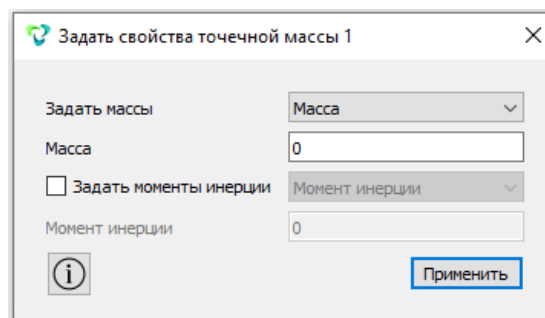
При выборе категории Пружины должна появиться кнопка ID свойств блока. При этом есть возможность создать новые свойства или выбрать существующие ID.



На появившемся окне укажите:

- Массу;
- Момент инерции.

Нажмите **Применить**.

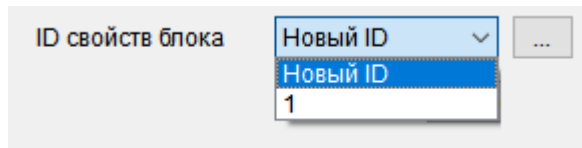


## Задание свойств пружины

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.

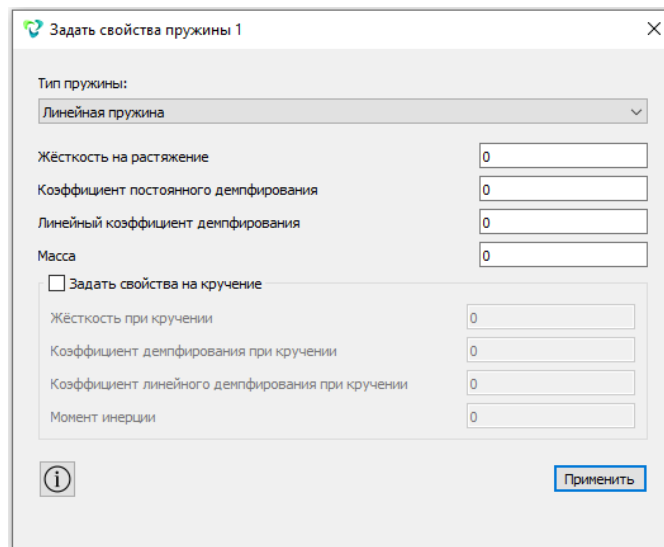
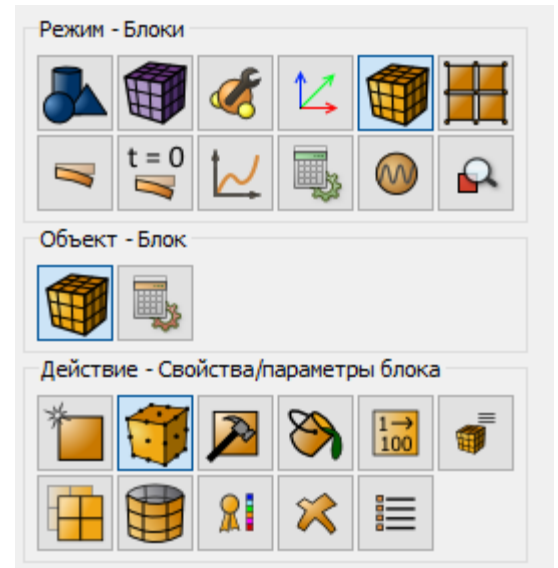
При выборе категории Пружины должна появиться кнопка ID свойств блока. При этом есть возможность создать новые свойства или выбрать существующие ID.



На появившемся окне укажите:

- Тип пружины;
- Значения, соответствующие типу пружины.

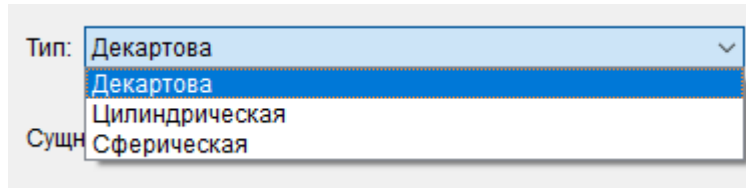
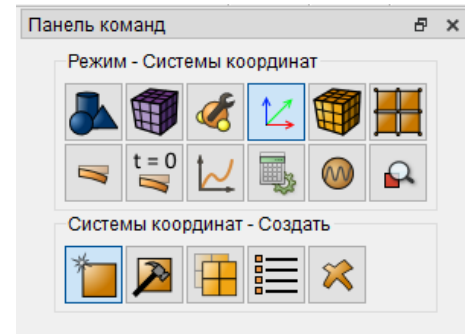
Нажмите **Применить**.



## Локальные системы координат

В CAE Fidesys возможно задать следующие локальные системы координат:

- Декартова;
- Цилиндрическая;
- Сферическая.



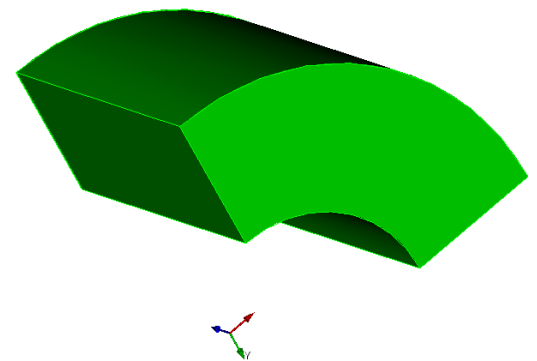
## Цилиндрические системы координат

Цилиндрическая система координат (ЦСК) как правило используется в осесимметричных задачах, то есть в таких задачах, в которых можно выделить ось вращения. ЦСК используется для закрепления в радиально, тангенциальном или осевом направлении.

В CAE Fidesys для корректного использования ЦСК требуется ось X расположить вдоль оси вращения, положение же осей Y и Z при этом не так важно. В таком случае направление X будет отвечать за радиальное направление, Y за тангенциальное, Z – за осевое. При задании граничных условий, в которых будет использоваться ЦСК, следует учитывать именно это – какая ось в ЦСК отвечает за какое направление.

К примеру, для сегмента цилиндра, изображенного на рисунке 1, ось X ЦСК следует направить вдоль оси Z глобальной системы координат. В таком случае компонент X граничного условия в ЦСК будет отвечать за радиальное направление, Y за тангенциальное и Z за осевое.

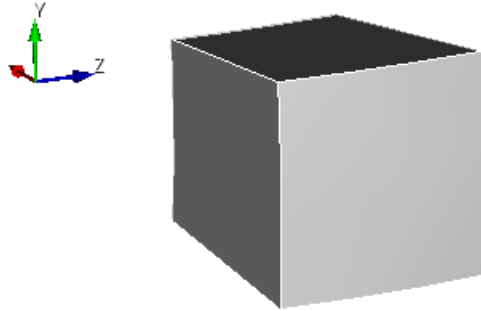
В виджете задания системы координат можно использовать значения направляющих косинусов в глобальной системе координат, номера опорных узлов или вершин.



## Сферические системы координат

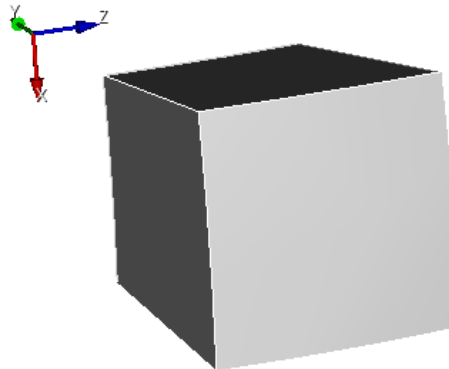
Сферические СК (ССК) используются для закрепления в радиальном направлении и вокруг двух осей  $Y$  и  $Z$ . Таким образом, при задании сферической СК необходимо задать точку центра ССК, от которой будет вестись отсчет радиуса, и направление осей  $X$  и  $Y$ . Ось  $Z$  будет перпендикулярна им.

В представленном ниже рисунке закрепление по  $X$  будет означать закрепление по радиусу, закрепление по  $Y$  и  $Z$  — закрепление вращения вокруг этих осей соответственно.



При этом стоит отметить, что закрепление по компоненте  $Y$  будет означать закрепление угла тета, который находится в плоскости радиус-вектора от центра СК к узлу и оью  $Z$ . Так что в зависимости от положения тела относительно осей закрепление по  $Y$  может означать либо закрепление от поворота вокруг оси  $Y$  либо закрепление от поворота вокруг оси  $X$ , что видно на представленном ниже примере.

При повороте сегмента вокруг оси  $Z$  на 90 градусов закрепление по  $Y$  в сферической СК будет приводить к закреплению вокруг оси  $X$ .



## Задание граничных условий

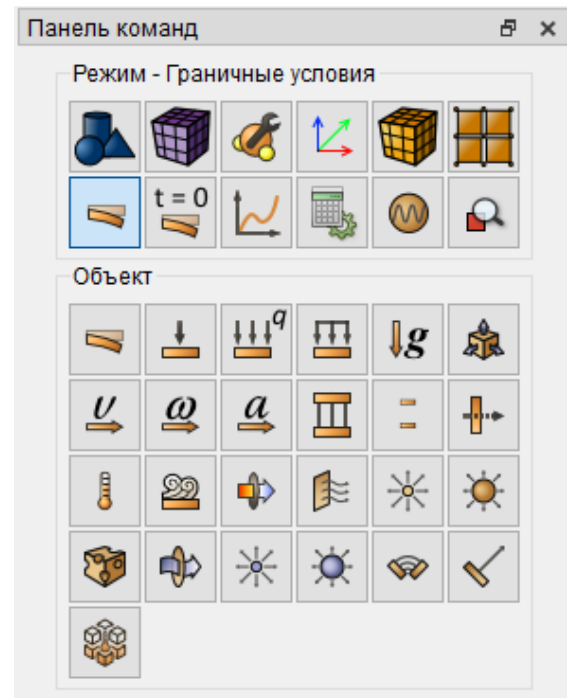
### Типы граничных условий

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;
- аддитивная печать.

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**.

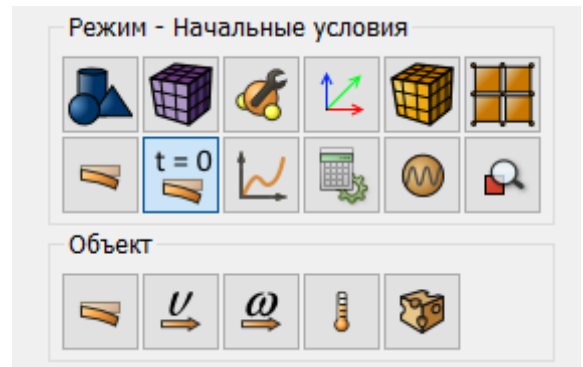
С помощью функционала, доступного через панель команд, можно также просмотреть список заданных граничных условий, изменить и удалить заданное ранее граничное условие.

## Задание начальных условий

### Типы начальных условий

CAE Fidesys поддерживает начальные условия следующих типов:

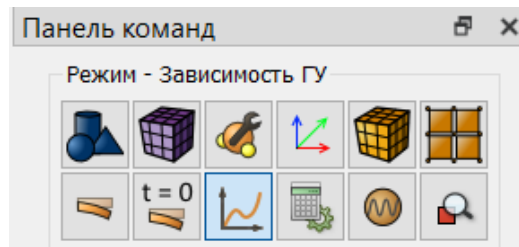
- перемещение;
- скорость;
- угловая скорость;
- температура;
- поровое давление;
- начальное напряжение (задается в Управлении материалами).



### 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).**



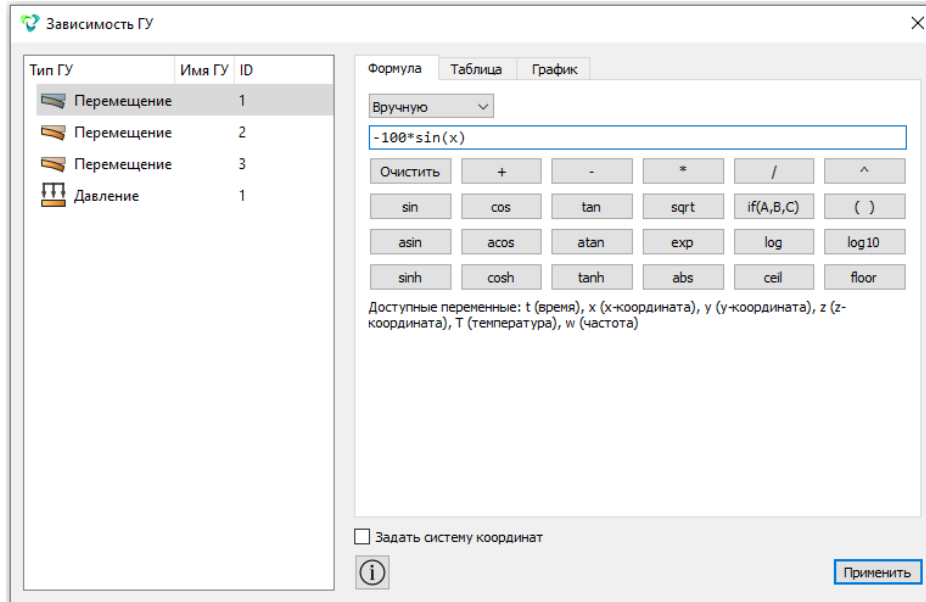
Для задания формульной зависимости на панели команд выберите модуль задания граничных условий (Режим — **Граничные условия**, Объект — **Зависимость от времени**) и в появившейся форме:

- 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);

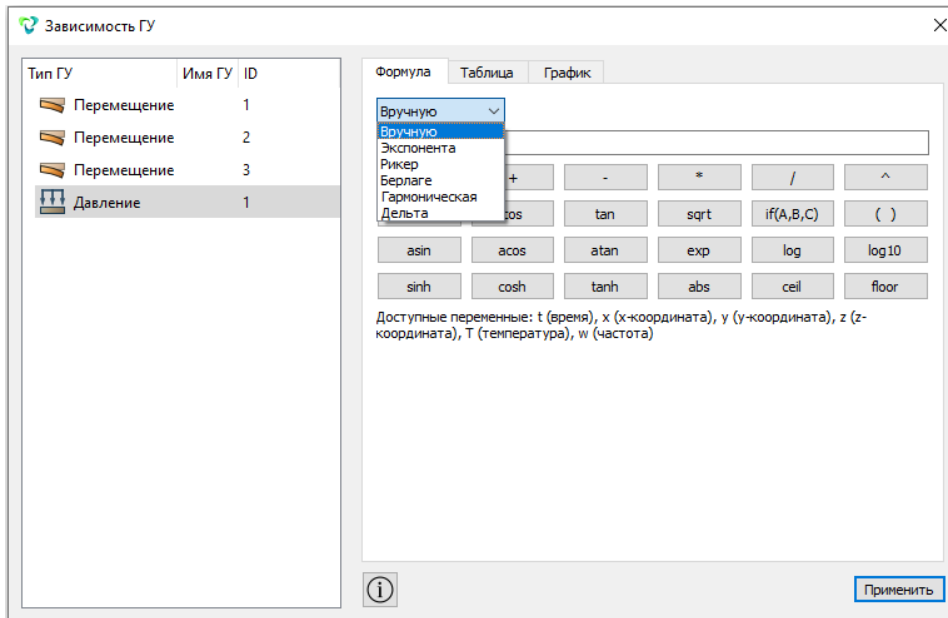
- задайте параметры зависимости.

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.



Стандартные формулы для зависимости от времени:



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



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

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 зачастую являются существенно нелинейными (общий контакт) 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).

**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.

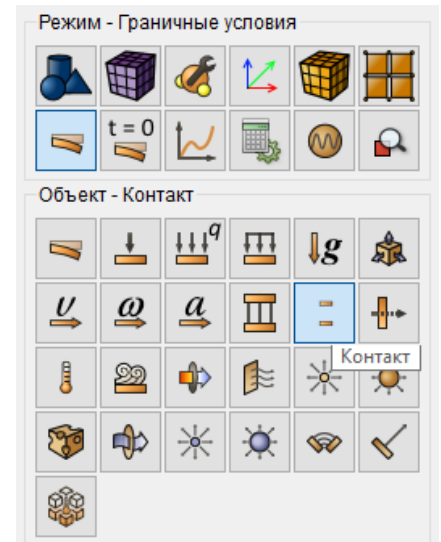
Укажите, какая из сущностей будет Главной (master), а какая – Побочной (slave).

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

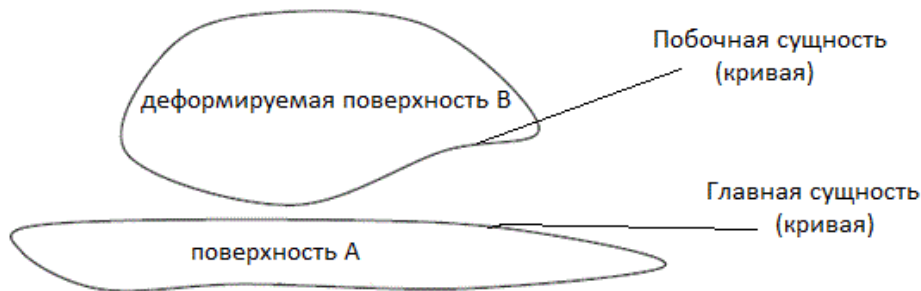
При задании контактной пары следует иметь в виду, что выбор Главной и Побочной сущностей может стать причиной получения различных результатов моделирования и влиять на точность решения.

Рекомендации по выбору Главной и Побочной сущностей:

- Если одна поверхность (А) является плоской или вогнутой, а другая поверхность (В) является острым ребром или выпуклостью, то поверхность А 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.



### Типы контактов

**Общий** - тип контакта, в котором учитывается сила трения скольжения, пропорциональная нормальной реакции. Область контакта может изменяться.

Содержит как участки сцепления, так и скольжения, наступающего при повышении модуля касательной силы предельного значения силы трения (трения покоя). Задаваемый коэффициент трения должен быть неотрицательным.

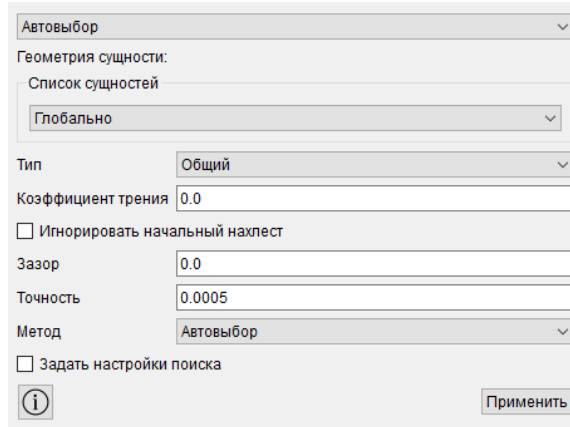
**Связанный** - тип контакта, в котором главная и побочная сущности связаны ("склеены") между собой и контактная область не изменяется под действием приложенной нагрузки. Скольжение между гранями или ребрами, а также их разделение (нарушение контакта) не допускается.

Связанный по нормали - тип контакта, аналогичный связанному, в котором не допускается разделение главной и побочной сущностей в нормальном направлении, но разрешено проскальзывание контактной поверхности.

Связанный по касательной - тип контакта, аналогичный связанному, в котором не допускается проскальзывание главной и побочной сущностей по касательной, но разрешено разделение контактных поверхностей.

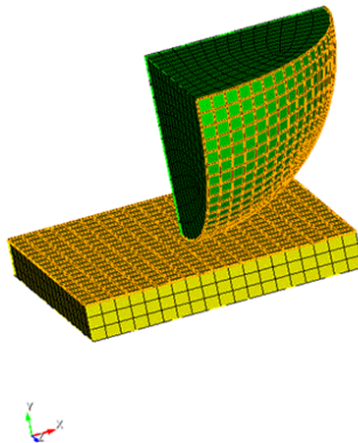
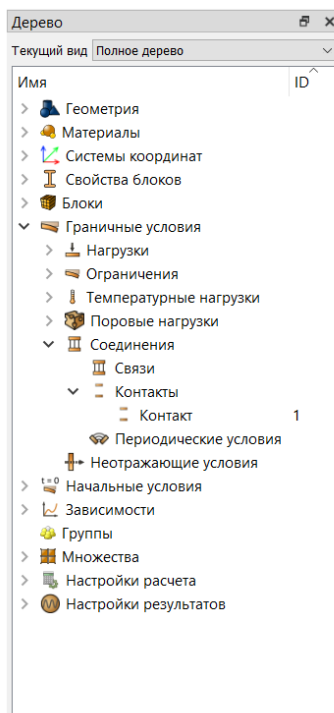
## Автовыбор контакта

В CAE Fidesys реализовано автоматическое задание контакта. Для этого необходимо в выпадающем списке указать Автовыбор и на панели Геометрия сущности выбрать соответствующий объект. Можно выбрать: Глобально, Объемы, Поверхности и Кривые.

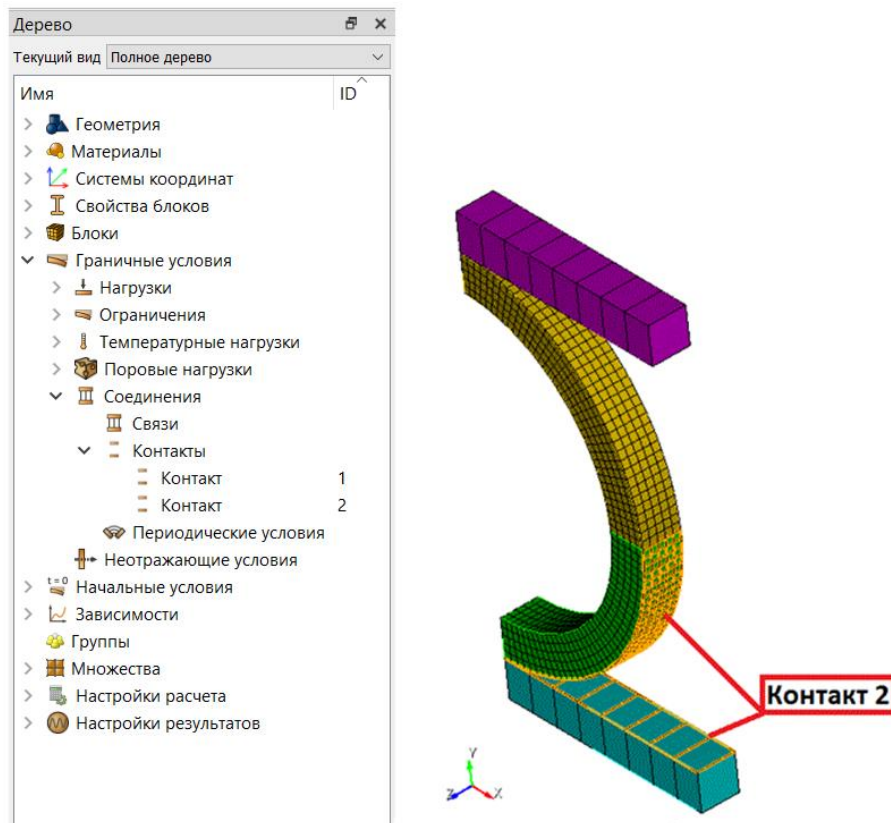


Созданные контакты отображаются в дереве объектов слева. Для визуализации кликните мышью на название необходимого региона контакта в дереве объектов, и он будет подсвечен на модели.

Точность - это расстояние между сущностями, при котором начинается их контактное взаимодействие (в абсолютных величинах).



Каждой контактной паре присписывается индивидуальный номер (ID) и набор свойств. Число контактных пар не ограничено. Для визуализации созданной контактной пары кликните мышью на название необходимой контактной пары в том же дереве объектов слева. Выбранная пара будет подсвечена на модели оранжевым цветом.



В *CAE Fidesys* доступны следующие настройки контактной пары:

- Точность (влияет на поиск контактных пар, а также на поведение контактного взаимодействия на протяжении всего расчета)
- Тип (Связанный, Общий, Связанный по нормали, Связанный по касательной)
- Коэффициент трения (для Общего контакта)
- Зазор (для болтового преднатяга)
- Метод

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;
- контуры тела находятся на расстоянии больше, чем указано в точности

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 - метод контакта, в котором требуется задание контактных жесткостей, под которыми понимаются жесткости упругих элементов (виртуальных пружин), добавляемых программой для связи между контактируемыми сущностями.

Значение жесткости рассчитывается программой самостоятельно в зависимости от свойств материала деформированных элементов, но пользователь может масштабировать его умножением на необходимый коэффициент.

Выбор подходящего множителя для контактной жесткости является важной задачей, поскольку завышенное значение может приводить к расходимости задачи, а слишком малое - к взаимному проникновению контактирующих тел.

По умолчанию множитель жесткости контакта по нормали равен единице, жесткость контакта по касательной равен 0,5.

Метод MPC - метод контакта с использованием уравнений связи, используются не узлы, а точки интегрирования (гауссовы). 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).

### Общие рекомендации по выбору множителя для нормальной жесткости контакта:

- для задач с преобладанием изгиба и перемещениями жестких тел рекомендуется значение от 0,001 до 0,1;
- для задач со связанным контактом коэффициент жесткости контакта по нормали может достигать до 1000, а для других моделей контакта до 1.

### Общие рекомендации по выбору множителя для касательной жесткости контакта:

- для задач с преобладанием изгиба и перемещениями жестких тел по касательной рекомендуется уменьшать значение;
- максимальное значение равно 0,5, минимальное значение ограничено 0, однако значения меньше 0,01 устанавливать не рекомендуется.

## 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 связных поверхностей.

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

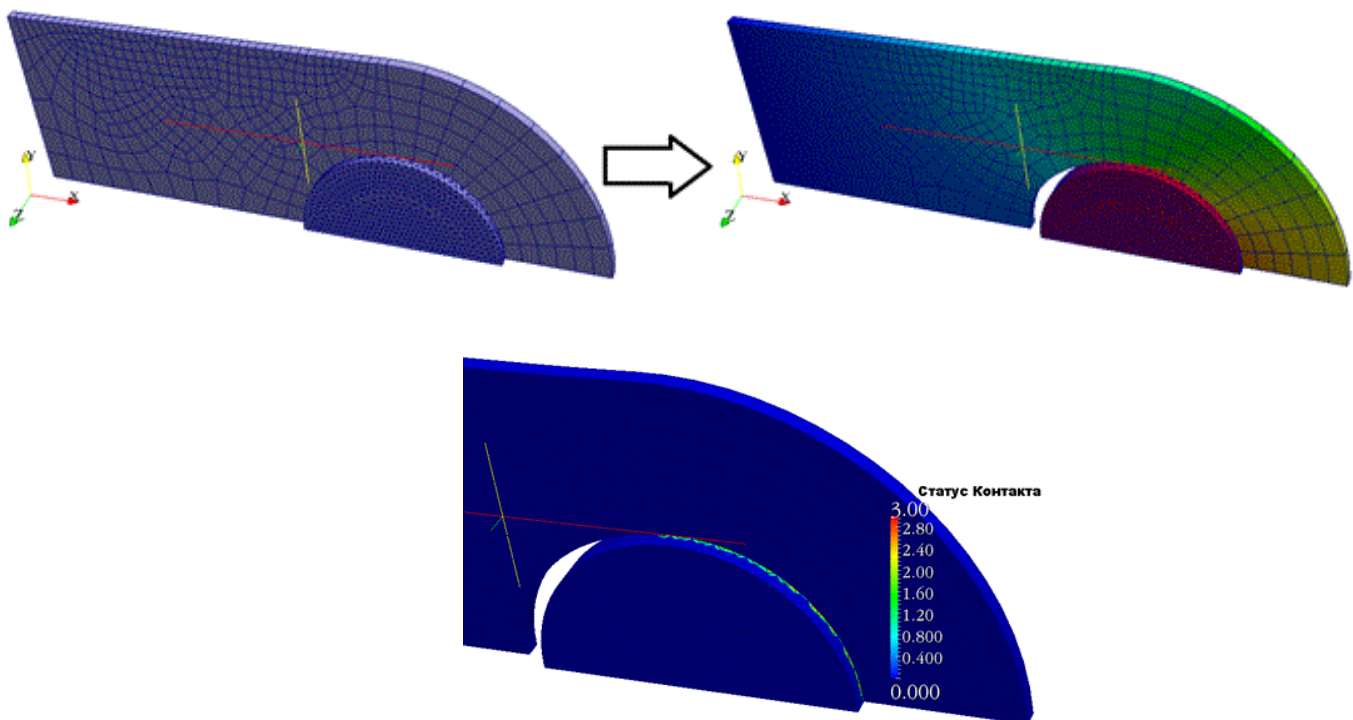
- Объемные элементы (3D);
- Плоские элементы (2D).

## Статус Контакта

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

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

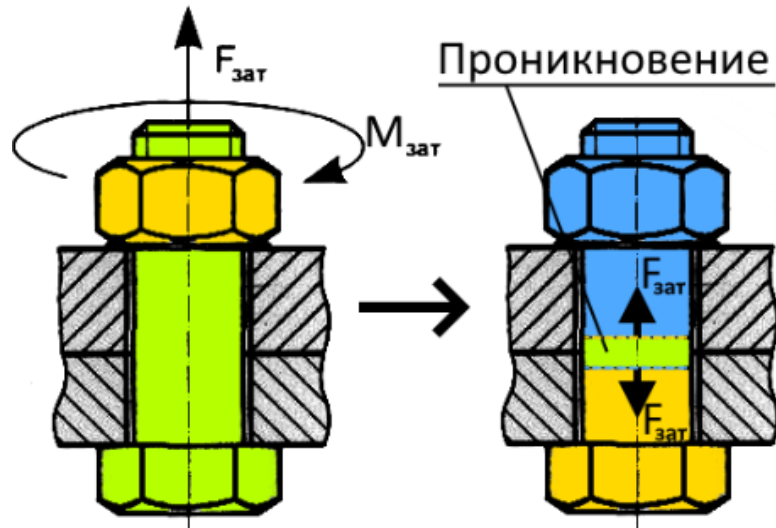
- STATUS = 0 – нет контакта;
- STATUS = 1 – Контакт определен для ведущей поверхности;
- STATUS = 2 - Контакт определен для ведомой поверхности;
- STATUS = 3 – Контакт без проскальзывания по касательной;
- STATUS = 4 - Контакт с проскальзыванием по касательной.



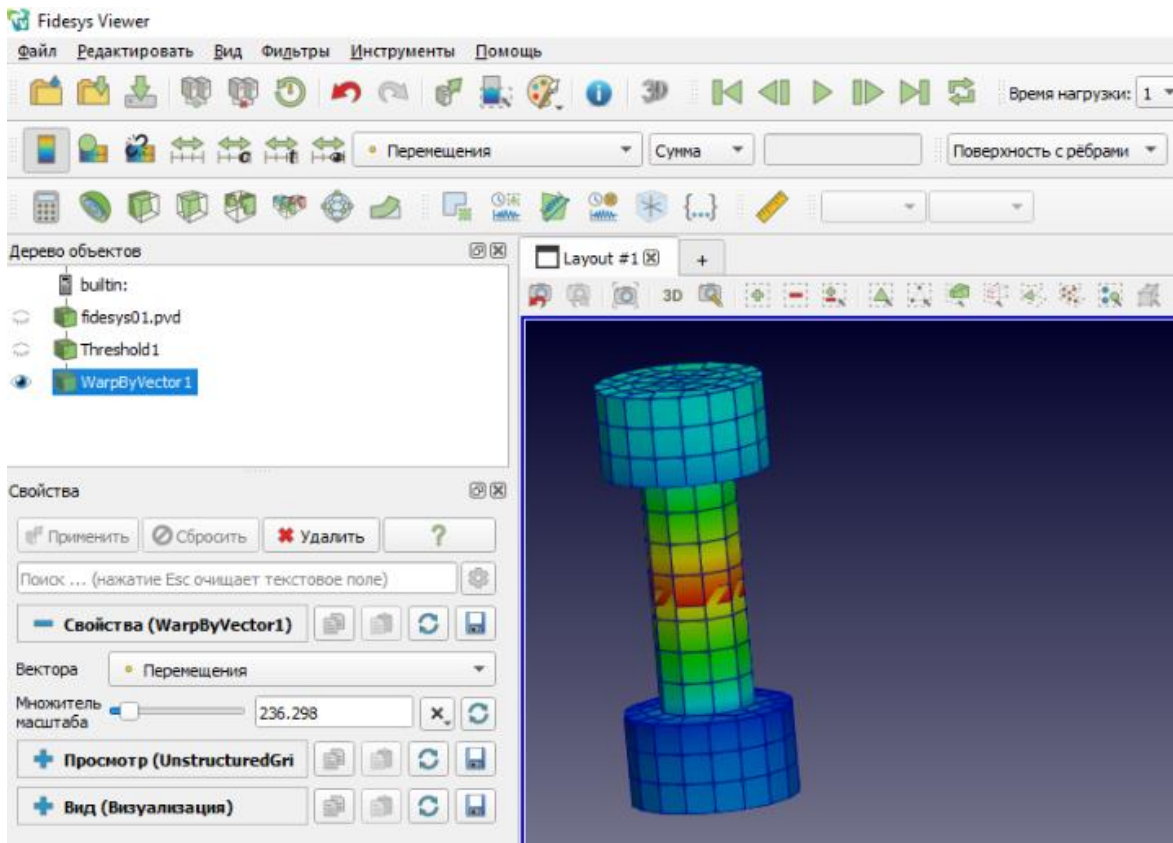
## Болтовой преднатяг

Болтовой преднатяг - специфический вид нагрузки, который возникает при затяжке болтов и шпилек - в теле болта/шпильки возникают растягивающие напряжения. Средствами CAE смоделировать преднатяг возможно двумя способами:

- прямое моделирование резьбового соединения с учетом контакта в витках и резьбы и поворота гайки/болта, что является неоправданно ресурсоемкой процедурой.
- инженерный подход - когда растягивающие напряжения создаются путем разрезания болта пополам и прикладывания сил на поверхности отсечения, тем самым создавая взаимопроникновение половинок болта самого в себя. Для реализации данного типа нагружения в *Fidesys* используется такой тип контакта как "связанный по касательной", который допускает взаимопроникновение поверхностей контакта друг в друга, но не допускает их относительного поперечного смещения (благодаря чему сохраняется целостность тела болта), а также позволяет задать усилие преднатяга в Ньютонах через настройки контакта.



Результат, после выключения из отображения фланца через фильтр "Порог", будет выглядеть так:



## Задание внутреннего давления для балочных элементов с кольцевым сечением

### *Упругое состояние трубы. Формулы Ламе*

Задача об упругом состоянии толстостенной трубы - это одна из первых задач теории упругости, которая была решена еще Ламе (1828 г.). Напишем уравнения закона Гука:



$$\begin{aligned}\varepsilon_r &= \frac{1}{E} [\sigma_r - \nu(\sigma_\varphi + \sigma_z)], \\ \varepsilon_\varphi &= \frac{1}{E} [\sigma_\varphi - \nu(\sigma_z + \sigma_r)], \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_r + \sigma_\varphi)].\end{aligned}$$

Из последнего уравнения

$$\sigma_z = E\varepsilon_z + \nu(\sigma_r + \sigma_\varphi). \quad (1)$$

Исключим  $\sigma_z$  из первого уравнения:

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} [\sigma_r - \nu\sigma_\varphi - \nu E\varepsilon_z - \nu^2(\sigma_r + \sigma_\varphi)] = \frac{1 - \nu^2}{E} [\sigma_r - \frac{\nu}{1 - \nu} \sigma_\varphi] - \nu\varepsilon_z. \quad (2)$$

Аналогично

$$\varepsilon_\varphi = \frac{1 - \nu^2}{E} [\sigma_\varphi - \frac{\nu}{1 - \nu} \sigma_r] - \nu\varepsilon_z. \quad (2')$$

Уравнение равновесия будет удовлетворено тождественно, если принять

$$\sigma_r = \frac{1}{r} F, \sigma_\varphi = \frac{dF}{dr} = F'.$$

Функция  $F(r)$  называется функцией напряжений. По формулам (2) (2')

$$\begin{aligned}\varepsilon_r &= \frac{1 - \nu^2}{E} \left[ \frac{F}{r} - \frac{\nu}{1 - \nu} F' \right] - \nu\varepsilon_z, \\ \varepsilon_\varphi &= \frac{1 - \nu^2}{E} \left[ F' - \frac{\nu}{1 - \nu} \frac{F}{r} \right] - \nu\varepsilon_z.\end{aligned} \quad (3)$$

Таким образом, деформации также выражены через функцию напряжений  $F(r)$  и неизвестную пока константу  $\varepsilon_z$ . Внесем выражение  $\varepsilon_r$  и  $\varepsilon_\varphi$  по формулам (3) в уравнение совместности деформаций. Получим после сокращений

$$F'' + \frac{F'}{r} - \frac{F}{r^2} = 0. \quad (4)$$

Для интегрирования этого дифференциального уравнения положим  $F = Cr^n$  и подставим это выражение для  $F$  в (4). После сокращения  $r^{n-2}$  придем к следующему алгебраическому уравнению для показателя  $n$ :

$$n(n - 1) + n - 1 = 0.$$

Корни этого уравнения  $n = \pm 1$ , поэтому общий интеграл уравнения (4) может быть написан в виде

$$F = Ar + \frac{B}{r},$$

где  $A$  и  $B$  - постоянные интегрирования.

Напряжения  $\sigma_r$  и  $\sigma_\varphi$  выразятся следующим образом:

$$\begin{aligned}\sigma_r &= A + \frac{B}{r^2}, \\ \sigma_\varphi &= A - \frac{B}{r^2}.\end{aligned}\quad (5)$$

Это и есть формулы Ламе для напряжений и толстостенной трубе. Постоянные интегрирования должны быть определены из граничных условий. Пусть внутренний радиус трубы есть  $a$ , наружный радиус  $b$ . Внутреннее давление равно  $q$ , наружное равно нулю. Это значит, что радиальное напряжение  $\sigma_r$  равно  $-q$  при  $r = a$  и равно нулю при  $r = b$ . По первой из формул (5)

$$A + \frac{B}{a^2} = -q,$$

$$A + \frac{B}{b^2} = 0.$$

Отсюда находим постоянные  $A$  и  $B$ :

$$A = q \frac{a^2}{b^2 - a^2},$$

$$B = -q \frac{a^2 b^2}{b^2 - a^2}.$$

Окончательные формулы для напряжений получаются следующими:

$$\sigma_r = \frac{qa^2}{b^2 - a^2} \left(1 - \frac{b^2}{r^2}\right), \quad (6)$$

$$\sigma_\varphi = \frac{qa^2}{b^2 - a^2} \left(1 + \frac{b^2}{r^2}\right).$$

На рисунке 1 показаны графики (эпюры) распределения напряжений по толщине стенки.

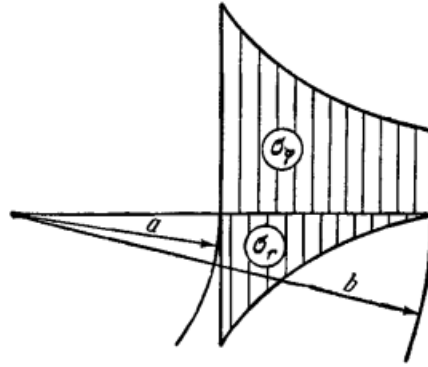


Рисунок 1. Распределение напряжений по толщине стенки

Напряжение  $\sigma_z$  определится теперь по формуле

$$\sigma_z = E\varepsilon_z + \frac{2\nu qa^2}{b^2 - a^2}. \quad (7)$$

Оказывается, что  $\sigma_z$  постоянно по толщине стенки. Равнодействующую внутренних сил в поперечном сечении мы обозначим через  $P$ , это сила, растягивающая или сжимающая трубу. Если труба закрыта по концам, растягивающая сила равна давлению на дно, площадь которого есть  $\pi a^2$ . Следовательно,  $P = qa^2$ . Площадь поперечного сечения трубы равна  $\pi(b^2 - a^2)$ . Таким образом,

$$\sigma_z = \frac{qa^2}{b^2 - a^2}. \quad (8)$$

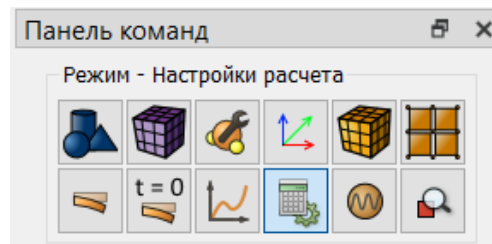
Сравнивая (7) и (8), можем найти относительное удлинение  $\varepsilon_z$ . Если материал трубы несжимаем,  $\nu = 1/2$  и  $\varepsilon_z = 0$ .

В открытой по концам (например, ствол орудия во время выстрела)  $\sigma_z = 0$ , поэтому

$$\varepsilon_z = -2\nu \frac{q}{E} \frac{a^2}{b^2 - a^2}.$$

## Запуск расчёта

### Типы анализа



CAE Fidesys включает в себя следующие типы анализа:

- статическое нагружение;
- динамическое нагружение;
- модальный анализ;
- частотный анализ;
- расчет на устойчивость;
- спектральный анализ
- расчёт эффективных характеристик композитных материалов;
- внешняя интеграция MBD;
- топологическая оптимизация;
- аддитивная печать.

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 *FidesysViewer*.

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 *FidesysViewer*).

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 *FidesysViewer*.

## 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

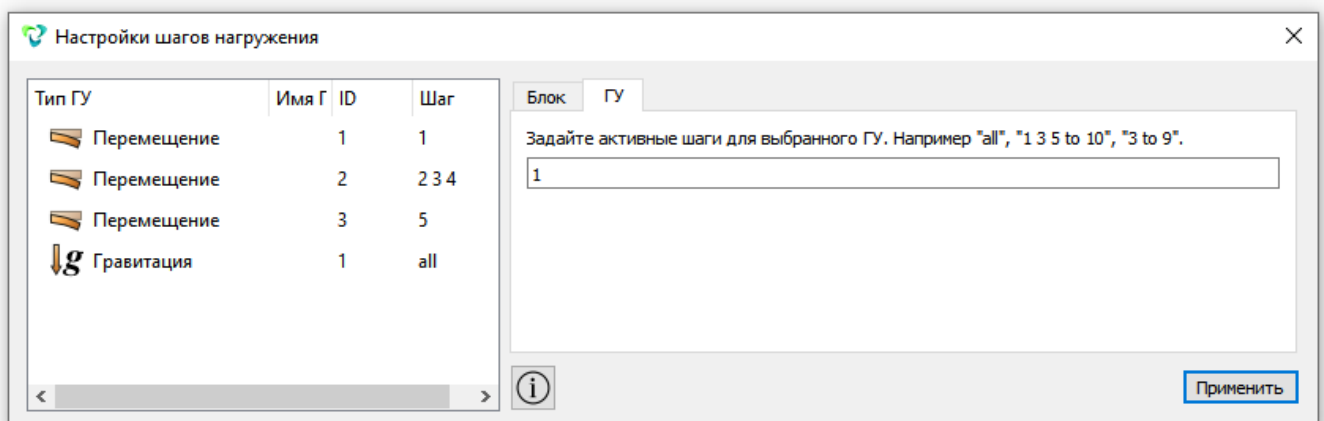
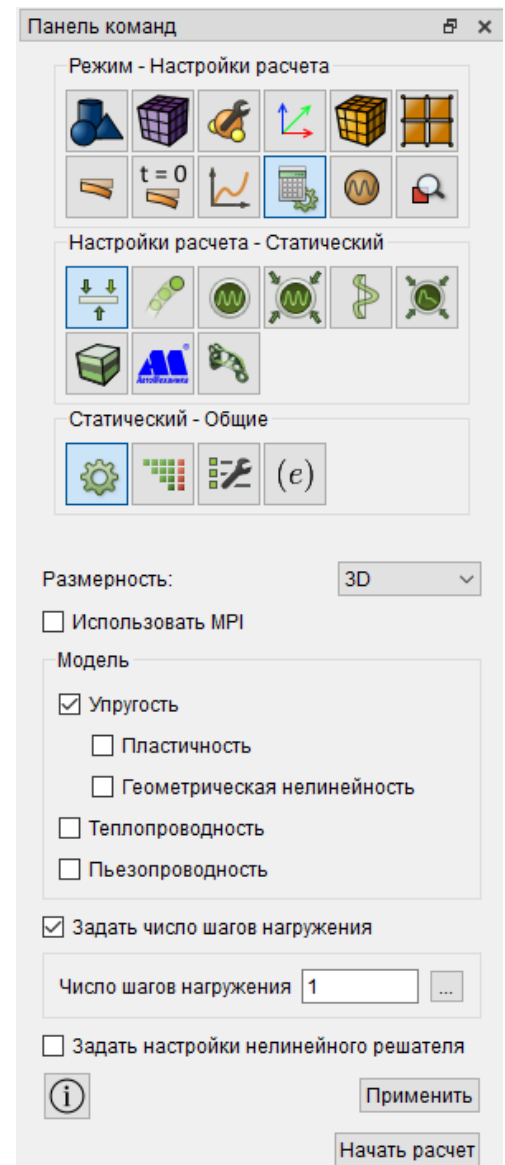
означает линейное убывание значения от 5 до 0.

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

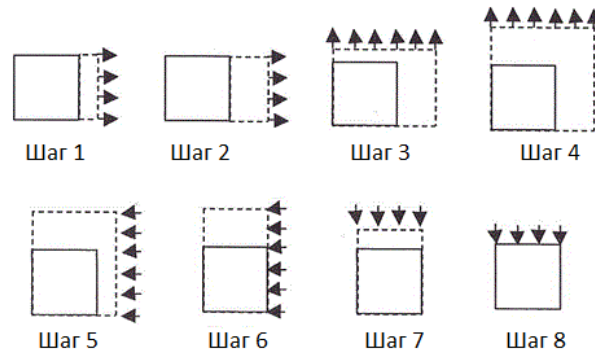
Введите требуемое число шагов расчета. Для открытия окна настроек шагов нагружения нажмите на значок

Далее, укажите требуемые настройки:

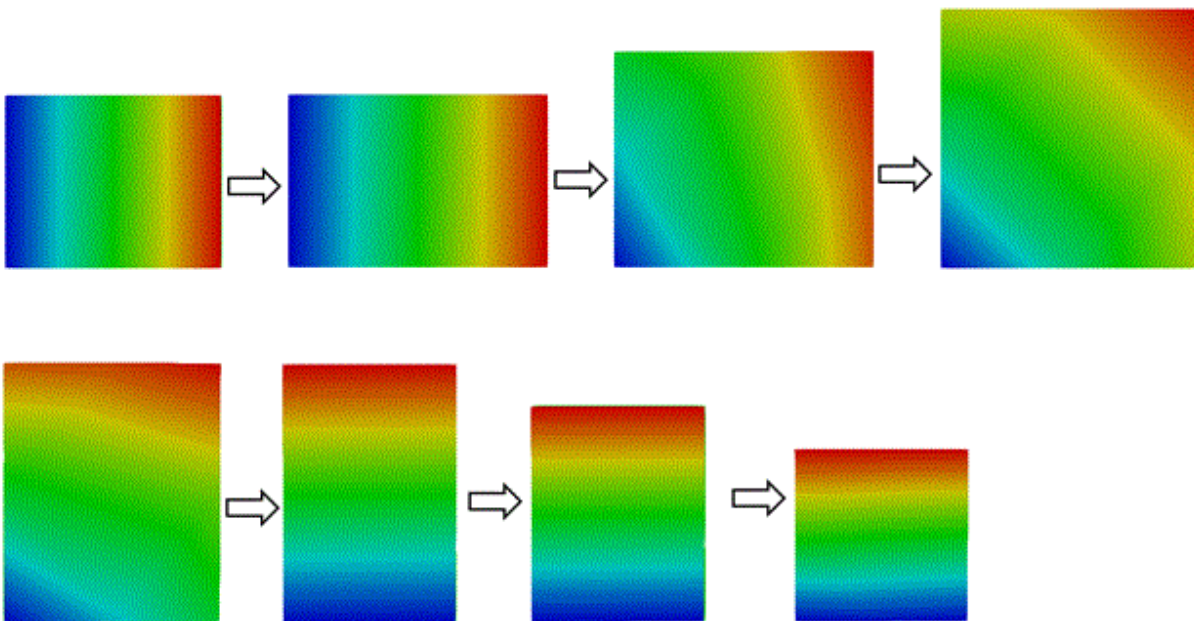
- Выберите вкладку ГУ
- Кликните в левой колонке по граничному условию, для которого необходимо задать активные шаги расчета.
- Задайте активные шаги расчета для выделенного граничного условия в соответствующем поле.
- Задание активных шагов возможно в следующем формате: "all", "1 2 3 to 5", "1 to 5".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

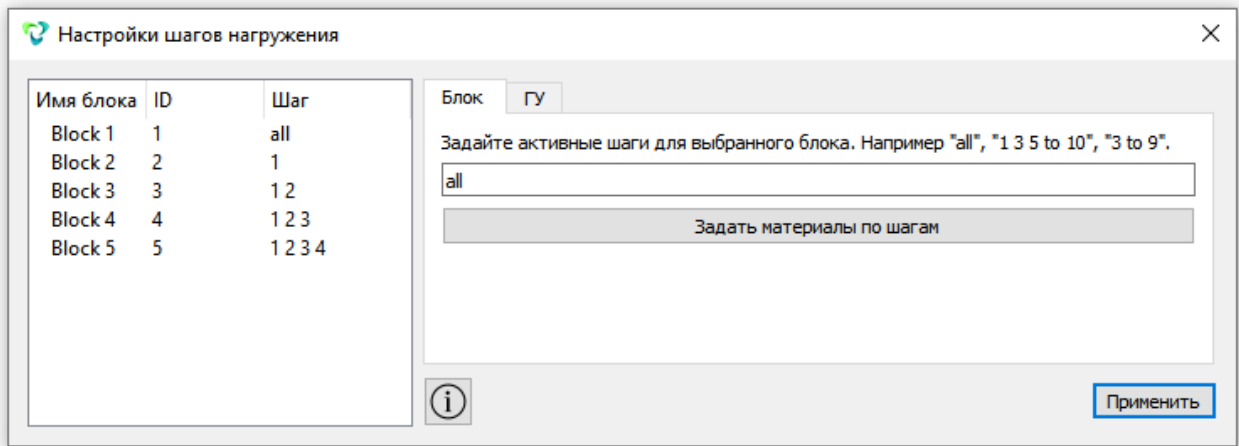
CAE Fidesys позволяет добавлять или удалять блоки (объемы/поверхности, состоящие в блоке) на заданных шагах нагружения.

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).

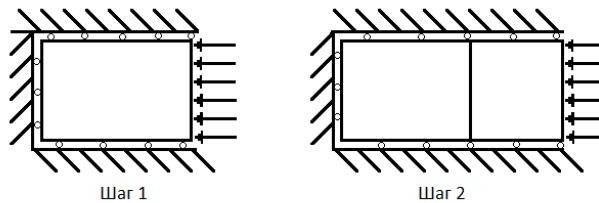
Перейдите в окно Настройки шагов нагружения. На панели общих настроек решателя введите требуемое число шагов расчета и нажмите на значок

Далее, укажите требуемые настройки:

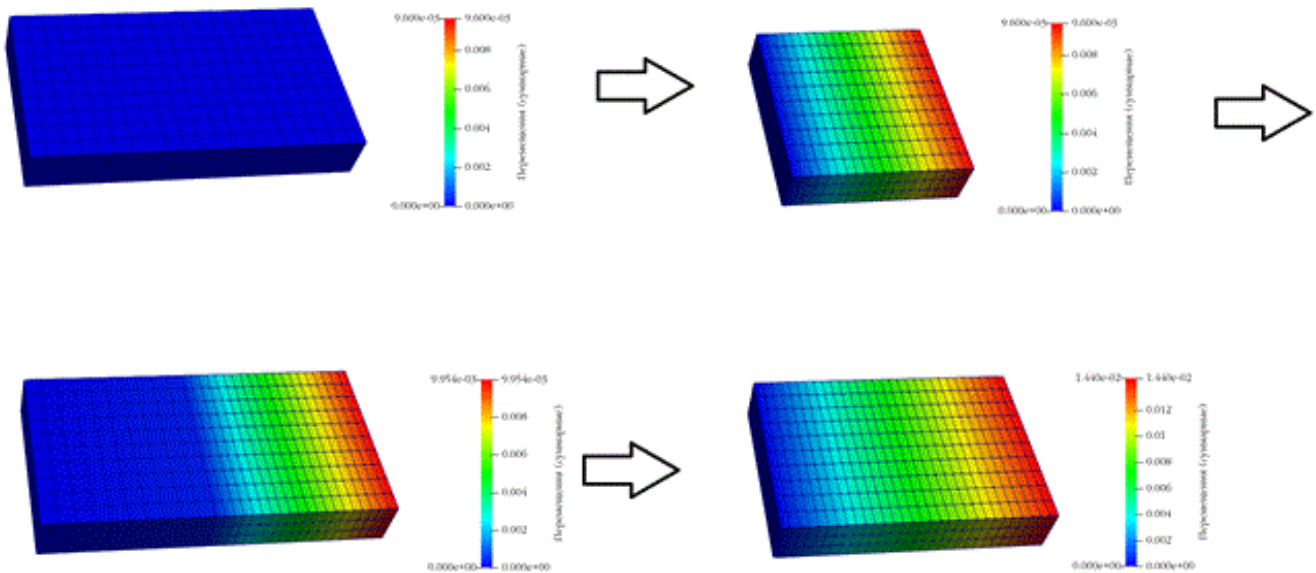
- Выберите вкладку Блоки
- Кликните в левой колонке по блоку.
- Задайте активные шаги расчета для выделенного блока в соответствующем поле.
- Задание активных шагов возможно в следующем формате: "all", "1 2 3 to 5", "1 to 5".
- Нажмите **Применить**.



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):



Подробные примеры приведены ниже в разделе Пошаговое руководство пользователя.




### Задание шагов расчета для материалов

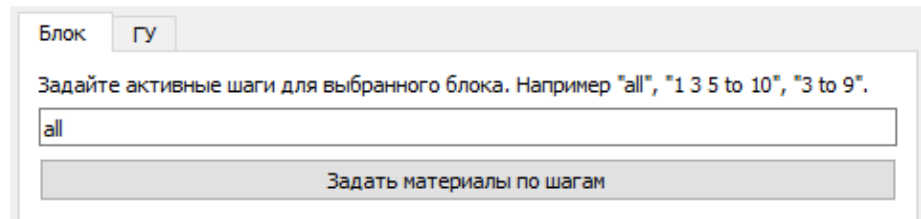
CAE Fidesys позволяет присваивать материал блокам на шагах нагружения.



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.



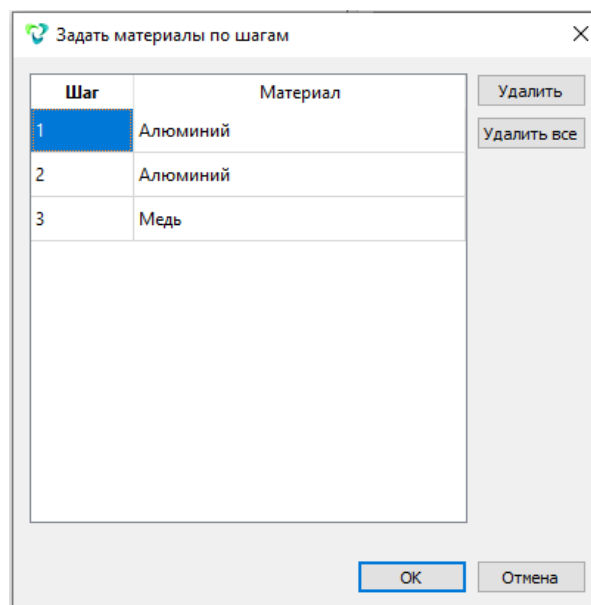
Блок ГУ

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

all

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

Удалить

Удалить все

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

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

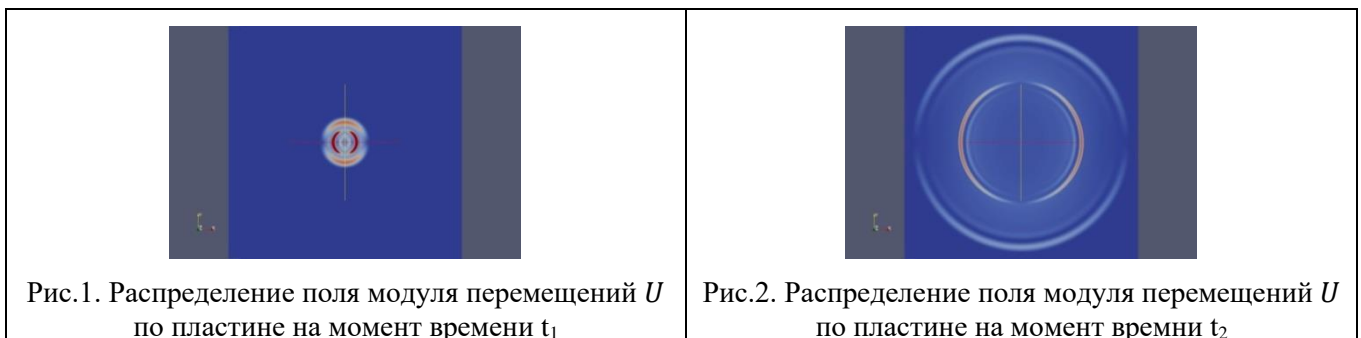
Здесь  $C_1$  и  $C_2$  – константы,  $h$  – характерный размер сетки,  $N$  – порядок элемента,  $u_h$  – численное решение,  $[u]_h$  – проекция точного решения на сетку.

3) Возможность эффективного распараллеливания алгоритма на OpenMP и MPI.

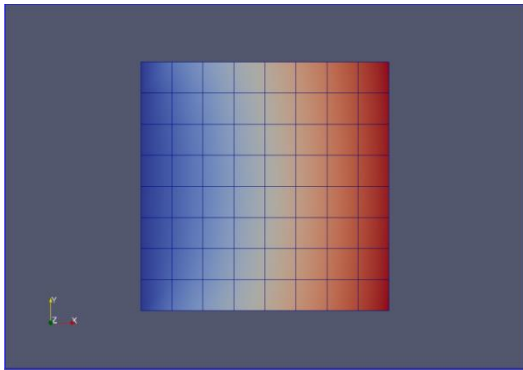
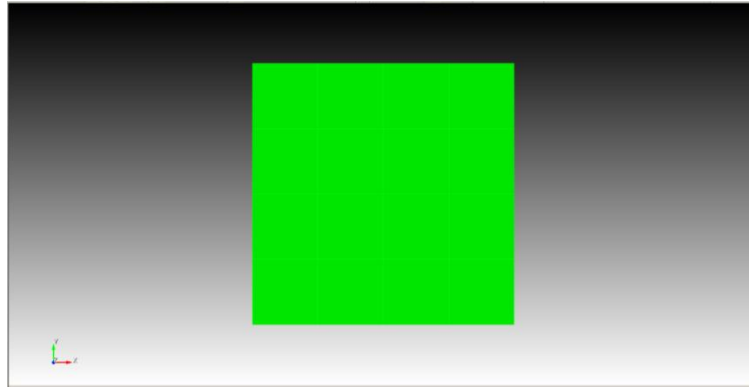
МСЭ наиболее эффективен для динамического анализа с использованием явной схемы по времени.

В качестве иллюстрации приведём классическую задачу о распространении волн в двумерной пластине размера  $1 \times 1$ .

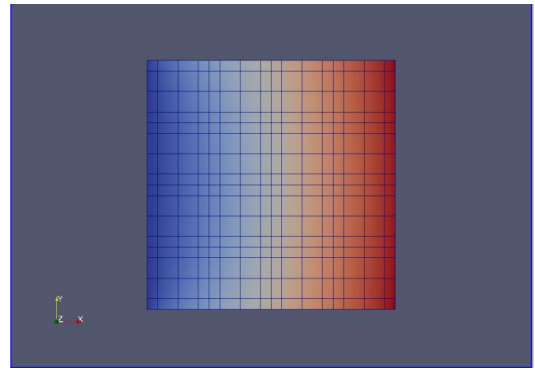
Для достижения погрешности решения менее 2% необходимое число КЭ типа TRI3 составляет 6390197 с характерным размером  $4e-4$ . При числе КЭ типа QUAD4 1640961 с характерным размером  $3e-3$  и использовании МСЭ с 4-ым порядком элементов погрешность решения становится менее 2%.



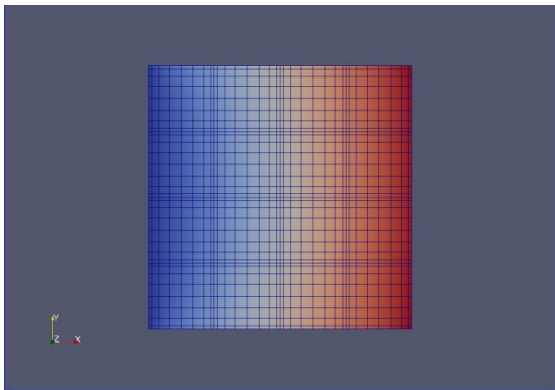
Примеры сетки в файле с результатом расчета методом спектральных элементов с использованием различного порядка элементов:



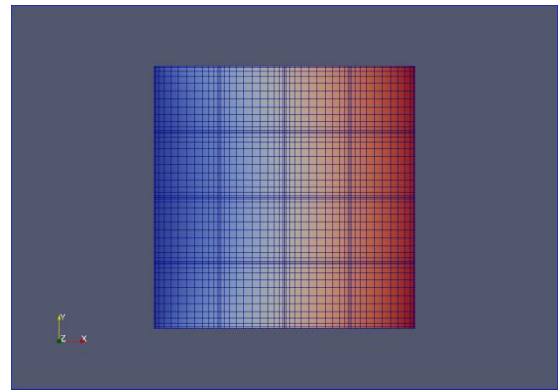
МСЭ с элементами порядка 2



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.

## Расчёт эффективных свойств неоднородных материалов

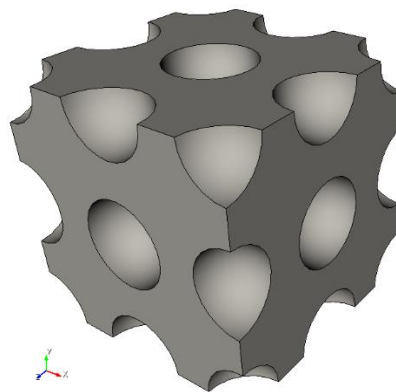
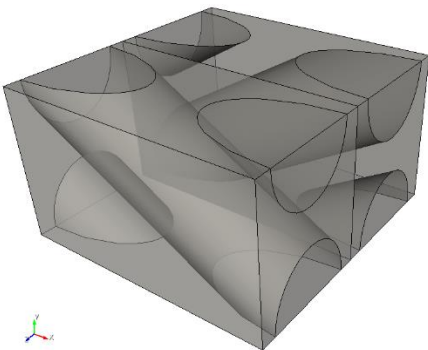
В *CAE Fidesys* существует возможность расчёта эффективных свойств неоднородного материала – например, композита или пористого материала.

### *Геометрия модели для расчёта эффективных свойств*

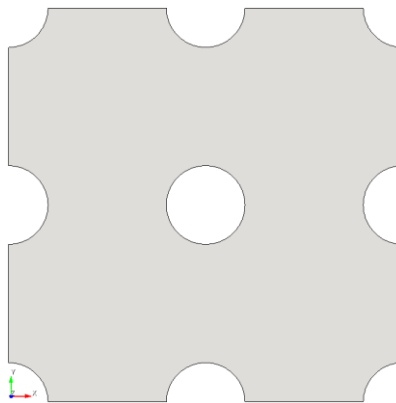
Геометрической моделью для расчёта эффективных свойств материала неперриодической структуры является представительный объём – т.е. минимальный объём материала, на котором можно провести численные эксперименты, результаты которых позволят судить о поведении материала в целом. Обычно это означает, что 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.

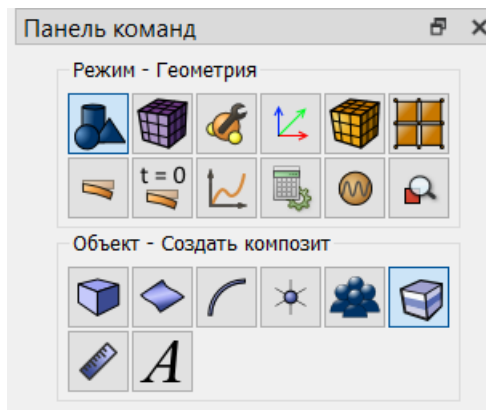
Примеры правильных трёхмерных моделей для расчёта эффективных свойств показаны на рисунках ниже. Если исследуемый материал – сплошной (рисунок слева), то и модель для расчёта его эффективных свойств должна быть сплошным прямоугольным параллелепипедом с гранями, параллельными координатным плоскостями.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

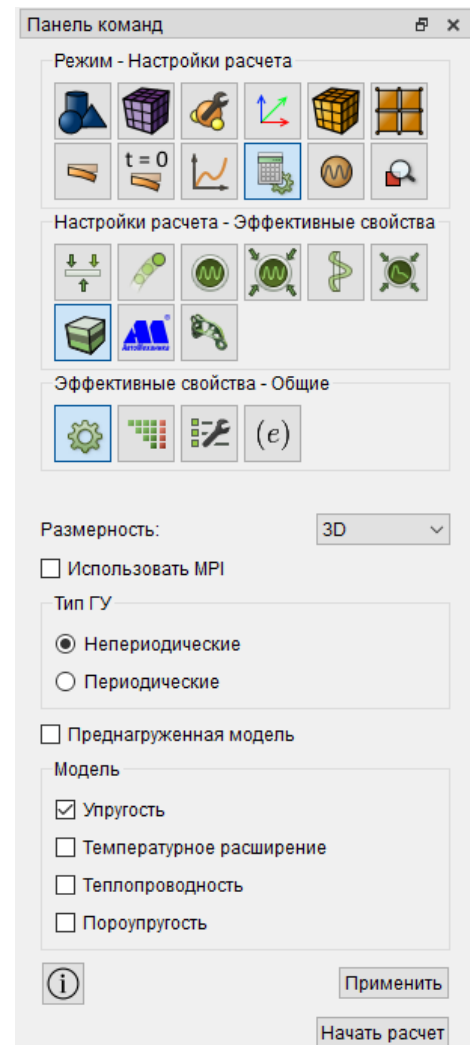
- слоисто-волоконистый (двуслойный) композит;
- однослойный волоконистый;
- однослойный волоконистый с оболочками;
- дисперсно армированный (сферическими включениями);
- дисперсно армированный с оболочками.

Пользователю необходимо только задать параметры материалов и нажать кнопку «Создать» – геометрия будет сгенерирована автоматически, средствами интерфейса *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 прикладывать не нужно: при расчёте к модели автоматически последовательно прикладывается 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)
- Балочные элементы
- Оболочечные элементы

## 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 Био пористого материала;
- 5) 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. Таким образом, в трёхмерном случае на представительном объёме (ячейке периодичности) решается 6 статических краевых задач теории упругости, в двумерном – 3 задачи. Все задачи решаются в геометрически линейной постановке.

Учёт предварительного нагружения при расчёте эффективных линейно-упругих характеристик задаётся галочкой «Преднагруженная модель». Предварительным нагружением может быть, к примеру, поровое давление для пористого материала, нагрев, вызывающий температурные напряжения и т.п. Граничные условия, определяющие предварительное нагружение модели, задаются пользователем в интерфейсе. При этом их нельзя прикладывать к внешней границе представительного объёма (ячейки периодичности) – поверхностям/линиям, полученным в результате «вырезания» из материала фрагмента в форме прямоугольного параллелепипеда (прямоугольника) и параллельным координатным плоскостям/осям. статическая задача теории упругости – итого получается 7 задач в трёхмерном случае и 4 задачи в двумерном. Все задачи в данном случае решаются с учётом геометрической нелинейности

Эффективные свойства оцениваются в виде обобщённого закона Гука:

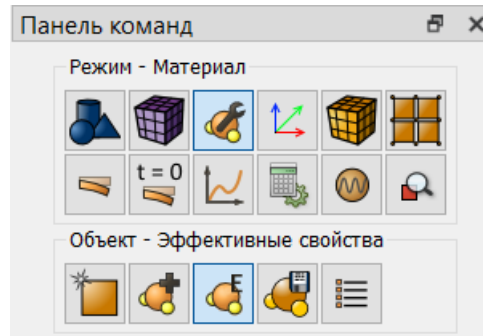
$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl}$$

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 6х6 (часть матрицы ниже главной диагонали не отображается в силу симметричности).

Если вычисленные эффективные модули упругости являются нефизичными – 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 нефизичными – 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 нефизичными – при нажатии кнопки «Обработать данные» откроется окно с соответствующим предупреждением.

Возможен расчёт эффективных упругих характеристик неоднородного материала, упругие свойства компонент которого имеют табличную/функциональную зависимость от каких-либо переменных. К примеру, можно задать зависимость свойств материалов от температуры, задать равномерный нагрев представительного объёма (ячейки периодичности) – и вычислить эффективные упругие свойства при данной температуре. При этом если хотя бы один из материалов имеет ненулевой коэффициент теплового расширения – эффективные свойства будут считаться без учёта заданной температуры.

## 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

Расчёт эффективных коэффициентов линейного температурного расширения задаётся в настройках расчёта эффективных свойств галочкой «Температурное расширение». 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 Био

Расчёт эффективных коэффициентов Био задаётся в настройках расчёта эффективных свойств галочкой «Пороупругость». С целью расчёта эффективных коэффициентов Био на внешнюю границу модели накладываются фиксирующие граничные условия (т.е. не позволяющие ей деформироваться). Ко всем внутренним поверхностям прикладывается одинаковое давление.

Эффективная пороупругость материала оценивается в виде закона Био-Терцаги:

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl} - \beta_{ij} p I$$

Результатом расчёта являются эффективные коэффициенты Био  $\beta_{ij}$ , выводимые 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  $\beta_{ij}$  содержит 6 независимых констант – зачастую это больше, чем достаточно для описания эффективной пороупругости исследуемого неоднородного материала, содержащего поры. Поэтому предусмотрена возможность автоматического пересчёта полученных эффективных коэффициентов Био в константы ортотропного или изотропного материала. После завершения расчёта также появляется окно «Обработать данные по эффективным свойствам». Эффективные коэффициенты Био  $\beta_{ij}$  показаны на вкладке «Пороупругость» справа в виде симметричной матрицы пороупругости размером 3x3 (часть матрицы ниже главной диагонали не отображается в силу симметричности).

Если вычисленные эффективные коэффициенты Био являются нефизичными – сразу после открытия окна обработки данных появляется окно с соответствующим предупреждением, что матрица  $\beta_{ij}$  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  $\beta_{ij}$  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 пороупругих 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 Био получились нефизичными – при нажатии кнопки «Обработать данные» откроется окно с соответствующим предупреждением.

Если ортотропные константы не зависят от направления (разные коэффициенты Био 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 Био материала. Если материал не является изотропным с достаточной точностью – при нажатии кнопки «Обработать данные» откроется окно с соответствующим предупреждением.

## 5. 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 нефизичными – 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 нефизичными – 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 расчётов 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

Обзор...

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

Обзор...

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

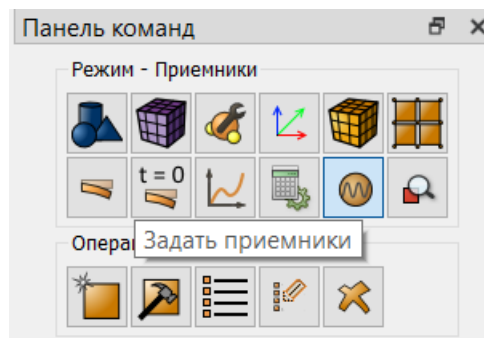
Если неоднородный материал, эффективные свойства которого исследуются, является ортотропным или изотропным из эмпирических соображений; а результаты расчёта не соответствуют таковому – следует попробовать измельчить сетку или по-другому выбрать модель для расчёта.

## Данные в формате SEG-Y

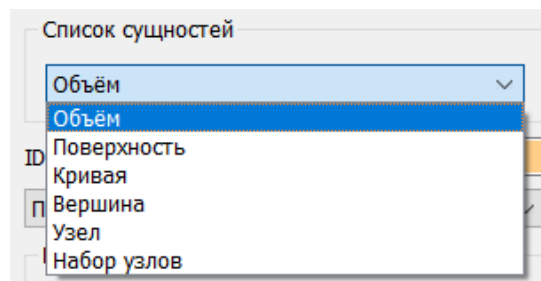
SEG-Y является форматом с последовательно расположенными трассами, разработанным для хранения полностью или частично обработанных сейсмических данных.

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

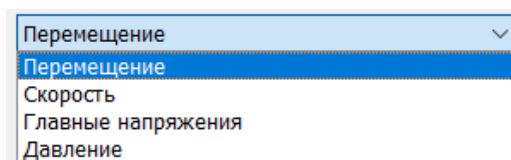
Для того, чтобы выбранные результаты расчета записались в формате SEG-Y, необходимо в препроцессоре расположить Приемники на модели (**Панель команд, Режим - Приемники, Операция - Создать**).



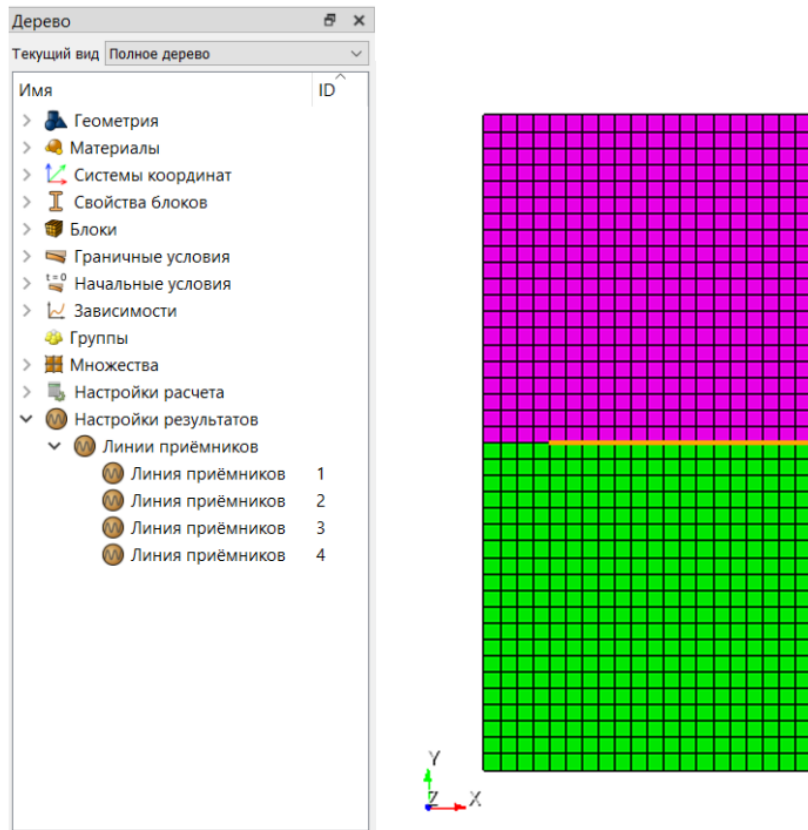
Выберите из выпадающего списка геометрические сущности, которые будут являться приемниками.



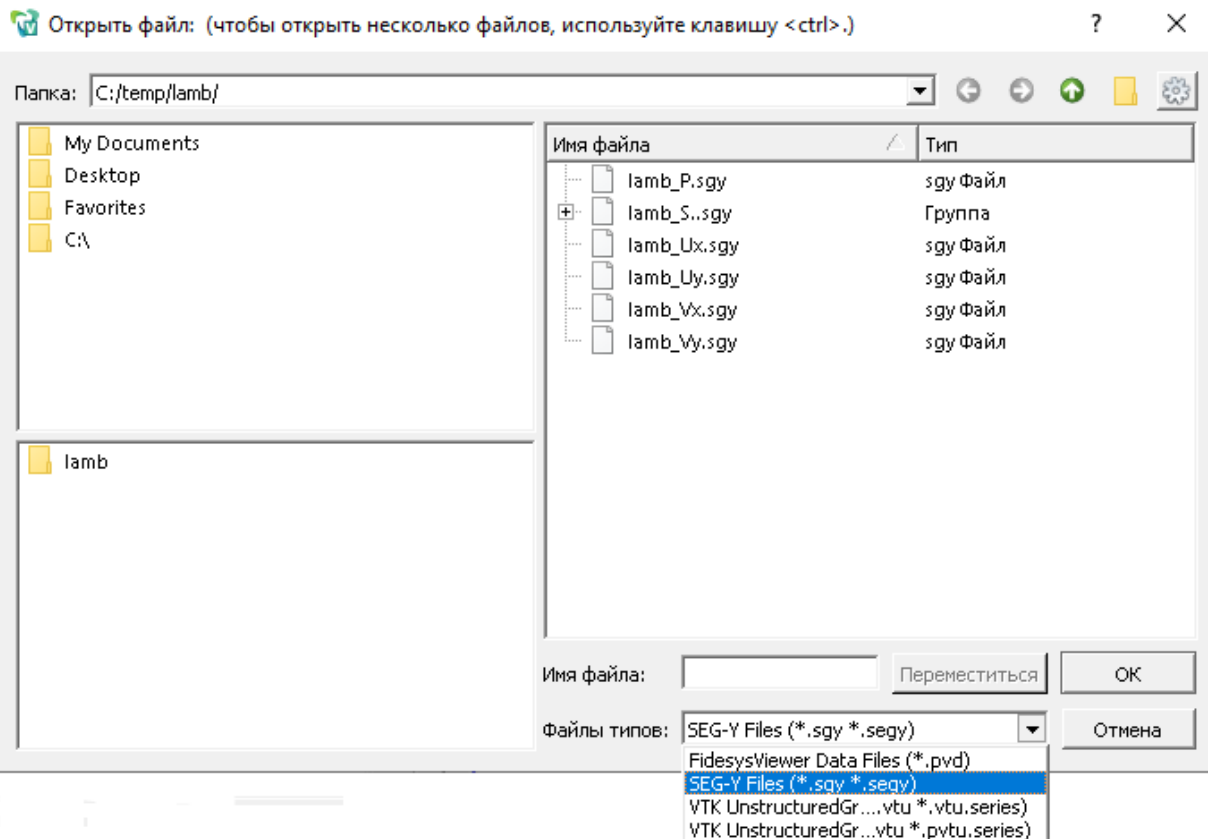
Укажите, какие поля данных сохранять в формате SEG\_Y.



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 *FidesysViewer* 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.

## Спектральный анализ

На панели команды выберите **Режим - Настройки расчета, Настройки расчета – Спектральный, Спектральный - Общие**.

- В выпадающем списке **Размерность** выберите размерность решаемой задачи: **3D** (трехмерная; по умолчанию) или **2D** (плоская).
- В группе **Тип** задайте требуемый тип спектрального анализа (линейная или случайные вибрации).
- В группе **Настройки** задайте требуемые для расчета данные: число определяемых собственных частот.
- В случае анализа колебаний предварительно нагруженной конструкции установите флажок **Преднагруженная модель**, а в открывшейся группе **Модель** укажите особенности такого нагружения (пластичность, геометрическая нелинейность, теплопроводность, пьезопроводность).
- Нажмите **Применить**.

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 первом столбце помещаются значения частоты (Гц), в последующих – перемещения (скорости, ускорения). Необходимо указать названия столбцов:

- первый столбец - f;
- последующие – зависимости от того, какая кинематическая характеристика прикладывается:
  - dx – перемещение по оси O<sub>x</sub>;
  - dy – перемещение по оси O<sub>y</sub>;
  - dz – перемещение по оси O<sub>z</sub>;
  - vx – скорость по оси O<sub>x</sub>;
  - vy – скорость по оси O<sub>y</sub>;
  - vz – скорость по оси O<sub>z</sub>;
  - ax – ускорение по оси O<sub>x</sub>;
  - ay – ускорение по оси O<sub>y</sub>;
  - az – ускорение по оси O<sub>z</sub>.

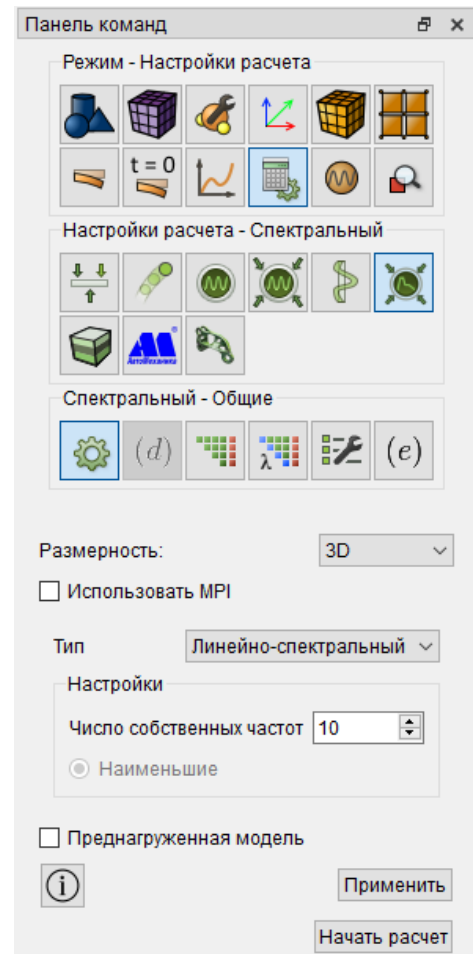
Пример задания спектра отклика перемещения вдоль осей O<sub>x</sub>, O<sub>y</sub>, O<sub>z</sub> в файле \*.csv:

f	dx	dy	dz
0.875	1.05e-01	2.02e-01	5.01e-01
2.667	3.40e-02	4.05e-02	5.01e-02

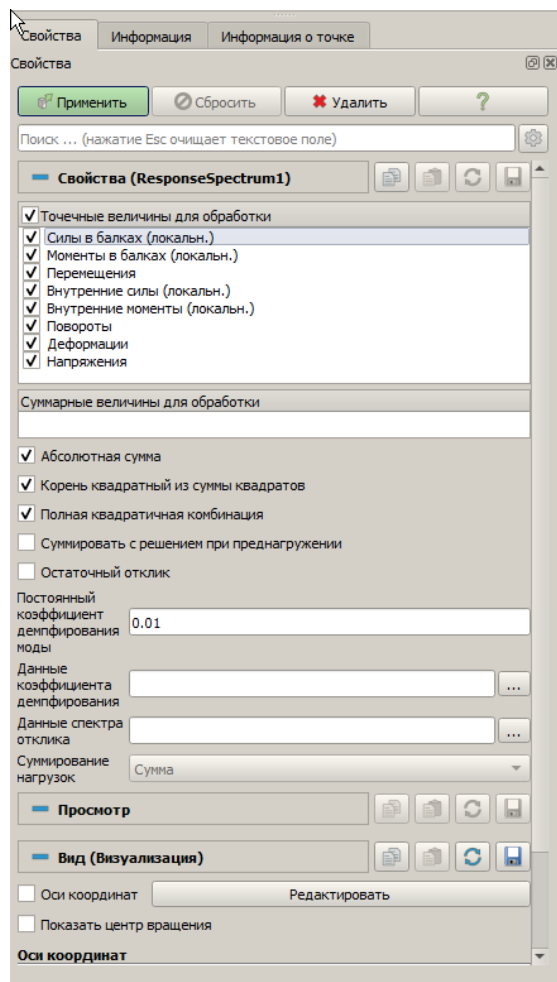
Спектр отклика прикладывается к модели в программе Fidesys Viewer. В главном меню необходимо перейти **Фильтры - Алфавитный указатель – Линейно-спектральный анализ**.

В появившемся окне свойств результатов расчета доступны следующие настройки:

- Точечные величины для обработки;



- Суммарные величины для обработки;
- Выбор метода комбинации мод:
  - Абсолютная сумма;
  - Корень квадратный из суммы квадратов;
  - Полная квадратичная комбинация.
- Суммировать с решением при преднагружении;
- Остаточный отклик;
- Задание значения модульного коэффициента демпфирования;
- Выбор пути до csv-файла табличного демпфирования;
- Выбор пути до csv-файла с нагрузками;
- Суммирование нагрузок.



После задания всех настроек нажать **Применить**.

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



- Сплошная заливка
- 📌 ID блока
- Внутренние моменты (локальн.)\_АбсСумма
- Внутренние моменты (локальн.)\_ККСК
- Внутренние моменты (локальн.)\_ПКК
- Внутренние силы (локальн.)\_АбсСумма
- Внутренние силы (локальн.)\_ККСК
- Внутренние силы (локальн.)\_ПКК
- Деформации\_АбсСумма
- Деформации\_ККСК
- Деформации\_ПКК
- Моменты в балках (локальн.)\_АбсСумма
- Моменты в балках (локальн.)\_ККСК
- Моменты в балках (локальн.)\_ПКК
- Напряжения\_АбсСумма
- Напряжения\_ККСК
- Напряжения\_ПКК
- **Перемещения\_АбсСумма**
- Перемещения\_ККСК
- Перемещения\_ПКК
- Повороты\_АбсСумма
- Повороты\_ККСК
- Повороты\_ПКК
- Силы в балках (локальн.)\_АбсСумма
- Силы в балках (локальн.)\_ККСК
- Силы в балках (локальн.)\_ПКК
- Скорость\_АбсСумма
- Скорость\_ККСК
- Скорость\_ПКК
- Ускорения\_АбсСумма
- Ускорения\_ККСК
- Ускорения\_ПКК

## Расчеты для Автомеханики (интеграция с Euler), Универсальный механизм

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

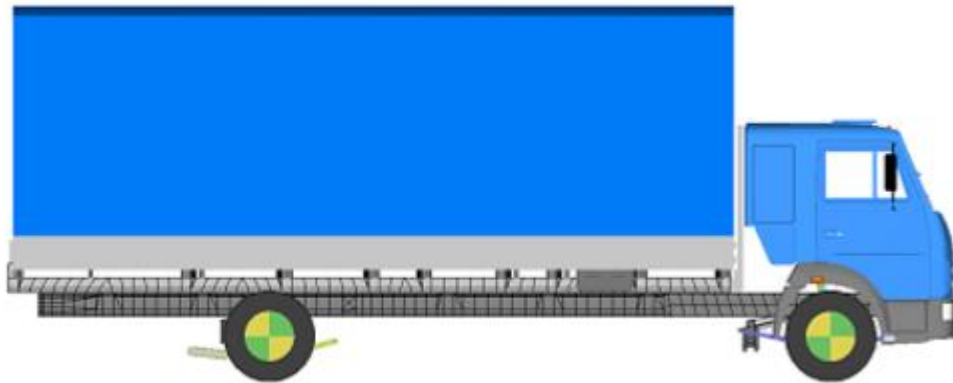


Рис. 1: Вид модели автомобиля КАМАЗ-5308 с включенной КЭ моделью рамы.

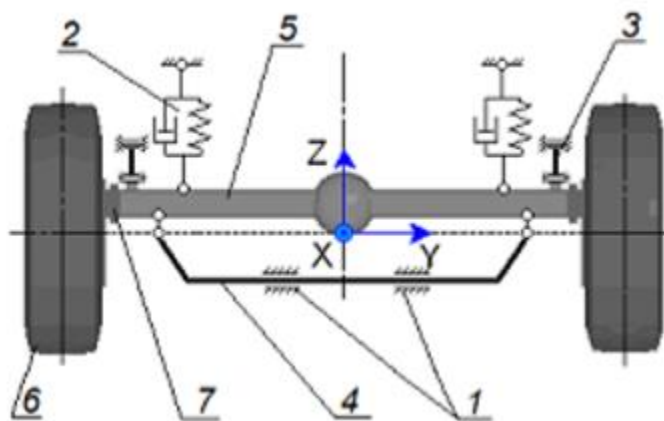


Рис. 2: Схема модели передней подвески: 1– базовое звено; 2– упругодемпфирующий элемент; 3– продольный рычаг; 4– стабилизатор; 5– мост; 6 – колесо; 7 – цапфа.

#### 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

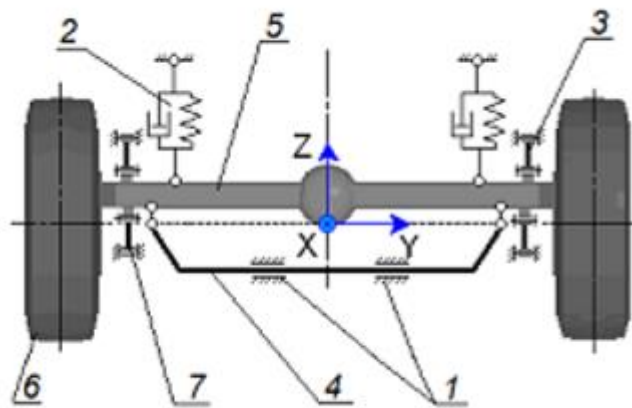


Рис. 3: Схема модели задней подвески: 1– базовое звено; 2– упругодемпфирующий элемент; 3– продольный рычаг; 4– стабилизатор; 5– мост; 6 – колесо; 7 – дополнительный продольный рычаг.

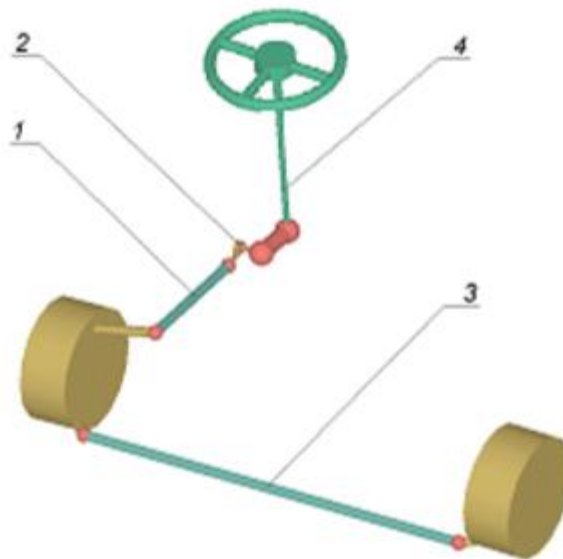


Рис. 4: Схема модели рулевого управления: 1 – тяга продольная; 2 – сошка; 3 – тяга поперечная; 4 – рулевая колонка.

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

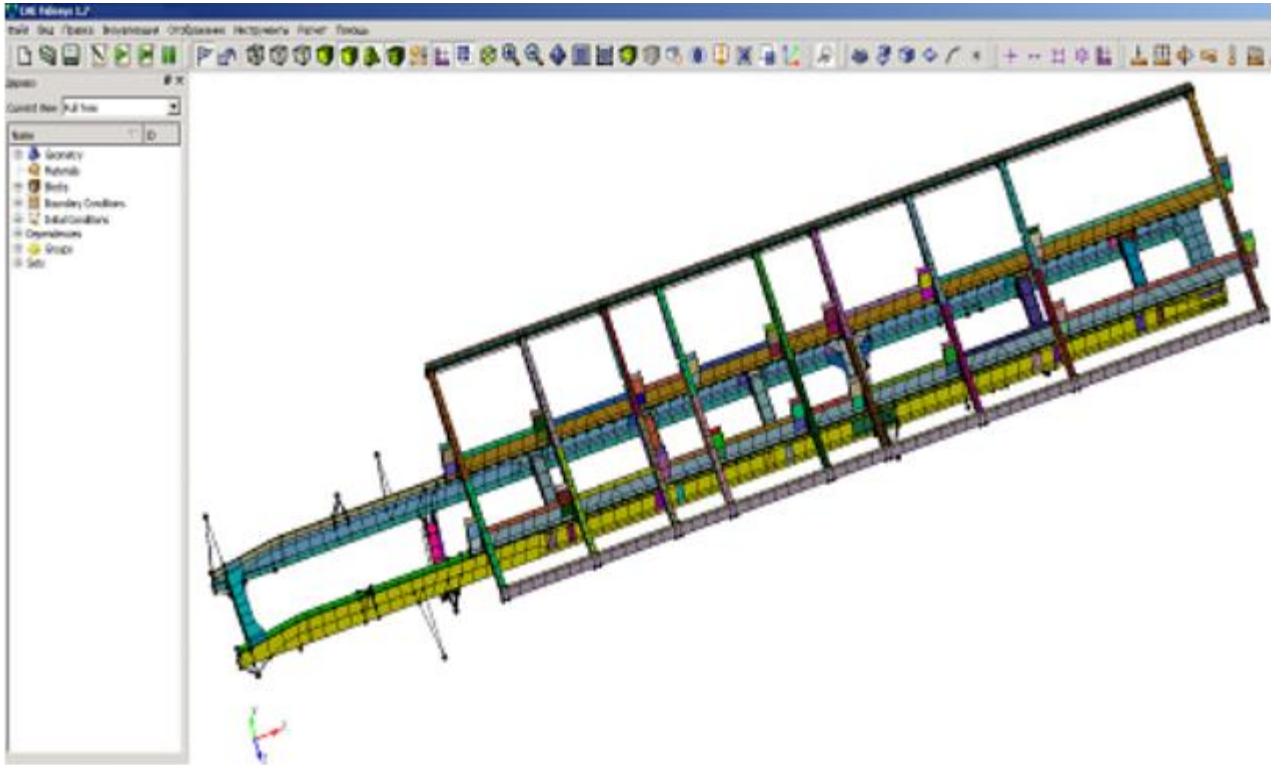


Рис. 5: Общий вид модели открытой в Fidesys.

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.

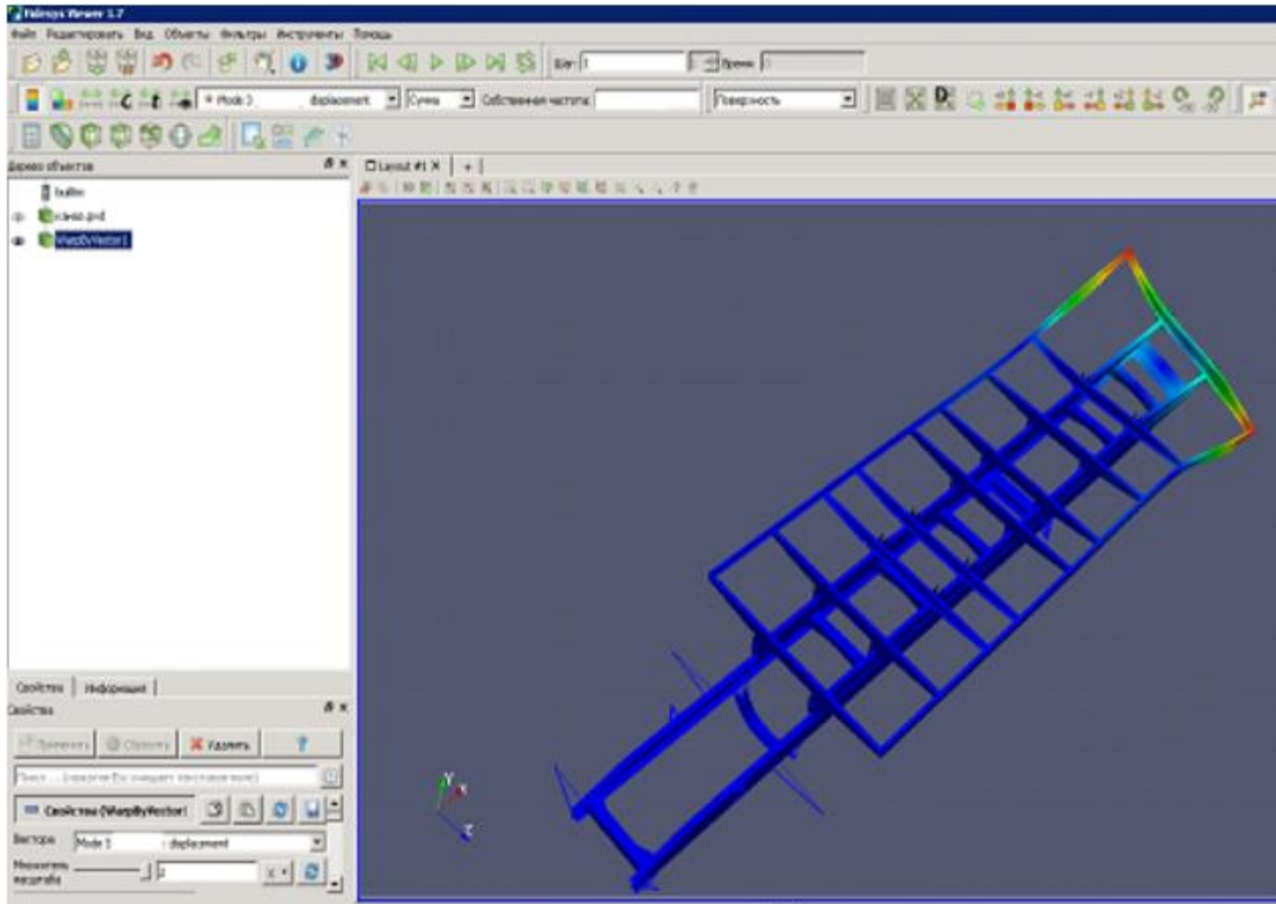


Рис. 6: Собственные формы, используемые в расчете динамики.

### *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.

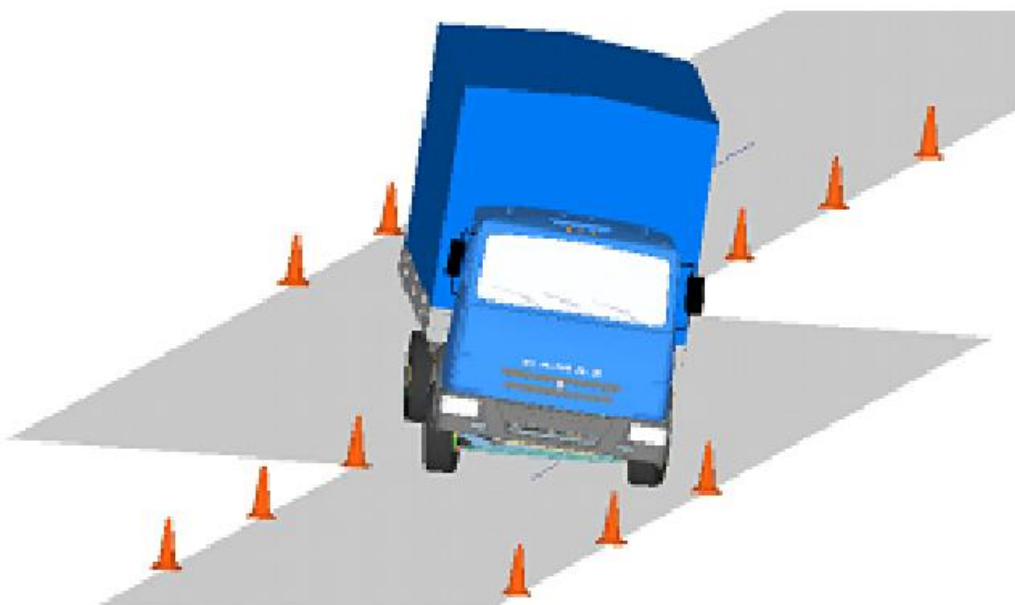


Рис. 7: Внешний вид модели.

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.

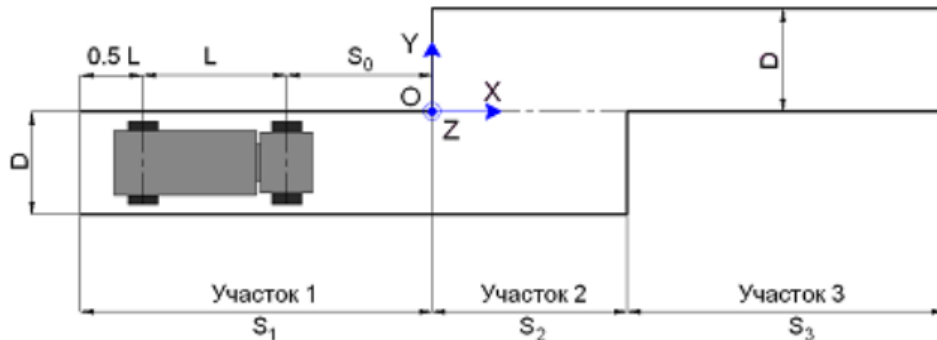


Рис. 8: Разметка участка модели испытаний “переставка”.

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 специальных 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 данной 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 – 11 мм.

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.

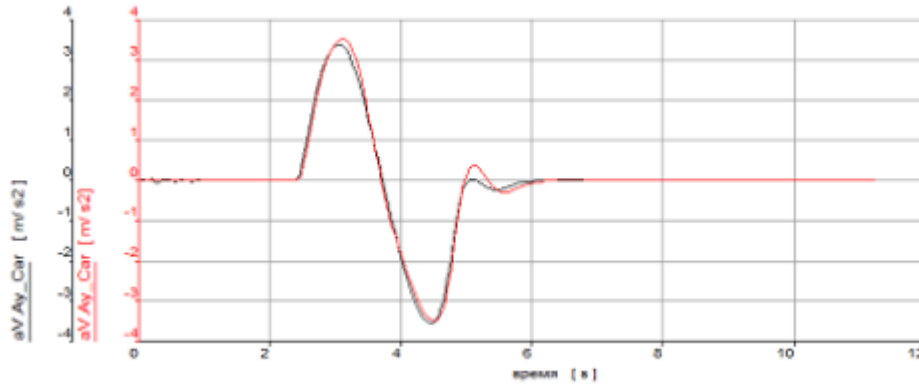


Рис. 9: Боковое ускорение для жесткой и упругой рамы на скорости испытания 30 км/ч.

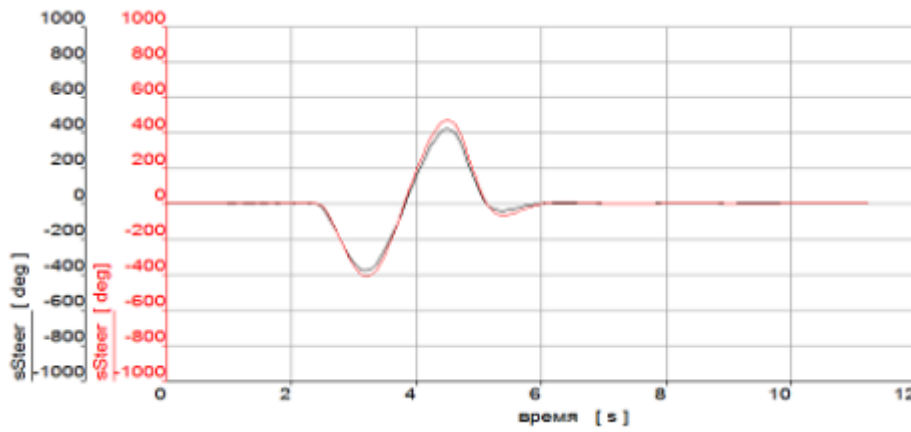


Рис. 10: Угол поворота руля для жесткой и упругой рамы на скорости испытания 30 км/ч.

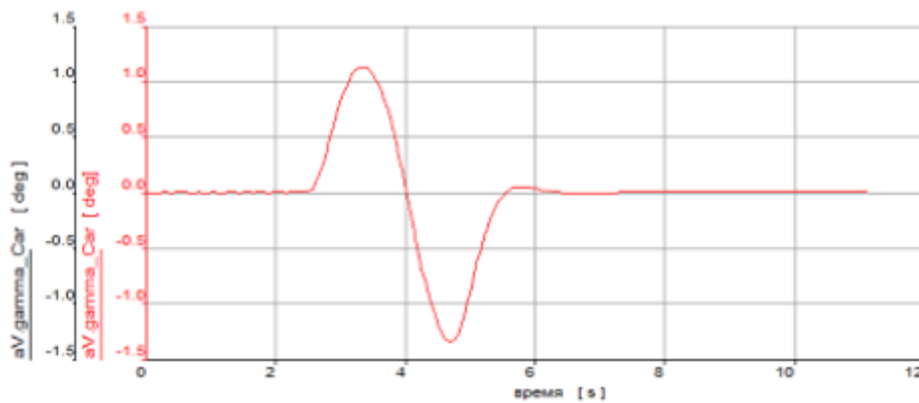


Рис. 11: Угол поперечного крена для жесткой и упругой рамы на скорости испытания 30 км/ч.



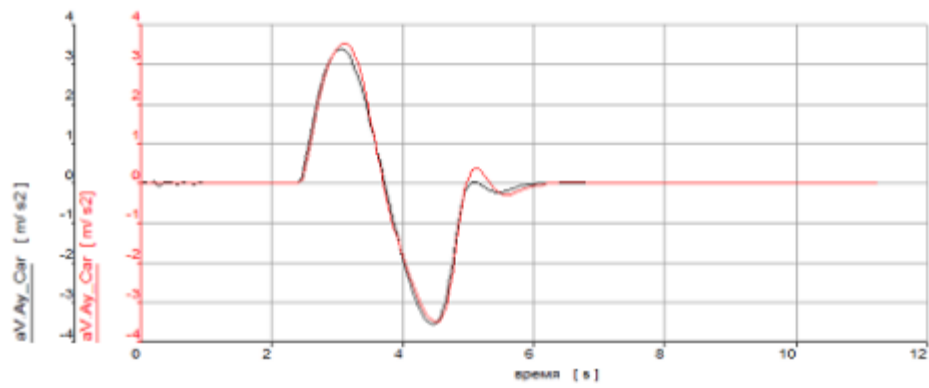


Рис. 12: Боковое ускорение для жесткой и упругой рамы на скорости испытания 55 км/ч.

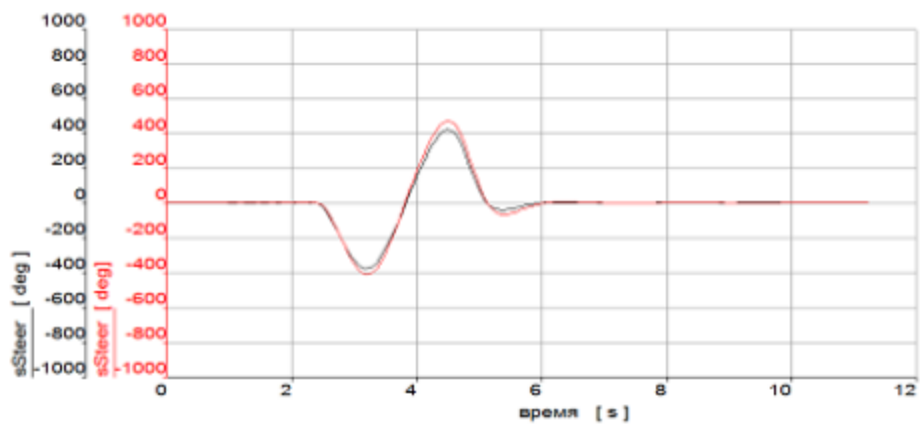


Рис. 13: Угол поворота руля для жесткой и упругой рамы на скорости испытания 55 км/ч.

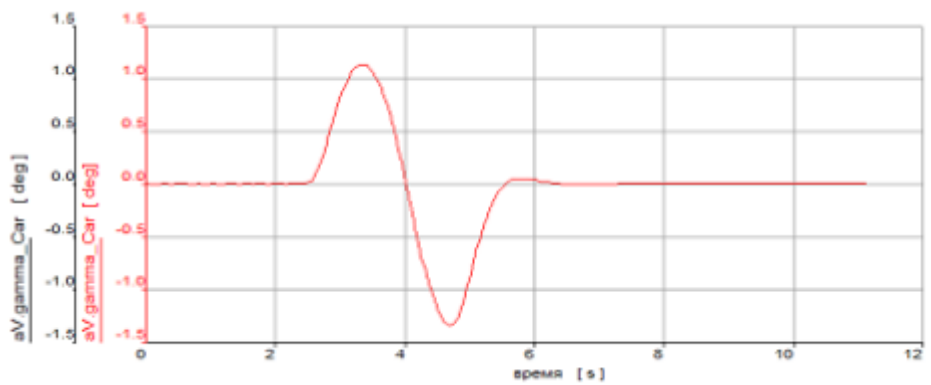
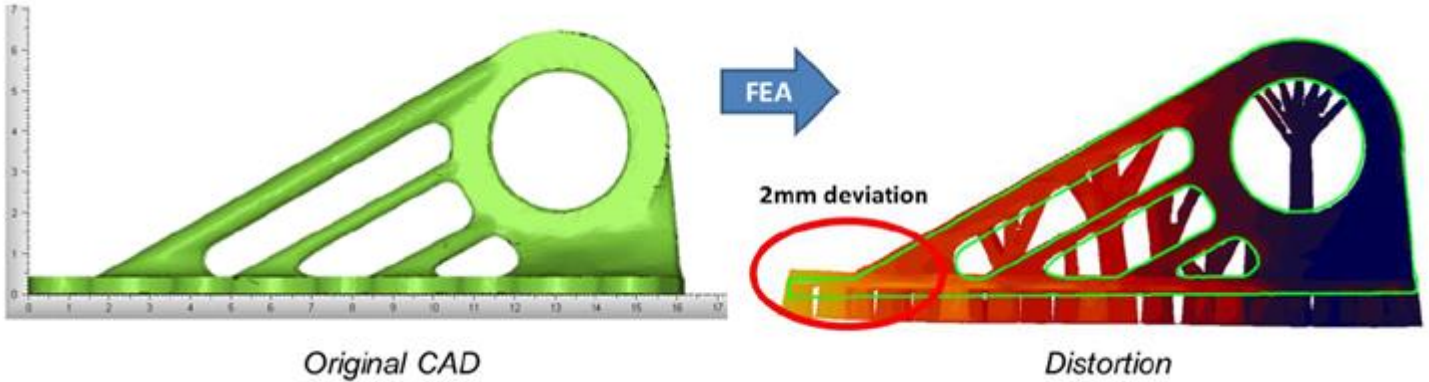


Рис. 14: Угол поперечного крена для жесткой и упругой рамы на скорости испытания 55 км/ч.

## Аддитивная печать

Аддитивное производство – технология создания изделий, которая основывается на поэтапном «наращивании» материала на основу в виде плоской платформы или осевого каркаса.

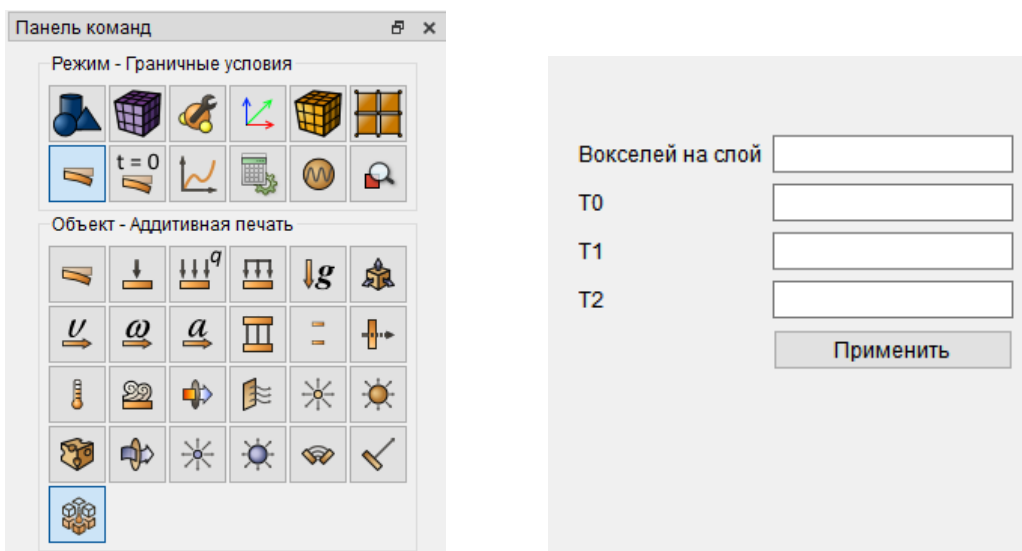


Математическое моделирование процесса аддитивного производства является важным подготовительным этапом при определении стратегии производства детали. Важность этого этапа в первую очередь обоснована тем, что в процессе производства возможно искажение формы объекта, связанное с особенностями технологии, которое может привести к выходу за границы допусков на размеры или смещению функциональных областей.

## Сетка и граничные условия

Для данного расчета на модели должна быть построена воксельная сетка. В CAE Fidesys для этого используется команда `voxelmesh`. При использовании этой команды для каждого слоя создается блок, которому в дальнейшем необходимо присвоить материал.

Для задания граничных условий при моделировании аддитивной печати в CAE Fidesys необходимо использовать граничное условие **Аддитивная печать**:



Также можно использовать команду `voxelbc`.

`voxelbc L <value> t0 <value> t1 <value> t2 <value>`

L (воксель на слой) - количество слоев, которое добавляется в расчет за один шаг (или толщина слоя в вокселях);

T0 - температура основания (подложки);

T1 - температура вновь созданного слоя;

T2 - до какой температуры остывает нижний слой в момент присоединения верхнего.

Кроме того команда **voxelbc**:

- задает закрепление по всем степеням свободы на нижнем слое;
- задает количество шагов для пошагового расчета ( $1+(2*\text{общее количество слоев вокселей}/L)$ )

При необходимости изменение/отключение блоков производится вручную,

## Запуск на расчет

Запуск на расчет происходит из статического анализа с опцией Аддитивная печать (Панель команд – Настройки расчета – Статический анализ).

Укажите на Панели команд для статического расчета:

- Размерность
- Модель: Упругость, Теплопроводность, Аддитивная печать, Геометрическая нелинейность (при необходимости)
- Задайте число шагов нагружения

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

Команда для запуска на расчет:

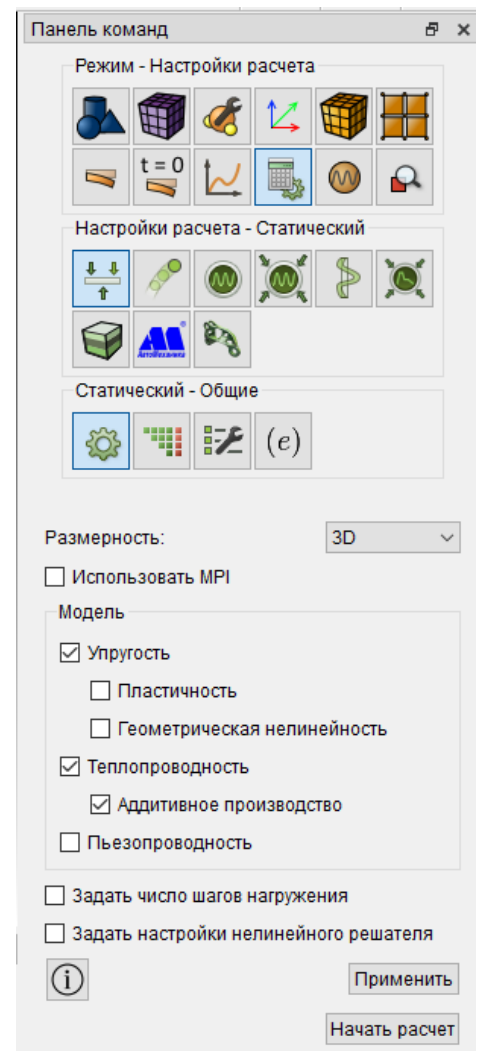
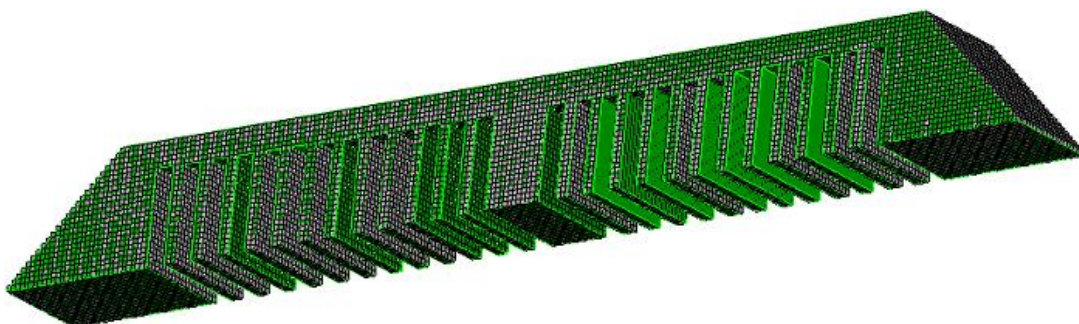
```
analysis type static elasticity heattrans slm dim3  
calculation path "D:/calc/path_to_file.pvd"
```

В команду **calculation path** необходимо вставить путь до файла расчета \*.pvd.

### Пример моделирования для аддитивной печати.

1. Для построения воксельной сетки используются размеры вокселей  $x=y=z=0.25$ . Также модель была отмасштабирована в СИ (метры). И передвинута так, чтобы слои наращивались по оси Z.

Результат:



На этом же этапе было создано 24 блока (можно проверить в Дереве или с помощью команды list block all).

2. Необходимо задать материал и присвоить его блокам (например, с помощью команды block all material 1) или через GUI.

3. Используется граничное условие Аддитивная печать с параметрами:

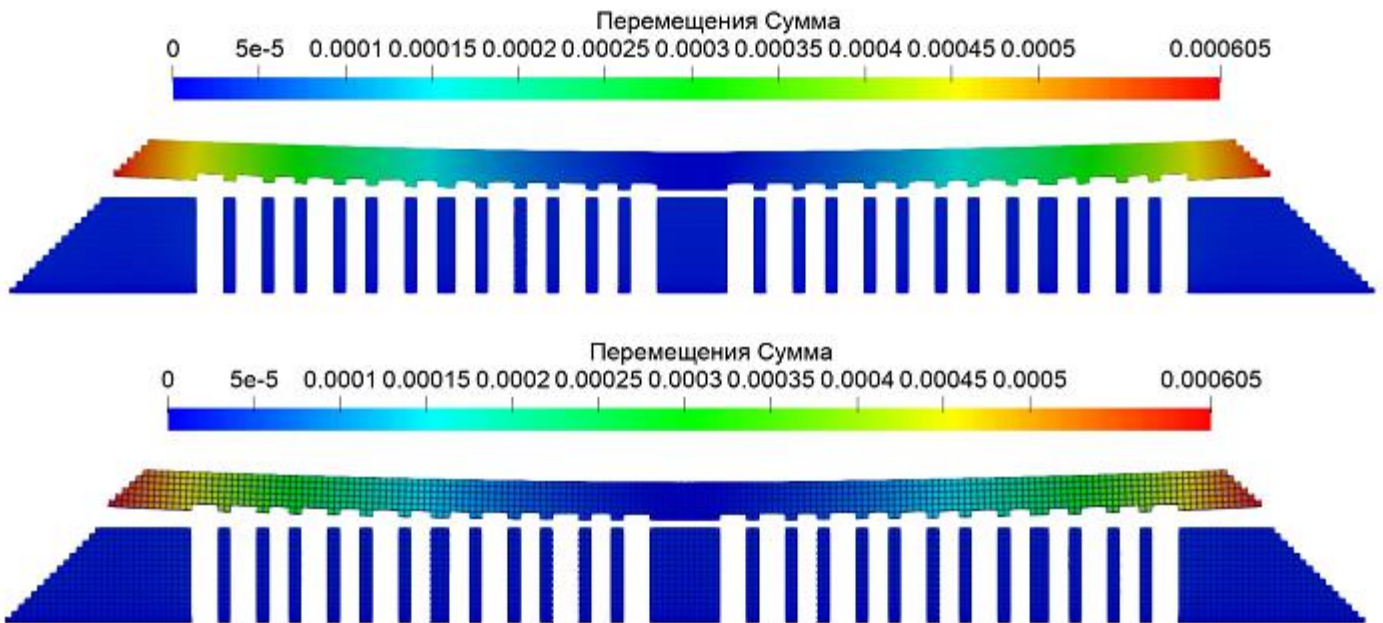
- Вокселей на слой: 1;
- $T_0=100$   $T_1=1300$   $T_2=500$ .

Таким образом, за один шаг наращивается один слой ( $L=1$ ). Общее количество шагов при пошаговом решении становится равным 49. Это ( $2*24+1$ ).

4. Далее вручную добавляется граничное условие на последнем шаге (закрепление середины отрезанного слоя) и правится порядок удаления блоков.

Закрепление на последнем шаге моделирует отрезание «ножек». Чтобы не переписывать созданные автоматически блоки, закрепляются грани гексаэдров в середине отрезанного слоя.

Результат решения на последнем шаге в постпроцессоре (деформированный вид):



## Визуализация результатов и постпроцессинг

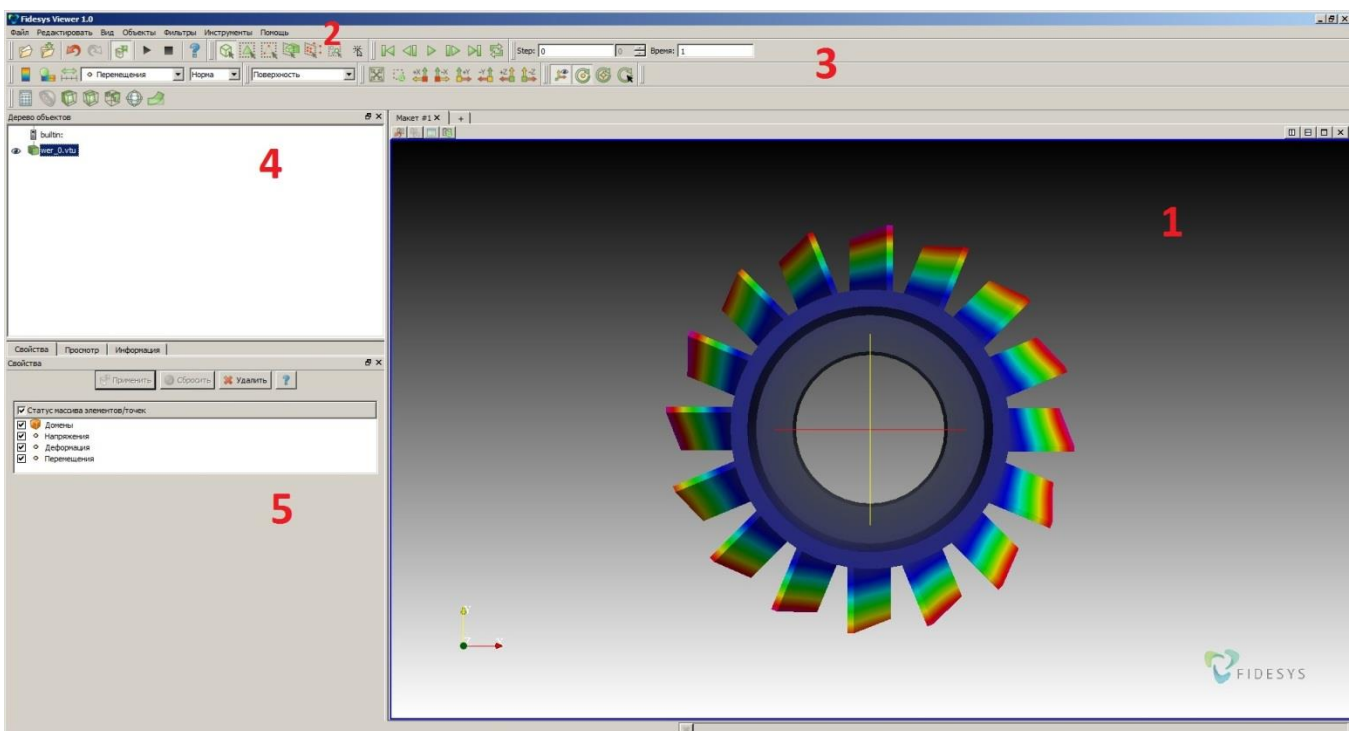
### О программе Fidesys Viewer

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.

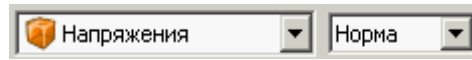
Дополнительные панели можно показать или скрыть в пункте меню **Вид**.


## Основные принципы работы

*FidesysViewer* 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 *FidesysViewer* при нажатии кнопки **3D-вид** в стандартной строке.

## **Фильтры**

### *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  $\sigma_i$  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

- Нормальное напряжение на плоскости разрушения:



$$\begin{aligned}\tau_{max} &= A + B\sigma_n \\ \tau_{max} &= \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \cos \phi \\ \sigma_n &= \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin \phi\end{aligned}$$

Где

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

или

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

$$\begin{aligned}\phi &= \arcsin\left(-\frac{b}{a}\right), \\ c &= \frac{\sqrt{\sigma_c \sigma_t}}{2}\end{aligned}$$

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 Могои-Кулона

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

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

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

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

или

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

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

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

$$\sigma_n = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin \phi \quad - \text{нормальное напряжение разрушения (the normal stress at failure);}$$

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

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

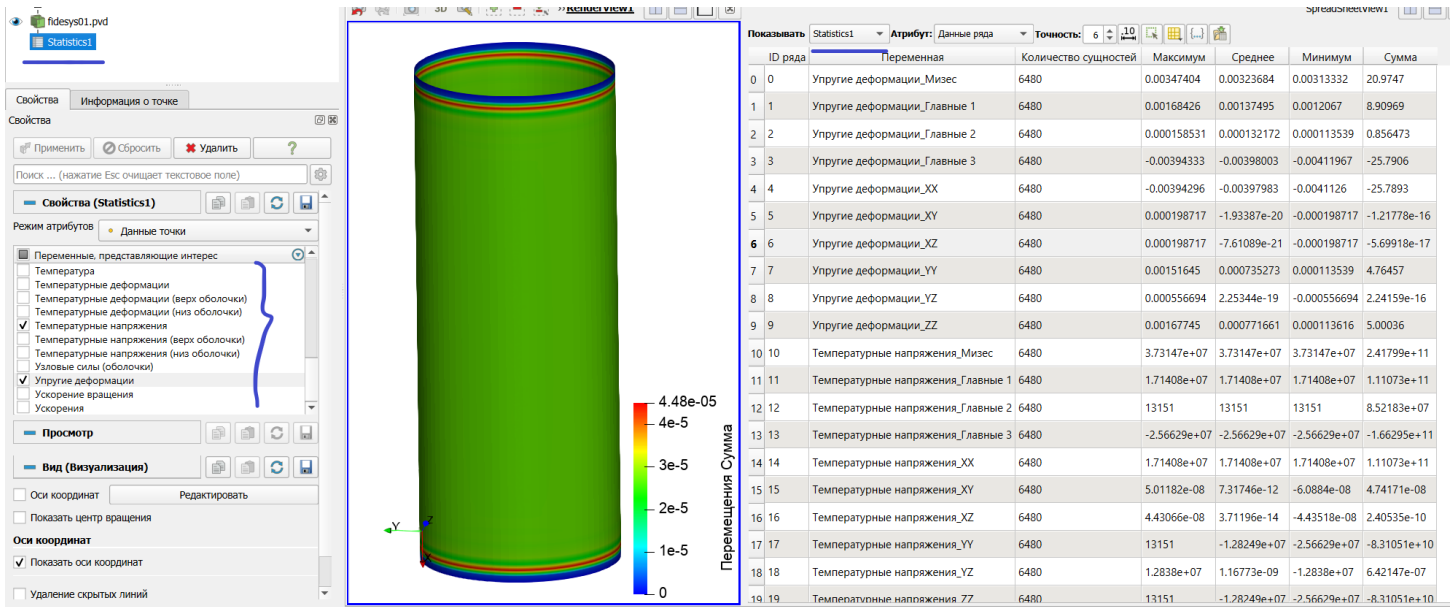
Для построения графиков зависимости от частоты после проведения расчета с помощью гармонического анализа выберите **Фильтры** → **Алфавитный указатель** → **Гармонический анализ**. Укажите номер узла, характеристики которого будут представлены на графике.

## Суммарный момент

Фильтр Суммарный момент позволяет определить момент, возникающий в группе узлов. Данный фильтр позволяет, в частности, определить суммарный момент в сечении трубы (балки), смоделированной оболочечными элементами. Возможно определение момента относительно геометрического центра сечения (рассчитывается автоматически) или относительно заданной координаты.

## Статистика

Фильтр «Статистика» выводит общую информацию о выборке из узлов или элементов, к которой он применяется. В панели «Свойства» необходимо отметить массивы, к которым нужно применить фильтр. После этого выводятся максимальное и минимальное значения, а также вычисленная сумма и среднее значение. Фильтр может быть применен как ко всей модели, так и к предварительно сделанной выборке (Фильтр «Извлечь выделенное»).



## Теория прочности Треска - Сен-Венана

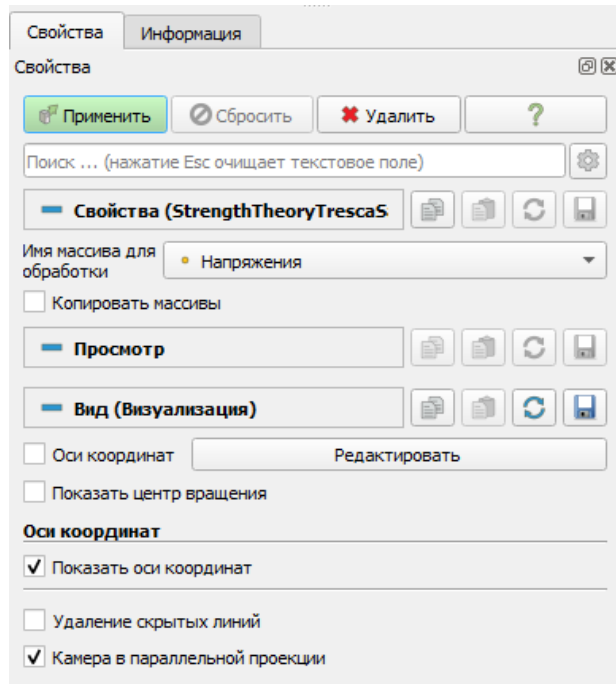
Источник - ГОСТ Р 59115.9—2021. Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Проверочный расчет на прочность.

Согласно одним из предпочтительных способов определения приведенных напряжений наряду с напряжениями Мизеса применяется теория максимальных касательных напряжений Треска - Сен-Венана (3 теория прочности). Приведенные напряжения данной теории определяются по формуле:

$$(\sigma) = \sigma_1 - \sigma_3,$$

где  $\sigma_1$  - алгебраически наибольшее главное напряжение;  $\sigma_3$  - алгебраически наименьшее главное напряжение.

Для того, чтобы посмотреть результаты, соответствующие данной теории прочности необходимо в **FidesysViewer** применить фильтр «Теория прочности Треска – Сен-Венана». Для удобства сравнения с напряжениями Мизеса в рамках одного окна необходимо перед применением фильтра поставить галочку в поле «Копировать массивы».



### Линеаризация напряжений/деформаций

Источник - ГОСТ Р 59115.9—2021. Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Поверочный расчет на прочность.

#### Общие положения линеаризации напряжений

Линеаризацию распределения напряжений следует проводить для выделения составляющих категорий напряжений из напряженного состояния общего вида. Линеаризация может выполняться как по всему сечению компонента, так и по толщине стенки (т. е. вдоль линии). Например, для выделения общих изгибных напряжений в компоненте следует выполнять линеаризацию по всему сечению компонента, а для определения местных мембранных и местных изгибных напряжений следует выполнять линеаризацию по толщине стенки. Сечение, по которому проводят линеаризацию, называется сечением приведения (СП). Линия, по которой проводят линеаризацию, называется линией приведения (ЛП).

СП следует проводить через зону компонента, где ожидается первое появление пластических деформаций. Если компонент представляет собой цилиндрическую оболочку, то сечение следует проводить перпендикулярно к срединной поверхности оболочки. В противном случае СП рекомендуется выбирать перпендикулярно к одной из внешних поверхностей.

ЛП следует проводить через стенку конструкции, перпендикулярно к внутренней, внешней или срединной поверхности компонента. Примеры выбора ЛП приведены на рисунке 1.

Напряженное состояние в каждой точке СП и ЛП характеризуется тензором напряжений  $\{\sigma\}$ . Целью процедуры линеаризации является нахождение линейного распределения напряжений по СП или ЛП, статически эквивалентного распределению, полученному при расчете НДС в компоненте, т. е. имеющего такой же главный вектор силы и главный момент.

По компонентам линеаризованных напряжений определяют приведенные напряжения категорий  $\sigma_m$ ,  $\sigma_{mL}$  (мембранные) и  $\sigma_b$ ,  $\sigma_{bL}$  (изгибные). Для определения приведенных напряжений категорий  $\sigma_m \oplus \sigma_b$  (суммарные мембранные и изгибные) компоненты линеаризованных средних и изгибных напряжений алгебраически суммируются.

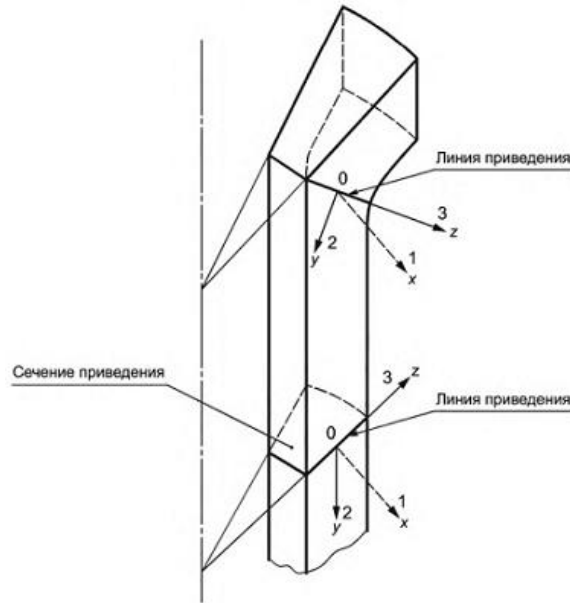


Рисунок 1. Пример СП и ЛП

### Линеаризация напряжений по сечению приведения

Если СП - плоское, то напряженное состояние в каждой точке сечения можно представить, как сумму средних, изгибных и нелинейных составляющих напряжений  $\sigma_{m\alpha\beta} + \sigma_{b\alpha\beta} + \sigma_{nl\alpha\beta}$ . При этом величины  $b$  и  $a$ , характеризующие среднюю (мембранную) и изгибную составляющие напряжений, постоянны для всех точек СП

$$\sigma_{(m+b)\alpha\beta} = ax + b,$$

где  $b$  и  $a$  - коэффициенты, определяющие среднюю (мембранную) и изгибную составляющие соответственно;  $x$  - расстояние от центральной оси, относительно которой происходит общий изгиб СП.

Средние (мембранные) составляющие напряжений постоянны для всех точек СП и равны

$$\sigma_{m\alpha\beta} = b = \frac{1}{A} \int_A \sigma_{\alpha\beta} dA,$$

где  $A$  - площадь СП.

Изгибные составляющие напряжений линейно изменяются по сечению и равны

$$\sigma_{b\alpha\beta} = ax = \frac{x}{I} \int_A \sigma_{\alpha\beta} x dA,$$

где  $I = \int_A x^2 dA$  - момент инерции СП относительно центральной оси.

Нелинейные составляющие напряжений следует вычислять по формуле

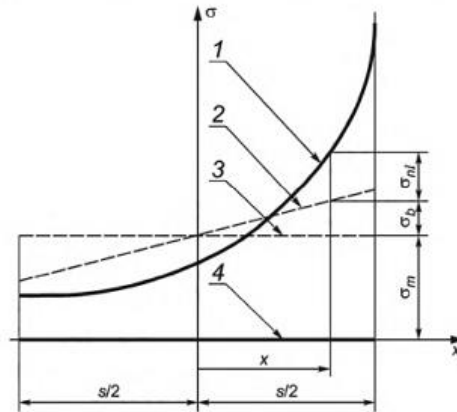
$$\sigma_{nl\alpha\beta} = \sigma_{\alpha\beta} - \sigma_{(m+b)\alpha\beta}.$$

## Линеаризация напряжений по линии приведения

Напряженное состояние в каждой точке, лежащей на ЛП, также представляется (см. рисунок 2) как сумма средних, изгибных и нелинейных составляющих напряжений  $\sigma_{m\alpha\beta} + \sigma_{b\alpha\beta} + \sigma_{nl\alpha\beta}$ . При этом коэффициенты, определяющие мембранную и изгибную составляющие напряжений постоянны для всех точек ЛП

$$\sigma_{(m+b)\alpha\beta} = ax + b,$$

где  $x$  - расстояние от срединной поверхности до рассматриваемой точки, лежащей на ЛП.



1 — компонент тензора напряжений; 2 — изгибная составляющая компонента тензора напряжений; 3 — мембранная составляющая компонента тензора напряжений; 4 — линия приведения

Рисунок 2. Разделение суммарных напряжений на среднюю, изгибную и нелинейную составляющие для ЛП

Средние (мембранные) составляющие напряжений постоянны для всех точек ЛП и равны

$$\sigma_{m\alpha\beta} = b = \frac{1}{s} \int_{-s/2}^{+s/2} \sigma_{\alpha\beta} dx,$$

где  $s$  - длина ЛП.

Изгибные составляющие напряжений линейно изменяются по ЛП и равны

$$\sigma_{b\alpha\beta} = ax = \frac{12x}{s^3} \int_{-s/2}^{+s/2} \sigma_{\alpha\beta} x dx.$$

На концах ЛП изгибные напряжения принимают значения

$$\sigma_{b\alpha\beta} = \pm \frac{6}{s^2} \int_{-s/2}^{+s/2} \sigma_{\alpha\beta} x dx.$$

Нелинейные составляющие напряжений следует вычислять по формуле

$$\sigma_{nl\alpha\beta} = \sigma_{\alpha\beta} - \sigma_{(m+b)\alpha\beta}.$$

## Линеаризация деформаций

Деформированное состояние в каждой точке, лежащей на ЛП, может быть представлено как сумма средних, изгибных и нелинейных составляющих деформаций  $\varepsilon_{m\alpha\beta} + \varepsilon_{b\alpha\beta} + \varepsilon_{nl\alpha\beta}$ . При этом величины

$$\varepsilon_{(m+b)\alpha\beta} = ax + b,$$

где  $x$  — расстояние от срединной поверхности до рассматриваемой точки, лежащей на ЛП.

Средние (мембранные) составляющие деформаций постоянны для всех точек ЛП и равны

$$\varepsilon_{m\alpha\beta} = b = \frac{1}{s} \int_{-s/2}^{+s/2} \varepsilon_{\alpha\beta} dx,$$

где  $s$  - длина ЛП.

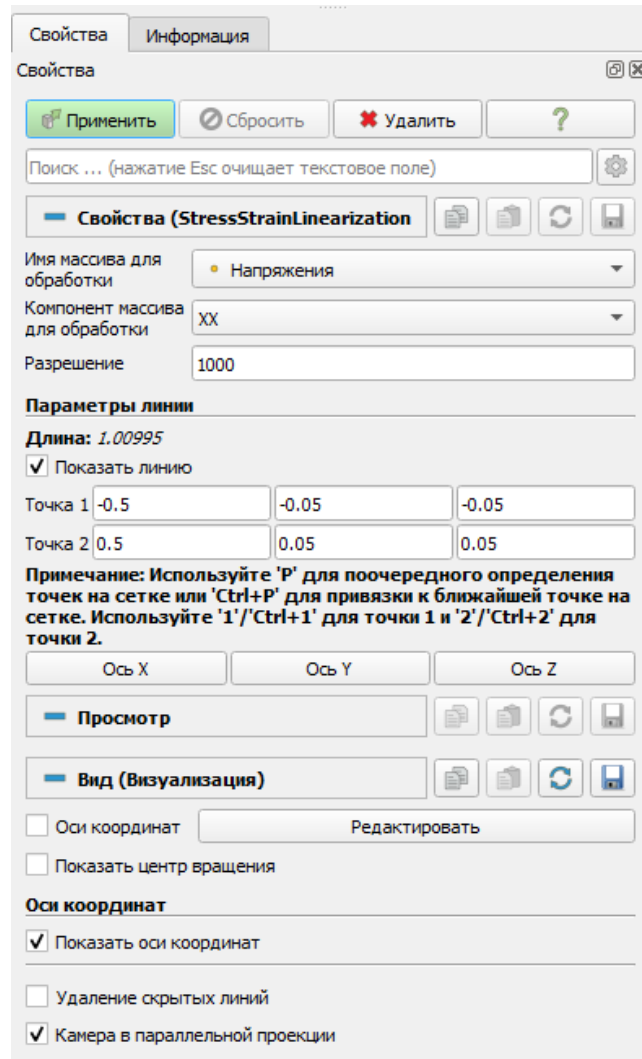
Изгибные составляющие деформаций линейно изменяются по ЛП и равны

$$\varepsilon_{b\alpha\beta} = ax = \frac{12x}{s^3} \int_{-s/2}^{+s/2} \varepsilon_{\alpha\beta} x dx.$$

На концах ЛП изгибные деформации принимают значения

$$\varepsilon_{b\alpha\beta} = \pm \frac{6}{s^2} \varepsilon \int_{-s/2}^{+s/2} \varepsilon_{\alpha\beta} x dx.$$

Чтобы вызвать фильтр **Линеаризация Напряжений/Деформаций**, вы можете использовать **Меню - Фильтры - Алфавитный указатель**.



## 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:

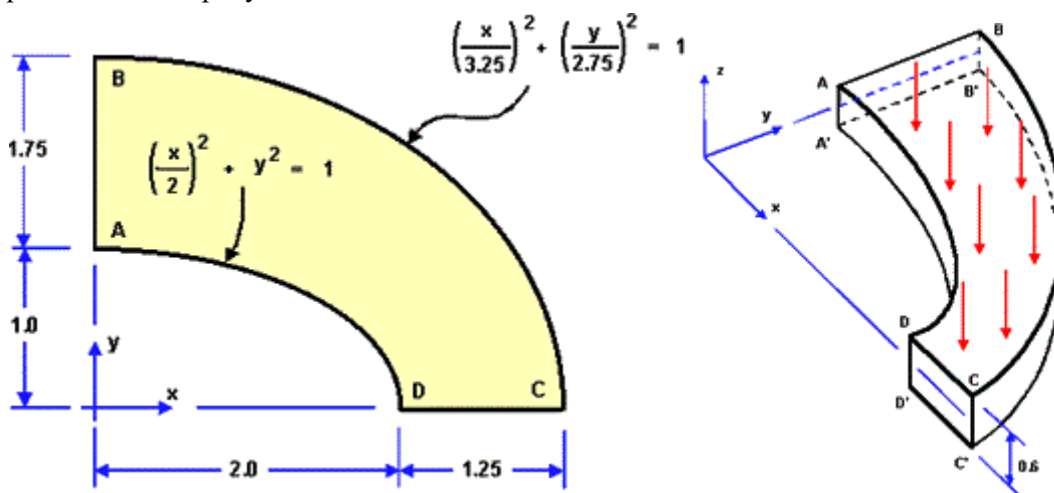
- построение модели;
- построение сетки;
- задание граничных условий;
- задание материала;
- запуск расчёта;
- анализ результатов.

Ниже приведено несколько примеров с пошаговой инструкцией каждого этапа.

### Статическое нагружение (объемная 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:



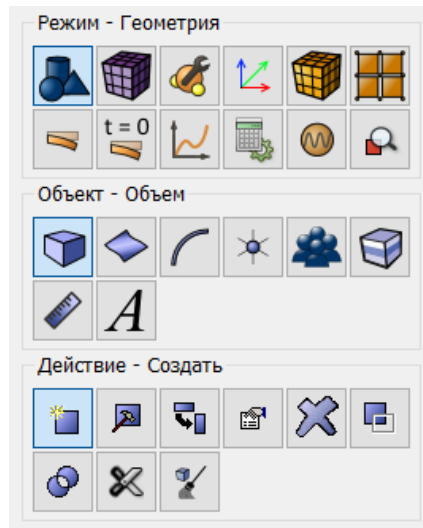
На боковых срезах пластинки запрещены перемещения по направлению нормали к этим граням, все точки внешней криволинейной поверхности закреплены в плоскости XY, внешняя криволинейная поверхность зафиксирована вдоль средней линии от перемещений вдоль оси Z. Модуль величины давления на верхнюю грань равен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

Критерий прохождения теста: напряжение  $\sigma_{xy}$  в точке D равно  $-5.38$  МПа 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).

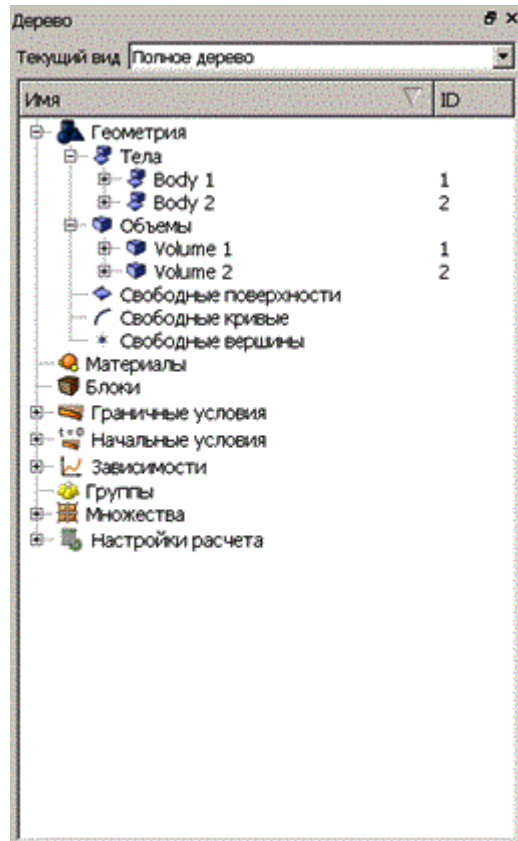
Из списка геометрических примитивов выберите Цилиндр.

Задайте размеры цилиндра:

- Высота: 0.6;
- Тип сечения: Эллиптический;
- Главный радиус: 3.25;
- Вспомогательный радиус: 2.75;

Нажмите Применить.

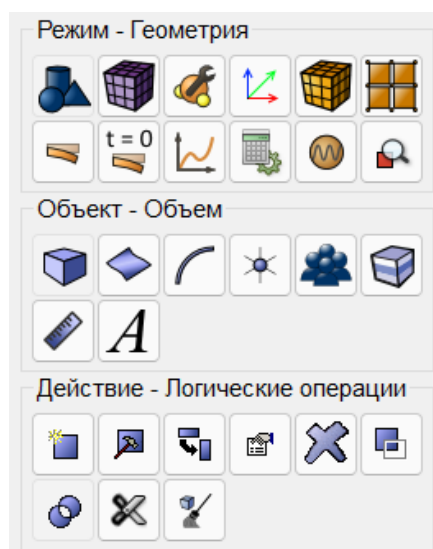
В результате в дереве объектов отобразятся два только что созданных объекта (Body 1 и Body 2).



3. Вычтите первый цилиндр из второго.

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

Из списка операций выберите Вычесть.



Задайте следующие параметры:

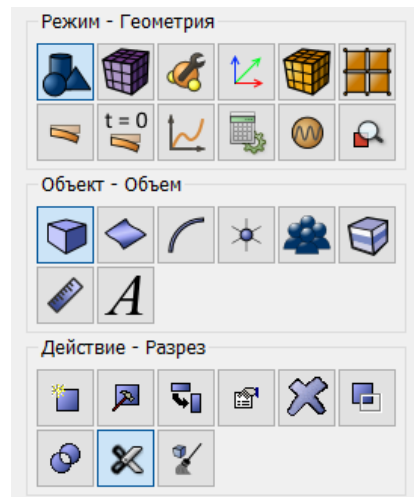
- ID тел: 2 (объёмы, из которых будут вычтены другие объёмы);
- Вычесть тела (ID): 1 (объёмы, которые будут вычтены);

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 — Объём, 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;

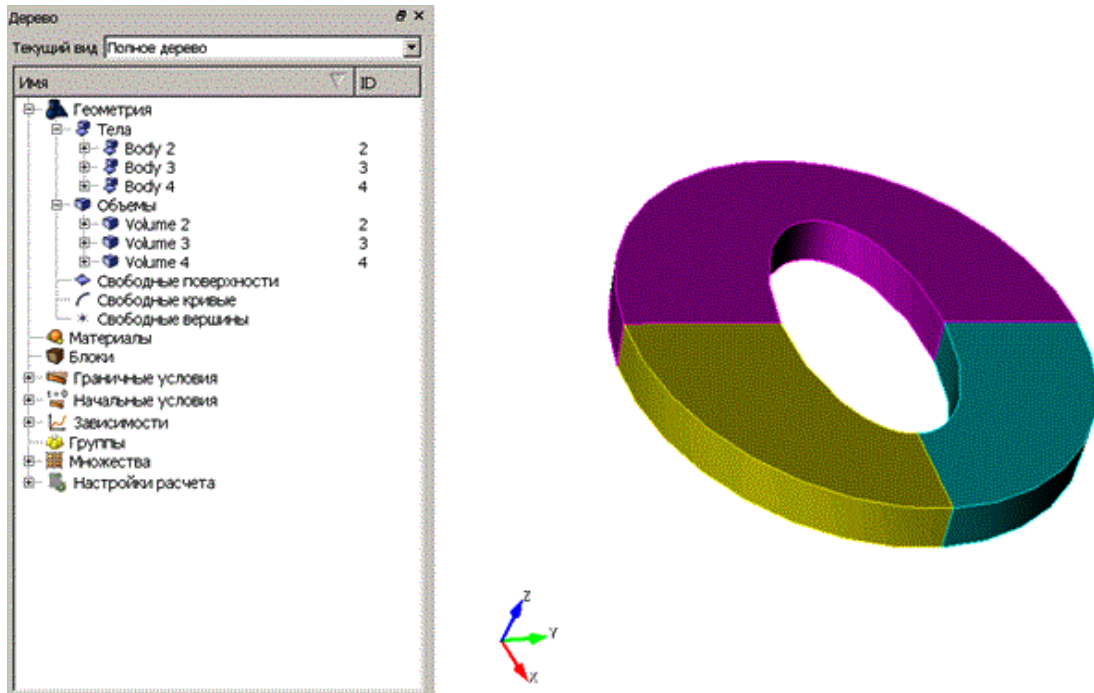
Нажмите Применить.

Проделайте то же самое, но в плоскости XZ:

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

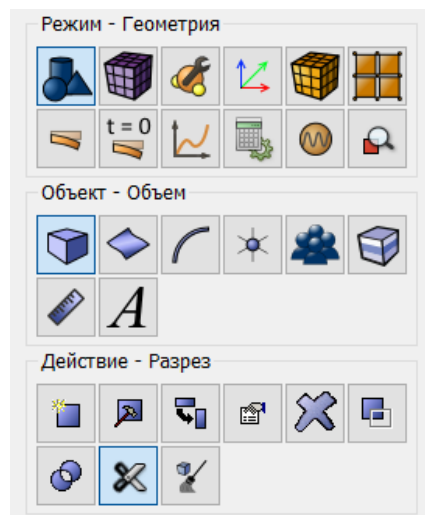
Нажмите Применить.

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).



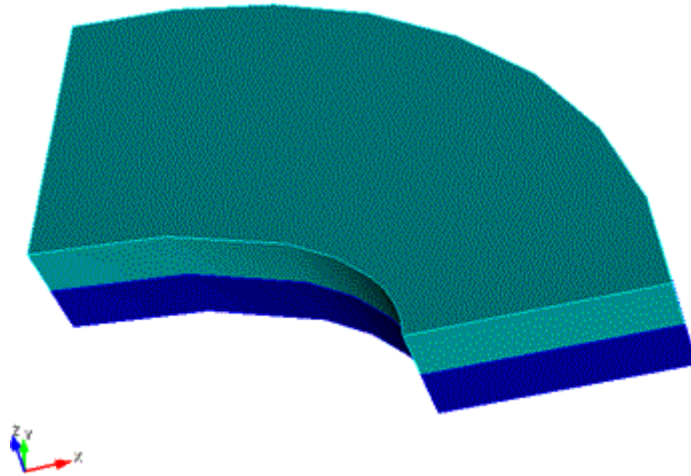
Из списка возможных видов разрезов выберите Координатная плоскость.

Задайте следующие параметры:

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

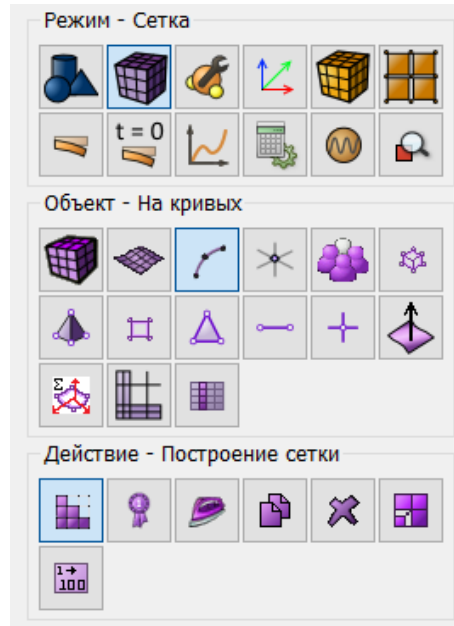
Нажмите Применить.

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;

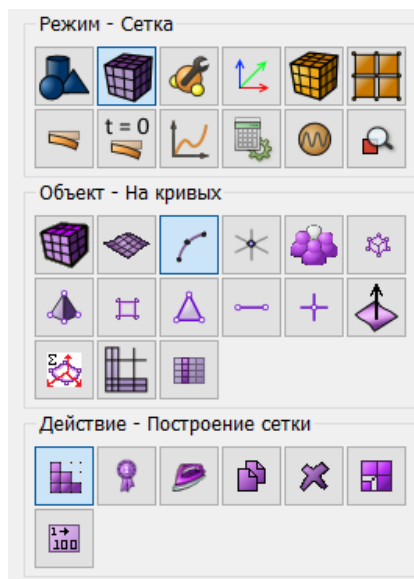
- Укажите количество интервалов: 12;

Нажмите Применить.

Нажмите Построить

сетку.

2. 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.

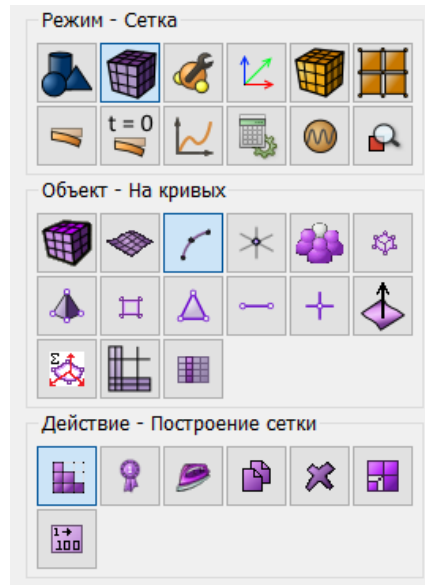
Нажмите Применить.

Нажмите Построить

сетку.

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



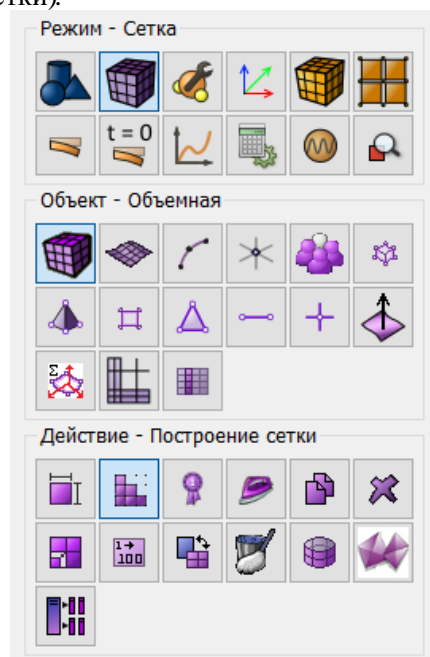


Укажите следующие параметры:

- 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.

4. 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.

The screenshot displays the software interface with a 3D model of a curved volume meshed in green. The 'Дерево' (Tree) panel on the left shows a hierarchy of objects, with 'Volume 5' selected. The 'Страница свойств' (Properties Page) panel shows the following data:

Свойство	Значение
<b>Общие</b>	
Тип	Объем
ID	5
Имя	Volume 5
Сигнатура без ID	Volume ( at 1.625 1.375 ...
<b>Геометрия</b>	
Было объединено	Нет
Является виртуальным	Нет
Объем	1.63462
<b>Сетка</b>	
Сетка построена	Да
Схема	map
Элементы	192
Узлы	1221
Объем	1.63013

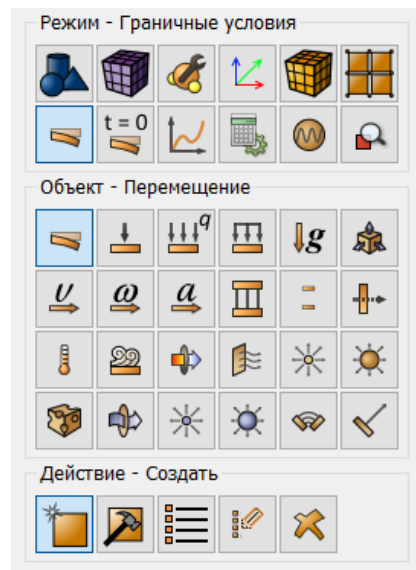
The 'Командная строка' (Command Line) panel shows the following information:

```
Meshed Volume: 1.630134
```

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.

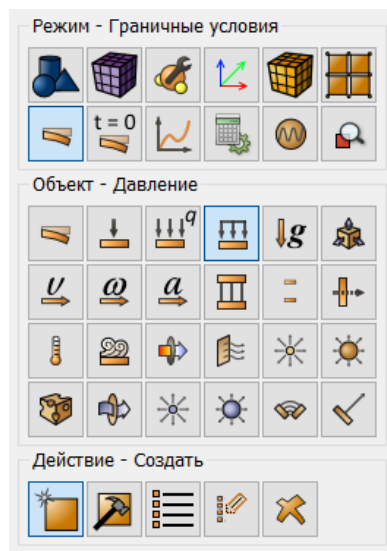
На панели команд выберите (Режим — Граничные условия, Объект — Перемещение, Действие — Создать). Задайте следующие параметры:

- 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).

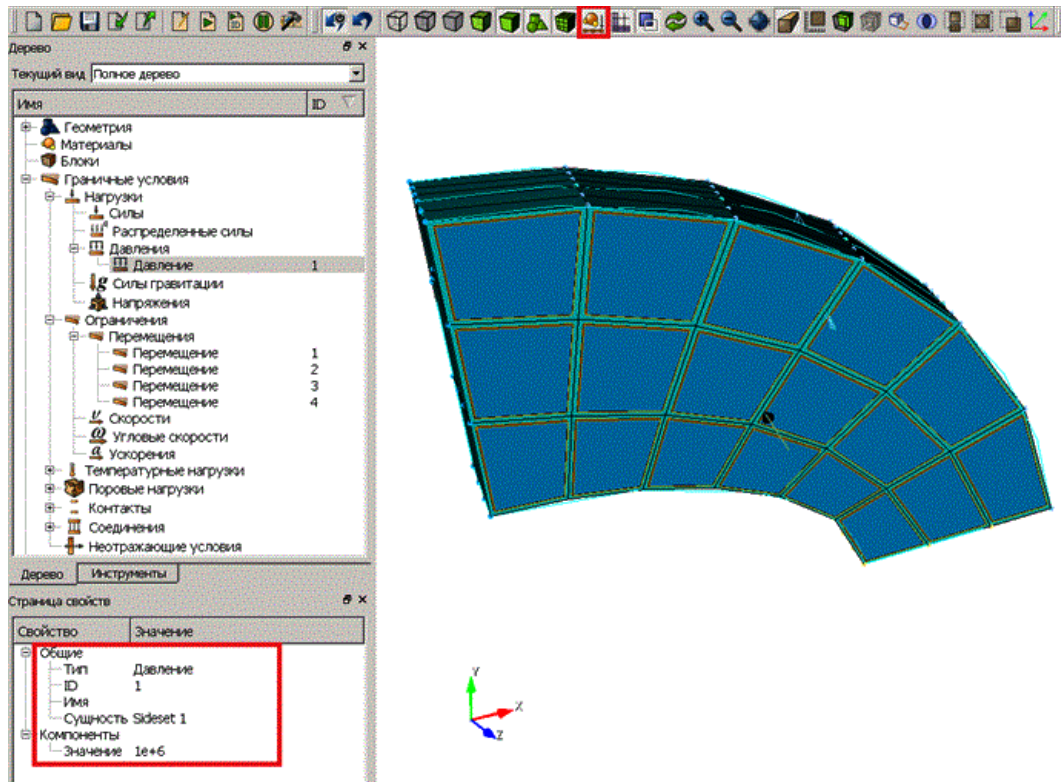


Задайте следующие параметры:

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

Нажмите Применить.

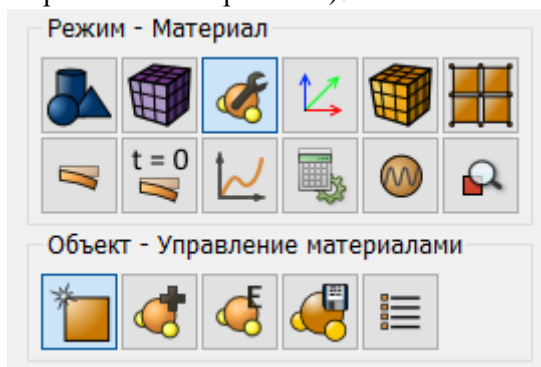
Все примененные граничные условия должны отобразиться в дереве объектов слева. Кроме того, граничные условия доступны для редактирования из дерева объектов. Для просмотра всех примененных граничных условий также нажмите кнопку Показать ГУ на верхней панели.



## Задание материала и свойств блока

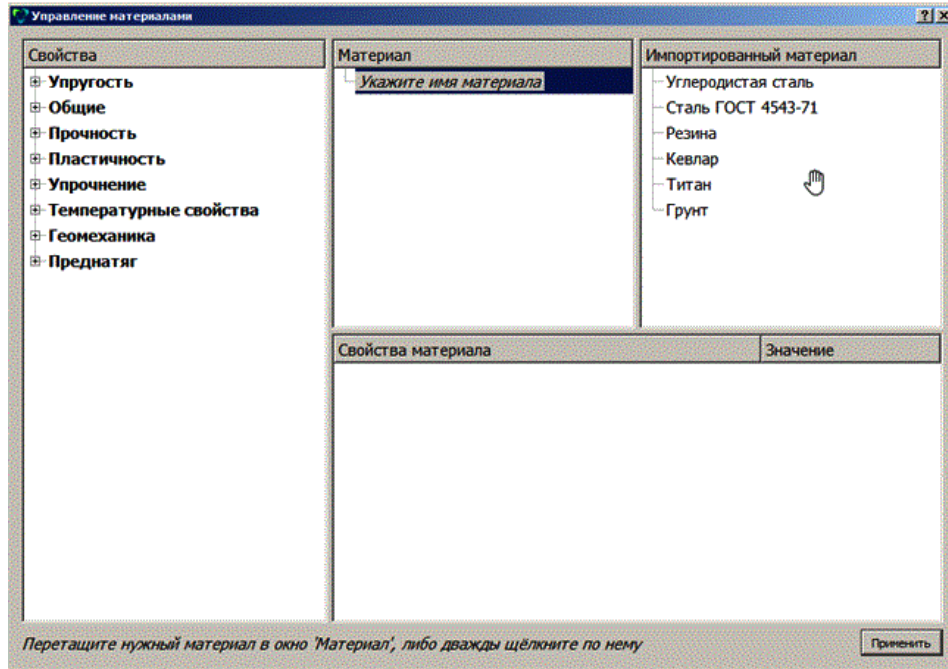
1. Создайте материал.

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

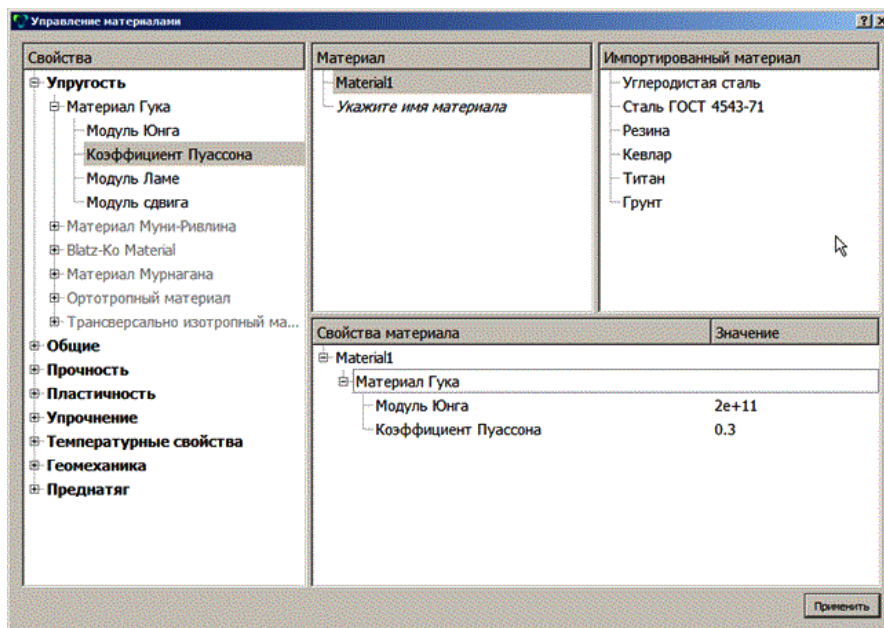


В открывшемся окне Управление материалами во второй колонке дважды кликните мышкой по надписи Укажите название материала и напишите «Material 1».

Нажмите клавишу ENTER.

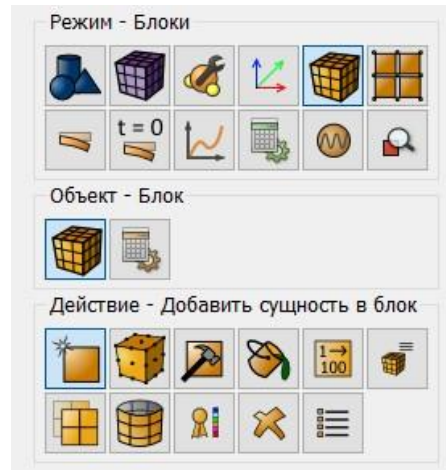


Далее, используя технологию “drag&drop”, добавьте необходимые характеристики из левой колонки в колонку Свойства материала. В левой колонке выберите Упругость – Материал Гука. Выберите мышкой характеристику Модуль Юнга. Удерживая левую кнопку мыши, перетащите надпись в Свойства материала. Дважды кликните 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 сущность в блок).



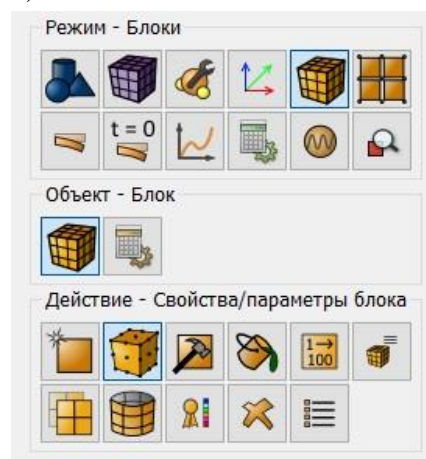
Задайте следующие параметры:

- 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:

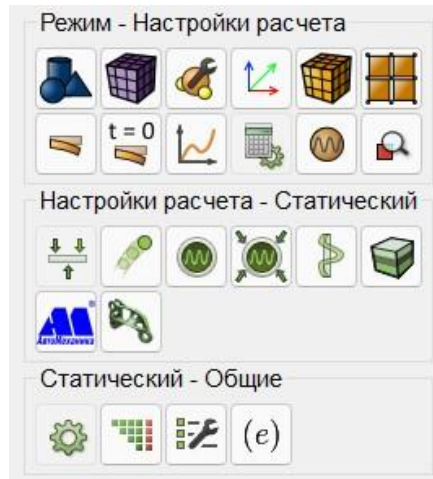
- ID блока(ов): 1;
- Материал: Material 1;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Объемное тело;
- Порядок: 1;

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).



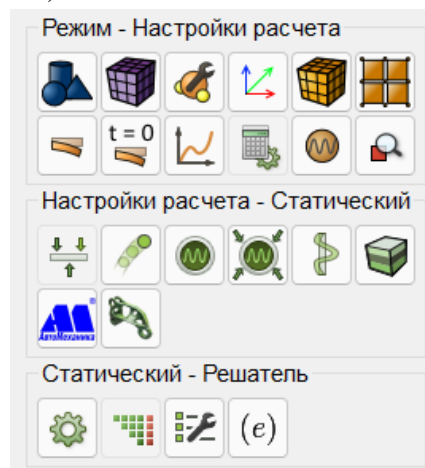
Выберите:

- 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

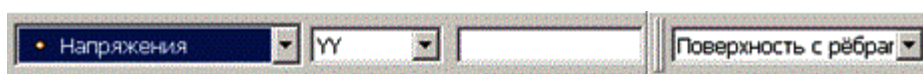
1. Откройте файл с результатами. Это можно сделать тремя способами.

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

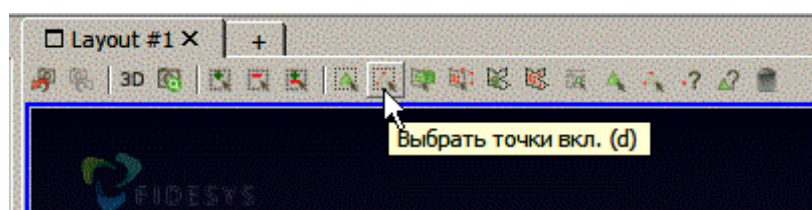


2. Отобразите компоненту суу поля напряжений и сетку на модели. В появившемся окне FidesysViewer на панели инструментов установите следующие параметры:

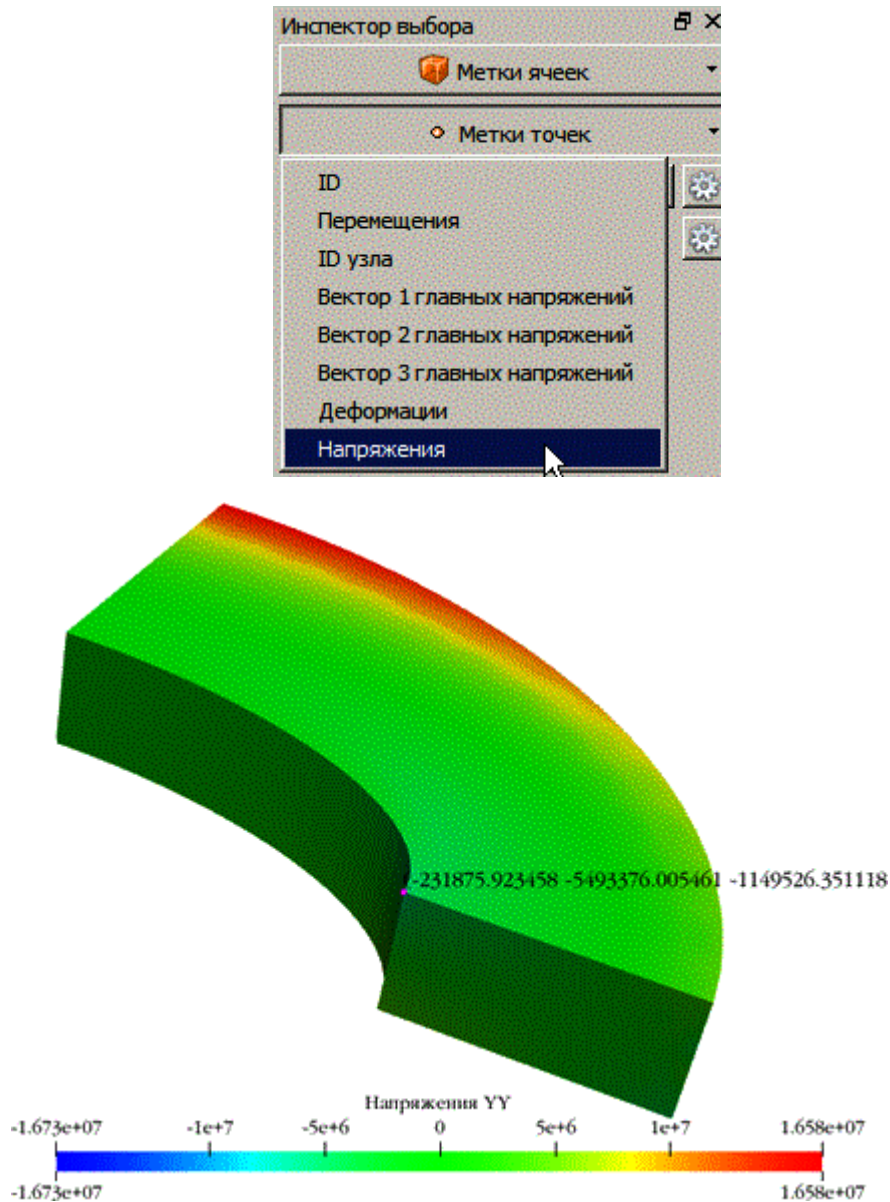
- Тип отображения: Поверхность с рёбрами;
- Поле отображения: Напряжения;
- Компонента отображения: YY;
- Поверхность с ребрами.



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 Stress 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%.

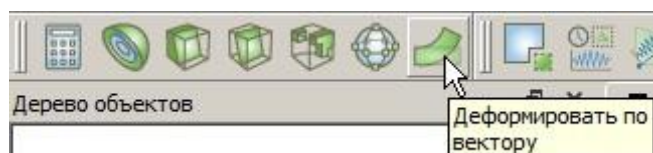
5. Выгрузите числовые данные.

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

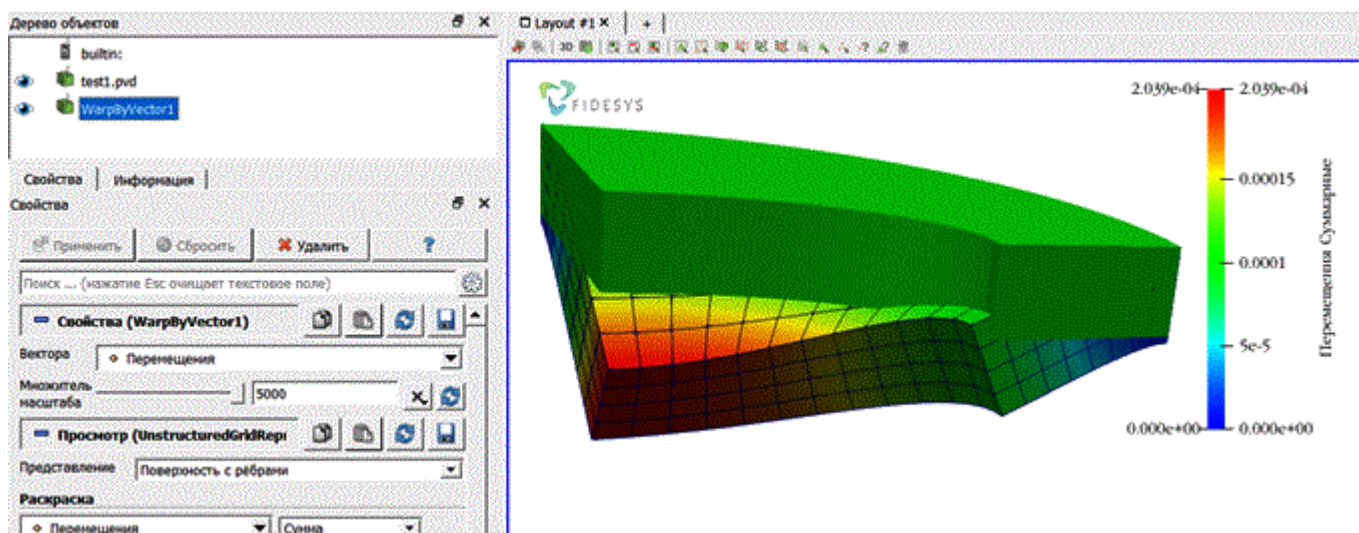
Сохранённый файл представляет собой обычную таблицу числовых данных, которую можно открыть любым текстовым редактором.

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

Для этого выберите 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 серая заливка) и исходная модель (с полем распределения напряжений по оси Y).



## Использование консольного интерфейса

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса.

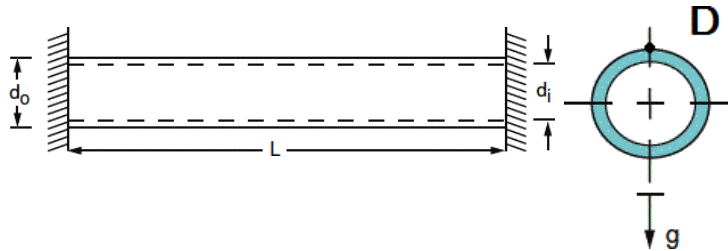


Запустите файл *static\_solid\_3D.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

## Статическое нагружение (сила тяжести)

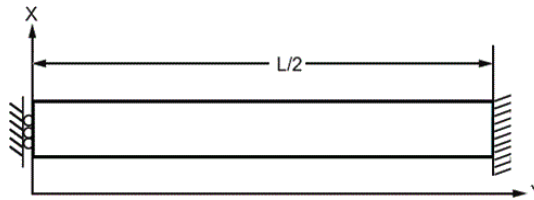
R.J. Roark, Formulas for Stress and Strain, 4th Edition? McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, NY, 1965, pg112, no. 33

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



Боковые грани жестко закреплены по всем перемещениям и поворотам. Параметры материала  $E = 30 \times 10^6$  psi,  $\nu = 0.0$ ,  $\rho = 0.00073$  lb-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.

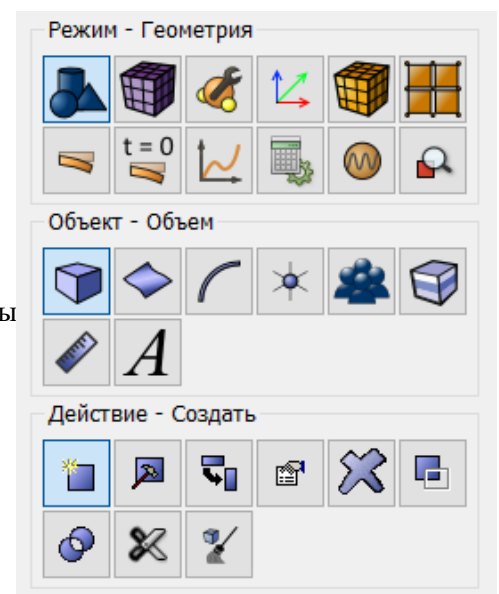
На панели команд выберите модуль построения объемной геометрии (Режим — Геометрия, Объект —

Объем, Действие — Создать).

Из списка геометрических примитивов выберите Цилиндр. Задайте размеры цилиндра:

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

Нажмите Применить.



2. Создайте второй цилиндр.

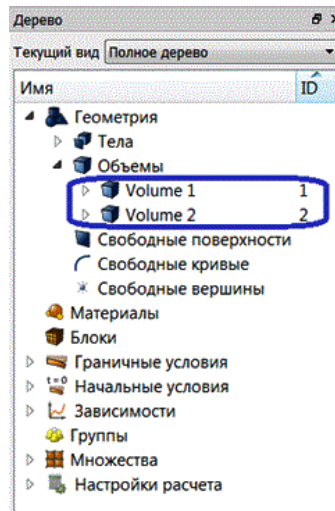
На панели команд выберите модуль построения объемной геометрии (Режим — Геометрия, Объект — Объем, Действие — Создать).

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 объемной геометрии (Режим — Геометрия, Объект — Объем, Действие — Логические операции).

Из списка операций выберите Вычесть.

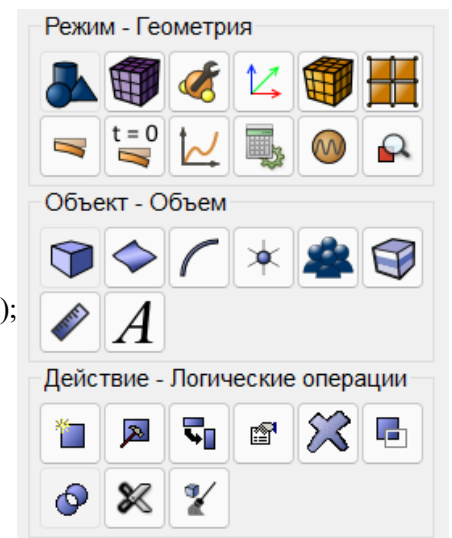
Задайте следующие параметры:

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

Нажмите Применить.

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

4. Поместите объем к началу координат.



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

Из списка возможных видов разрезов выберите Переместить.  
Задайте следующие параметры:

- Объем ID(s): 1 (объем, 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).

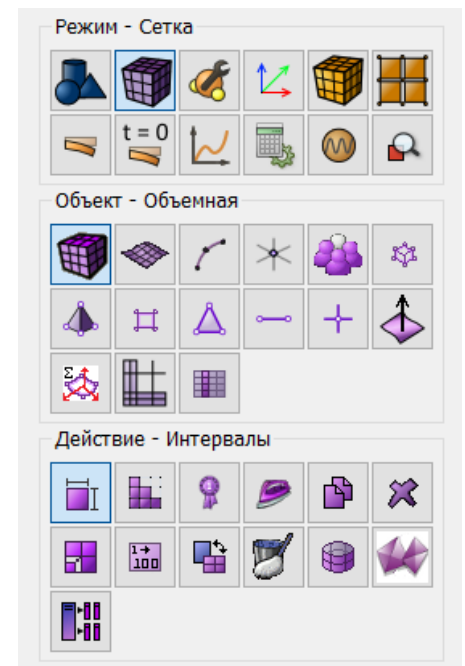
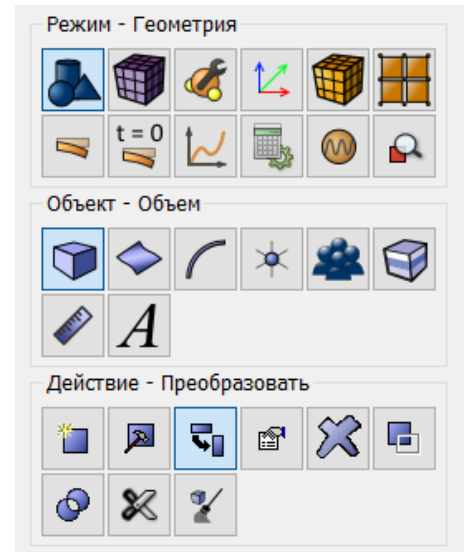
Укажите примерный размер элементов:

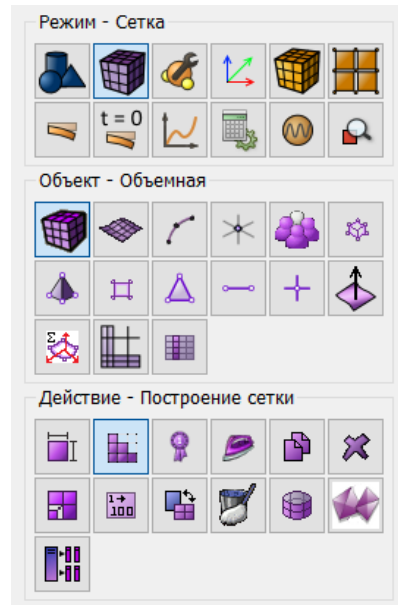
- Выберите объемы: 1;
- Выберите из выпадающего списка Задать размер;
- Примерный размер: 0.25;

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;

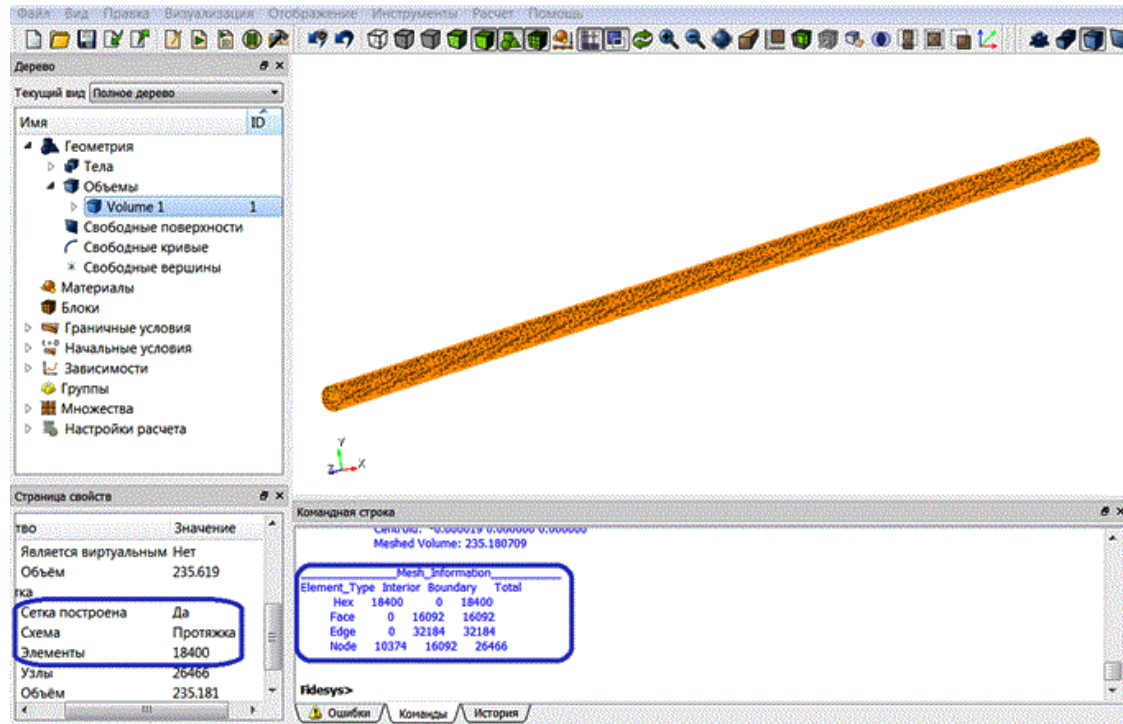
Нажмите Применить.

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

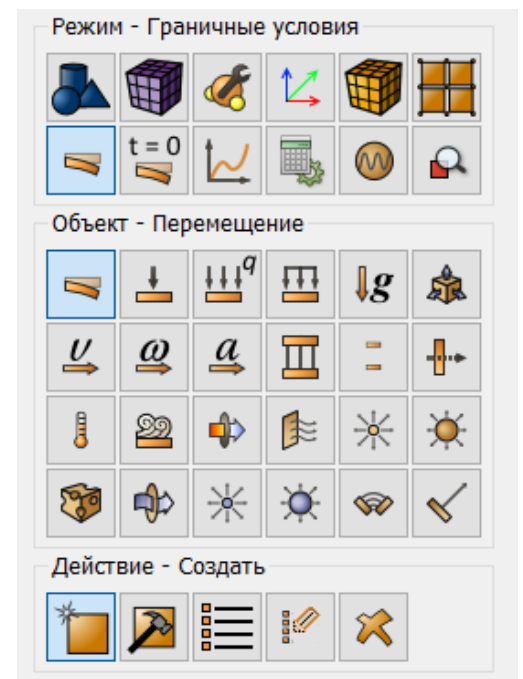
1. Закрепите правую боковую грань по всем перемещениям.

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

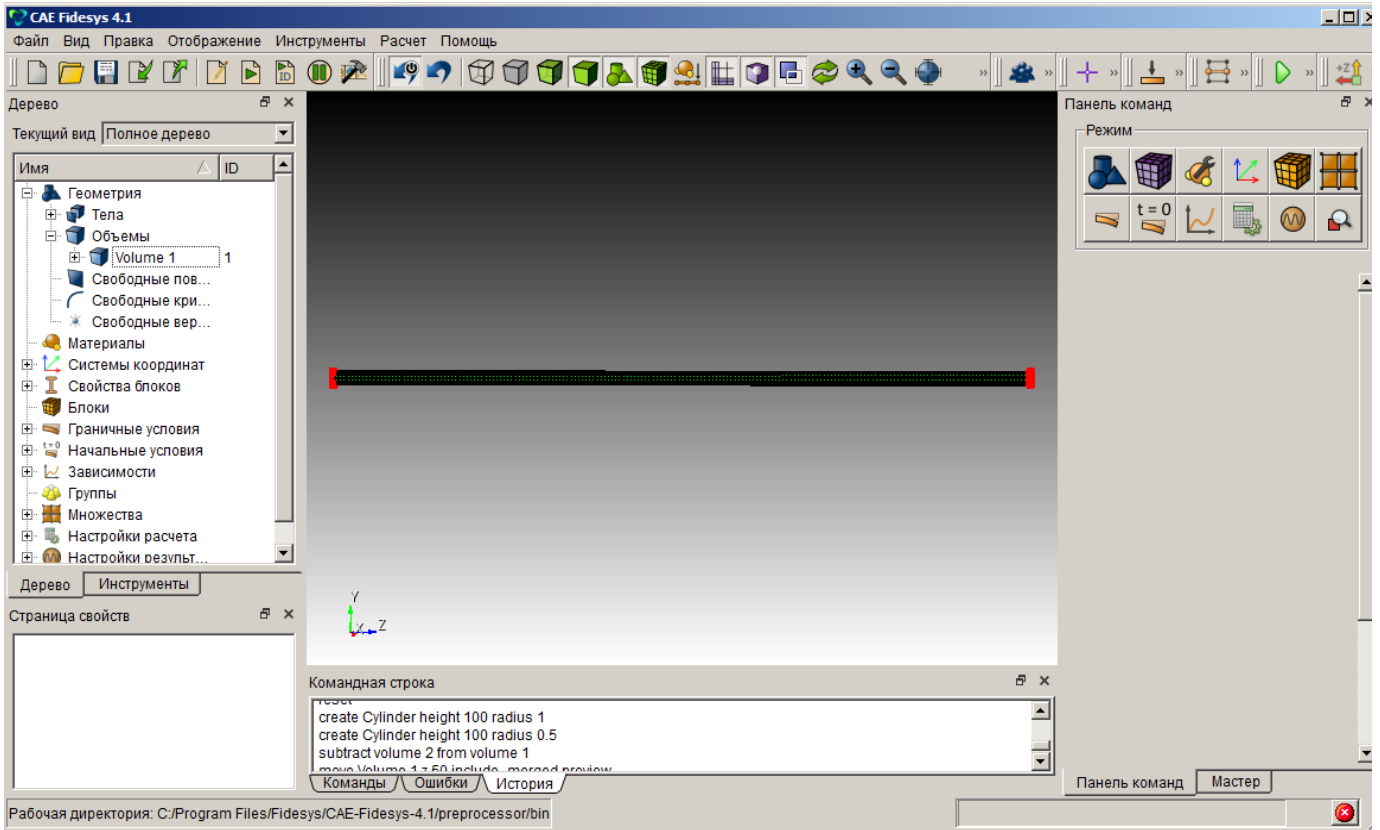
Задайте следующие параметры:

- 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.

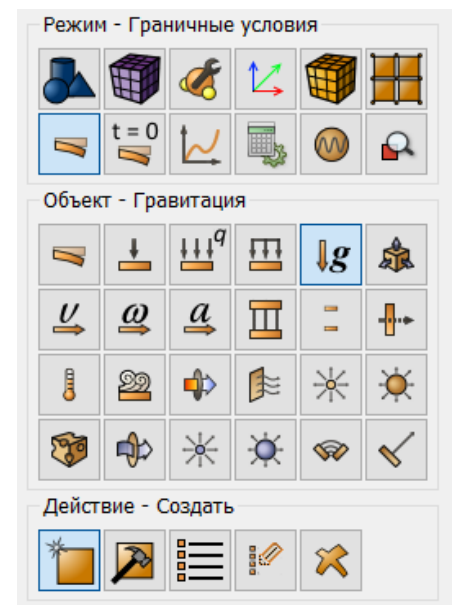
3. Задайте силу тяжести.

На панели команд выберите (Режим — Граничные условия, Объект — Гравитация, Действие — Создать).

Задайте следующие параметры:

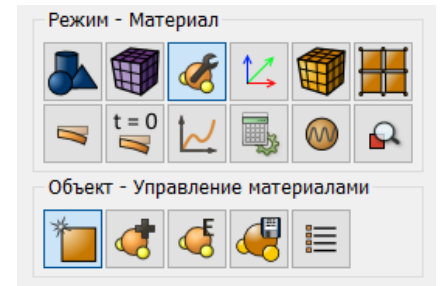
- Глобально;
- Направление: Y;
- Значение: -386;

Нажмите Применить.



## Задание материала и свойств блока

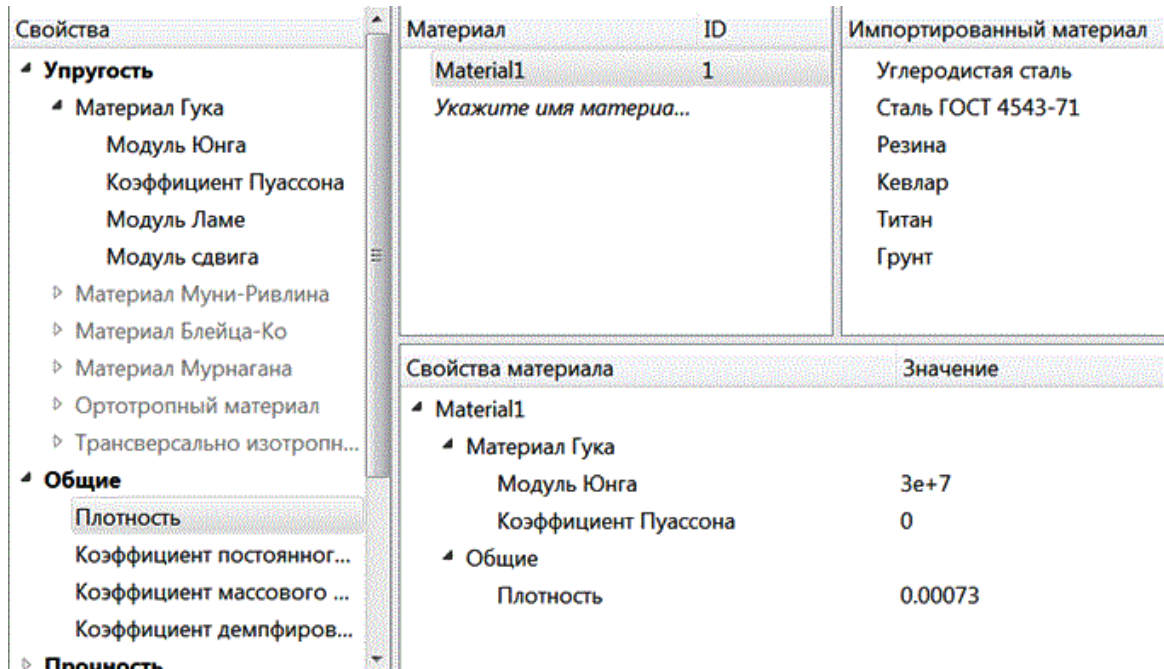
1. Создайте материал. На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — Материал, Объект — Управление материалами).



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 30е6.

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



Нажмите Применить.

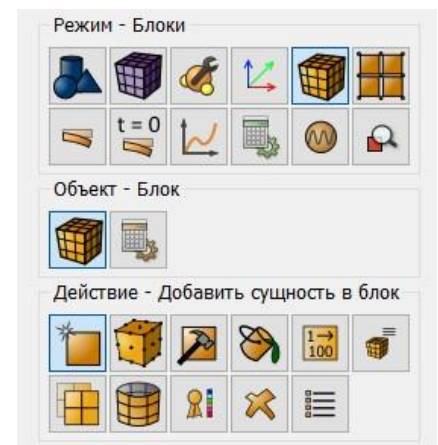
2. Создайте блок одного типа материала.

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

Задайте следующие параметры:

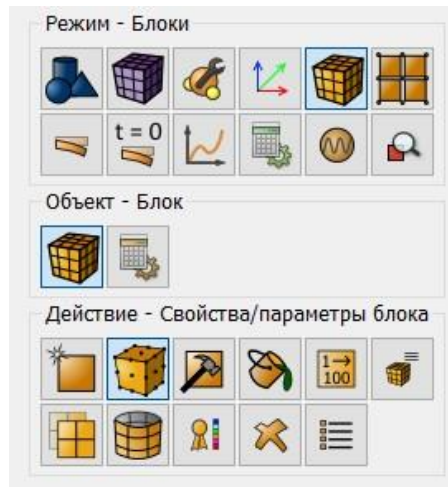
- ID блока: 1;
- Выберите объекты, которые будут объединены в блок: Объём;
- ID: 1 (или командой all);

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: 1;

Нажмите Применить.

### Запуск расчёта

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

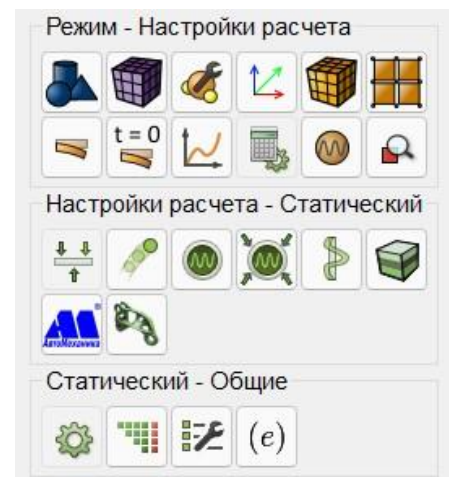
Выберите:

- 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".

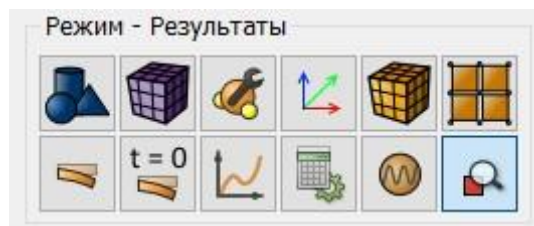


## Анализ результатов

1. Откройте файл с результатами.

Это можно сделать тремя способами.

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



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

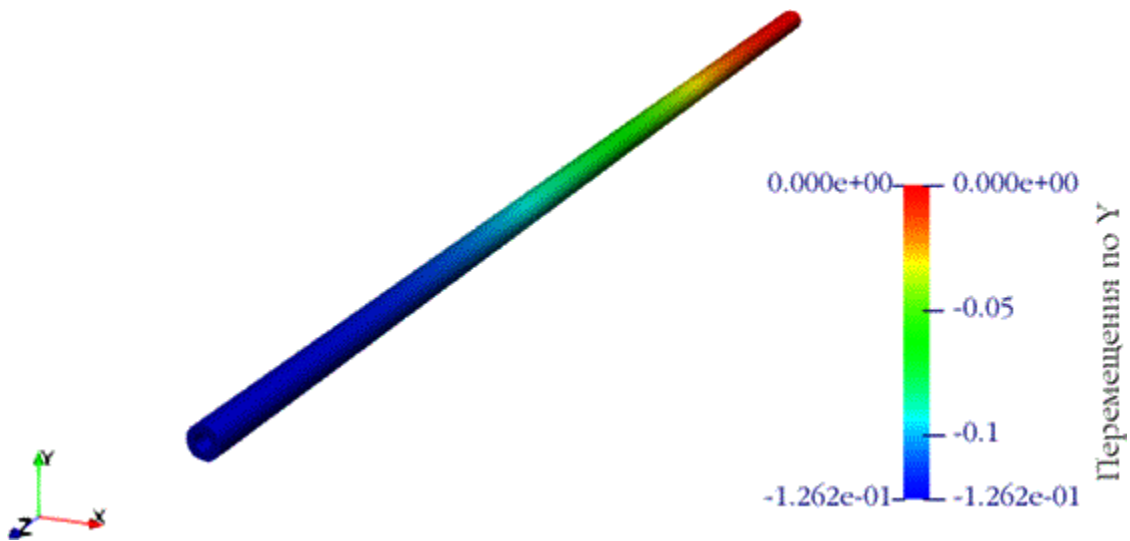
2. Отобразите компоненту  $U_{yy}$  поля перемещений на модели.

В появившемся окне FidesysViewer 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.

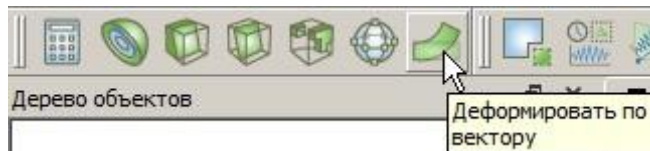
На цветовой легенде максимальное по модулю перемещение (синим) соответствует значению  $-0.1262$ . Полученное значение  $-0.1262$  отличается от требуемого  $-0.12524$  на  $0.77\%$ .

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.

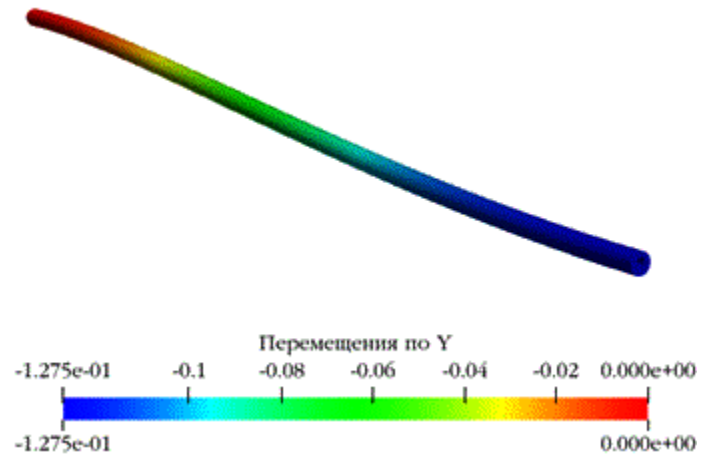
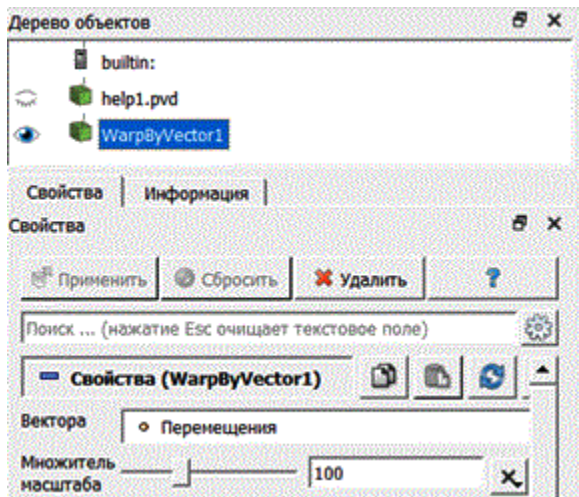
Для этого выберите Фильтр - Алфавитный указатель - Деформировать по вектору.



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).



## Использование консольного интерфейса

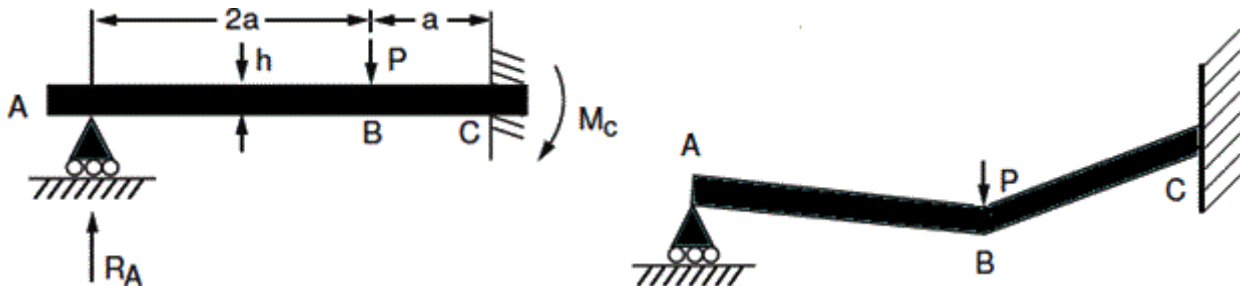
Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса.



Запустите файл *static\_gravity\_solid.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

## Статическое нагружение (балочная модель, силы реакции)

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



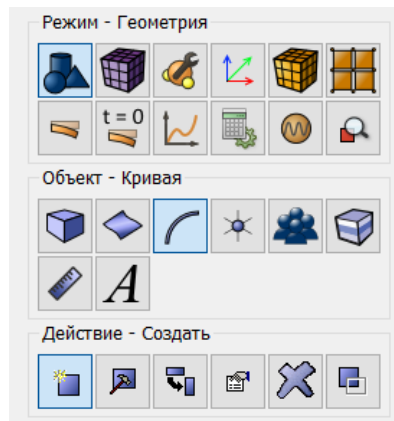
Решается задача о статическом нагружении балки квадратного сечения. Геометрическая модель задачи представлена на рисунке:  $a = 50 \text{ in}$ , сечение балки  $1 \times 1 \text{ in}$ . Граничные условия представлены на картинке, в точке В приложена сила  $F_y = -1000 \text{ lb}$ . Параметры материала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

Критерий прохождения теста: сила реакции  $R_A$  в точке А (0,0,0) равно  $148.15 \text{ lb}$ , момент реакции в точке С равен  $27778 \text{ in-lb}$  с точностью 1.5%.

### Построение модели

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

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: 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.

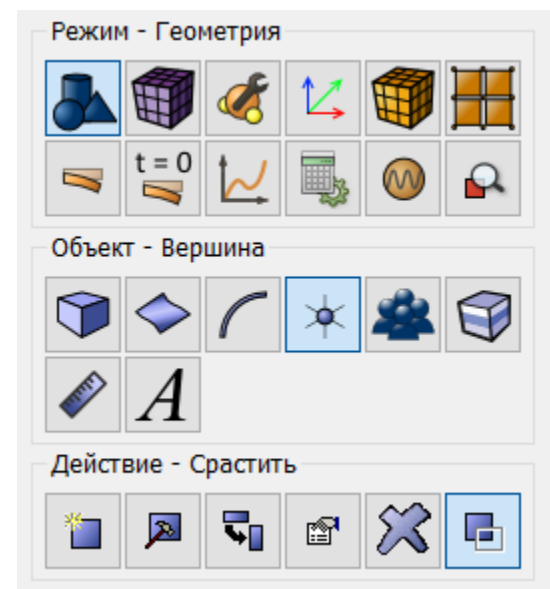
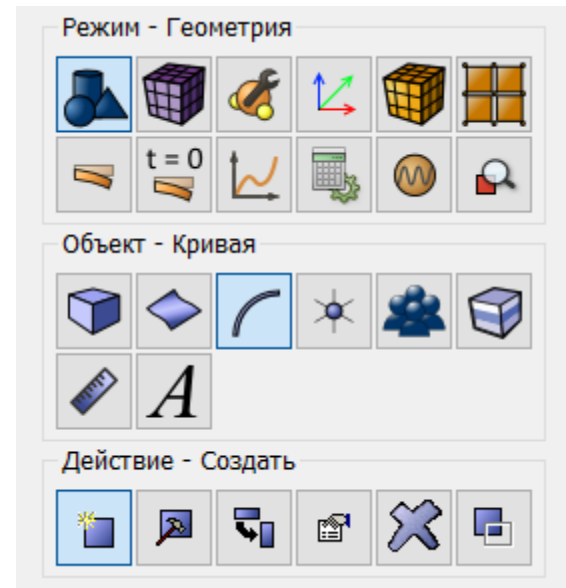
3. Срастите две вершины.

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

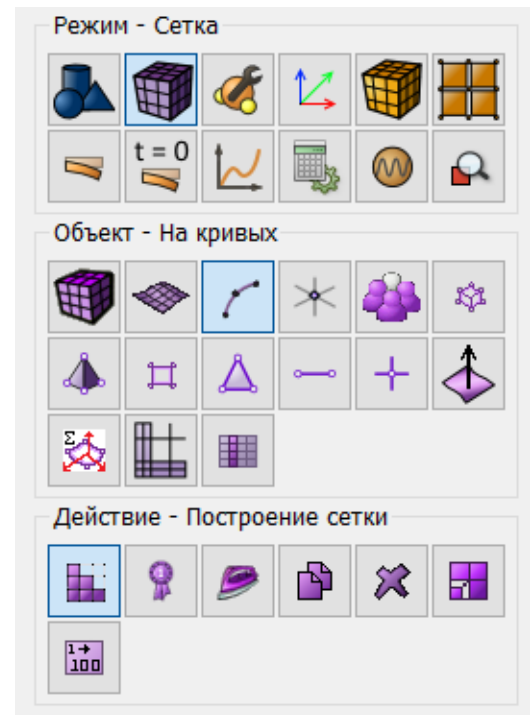
1. На панели команд выберите модуль построения сетки на кривых (Режим — Сетка, Объект — На кривых, Действие — Построение сетки).

Укажите степень измельчения сетки:

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

Нажмите Применить.

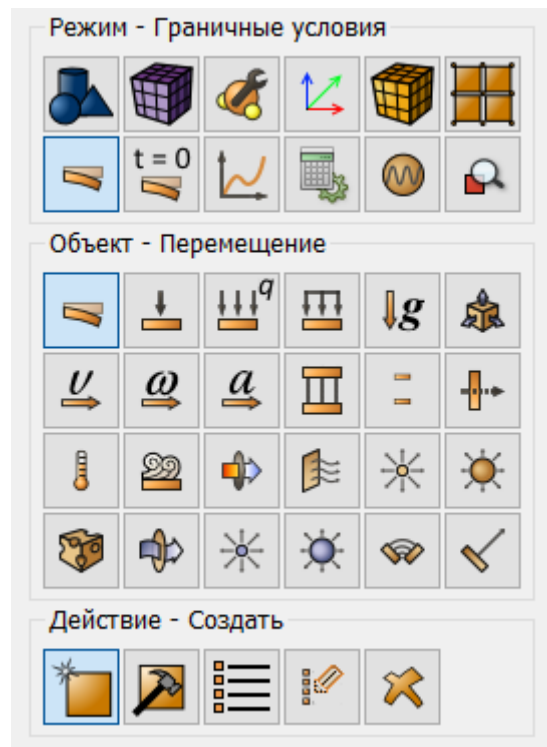
Нажмите Построить сетку.



## 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.

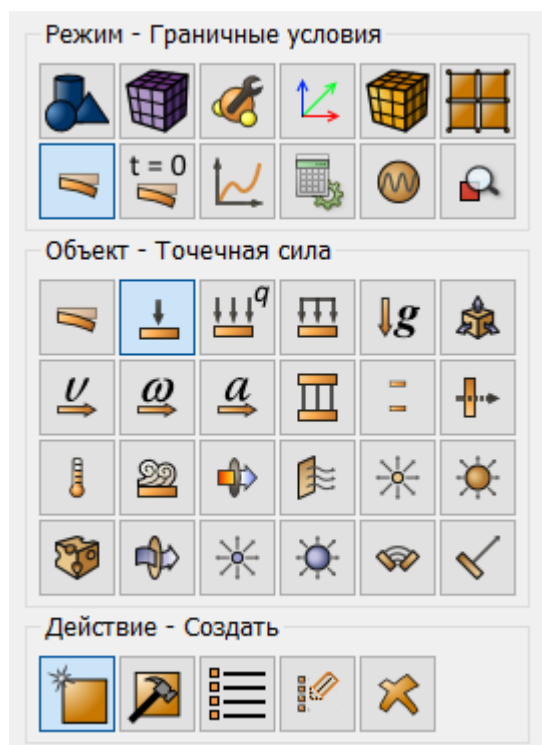
Нажмите **Применить**.

2. Закрепите точку A по перемещению Y и Z.

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

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

Нажмите Применить.



3. Приложите силу в точку B.

На панели команд выберите (Режим — Граничные условия, Объект — Точечная сила, Действие — Создать).

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;

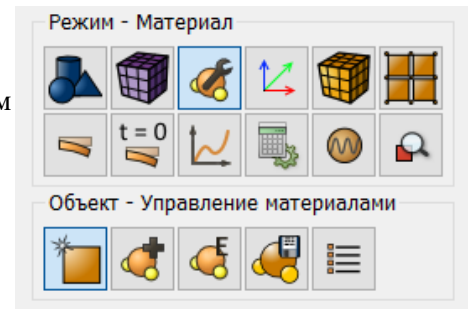
- Список объектов: Вершина;
  - ID объектов: 2;
  - Сила: 1000;
  - Нажмите Направление 0 -1 0;
- Нажмите **Применить**.

### Задание материала и свойств блока

1. Создайте материал.

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

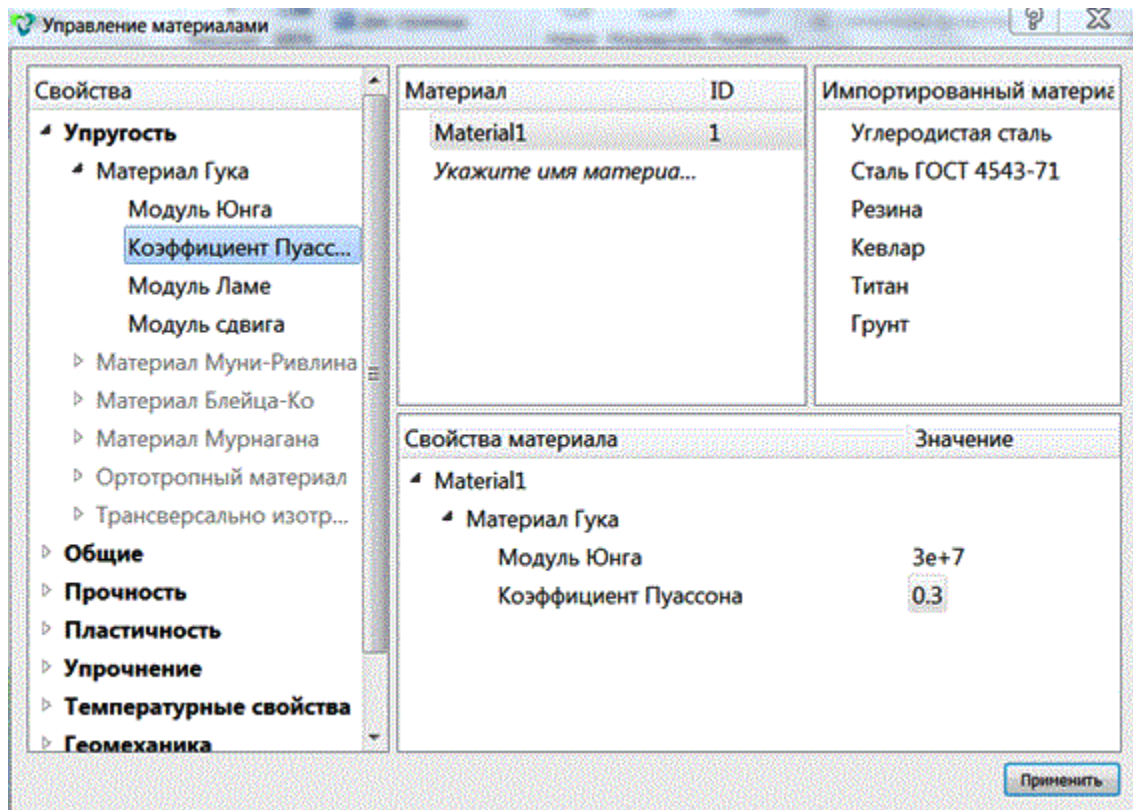
В открывшемся окне Управление материалами во второй колонке кликните мышкой по надписи Укажите название материала и напишите «Material 1». Нажмите клавишу ENTER.



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  $3e7$ .

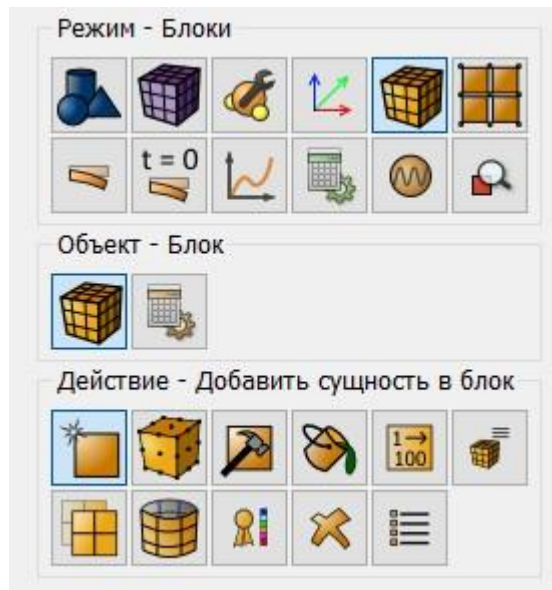
Аналогично, из раздела Материал Гука добавляем Коэффициент Пуассона

0.3. Нажмите Применить.



2. Создайте блок одного типа материала.

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



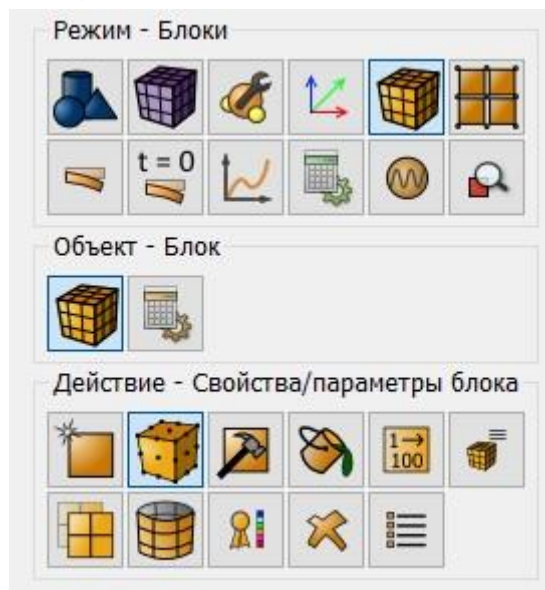
Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Выберите объекты, которые будут объединены в блок: Кривая;
- 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 (I): 1;

Нажмите Применить.

Закройте окно Задать свойство балки.

Нажмите Применить.

### Запуск расчёта

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

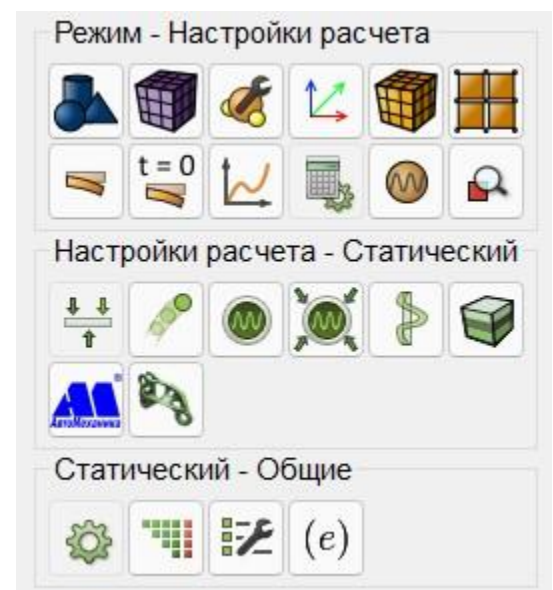
На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим — Настройки расчёта, Настройки расчёта

— Статический, 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.

3. Задайте вычисление силы реакции.

Перейдите во вкладку Статический – Поля вывода.

Установите флаг Вычислять узловые силы и силы реакции.

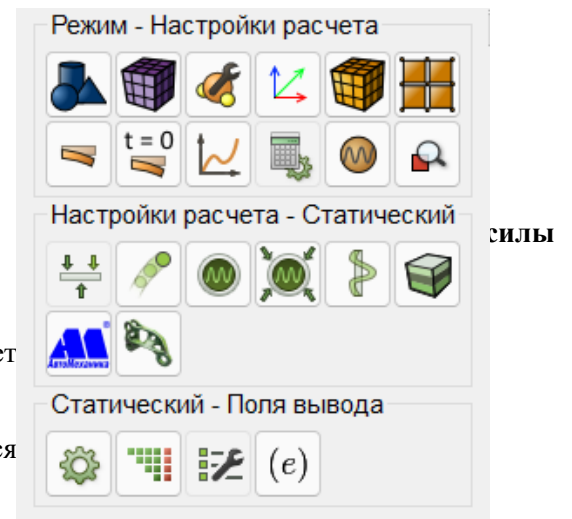
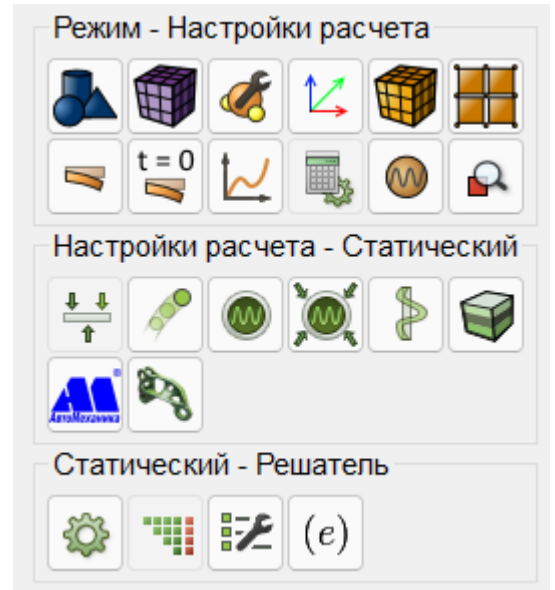
Установить флаг Выводить результаты в 3D виде (для балок и оболочек). Нажмите Применить.

Нажмите Начать расчёт.

**Важно :** Без включенного флага «Вычислять узловые силы и реакции» это поле не выводится в постпроцессоре.

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 Результаты (Режим — Результаты, Результаты — Открыть Результаты).



2. Отобразите компоненту  $u$  поля перемещений.

В появившемся окне FidesysViewer на панели инструментов установите следующие параметры:

- Тип отображения: Поверхность;
- Поле отображения: Перемещение;
- Компонента отображения:  $Y$ .

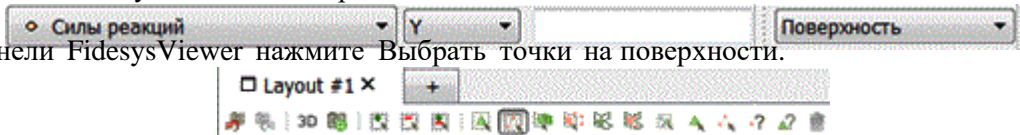
На модели отобразится поле распределения перемещений вдоль оси  $Y$ .



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

3. Проверьте численное значение силы реакции в точке

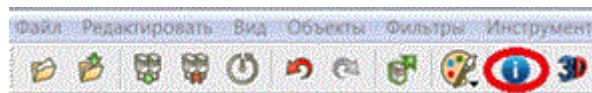
A. Отобразите компоненту  $Y$  поля Силы реакций.



На главной панели FidesysViewer нажмите Выбрать точки на поверхности.

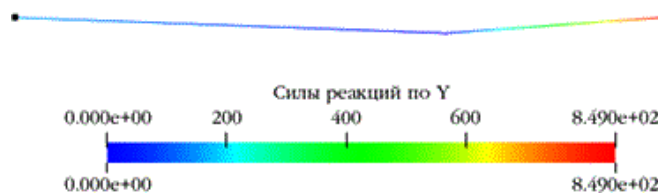
Выберите на геометрической модели крайнюю левую точку (точку A).

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 C. Отобразите компоненту  $Z$  поля Моменты реакций.

На главной панели FidesysViewer нажмите Выбрать точки на поверхности.

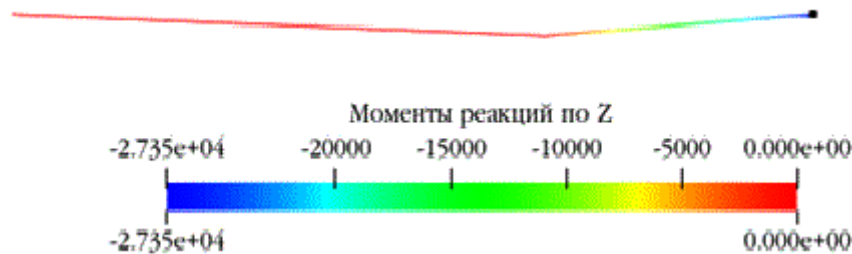




Выберите на геометрической модели крайнюю правую точку С.

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

ID узла	Моменты реакций
3	0 0 -27353.5



Полученное значение  $-27373.5$  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.



Запустите файл *static\_solid\_beam.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

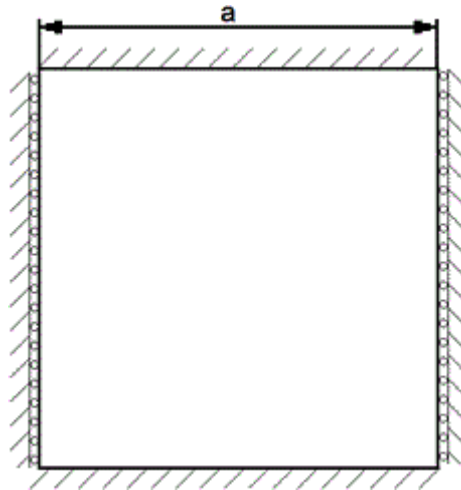


## Статическое нагружение (оболочки)

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

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

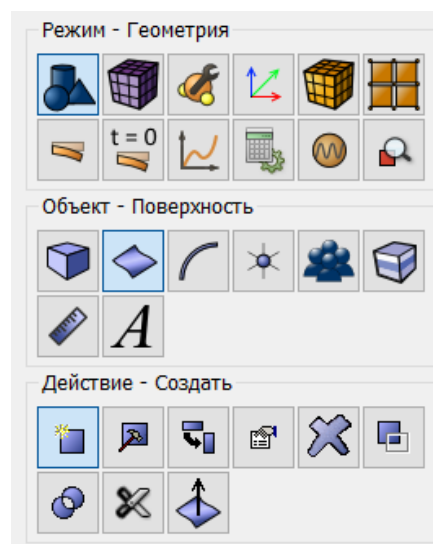
Критерий прохождения теста: максимальный прогиб равен  $1.19 \times 10^{-6}$ , моменты  $M_x=252$  Н·м и  $M_y=332$  Н·м.



## Построение модели

1. Создайте квадрат со стороной 1 м.

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



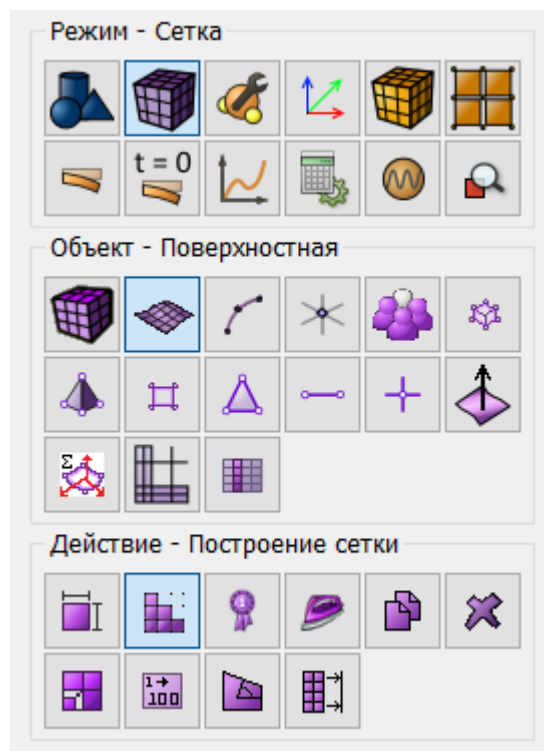
Из списка геометрических примитивов выберите Прямоугольник. Задайте параметры:

- Ширина: 1;
- Высота: оставьте опционально;

Нажмите Применить.

## Построение сетки

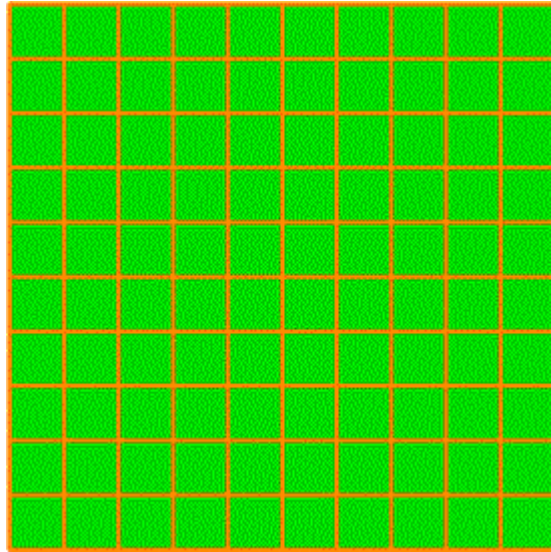
1. На панели команд выберите модуль построения сетки на поверхности (Режим — Сетка, Объект — Поверхностная, Действие — Построение сетки).



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 (Режим — Граничные условия, Объект — Перемещение, Действие — Создать)

Задайте следующие параметры:

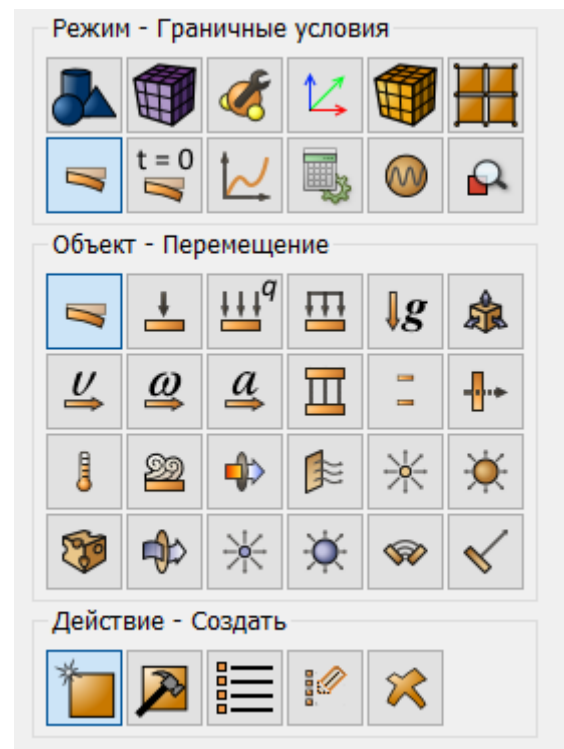
- Автоматическое присвоение ID;
- Список сущностей: Кривая;
- ID объекта(ов): 1 3 (или последовательно кликните по верхней и нижней граням);
- Степени свободы: Все;
- Величина: 0;

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:

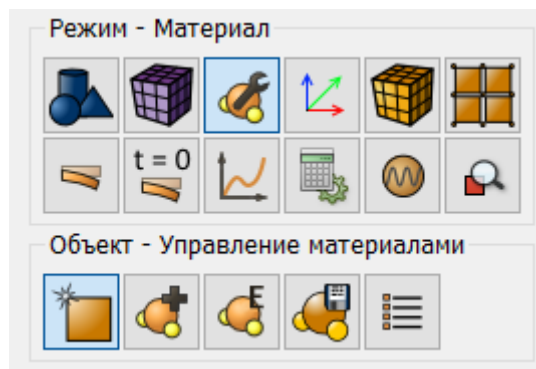
- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объекта(ов): 1;
- Сила: 1e4;

Нажмите Применить.

## Задание материала и свойств блока

1. Создайте материал.

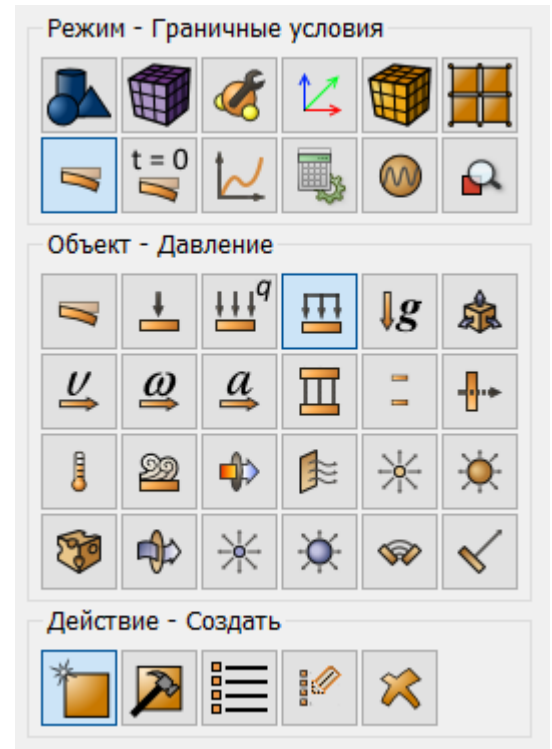
На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — Материал, Объект — Управление материалами).

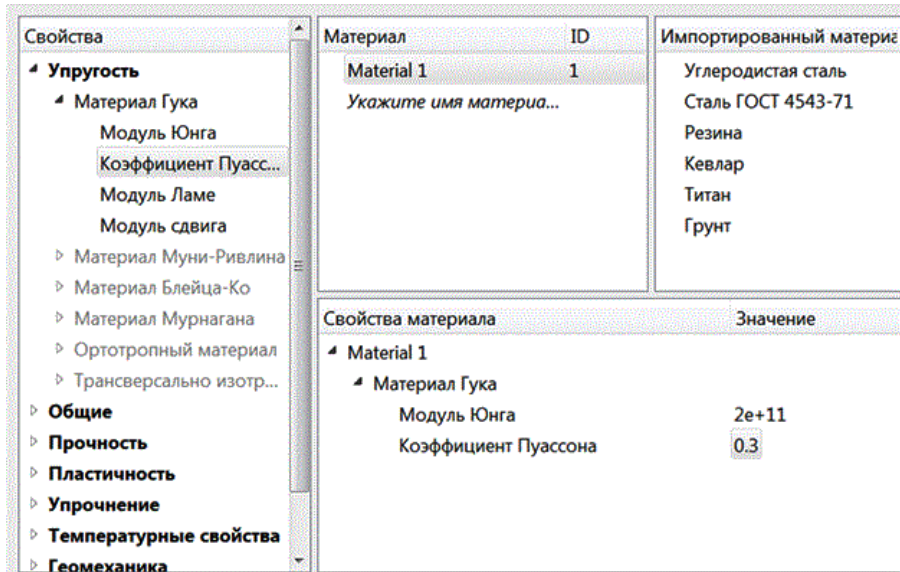


В открывшемся окне Управление материалами во второй колонке кликните мышкой по надписи Укажите имя материала и напишите «Material 1». Нажмите клавишу ENTER.

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 (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.

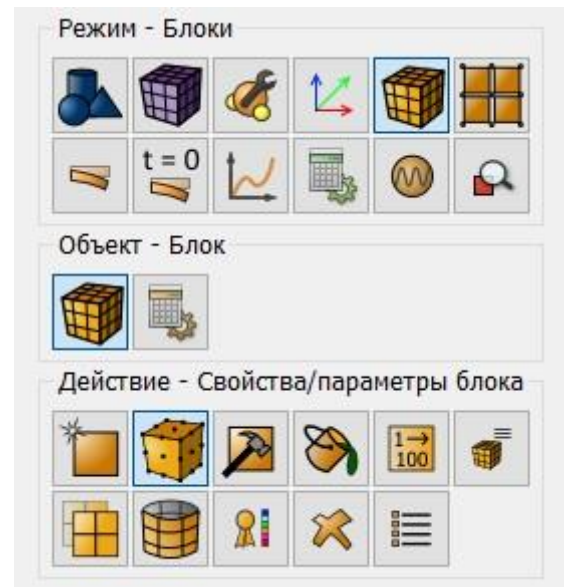
На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — Блоки, Объект — Блок, Действие — Свойства/параметры блока).

Задайте следующие параметры:

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

Нажмите Задать свойства оболочки. 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.

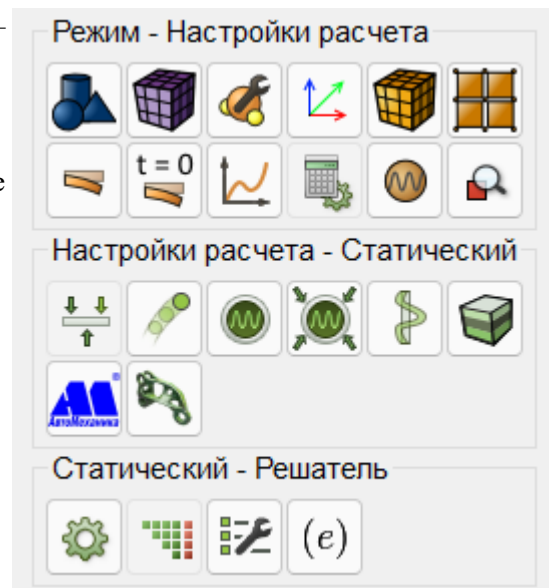
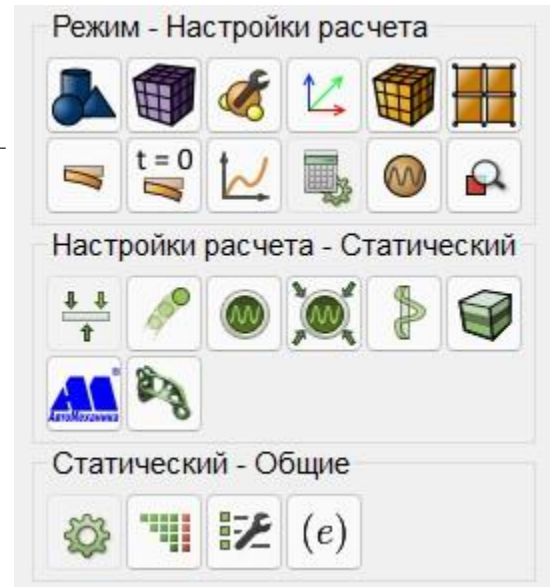
2. Задайте параметры решателя.

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



### 3. Задайте вычисление силы реакции.

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

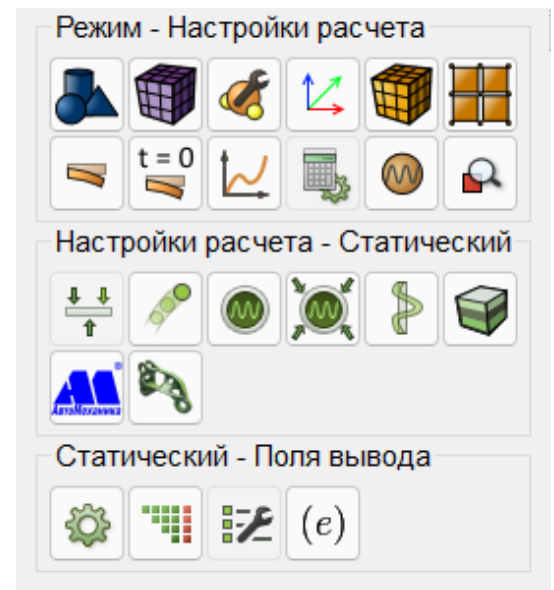
Установите флаг Вычислять узловые силы и силы реакции.

Установите флаг Выводить результаты 3D в виде (для балок и оболочек).

Нажмите Применить.

Нажмите Начать расчёт.

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



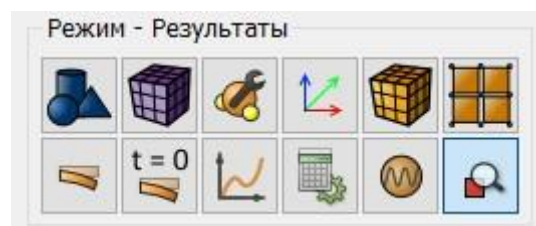
4. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат, и введите название файла.

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

## Анализ результатов

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

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

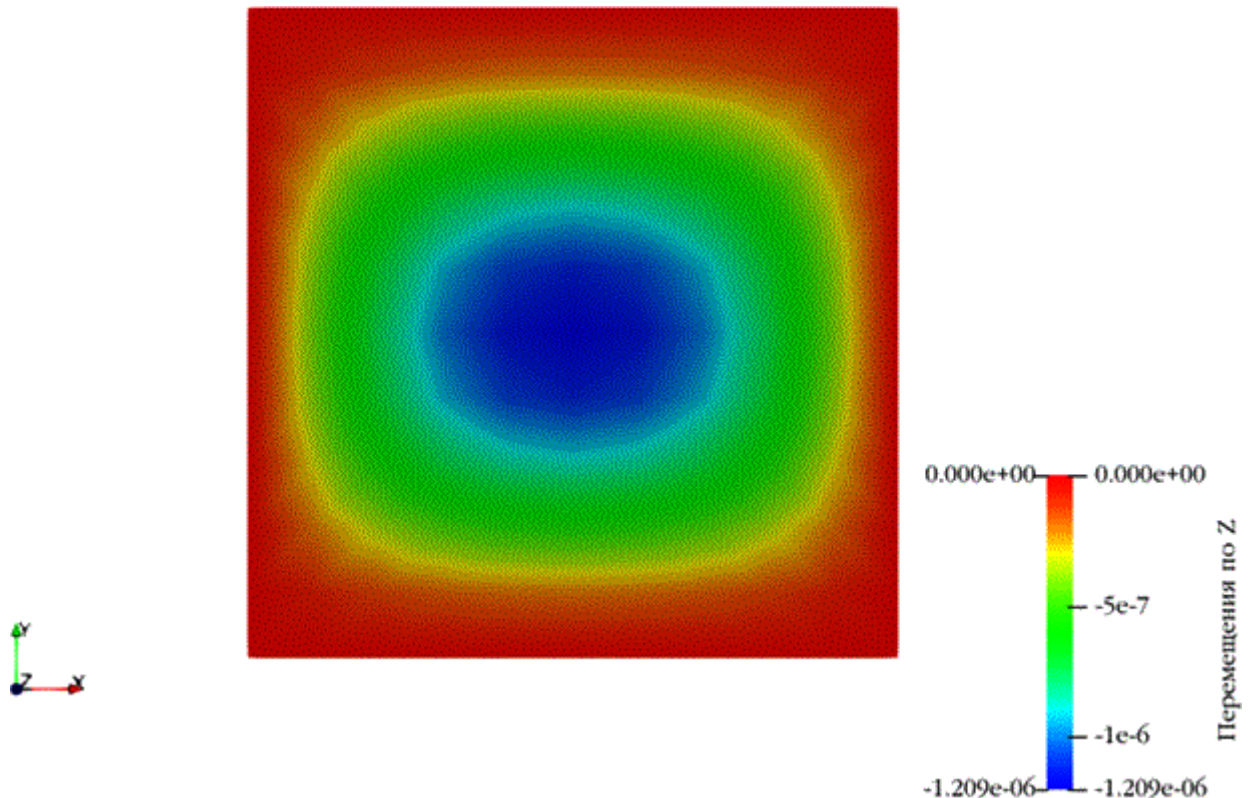


7. Отобразите компоненту  $U_z$  поля перемещений. В появившемся окне FidesysViewer на панели инструментов установите следующие параметры:

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



На модели отобразится поле распределения перемещений вдоль оси Z.



8. Проверьте численное значение максимального перемещения.

Отобразите максимальную компоненту Z поля Перемещения. Выберите точку в центре квадрата и отобразите информацию о ней.

Полученное значение  $-1.209e-6$  отличается от требуемого  $-1.19e-6$  на 1.6%.

9. Проверьте численные значения моментов в центре пластины. Отобразите компоненту XX поля Моменты

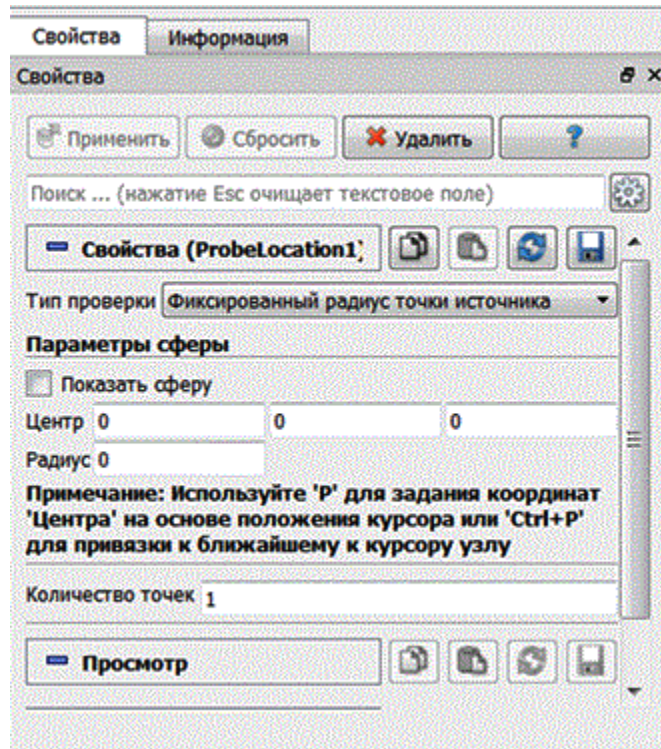


На главной панели FidesysViewer выберите Фильтры – Алфавитный указатель – Проверить расположение.

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], [0, 0], [0, 0]</b>
◊ 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.

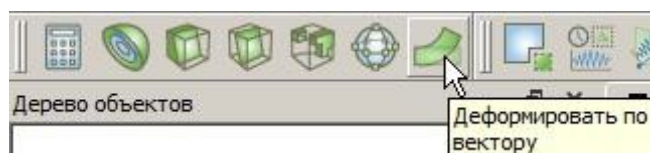
10. Откройте 3D-изображение оболочки.



Для этого кликните по названию файла \*.pvd в Дереве объектов и нажмите кнопку 3D-вид в стандартной строке FidesysViewer.

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

Установите фокус в дереве объектов на новый 3D файл и отобразите для него Фильтры – Алфавитный указатель – Деформировать по вектору со следующими значениями полей:

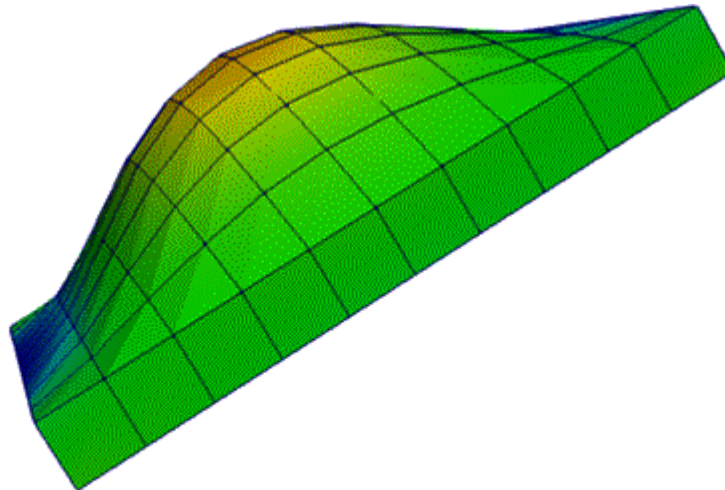


- Вектора: Перемещения;
- Множитель масштаба:  $2e5$ .

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



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



11. Выгрузите числовые данные.

В главном меню выберите Файл - Сохранить данные либо нажмите  $\text{Ctrl}+\text{S}$ . 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.



Запустите файл *static\_gravity\_shell.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

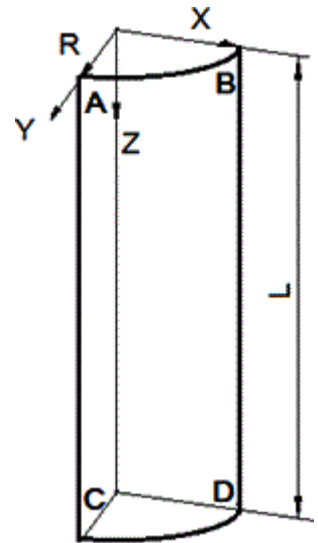
## Гидростатическое давление на цилиндр (задание зависимости ГУ от координат)

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. Пластина нагружена давлением  $p = 20000 \cdot z/L$  Па.

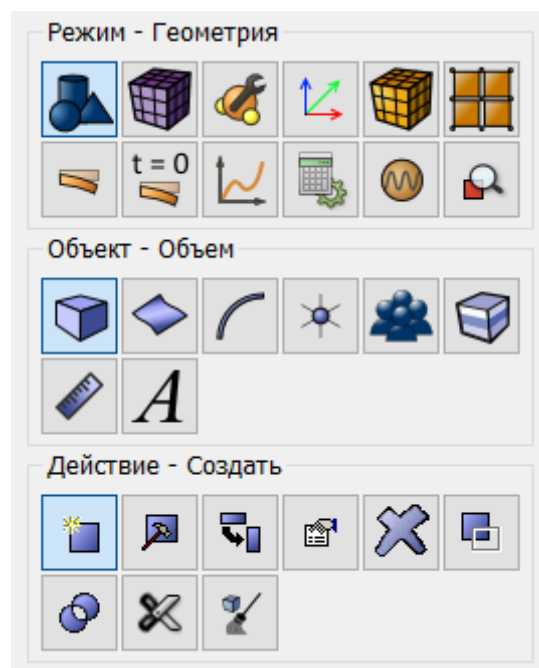
Критерий прохождения теста: перемещение  $u_z$  в точке  $(0, R, L)$  равно  $2.86 \cdot 10^{-6}$  м.



### Построение модели

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

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



Из списка геометрических примитивов выберите Цилиндр.

Задайте размеры цилиндра:

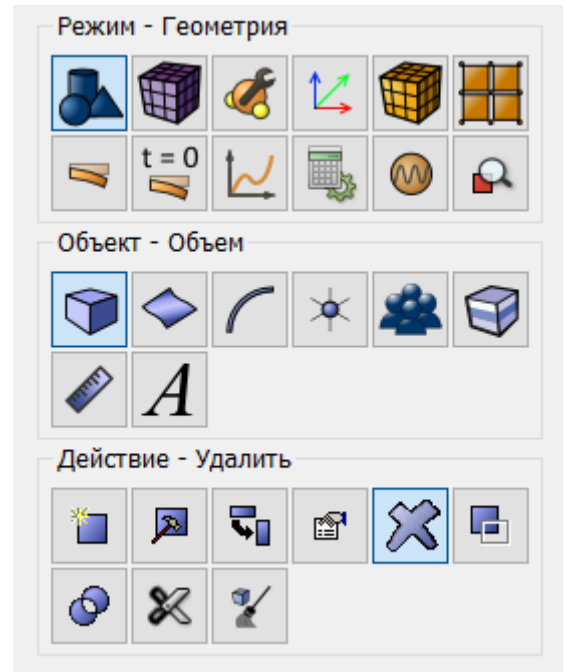
- Высота: 4;
- Сечение: Круговой;
- Радиус: 1.

Нажмите Применить.

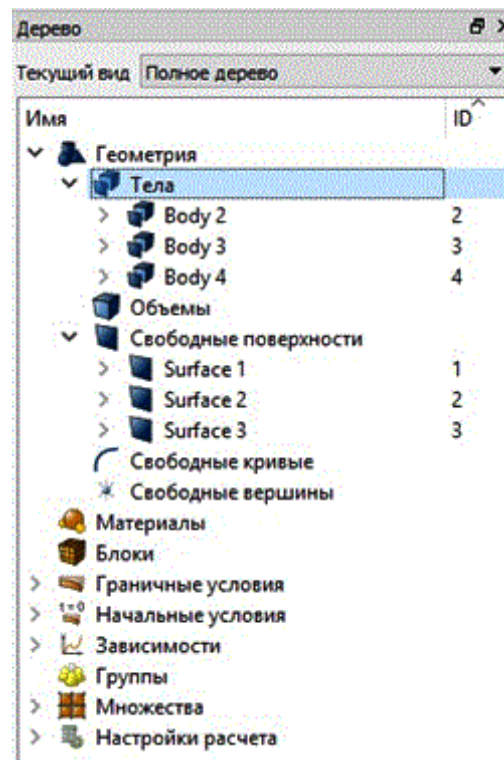
2. Получите из объемного цилиндра цилиндрическую оболочку. На панели команд выберите модуль удаления объемов (Режим — Геометрия, Объект — Объём, Действие — Удалить).

В поле ID объемов введите номер созданного объема – 1. Поставьте галочку напротив Сохранять геометрию более низкого порядка.

Нажмите Применить.



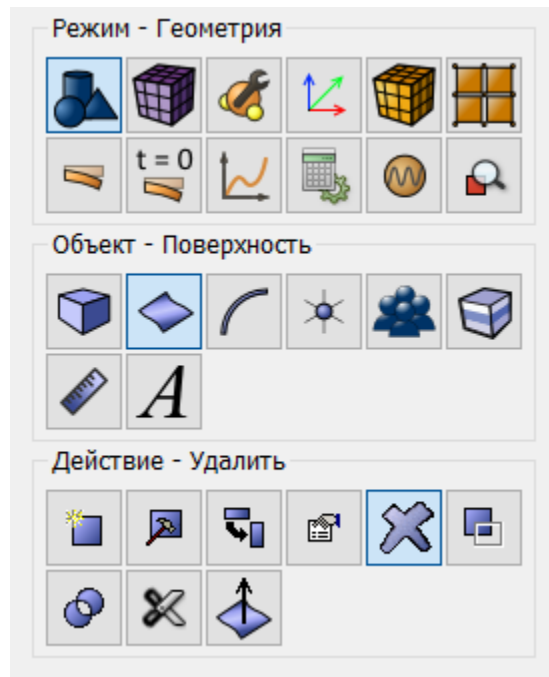
В результате получили три плоских тела Body 2, Body 3, Body 4. Это будет отражено в дереве объектов.



3. Удалите боковые плоскости Surface 2 и Surface 3.

На панели команд выберите модуль удаления поверхностей (Режим — Геометрия, Объект —

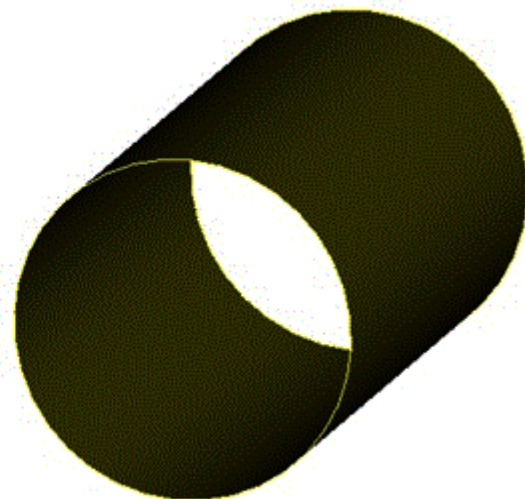
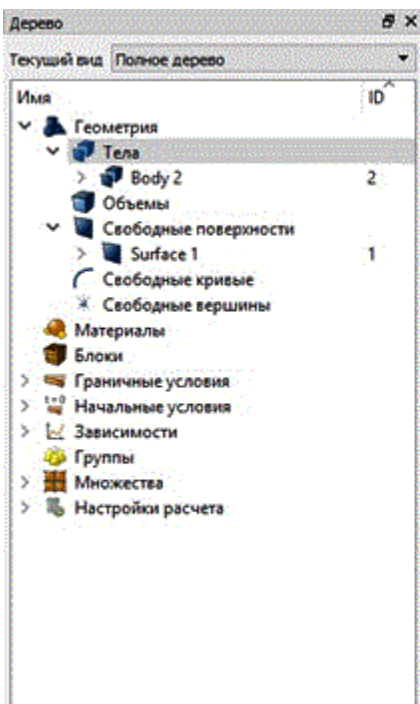
Поверхность, Действие — Удалить).



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

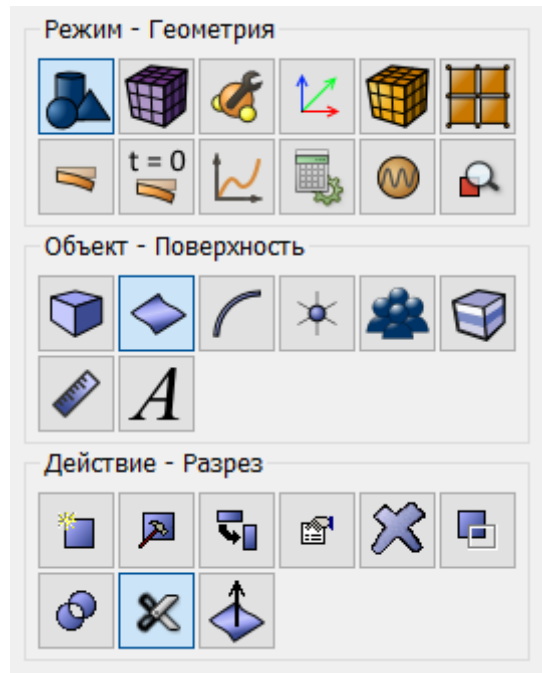
Нажмите Применить.

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 объёмной геометрии (Режим — Геометрия, Объект — Поверхность, Действие — Разрез).



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

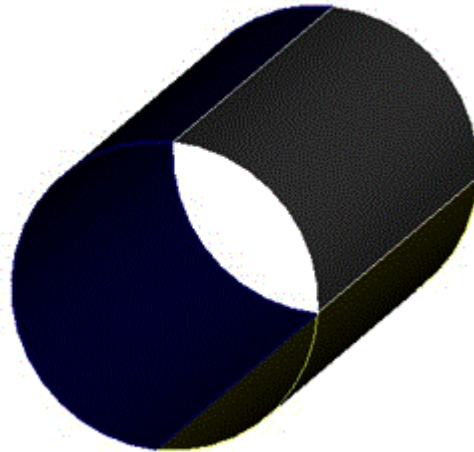
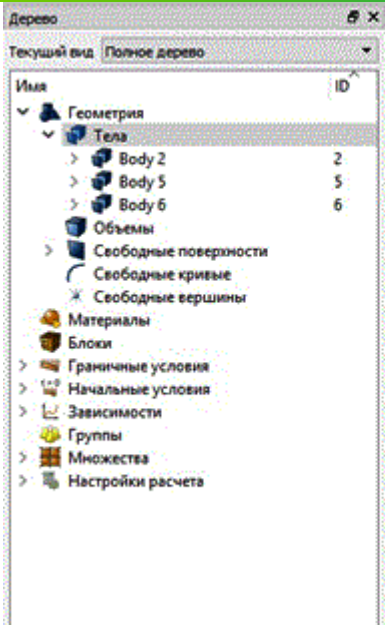
- ID тел: 2 (тело, которое будет разрезано);
- Разрезать: Плоскость YZ;
- Значение сдвига: 0;

Нажмите Применить.

Проделайте то же самое, но в плоскости ZX.

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

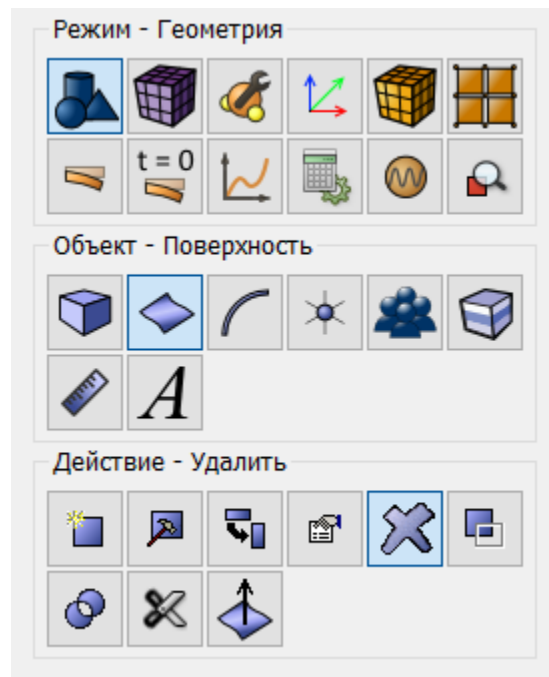
Нажмите Применить.



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.

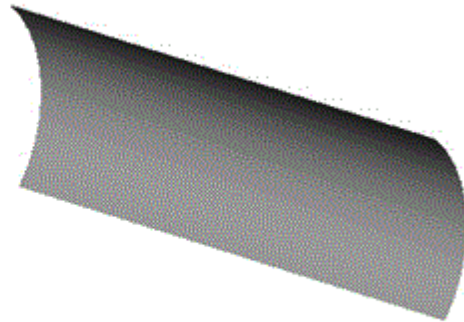
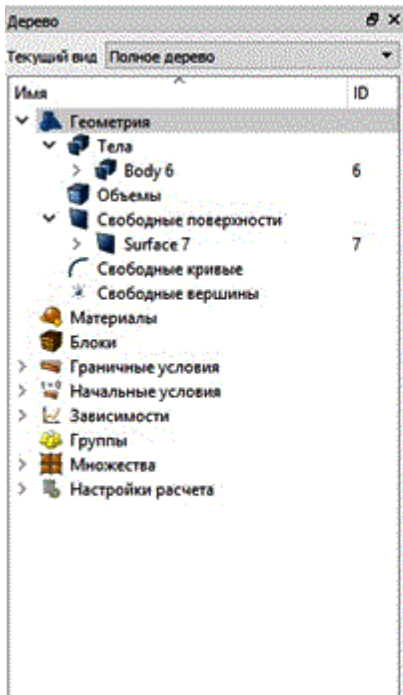
На панели команд выберите модуль удаления поверхностей (Режим — Геометрия, Объект — Поверхность, Действие — Удалить).



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

Нажмите Применить.

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



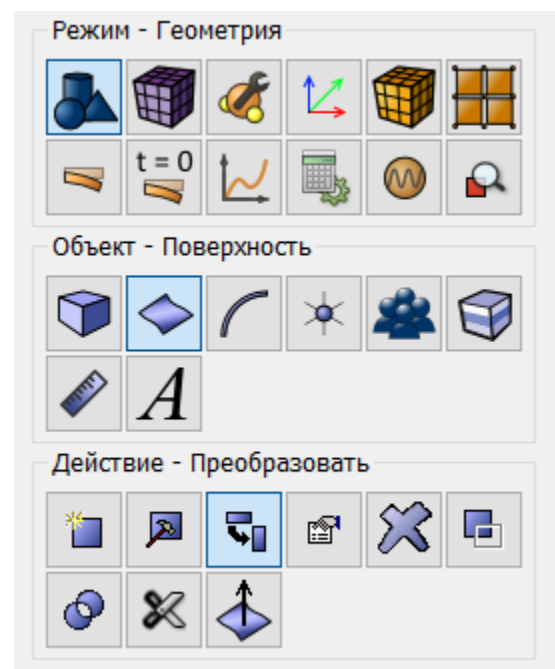
6. Переместите поверхность к началу координат.

На панели команд выберите модуль преобразования поверхностной геометрии (Режим — Геометрия, Объект — Поверхность, Действие — Преобразовать).

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.

Предупреждение : убедитесь в том, что в настройках главного меню (Инструменты - Настройки - Настройки сетки) выбран Тип элемента по умолчанию Гексаэдр / четырехугольник.

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

Укажите следующие параметры:

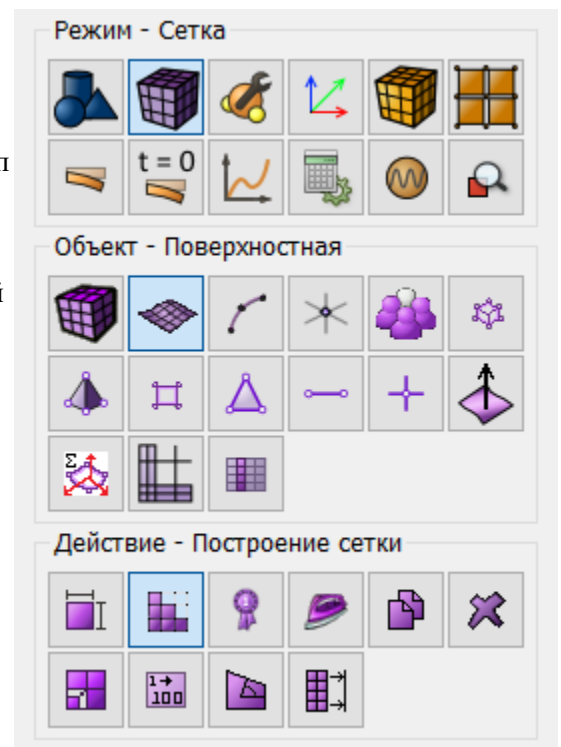
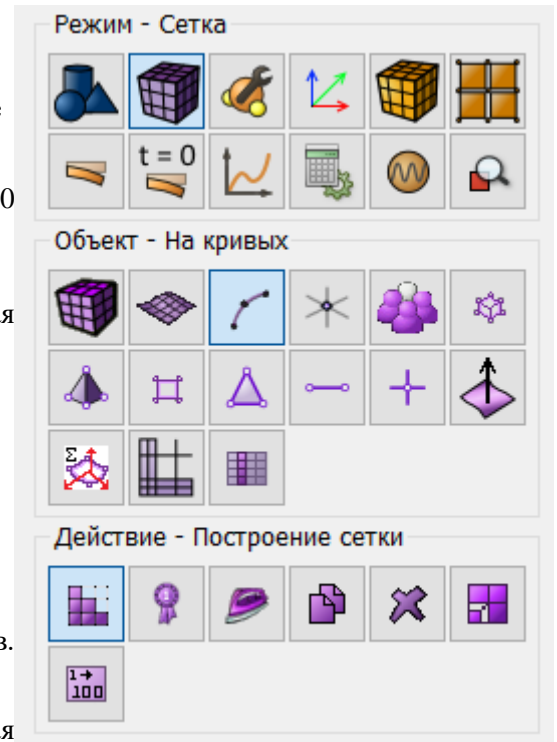
- Выбрать поверхности (укажите их ID): 7 (или командой all);
- Выберите схему построения сетки: Автоматически;

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.

The screenshot displays the CAE Fidesys software interface. On the left, the 'Дерево' (Tree) panel shows a hierarchical view of the model. Under 'Свободные поверхности' (Free surfaces), 'Surface 7' is selected. Below the tree is the 'Страница свойств' (Properties page) for the selected surface, showing details like 'Тип: Поверхность' (Type: Surface) and 'ID: 7'. On the right, a 3D view shows a curved surface with a blue and orange mesh. At the bottom, the 'Командная строка' (Command line) displays the following information:

Surface Area: 6.283185  
Meshed Area: 6.276728

Mesh_Information			
Element_Type	Interior	Boundary	Total
Face	200	0	200
Edge	370	60	430
Node	171	60	231

Current entity is Surface 7.  
Current entity is Surface 7.

Fidesys>

Ошибки | Команды | История

## Задание материала и свойств блока

1. Создайте материал.

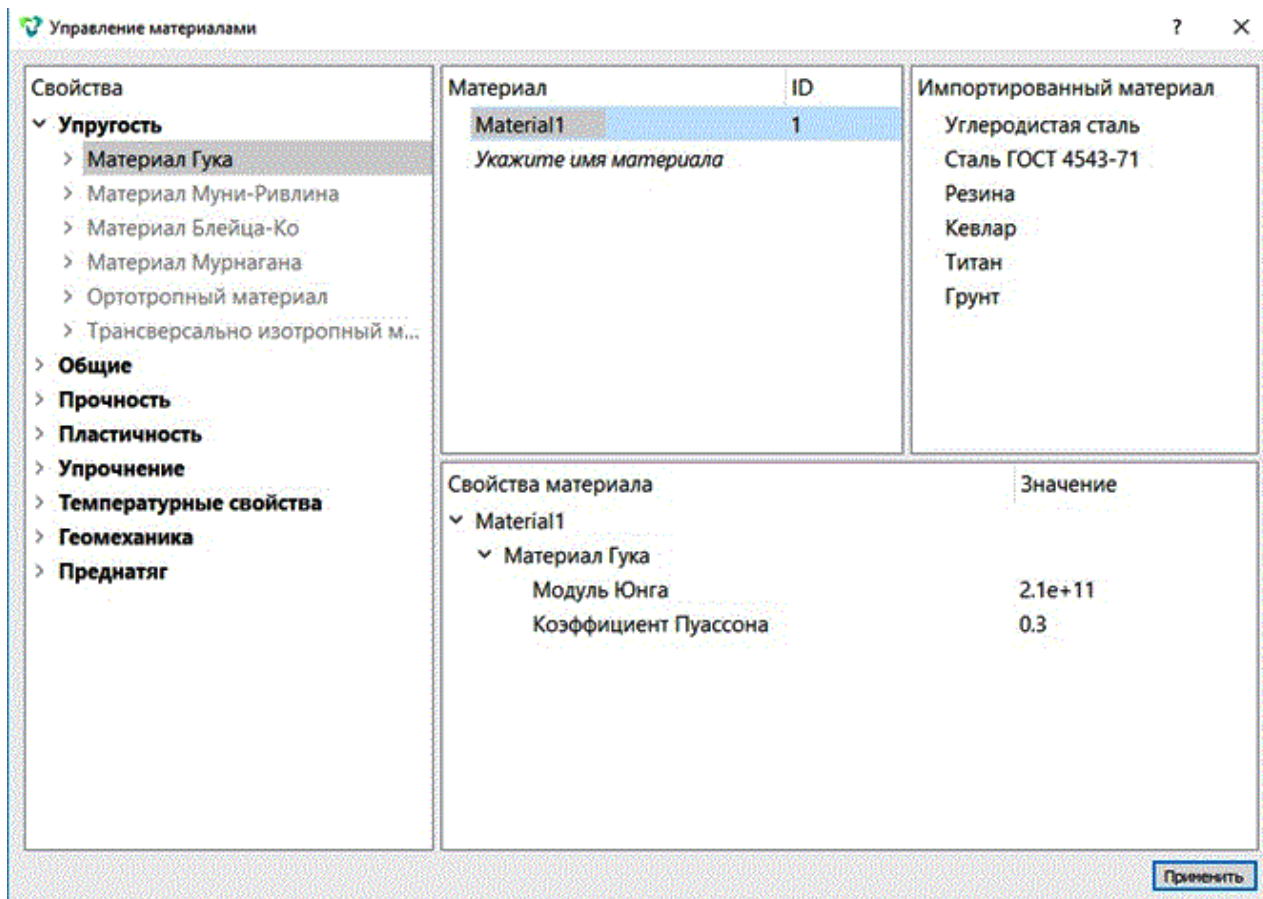
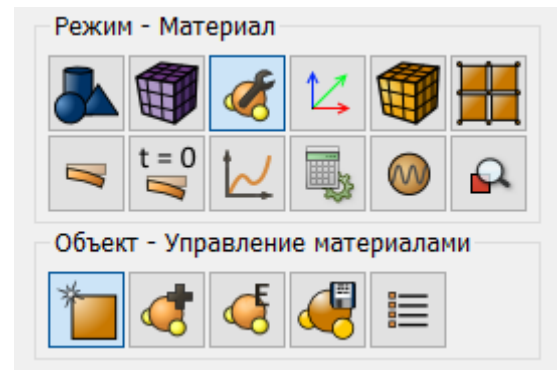
На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — Материал, Объект — Управление материалами).

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.

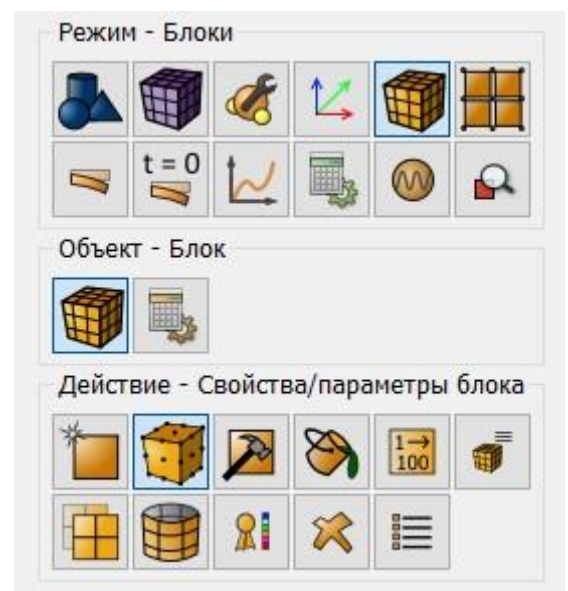
Задайте следующие параметры:

- 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.

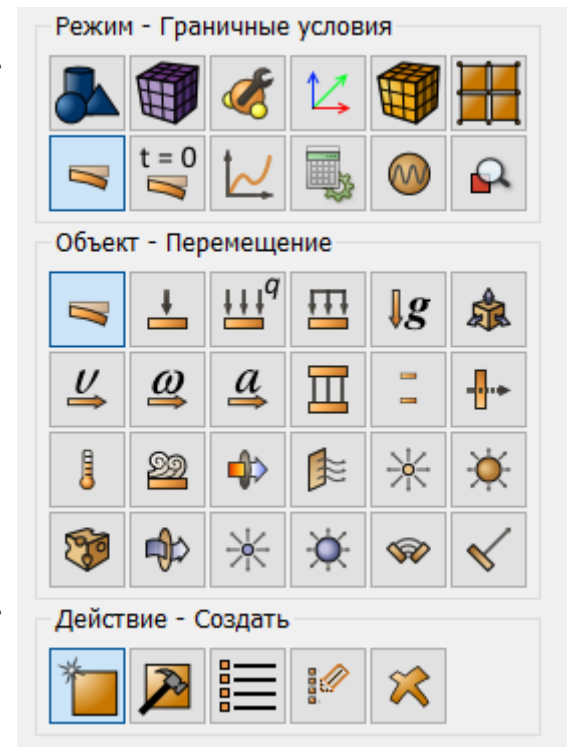
3. Закрепите продольную кривую Curve 16 из условия симметрии.

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.

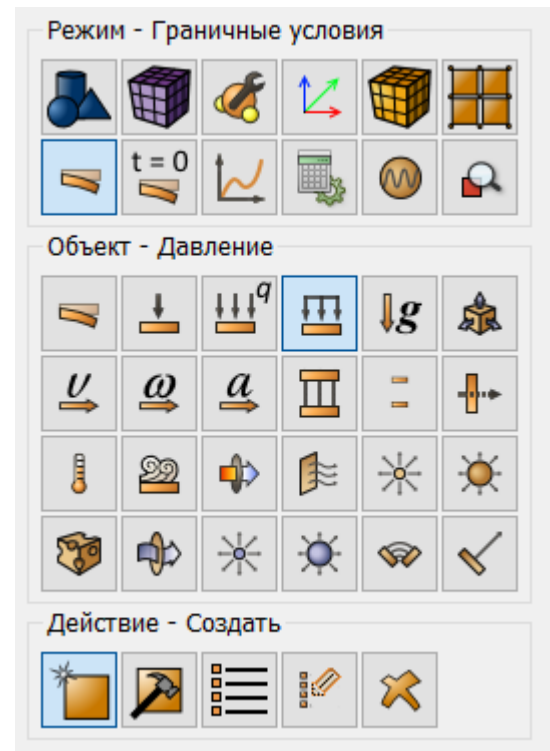


На панели команд выберите (Режим — Граничные условия, Объект — Давление, Действие — Создать).

Задайте следующие параметры:

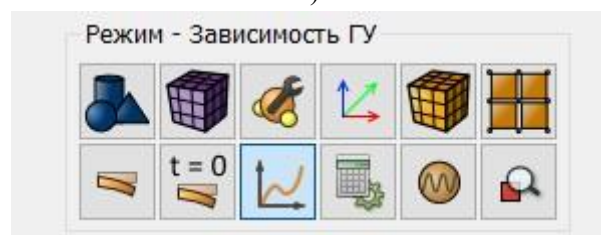
- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 7 (или кликните по поверхности цилиндра);
- Значение: 1;

Нажмите Применить.



5. Задайте зависимость давления от координаты  $z$ .

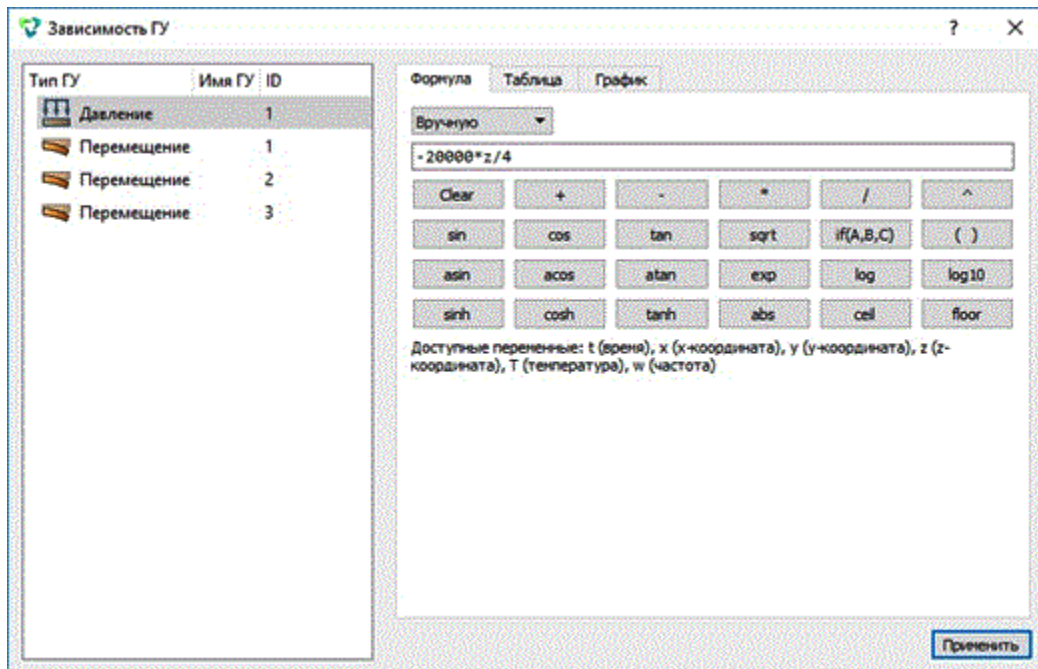
На панели команд выберите (Режим — Зависимость ГУ).



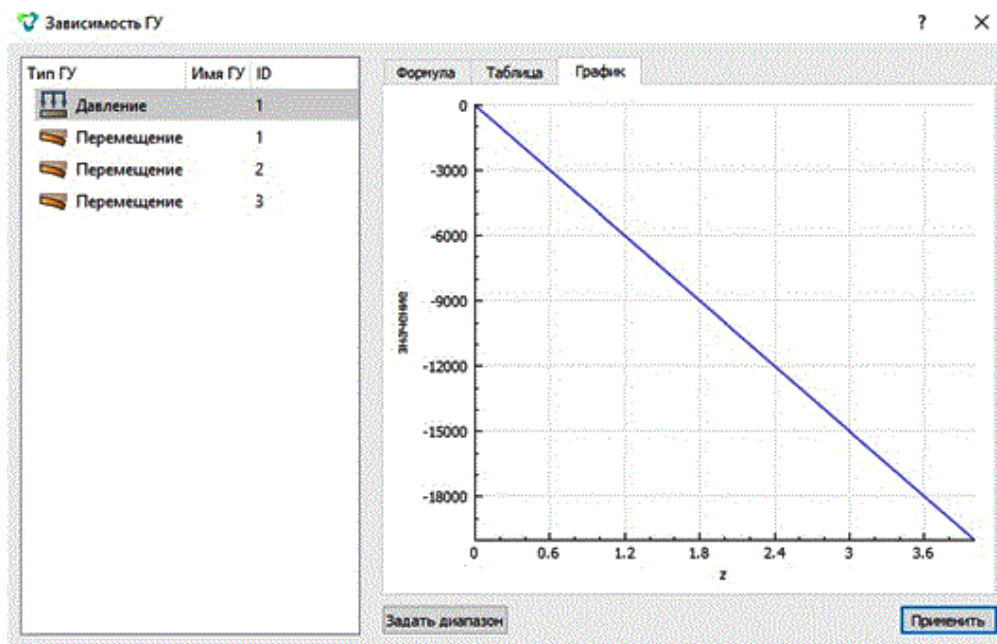
В появившемся окне Зависимость ГУ задайте следующие параметры:

- 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

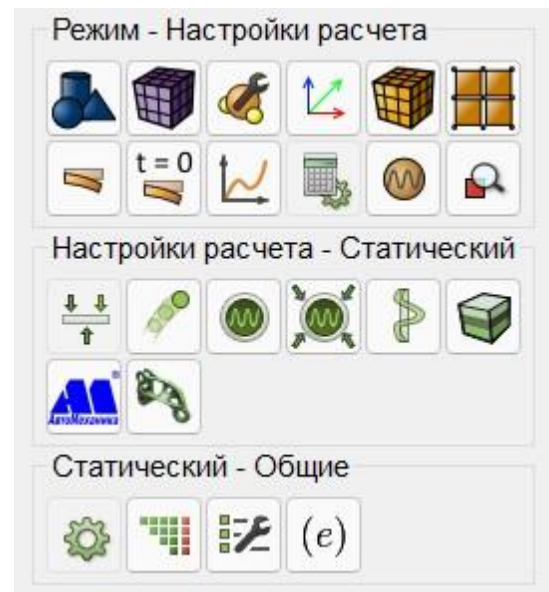
— Статический, Статический — Общие).

Выберите:

- Размерность: 3D;
- Модель: Упругость;

Нажмите Применить.

Нажмите Начать расчёт.



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

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

## Анализ результатов

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

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



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

В появившемся окне FidesysViewer 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 -

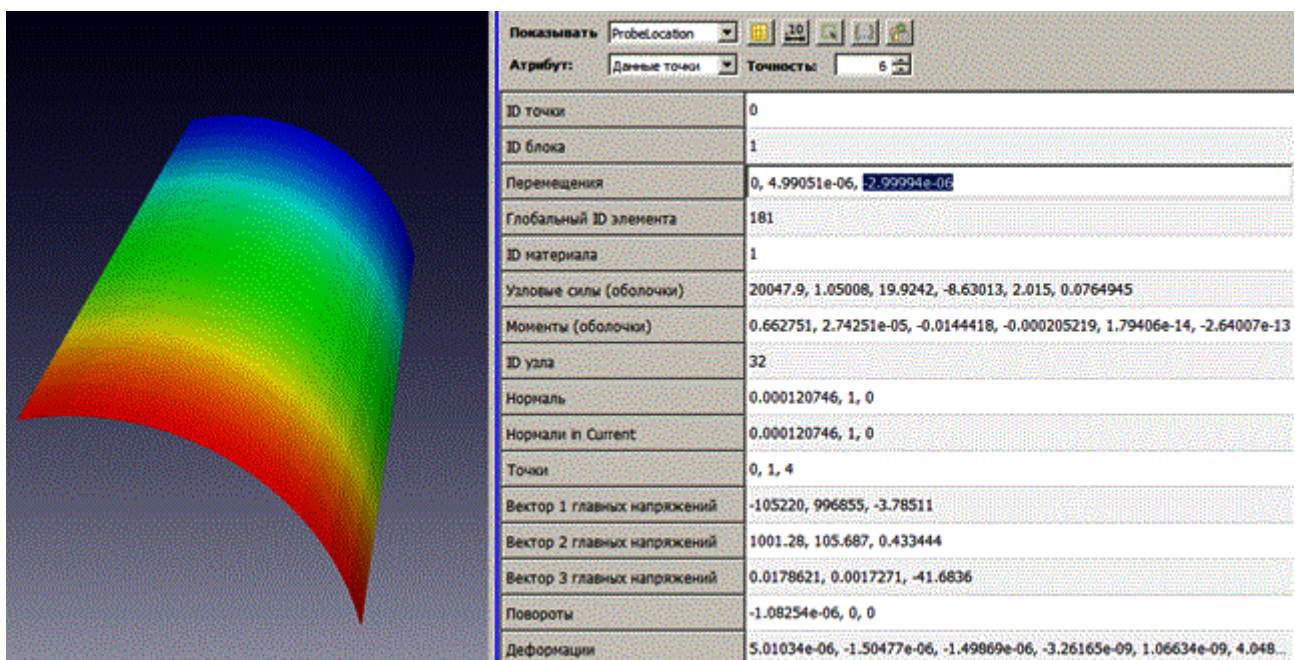
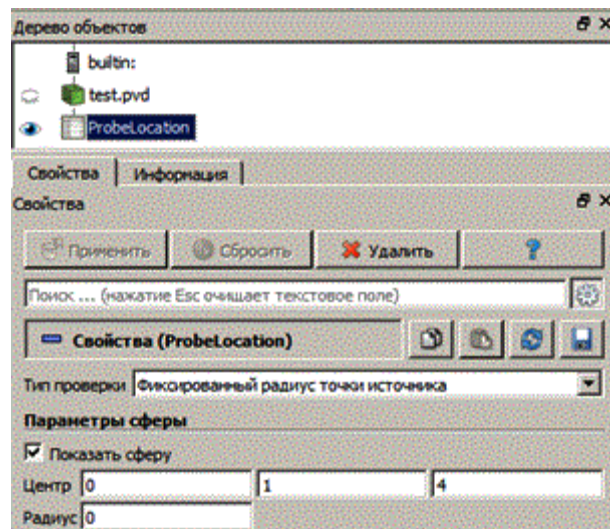


2.86e- 6.

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  $-2.99994 \cdot 10^{-6}$  отличается от требуемого  $-2.86 \cdot 10^{-6}$  на 4.89%. Можно посмотреть, как деформируется тело под приложенным давлением.

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




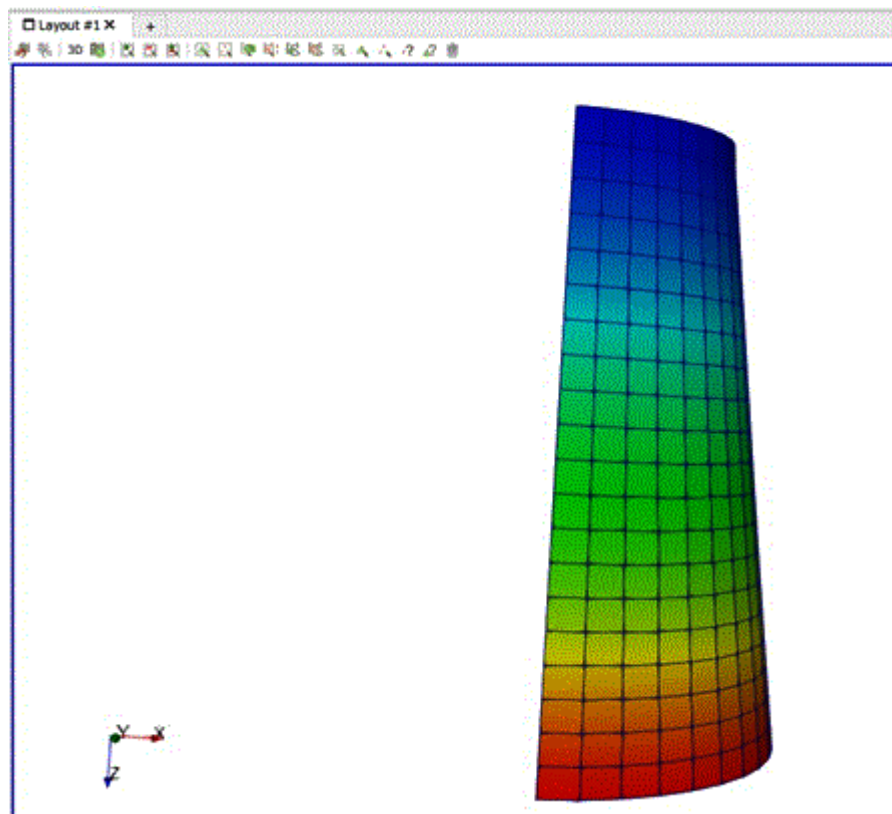
- Вектора: Перемещения;
- Множитель масштаба:  $1e5$ .

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.

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.

### Использование консольного интерфейса

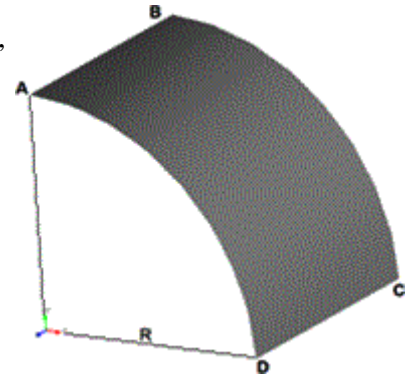
Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса.



Запустите файл *static\_shell\_coord\_dependence.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл → Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

## Задача устойчивости (оболочечная модель)

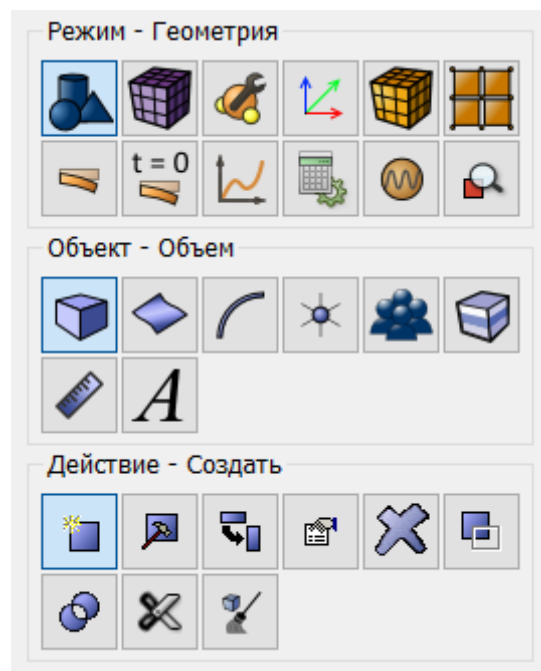
S.P. Timoshenko, J.M. Manages “Theory of elastic stability” second edition. Dunod, 1966, 500 pages Решается задача об устойчивости цилиндрической оболочки при действии давления, равномерно распределенного по всей поверхности. Геометрическая модель задачи представлена на рисунке:  $R = 2$  м,  $L = 2$  м, толщина  $h = 0.002$  м. В виду симметрии задачи рассматривается четверть цилиндра. Закрепления на прямых АВ и CD из условий симметрии, равномерно распределенная нагрузка по поверхности ABCD  $q = 1$  кПа. Параметры материала  $E = 200$  ГПа,  $\nu = 0.3$ . Требуется сравнить первые три коэффициента критической нагрузки.



### Построение модели

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

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



Из списка геометрических примитивов выберите Цилиндр.

Постройте, оставляя Круг в основании.

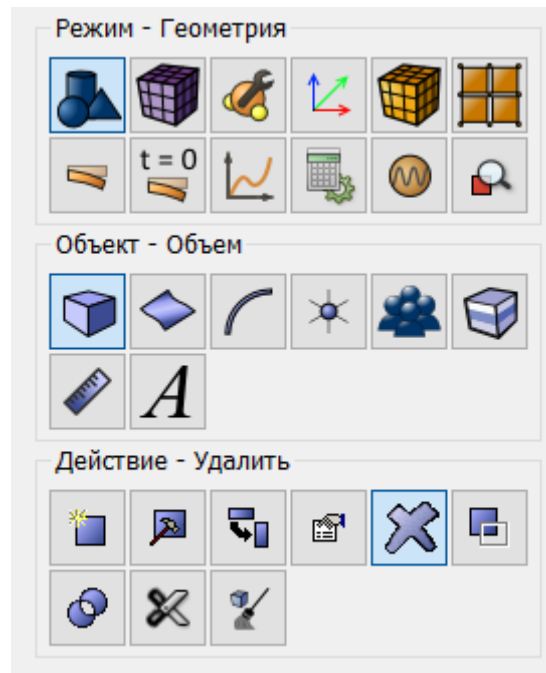
Задайте радиус 2 и высоту 2. Нажмите

Применить.

2. Получите из объемного цилиндра цилиндрическую оболочку.

На панели инструментов выберите модуль удаления объемов (Режим — Геометрия, Объект — Объем,

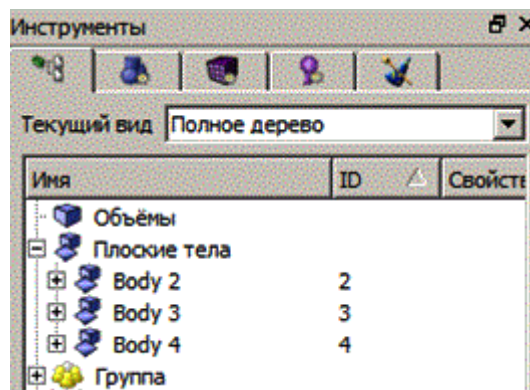
Действие — Удалить).



В поле ID объемов введите номер созданного объема – 1. Поставьте галочку напротив Сохранить геометрию более низкого порядка.

Нажмите Применить.

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



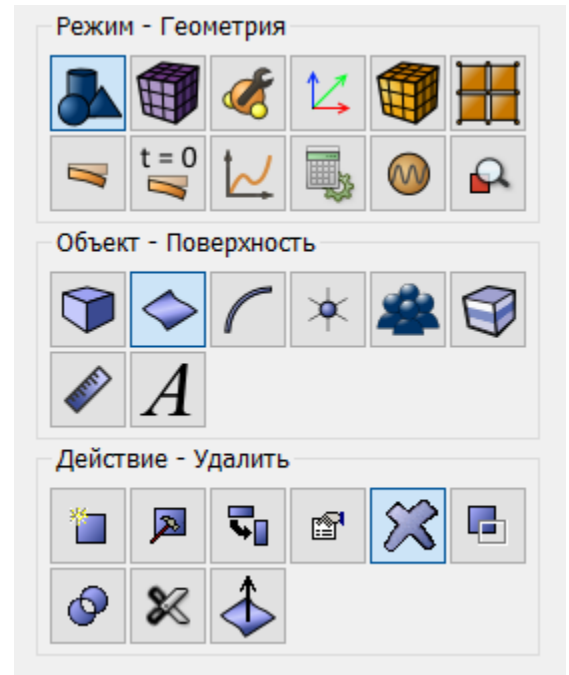
Удалите боковые плоскости Body 3 и Body 4.

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

В окне ID поверхностей введите номера – 2 3.

Нажмите Применить.

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



3. Оставьте четверть оболочки (симметрия задачи).

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

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

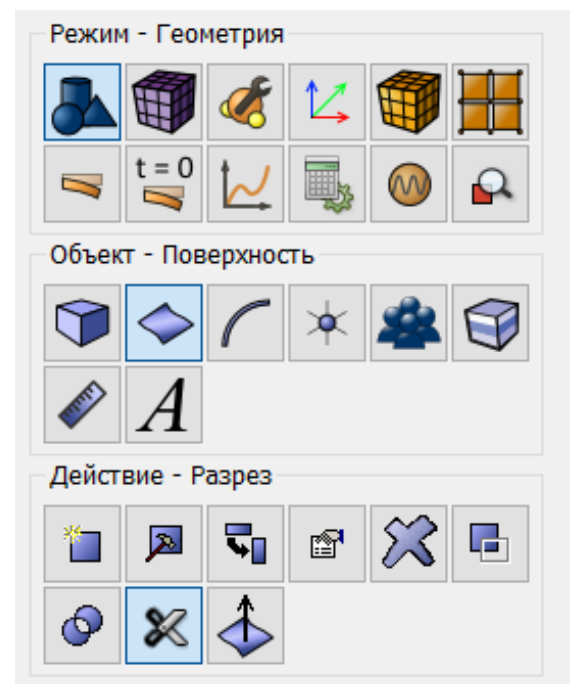
- ID тел: 2 (тело, которое будет разрезано);
- Разрезать: Плоскость YZ;
- Значение сдвига: 0;
- Отпечатать;

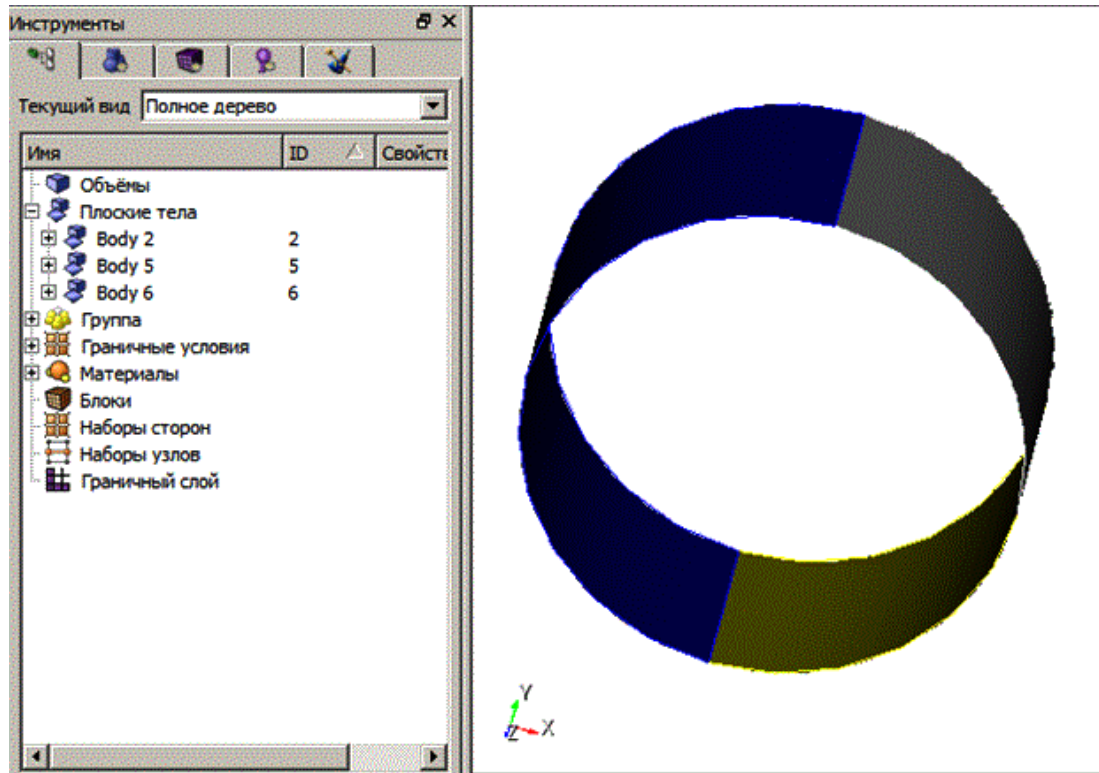
Нажмите Применить.

Проделайте то же самое, но в плоскости ZX.

- ID объемов: 2 (объем, который будет разрезан);
- Разрезать: Плоскость ZX;
- Значение сдвига: 0;
- Отпечатать;

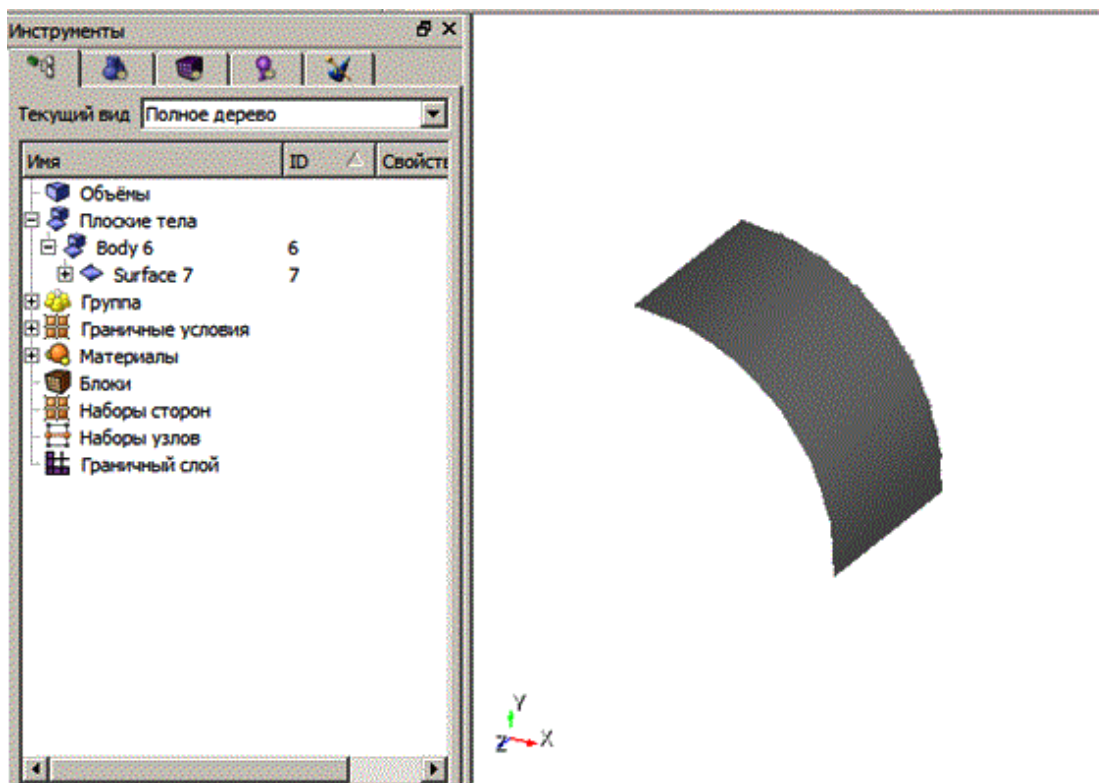
Нажмите Применить.





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:

- Из выпадающего списка выберите: Задать размер;
- Выбрать поверхности: 7;
- Выберите способ построения сетки: Примерный размер;
- Укажите примерный размер: 0.125;

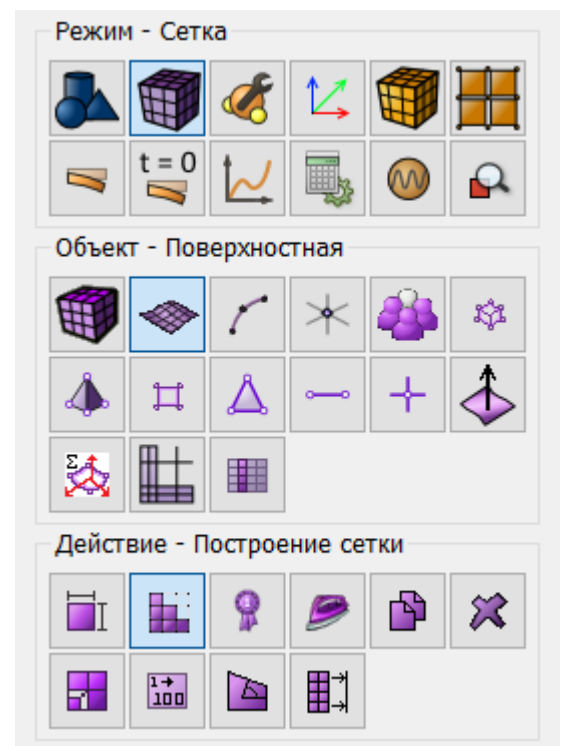
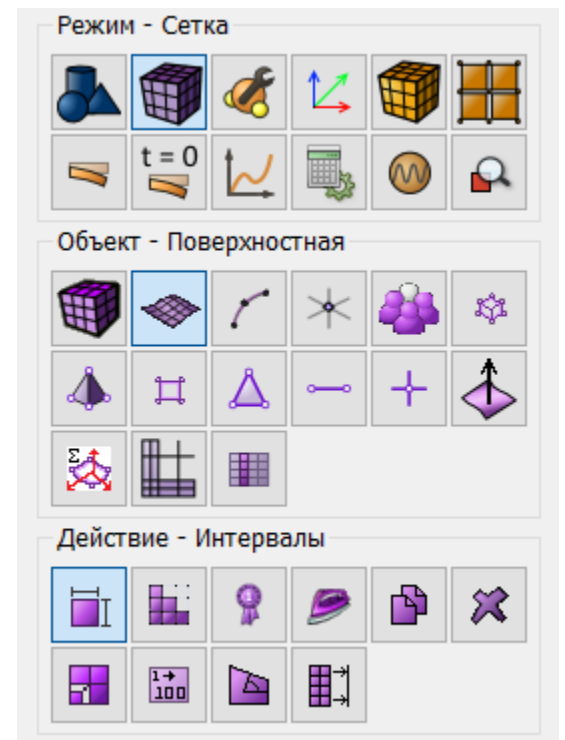
Нажмите Применить.

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

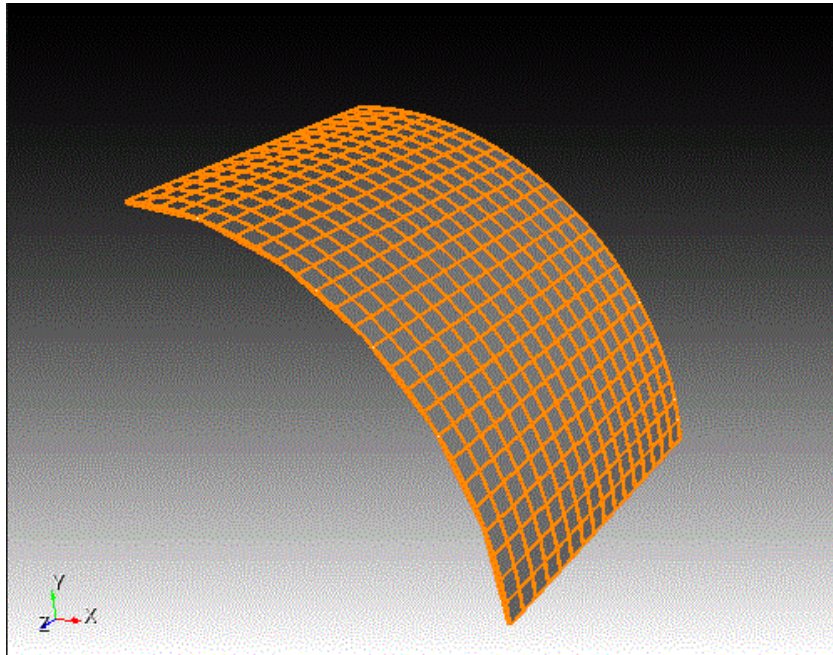
Укажите схему построения сетки:

- 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:

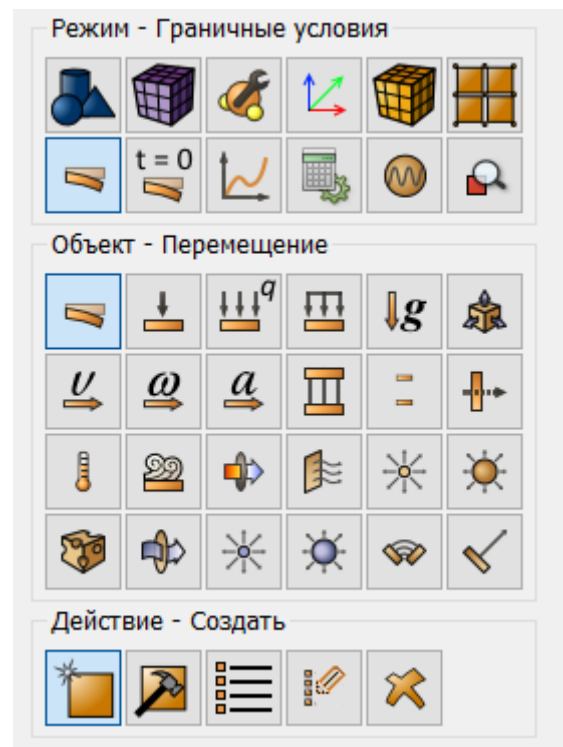
- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объектов: 5 (или кликните мышью по верхней прямой на четверти оболочки);
- Степени свободы: Перемещение X, Поворот Y, Поворот Z;
- Величина: 0;

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.

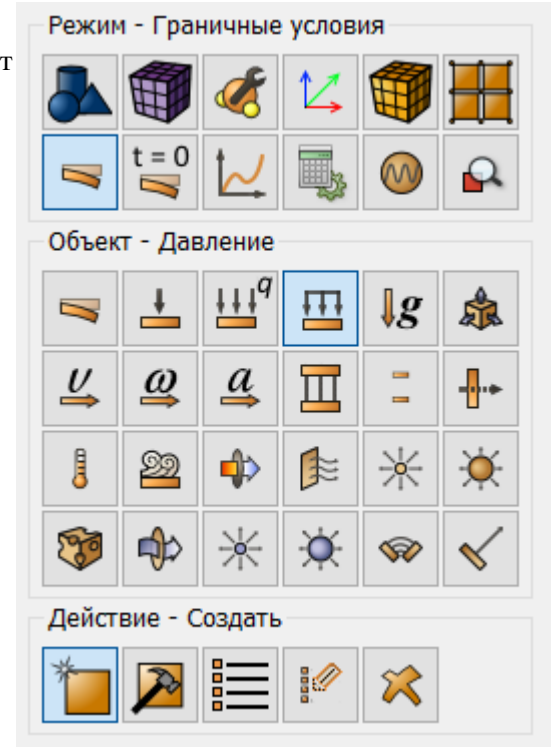
3. Приложите давление на всю поверхность оболочки.

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.



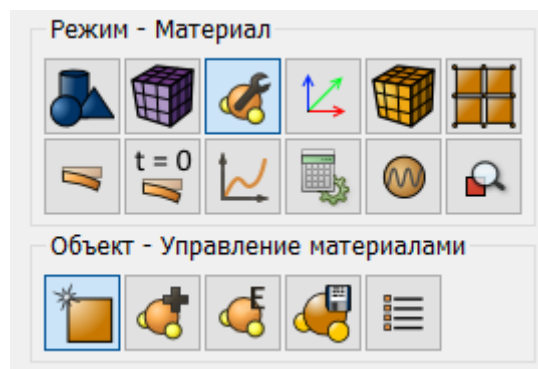
## Задание материала и свойств блока

1. Создайте материал.

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

Укажите имя материала

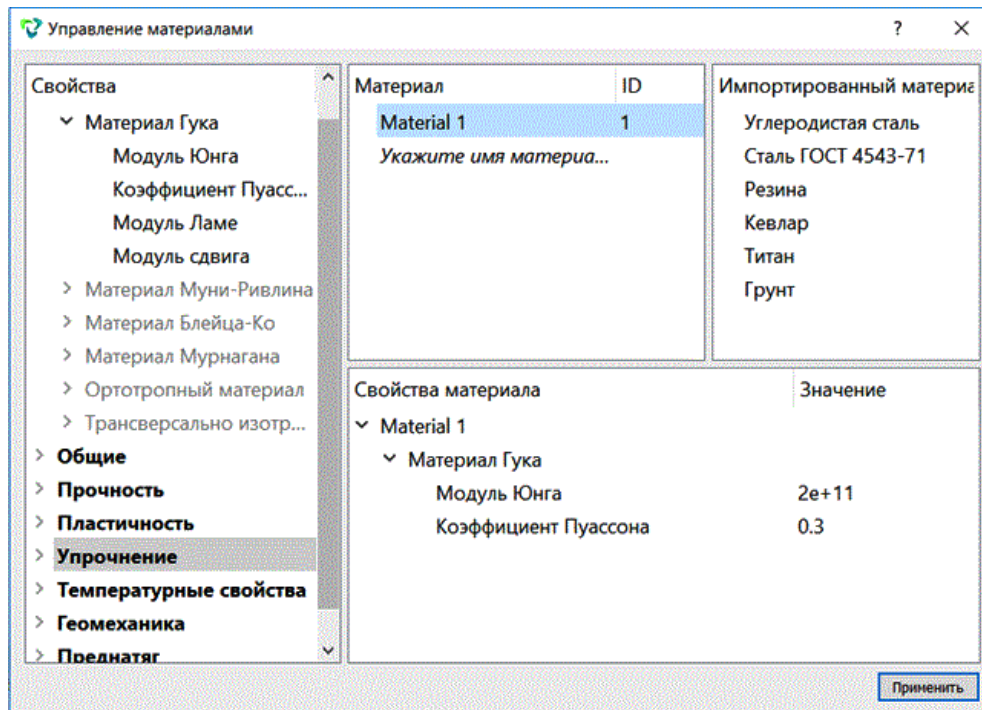
Material1.



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 (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. 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.

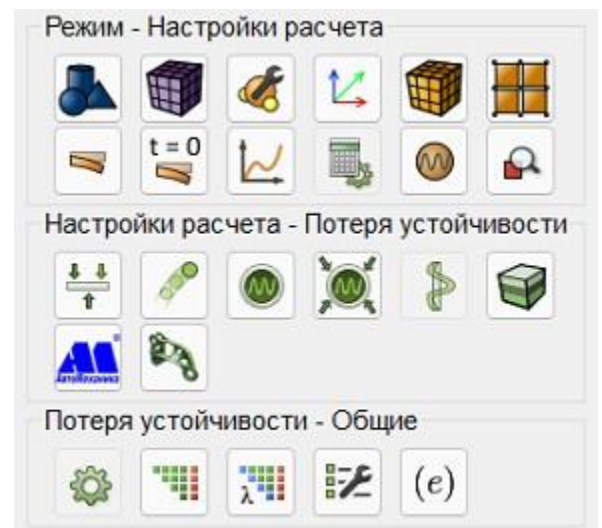
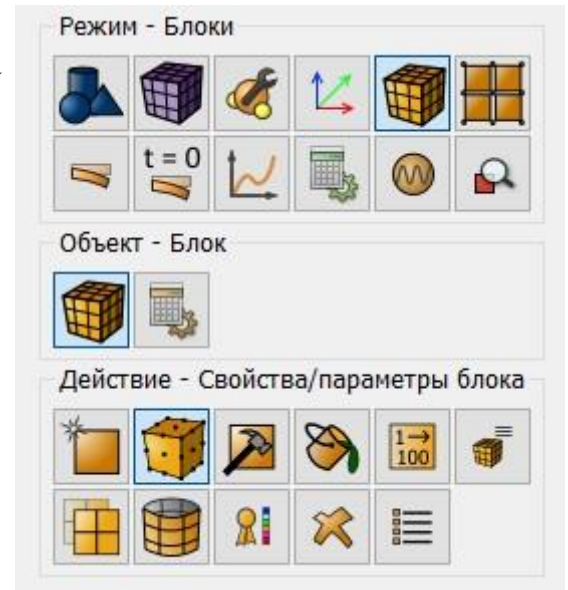
Нажмите Применить. Нажмите Начать расчет.

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.

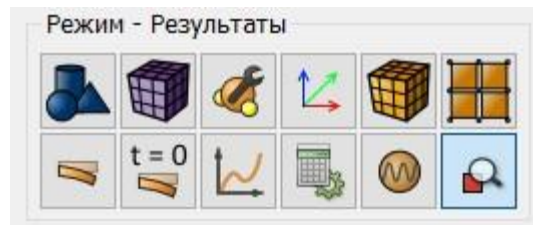


Первые три коэффициента критической нагрузки выводятся в Командную строку. Сравните полученные результаты с результатами, приведенными в таблице:

№	Теор. значение	CAE Fidesys	Погрешность, %
1	72.260	72.606	-0.48
2	164.835	162.441	1.45
3	293.040	292.810	0.08

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

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



3. В появившемся окне FidesysViewer отобразите фильтр Деформировать по вектору.



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

- Вектора: Мода 1: Перемещение;
- Множитель масштаба: 0.1.


5. Отобразите Перемещения для моды 1.

На панели инструментов установите следующие параметры:

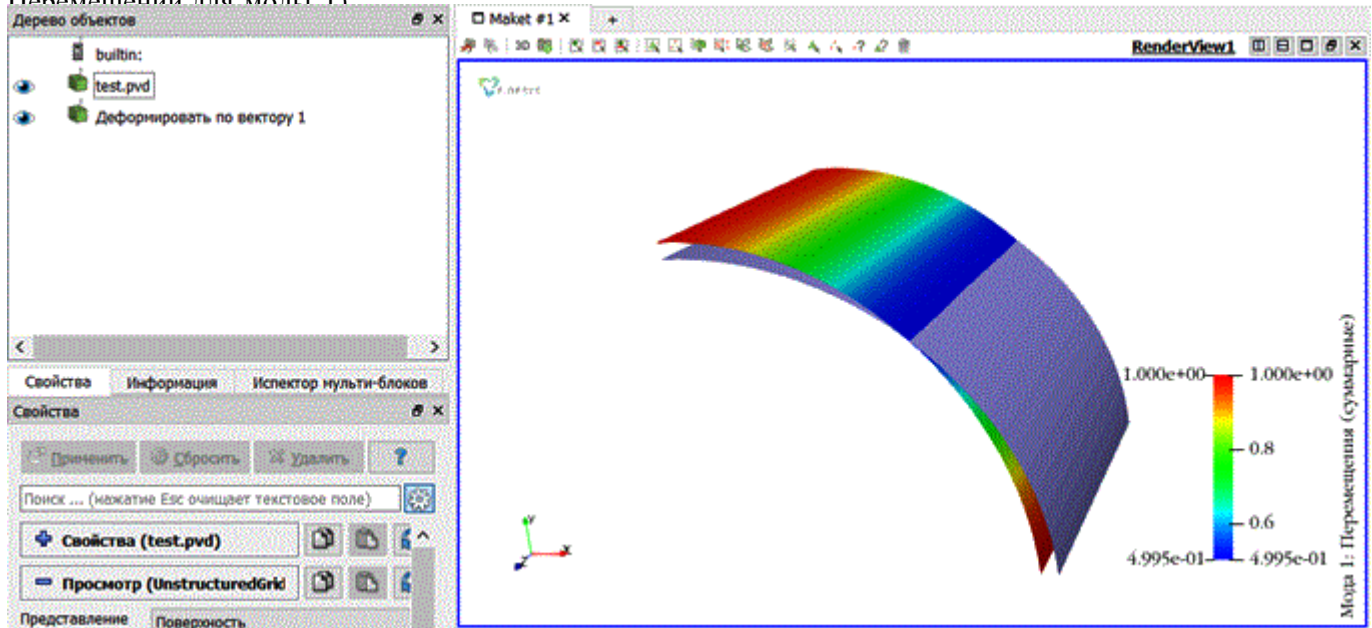


Удостоверьтесь, что в окне Коэф.запаса отобразился искомый первый коэффициент критической нагрузки.

6. Просмотр результата.

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

Перемещений для моды 1).

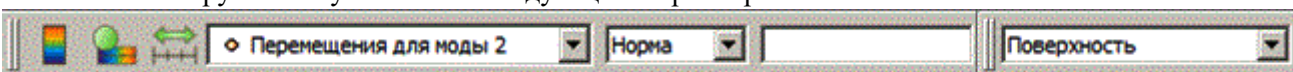


7. В фильтре Деформировать по вектору во вкладке Свойства выберите следующее значение поля Перемещения для моды:

- Вектора: Мода 2: Перемещение;
- Множитель масштаба: 0.1.

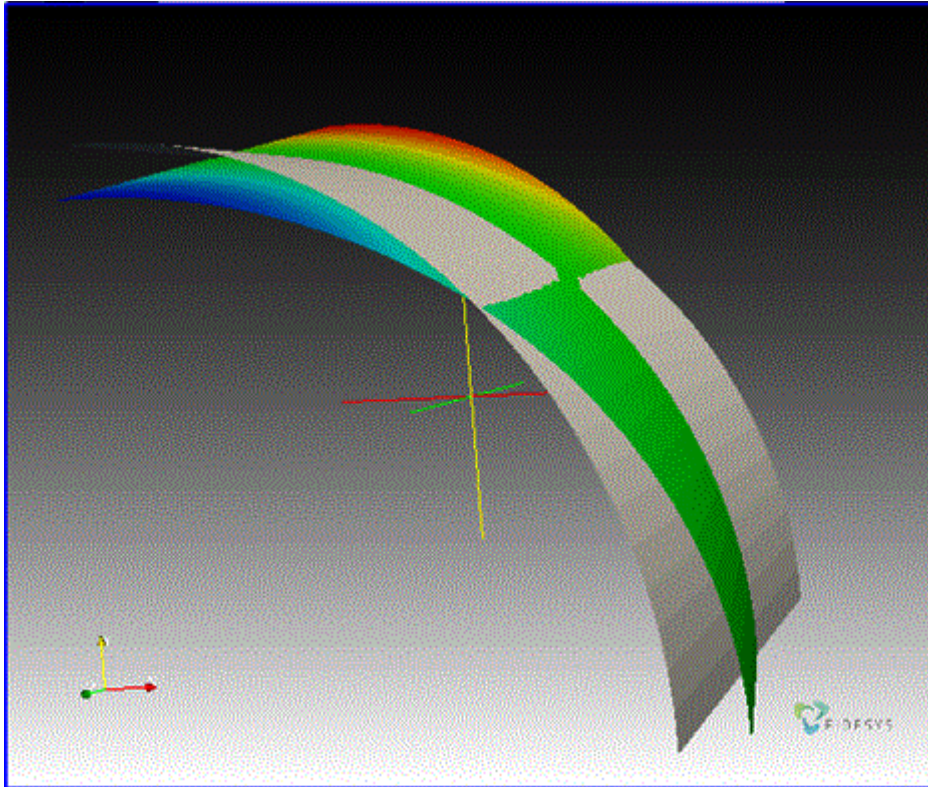
8. Отобразите Перемещения для моды 2.

На панели инструментов установите следующие параметры:

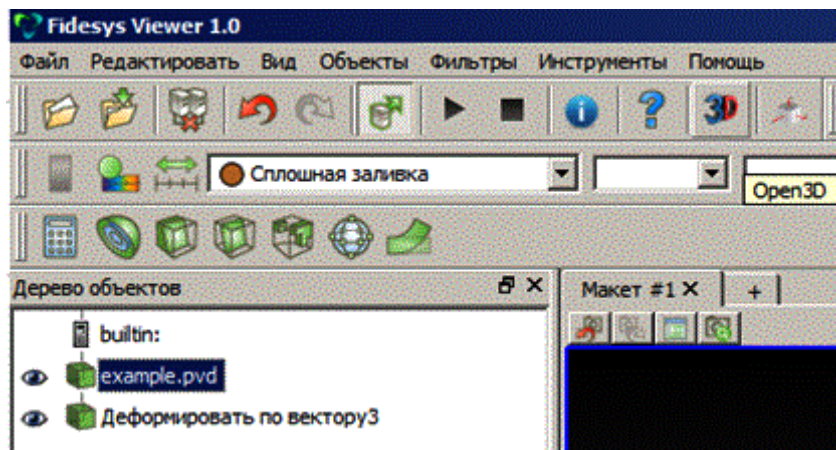


Удостоверьтесь, что в окне Коэф.запаса отобразился искомый второй коэффициент критической нагрузки.

9. Просмотр результата.



10. Аналогично отобразите Перемещения для моды 3, убедившись, что в окне Коэф.запаса отобразился третий искомый коэффициент критической нагрузки.
11. Отобразите 3D-вид модели (оболочка с толщиной). Для этого кликните мышью по названию исходного файла в дереве объектов. После этого нажмите в стандартной строке кнопку 3D-вид.

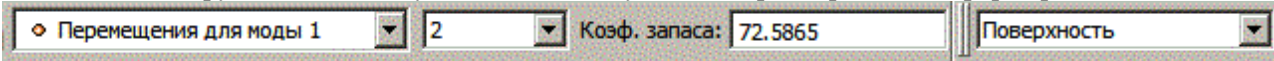


Должен открыться файл \*\_3D.pvd с 3D-изображением оболочки. К этому файлу также можно применять различные фильтры и просматривать деформированный вид.

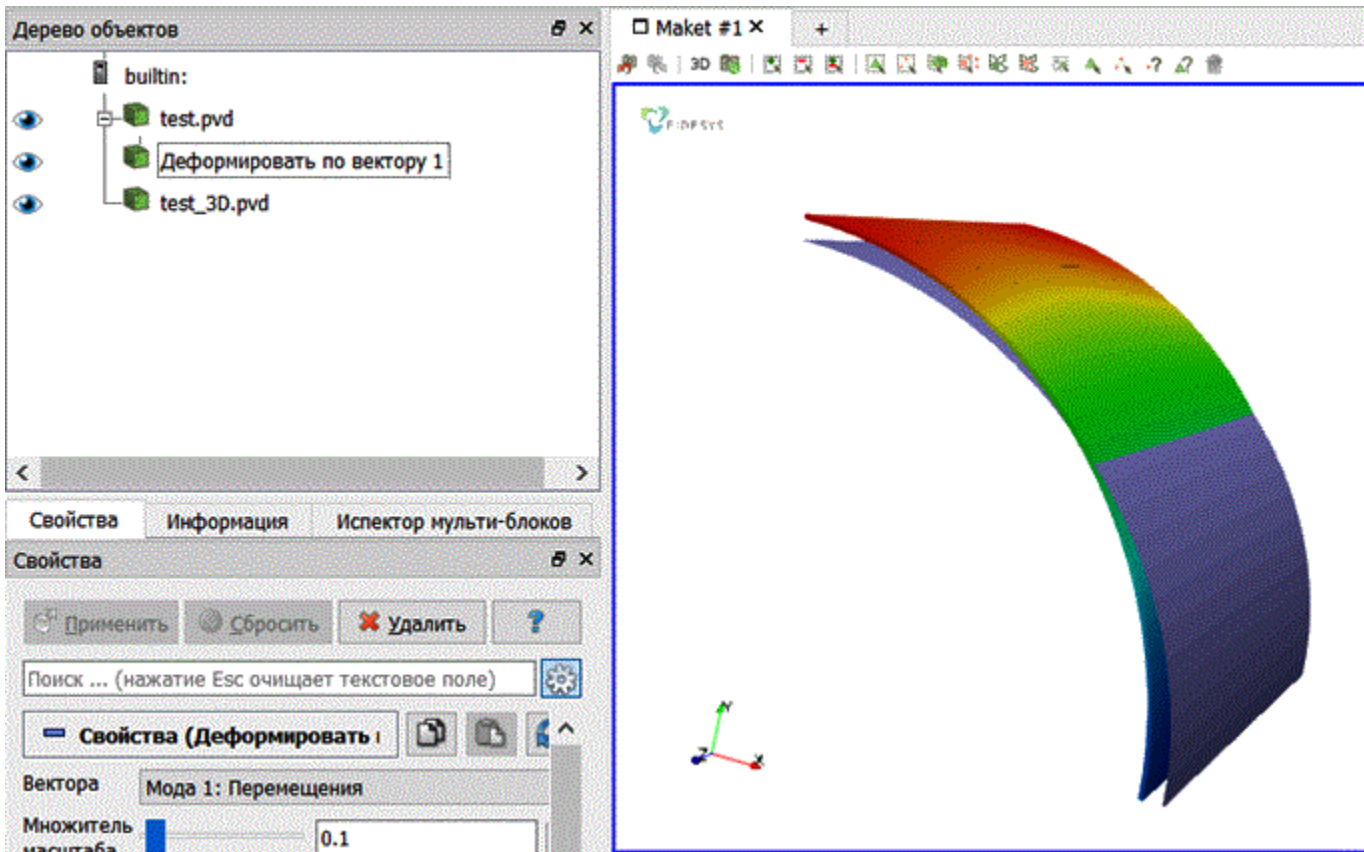
Выбрав в дереве объектов новый файл example\_3D.pvd отобразите для него фильтр Деформировать по вектору со следующими значениями полей:

- Вектора: 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 .

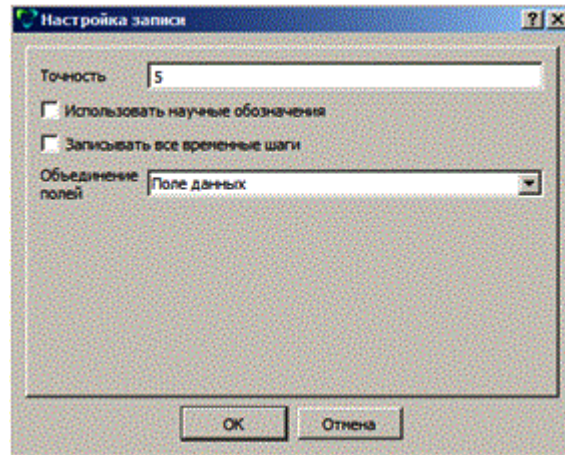
## 12. Выгрузите числовые данные.

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.



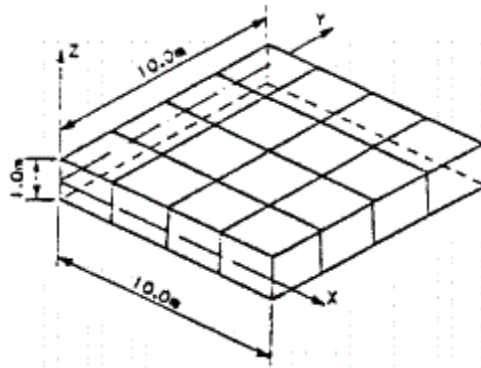
Запустите файл *stability\_shell.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

## Анализ собственных частот (объёмная модель)

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

Решается задача о нахождении собственных частот квадратной пластинки.

Геометрическая модель задачи и сетка представлены на рисунке.



Размер пластинки 10 м x 10 м x 1 м. Ребрам нижней грани пластинки запрещено перемещение вдоль оси Z. Параметры материала  $E = 200$  ГПа,  $\nu = 0.3$ ,  $\rho = 8000$  кг/м<sup>3</sup>.

Требуется сравнить ненулевые собственные частоты с 4 по 10.

## Построение модели

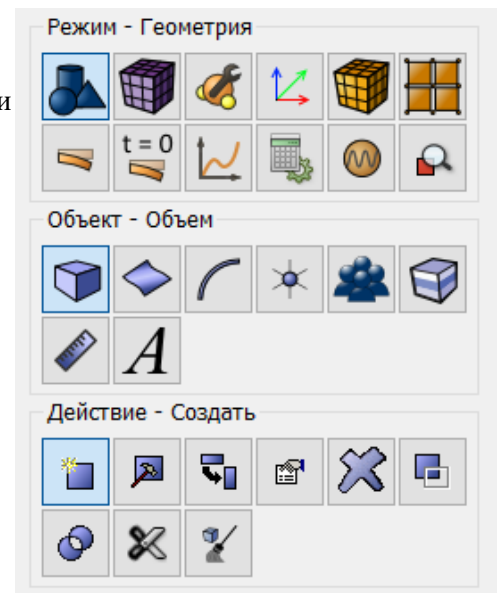
1. Создайте пластинку.

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);

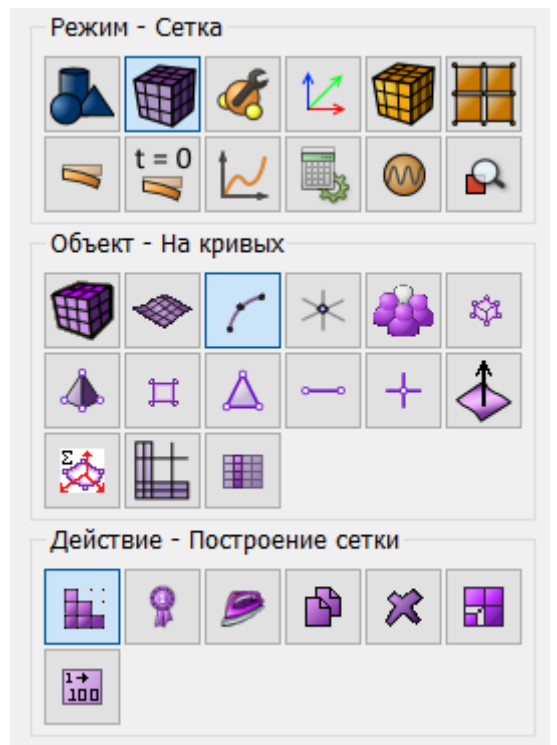
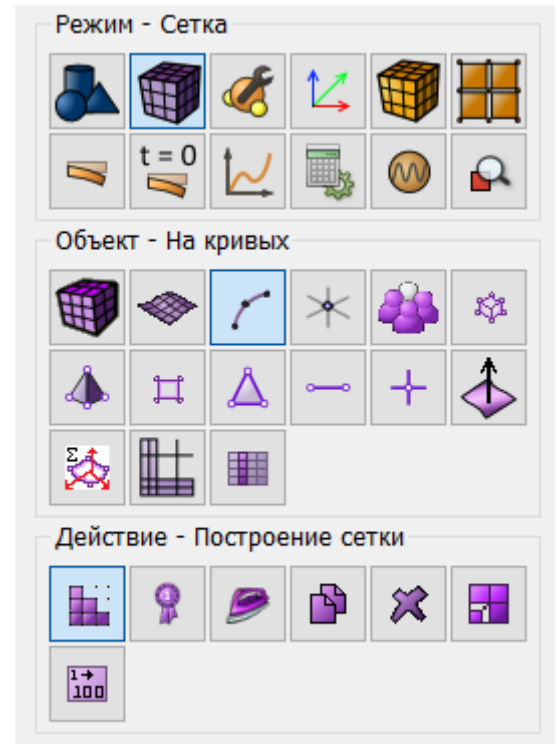
Нажмите Применить.

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;

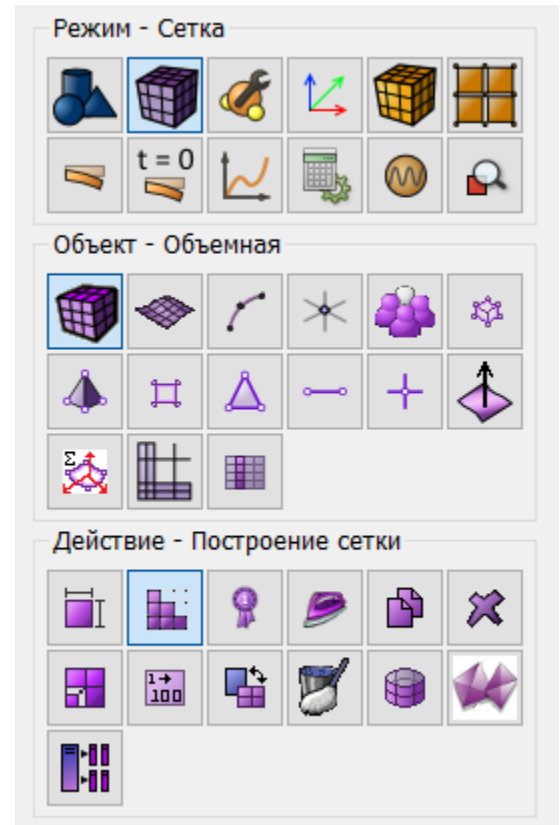
Нажмите Применить.



3. На панели команд выберите модуль построения объёмной сетки (Режим — Сетка, Объект — Объемная, 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

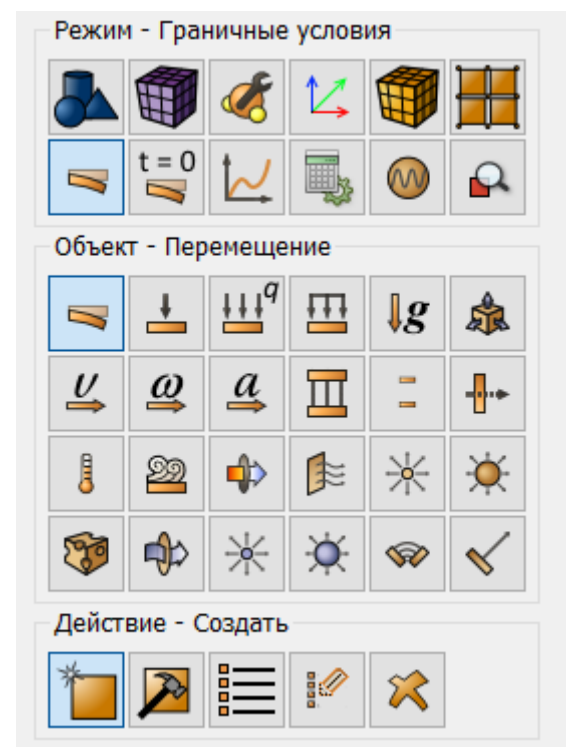
1. Закрепите рёбра нижней грани в направлении  $Z$ .

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;

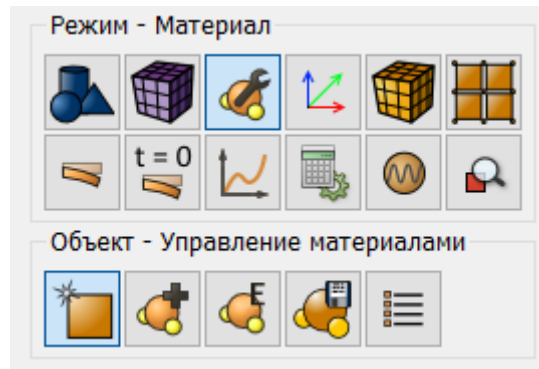
Нажмите Применить.



## Задание материала и свойств блока

1. Создайте материал.

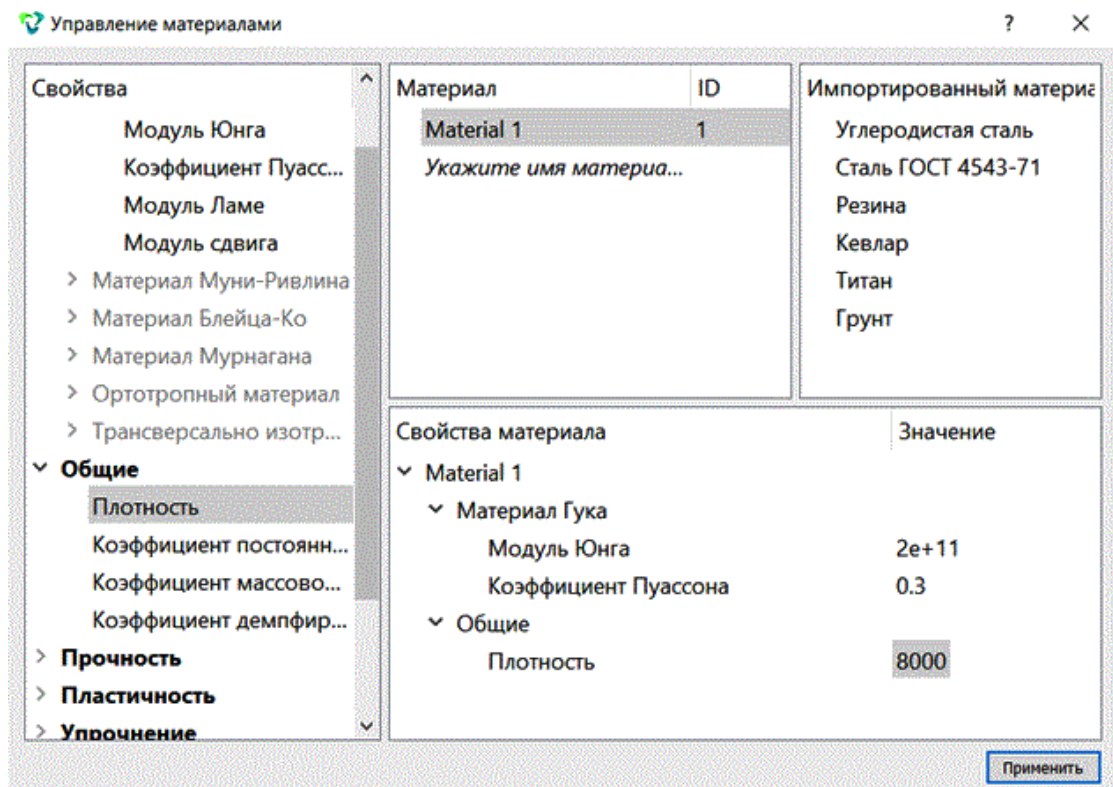
На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — Материал, Объект — Управление материалами). Укажите имя материала Material1.



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

- Модуль Юнга:  $2.1e11$ ;
- 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.

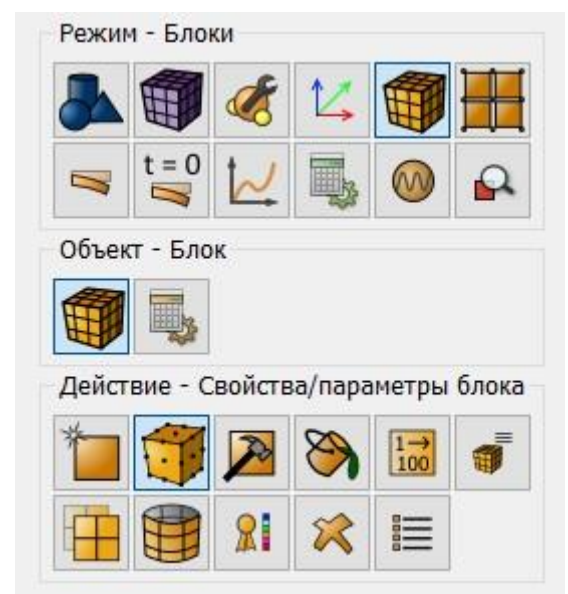
### 3. Задайте параметры блока.

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.

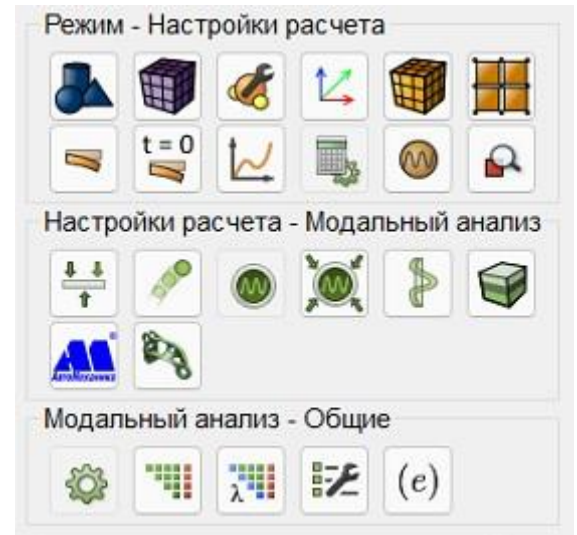
3. В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: “Calculation finished successfully at "date time", а также будут выведены требуемые значения собственных значений и частот.

## Анализ результатов

1. Сравните полученные результаты с результатами, приведенными в таблице.

№	NAFEMS	CAE FIDESYS	Error, %
4	44.762	44.796	0.08%
5	110.52	110.54	0.02%
6	110.52	110.54	0.02%
7	169.08	169.10	0.01%
8	193.93	193.92	0.005%
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 Расчёт Результаты. Нажмите Открыть последний результат.
- На панели команд выберите Результаты. Нажмите Открыть результаты.




3. Можно посмотреть, как деформируется тело.



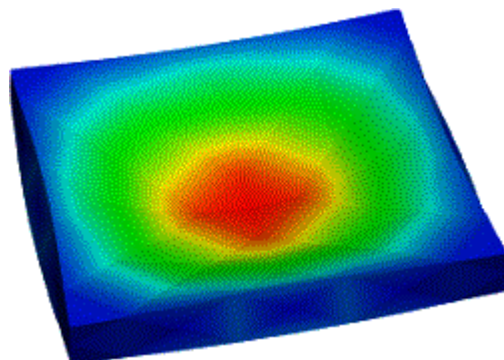
Для этого выберите фильтр Деформировать по вектору.  
Во вкладке Свойства установите следующие параметры:

- Вектора: Собственное значени\_# (# означает номер собственного значения);
- Множитель масштаба: 700.

В результате отобразится деформированное тело.

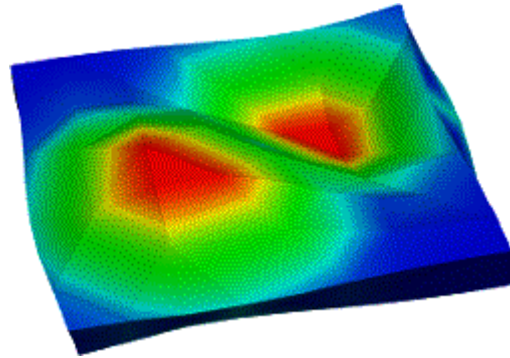
Для того чтобы посмотреть начальную модель, можно нажать на значок  рядом с этой моделью в дереве объектов. На картинках ниже представлена деформированная модель в зависимости от собственного значения.

4 собственная форма

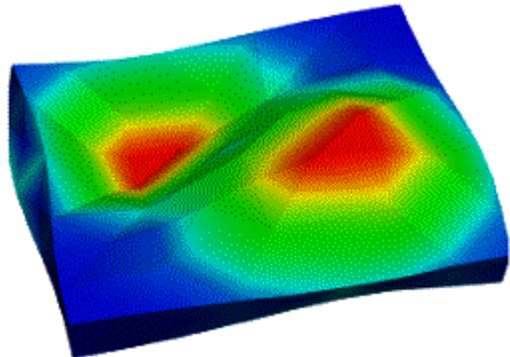




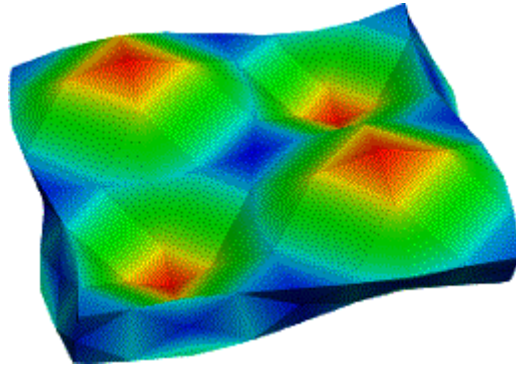
5 собственная форма



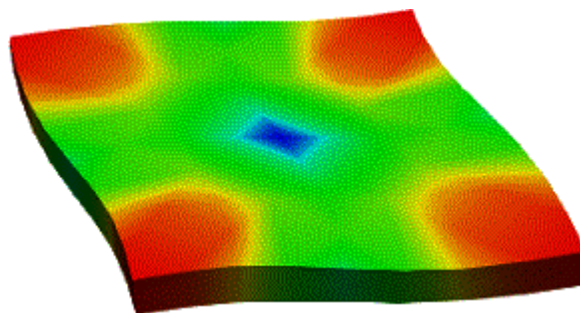
6 собственная форма



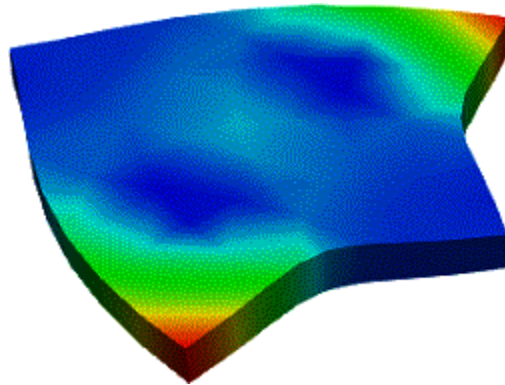
7 собственная форма



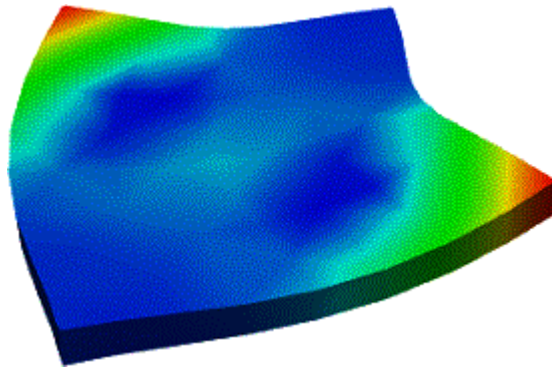
8 собственная форма



9 собственная форма



10 собственная форма



### Использование консольного интерфейса

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса.



Запустите файл *analysis\_frequency\_solid\_model.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

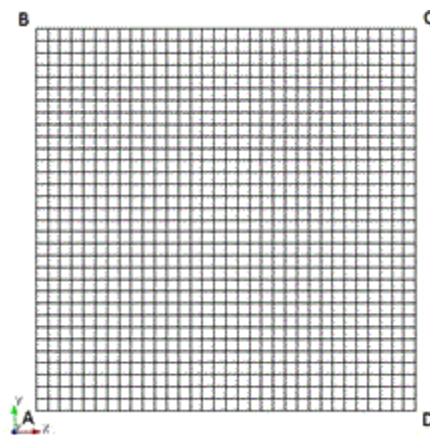
## Анализ собственных частот (оболочечная модель)

NAFEMS-Glasgow, BENCHMARK newsletter, Report No. E1261/R002, “Free Vibrations of a Simply-supported Thin Square Plate”, February 1989, p.21.

Решается задача о нахождении собственных частот квадратной пластинки.

Размер пластинки 10 м x 10 м, толщина 0.05 м. Всей пластинке запрещено перемещение вдоль осей X и Y и вращение вокруг оси Z. Всем рёбрам запрещено перемещение вдоль оси Z. Рёбрам AB и CD запрещено вращение вокруг оси X, рёбрам BC и AD – вокруг оси Y. Параметры материала  $E = 200$  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).

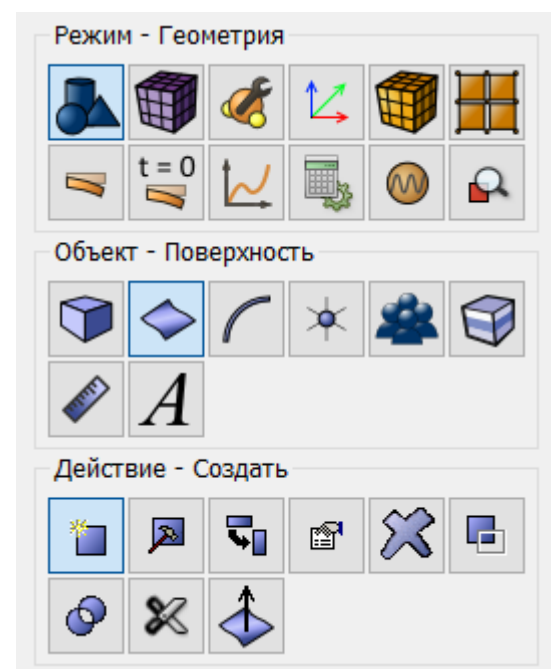
Из списка геометрических примитивов выберите Прямоугольник. Задайте размеры блока:

- Ширина: 10;
- Расположение: Z-плоскость;

Нажмите Применить.

### Построение сетки

Требуется построить сетку из 32\*32 линейных квадратных



элементов, как показано на рисунке с постановкой задачи.

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

Укажите степень измельчения сетки:

- Выбор кривых: all;
- Выберите способ построения сетки: Равномерно;
- Выберите параметры разбиения: Интервал;
- Интервал: 32 (см картинку);

Нажмите

Применить. Нажмите

Построить сетку.

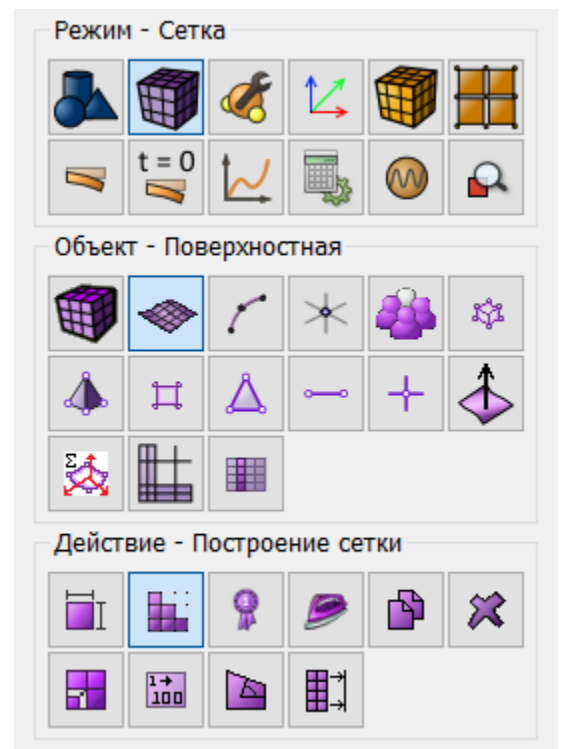
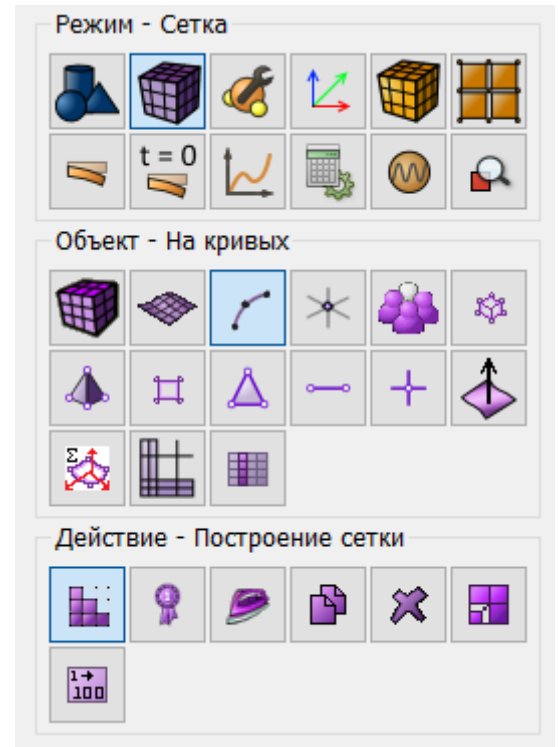
2. На панели команд выберите модуль построения поверхностной сетки (Режим — Сетка, Объект — Поверхностная, Действие — Построение сетки).

- Выберите объёмы (укажите их ID): 1 (или командой all);
- Выберите схему построения сетки: 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  $AB$  и  $CD$  вокруг  $X$ .

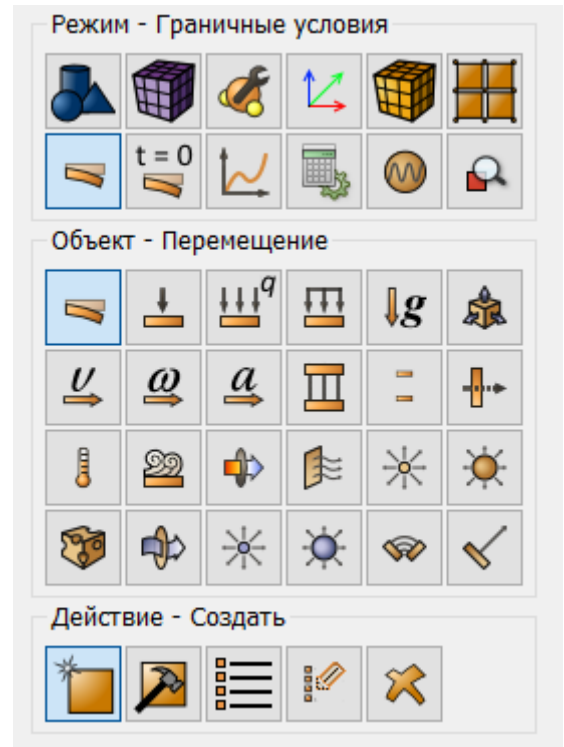
На панели команд выберите (Режим — Граничные условия, Объект — Перемещение, Действие — Создать). Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривые;
- ID объектов: 2 4 (через пробелы);
- Степени свободы: Вокруг  $X$ ;
- Величина: 0;

Нажмите Применить.

Закрепите рёбра  $BC$  и  $AD$  вокруг  $Y$ .

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



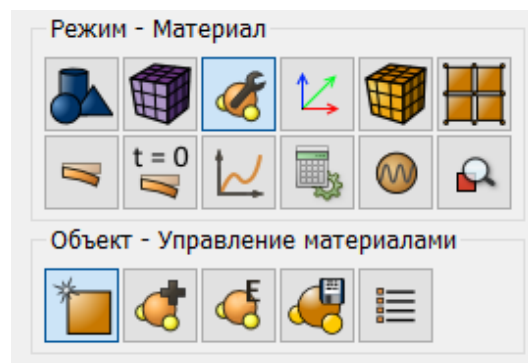
- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривые;
- ID объектов: 1 3 (через пробелы);
- Степени свободы: Вокруг Y;
- Величина: 0.

Нажмите Применить.

## Задание материала и свойств блока

1. Создайте материал.

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

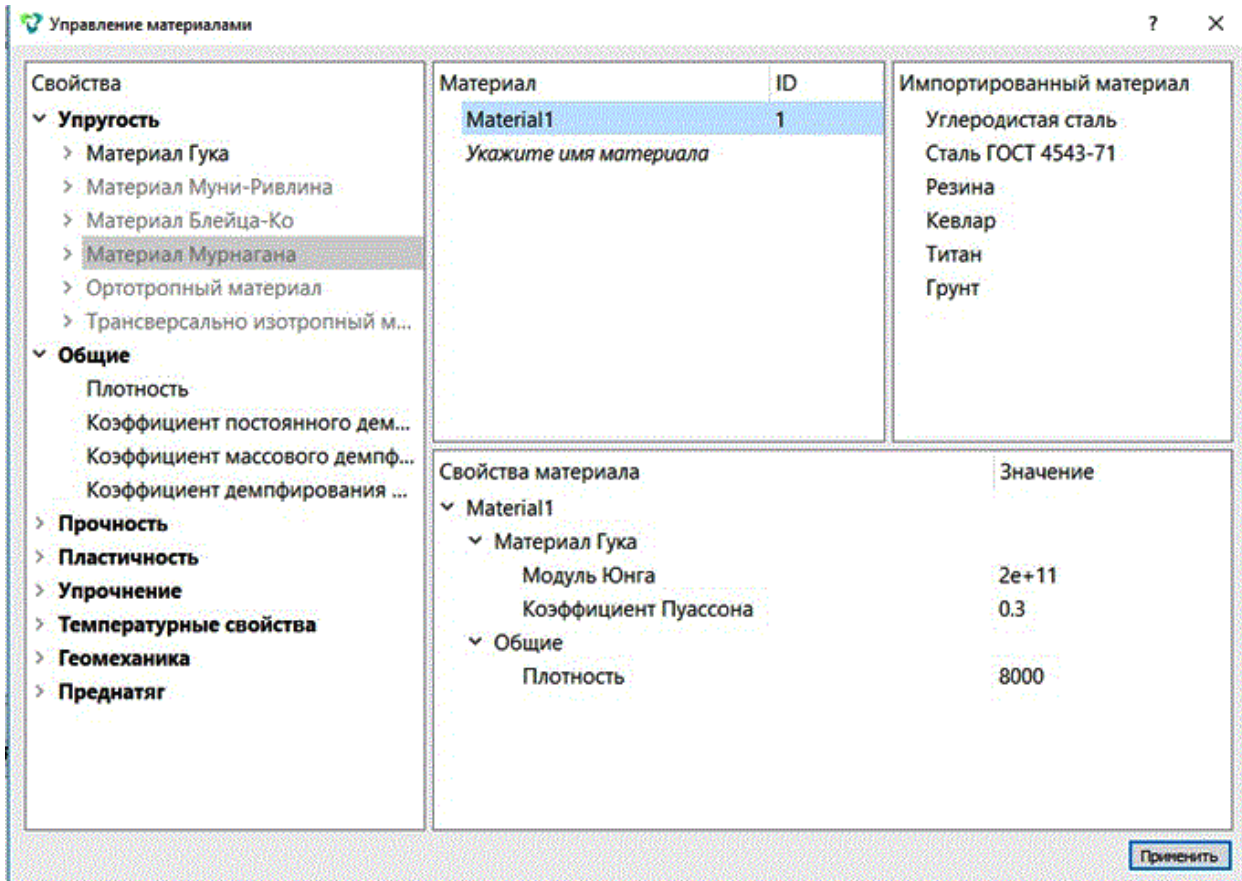


Укажите имя материала Material1.

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

- Модуль Юнга:  $2e11$ ;
- 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;

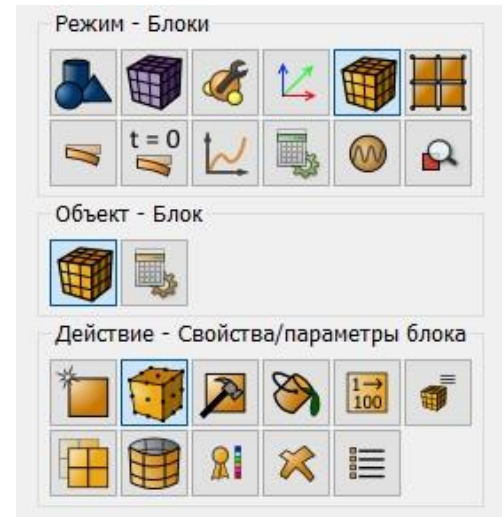
Нажмите Задать свойства оболочки.

Задайте следующие параметры:

- Толщина: 0.05;
- Эксцентриситет: 0.5;

Нажмите Применить.

Закройте окно Задать свойство балки. Нажмите Применить.



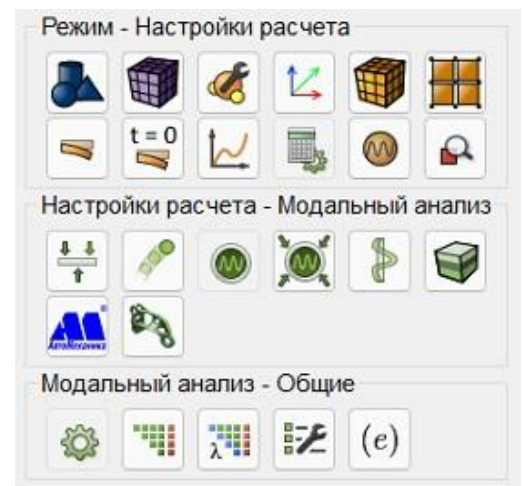
## Запуск расчёта

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

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим — Настройки расчёта, Настройки расчёта — Модальный анализ, Модальный анализ — Общие). Оставьте все параметры по умолчанию. Нажмите Применить. Нажмите Начать расчёт.

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

3. В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: "Calculation finished successfully at "date" "time", а также будут выведены требуемые значения собственных значений и частот.





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 Расчёт - 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:

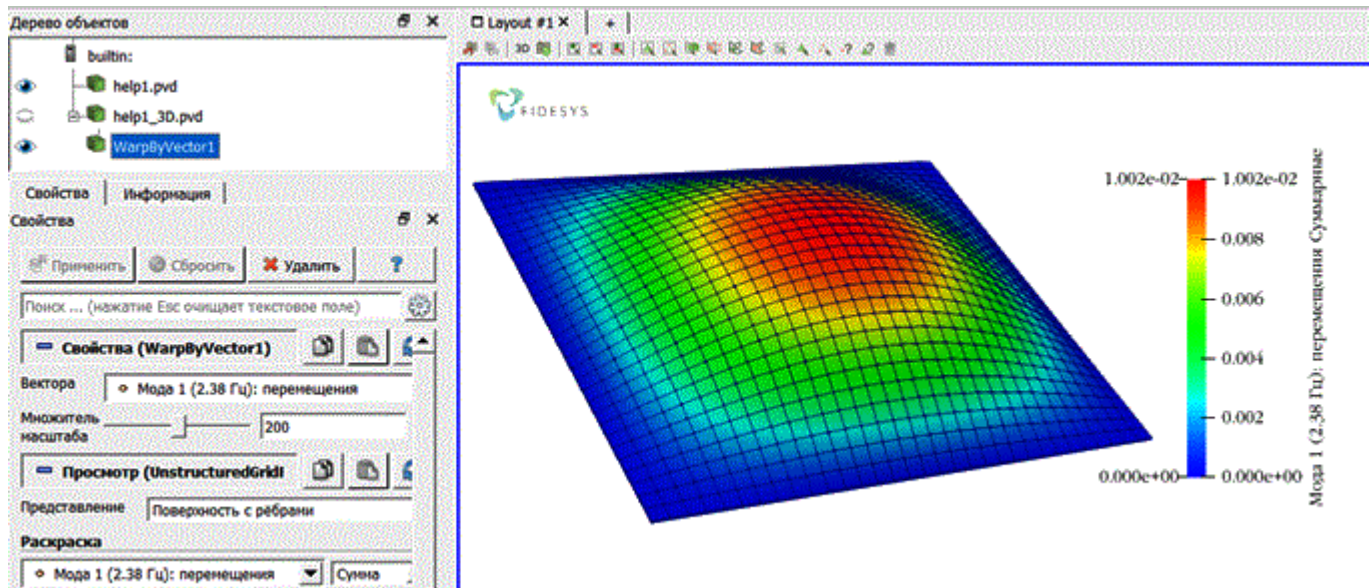
- Вектора: Мода 1 (2.38Гц): Перемещение;
- Множитель масштаба: 200.

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.

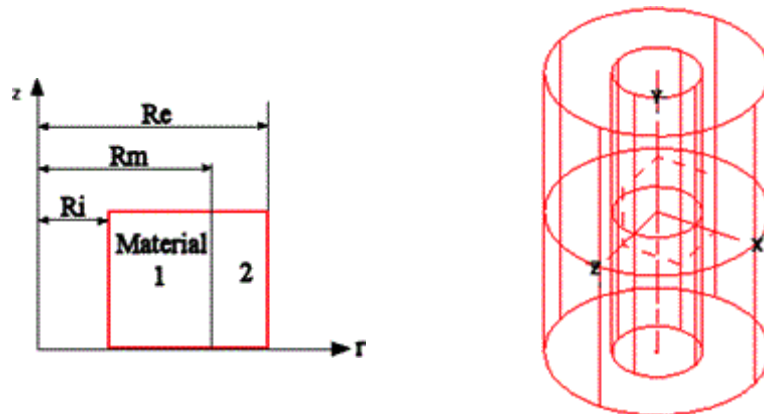


Запустите файл *modal\_shell.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

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

Рассматривается трёхмерная задача о полой цилиндрической оболочке, сделанной из двух материалов, на внутреннюю и внешнюю поверхность которой 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  $\lambda_1 = 40$  Вт/(м •°С). Коэффициент теплопроводности материала №2  $\lambda_2 = 20$  Вт/(м •°С).

Критерий прохождения теста:

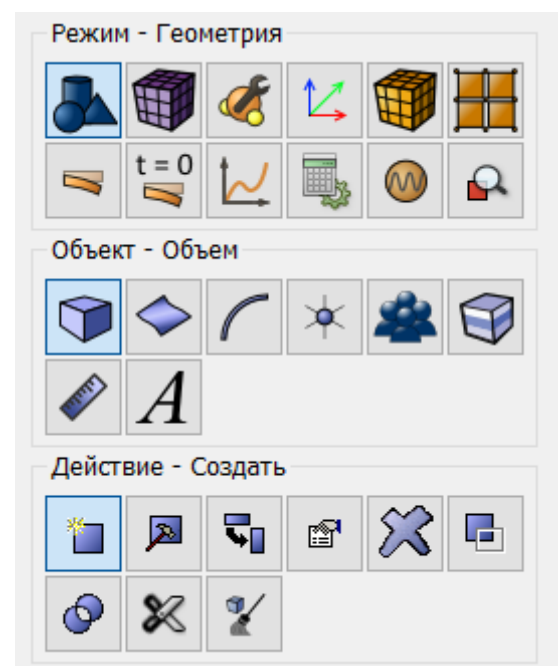
в точке (0.3;0;0) тепловой поток  $q = 6\,687$  Вт/м<sup>2</sup> с точностью 1 %.

### 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.

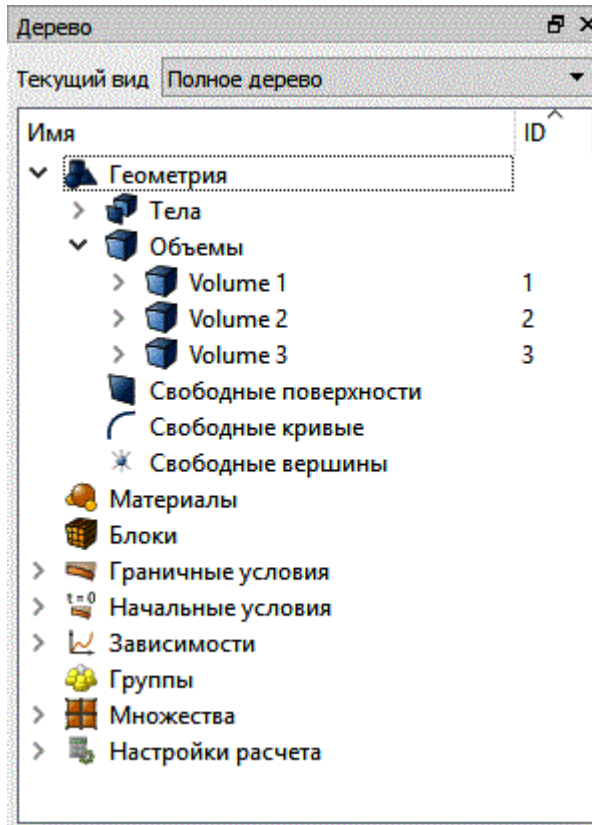
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — Геометрия, Объект — Объём, Действие — Создать). Из списка геометрических примитивов выберите Цилиндр.

Задайте размеры цилиндра:

- Высота: 0.01;
- Круговой;
- Радиус: 0.37;

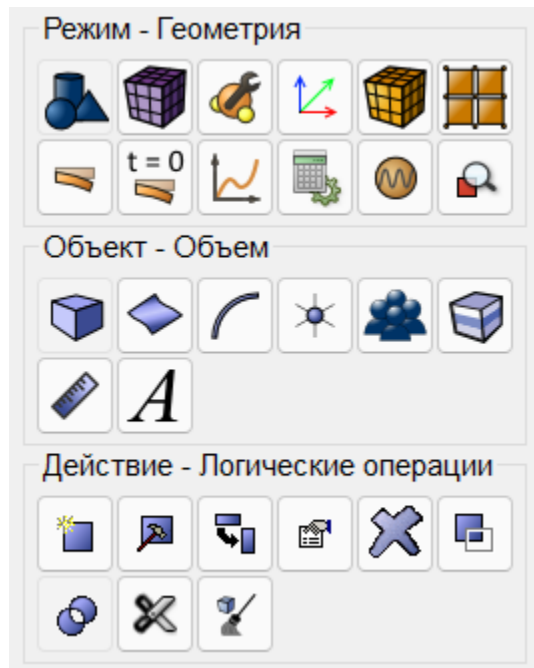
Нажмите Применить.

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 Вычтеть. 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.

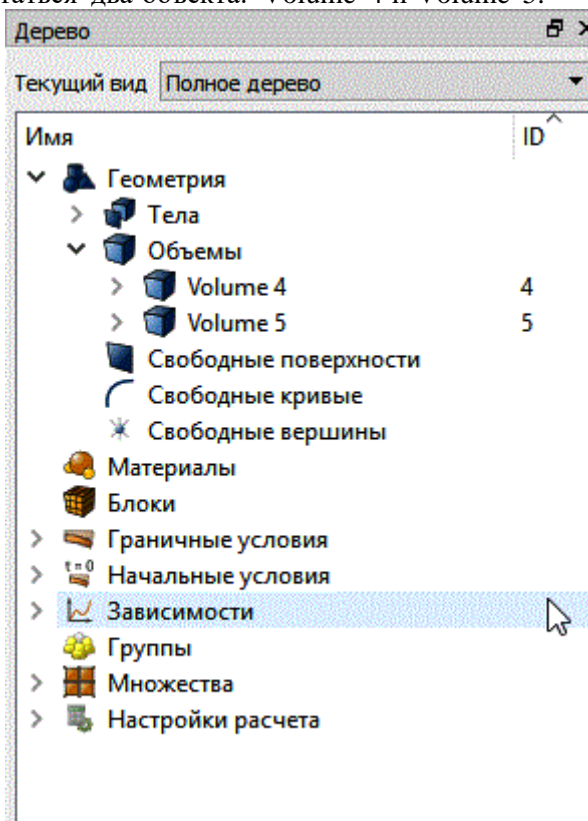
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — Геометрия, Объект — Объём, Действие — Логические операции). Из списка операций выберите Вычесть. Задайте следующие параметры:

- ID тел: 3 (объёмы, из которых будут вычтены другие объёмы);
- Вычесть тела (ID): 2 (объёмы, которые будут вычтены);
- Сохранять оригиналы;

Нажмите Применить.

В результате в дереве объектов отобразится пять объектов: Volume 1, Volume 2, Volume 3, Volume 4 и Volume 5. Удалите первые три тела, щёлкнув на них правой кнопкой мыши и выбрав пункт Удалить.

В дереве объектов должно остаться два объекта: Volume 4 и Volume 5.



6. Срастите полученные объекты.

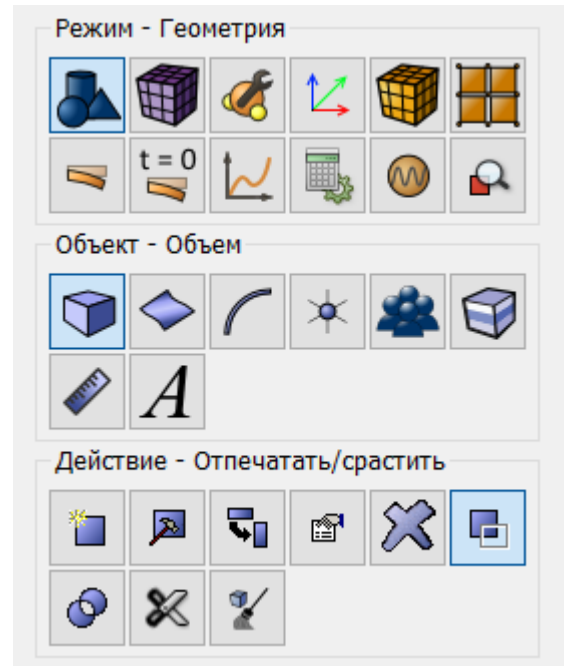
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — Геометрия, Объект —

Объём, Действие — Отпечатать/срастить) .

Из списка операций выберите Срастить. Задайте следующие параметры:

- ID тел: 4 5 (объёмы, которые будут объединены);

Нажмите Применить.



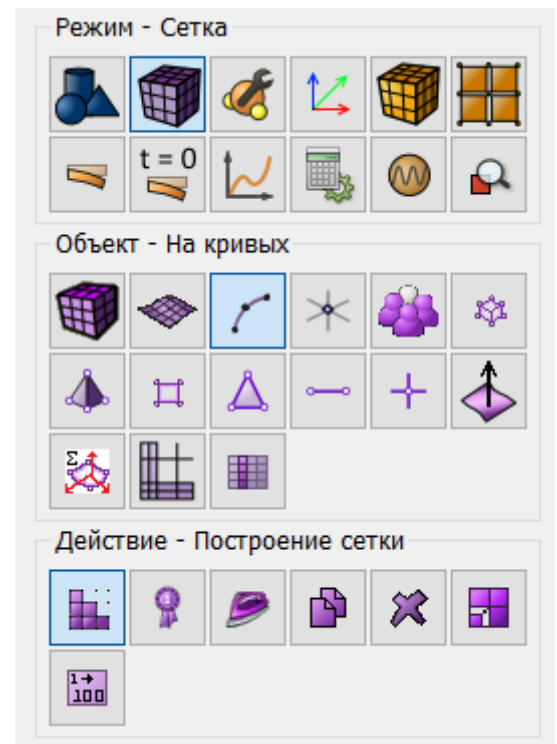
## Построение сетки

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

Укажите степень измельчения сетки:

- Выбор кривых: all (сетка будет построена на всех кривых);
- Выберите способ построения сетки: Равномерно;
- Выберите параметр построения сетки: Интервал;
- Укажите размер интервала: 200;

Нажмите Применить.



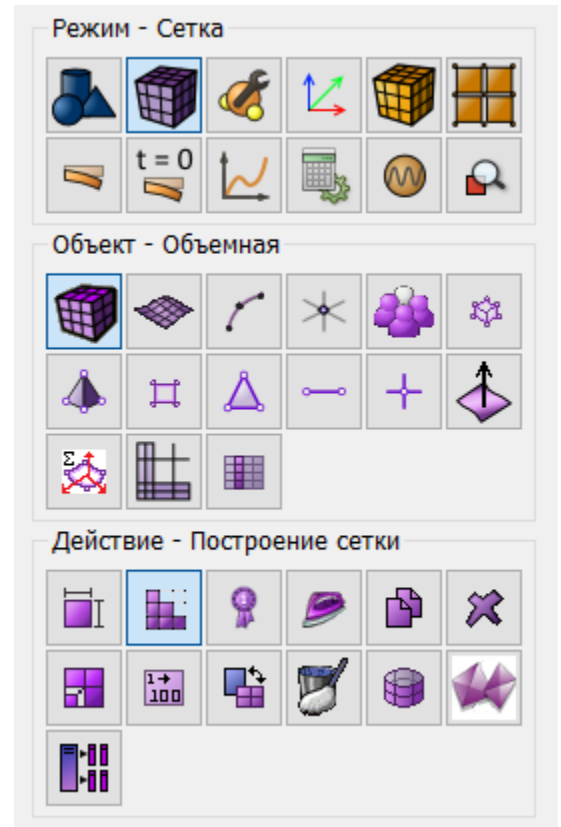
2. На панели команд выберите модуль построения объёмной сетки (Режим — Сетка, Объект —

Объёмная, Действие — Построение сетки).

Укажите степень измельчения сетки:

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

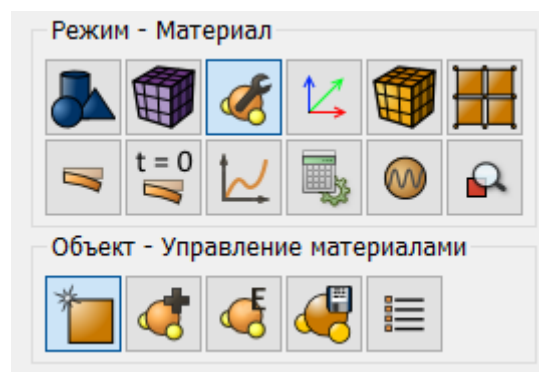
Нажмите Применить схему. Нажмите Построить сетку.



### Задание материала и типа элемента

1. Создайте материал 1.

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



Укажите имя материала Material 1. Выберите в левой колонке в разделе Температурные свойства пункт Температурные изотропные, затем перетащите надпись Коэффициент теплопроводности в колонку Свойства материала. Задайте следующие параметры:

- Коэффициент теплопроводности: 40;

Нажмите Применить.

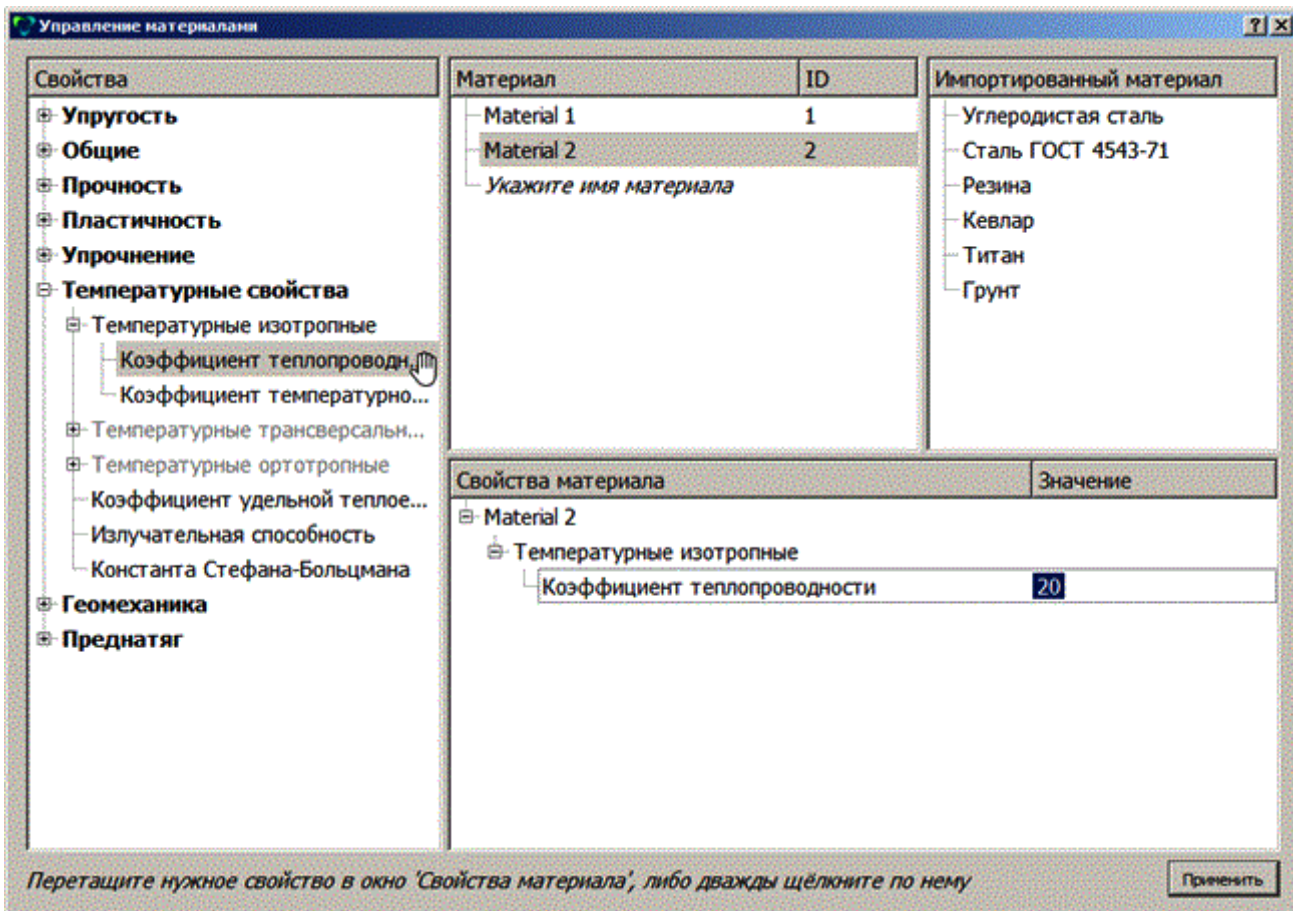


## 2. Создайте материал 2.

На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — Материал, Объект — Управление материалами). Укажите имя материала Material 2. Выберите в левой колонке в разделе Температурные свойства пункт Температурные изотропные, затем перетащите 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).

Задайте следующие параметры:

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

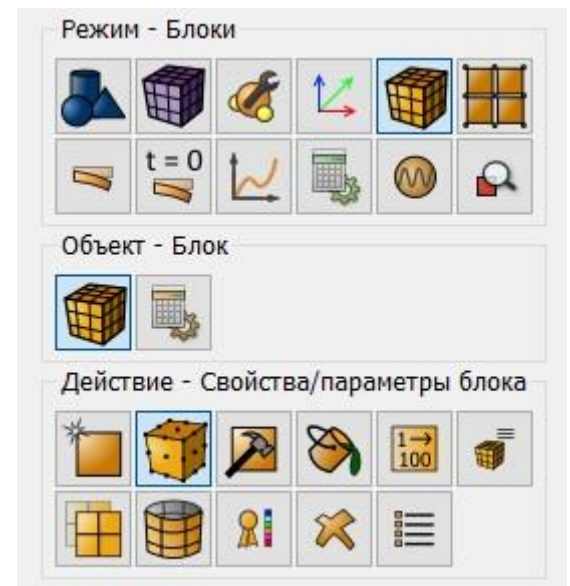
#### 6. Задайте параметры блока №2.

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.

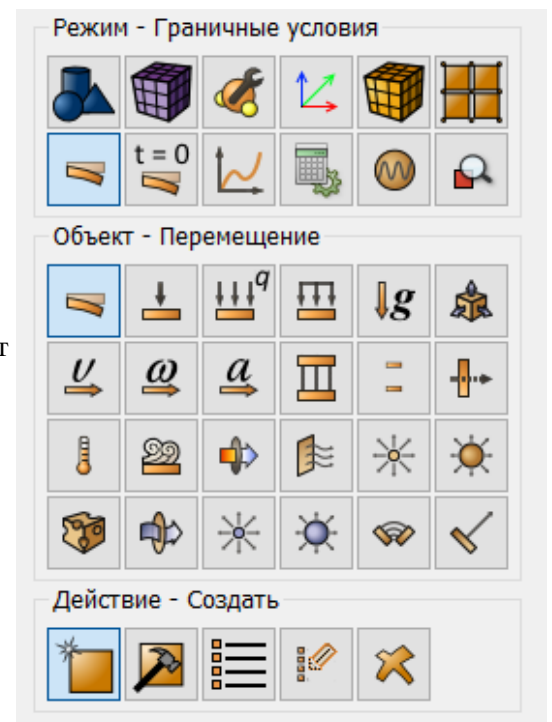
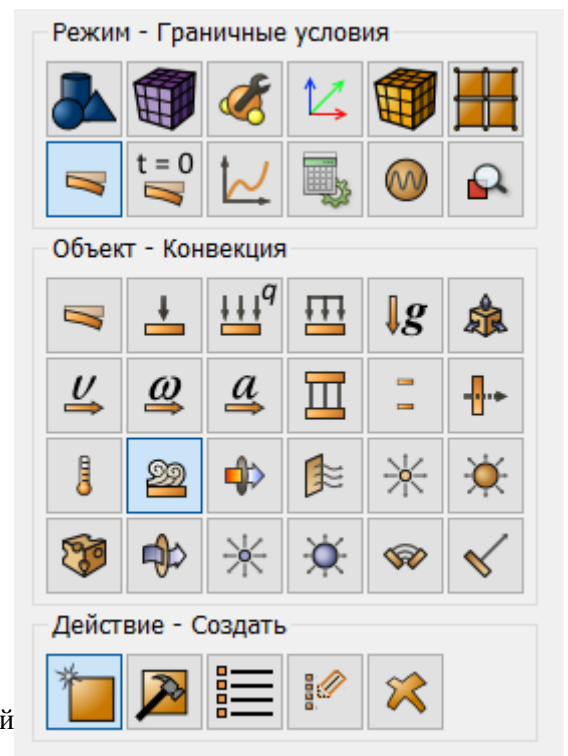
3. Зафиксируйте основания цилиндра.

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, Статический — Общие).

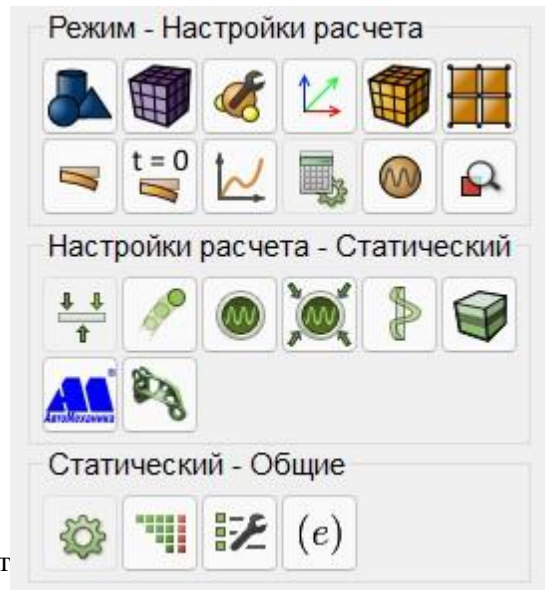
Выберите:

- 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 Расчёт - Результаты. Нажмите Открыть последний результат.
- На панели команд выберите менеджер расчётов (Режим — Менеджер расчётов, Менеджер расчётов — Результаты). Нажмите Открыть результаты.



2. Отобразите компоненту теплового потока.

В окне FidesysViewer 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.

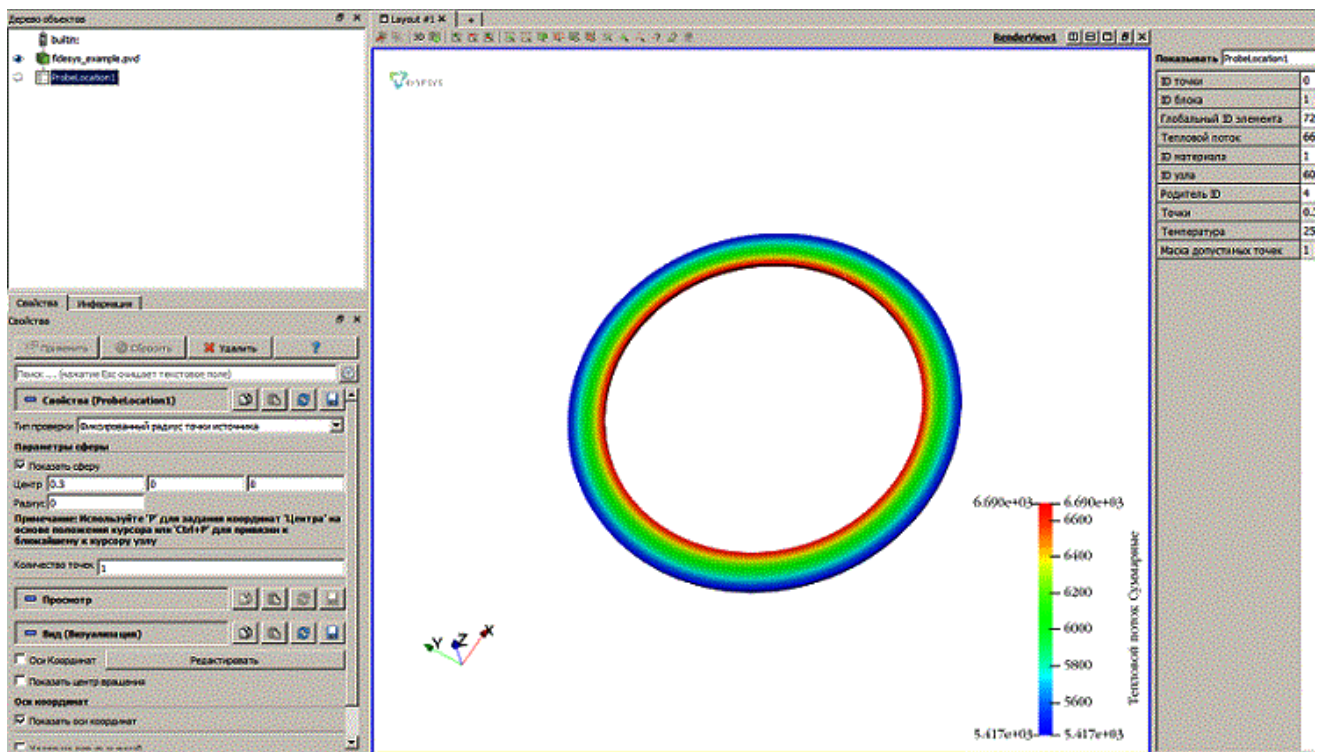
В главном меню выберите фильтр Проверить расположение. Во вкладке Свойства установите координаты точки А, в которой требуется проверить напряжение:

- 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. В результате на рисунке отобразится точка А.



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.

По следующей формуле вычислим значение теплового потока

Массивы данных		
Текущее время данных: 1		
Имя	Тип данных	Диапазоны данных
ID блока	[1, 1]	
Глобальный ID элемента	[723, 723]	
Тепловой поток	[6686.47, 6686.47], [6686.47, 6686.47], [-0.00143302, -0.00143302], [8.33643e-11, 8.33643e-11]	
ID материала	[1, 1]	
ID узла	[6045, 6045]	
Родитель ID	[4, 4]	
Температура	[25.4127, 25.4127]	
Маска допустимых точек	[1, 1]	

$$\sqrt{\varphi_x^2 + \varphi_y^2 + \varphi_z^2} = \sqrt{6686.47^2 + (-0.00143302)^2 + (8.33643e-11)^2} = 6686.47$$

Полученное значение 6686.47 отличается от требуемого 6 687 на 0.01%.

5. Выгрузите числовые данные.

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

### **Использование консольного интерфейса**

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса.

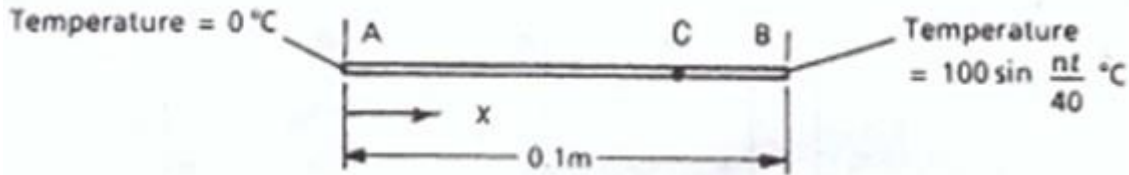


Запустите файл *thermal\_conductivity.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл → Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

## Динамическое нагружение: Нестационарная теплопередача (объёмная модель, неявная схема)

Рассматривается трёхмерная задача об одномерной нестационарной теплопередаче внутри балки.

Геометрическая модель задачи представлена на рисунке ниже:



Длина балки - 0.1 м, сечение квадратное, 0.01x0.01м. Температура в точке А  $T_A = 0\text{ °C}$ ,

температура в точке В изменяется по гармоническому закону:  $T_B = 100 \sin \pi t/40\text{ °C}$ .

Параметры материала: изотропный,  $V = 35\text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ ,  $C = 440.5\text{ Дж/(кг} \cdot \text{°C)}$ ,  $\rho = 7\,200\text{ кг/м}^3$ .

Критерий прохождения теста: температура  $T$  в точке С (0.8;0;0) в момент времени  $t = 32\text{ с}$  равна  $36.60\text{ °C}$  с погрешностью 2%.

### Построение модели

1. Создайте вытянутый параллелепипед.

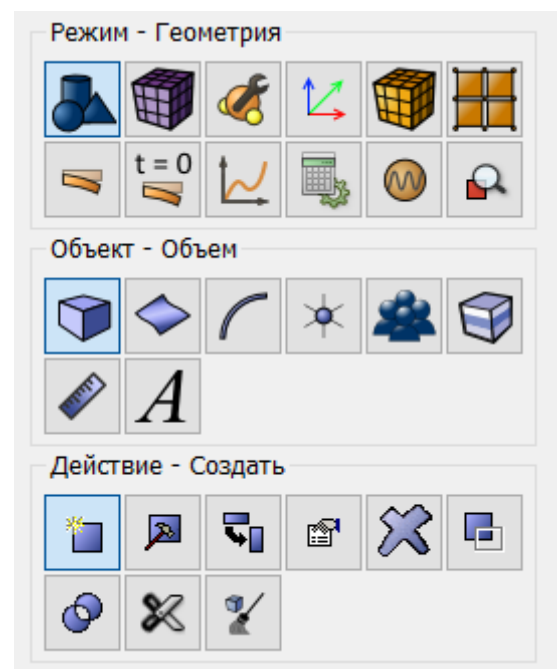
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — Геометрия, Объект — Объём, Действие — Создать).

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*

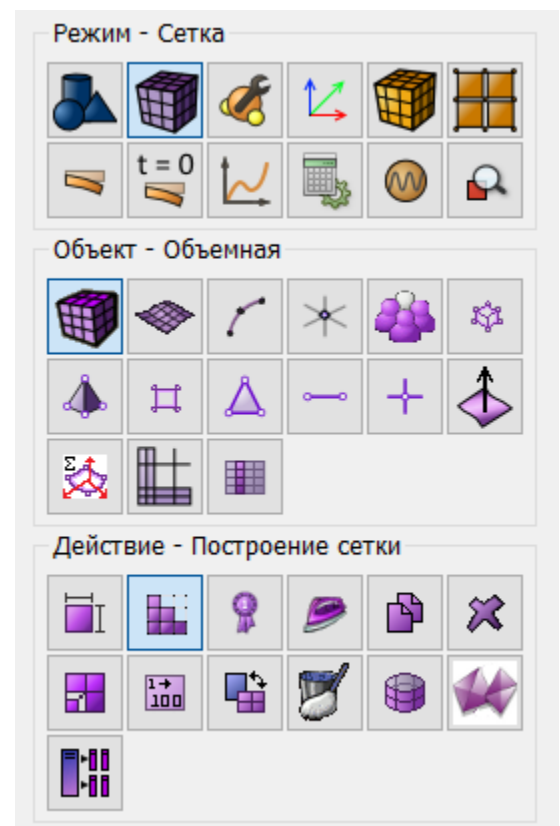
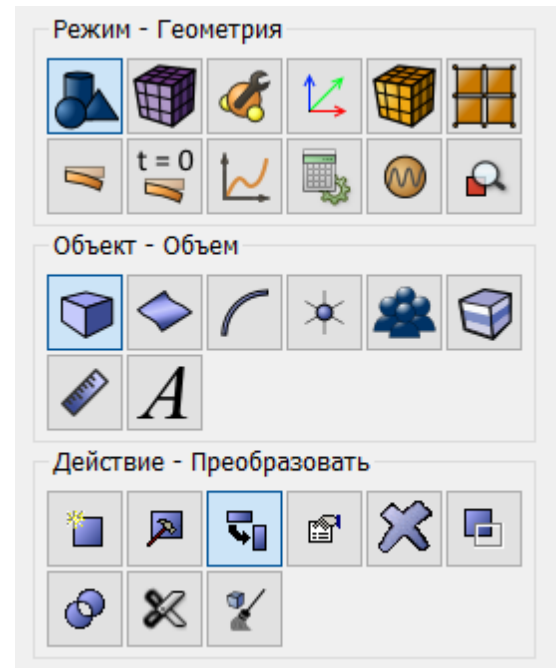
1. Укажите схему построения сетки.

На панели команд выберите модуль построения объемной сетки (Режим — Сетка, Объект — Объемная, 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:

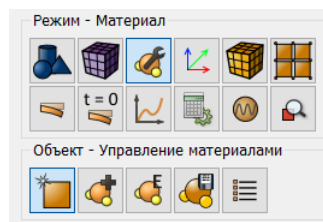
- Выберите в выпадающем списке Задать размер;
- Выберите объёмы (укажите их ID): 1 (или командой all);
- Примерный размер: 0.001;

Нажмите Применить  
схему. Нажмите  
Построить сетку.

### Задание материала и свойств блока

1. Создайте материал.

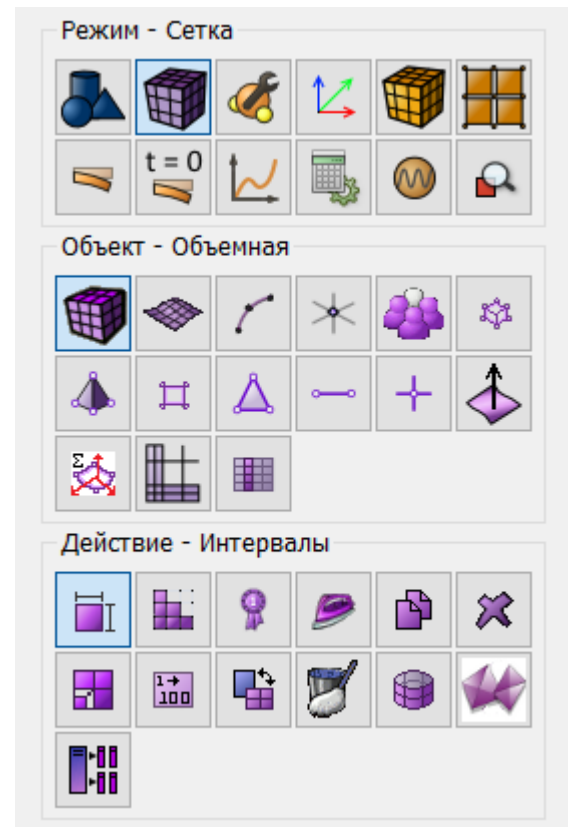
На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — Материал, Объект — Управление материалами).

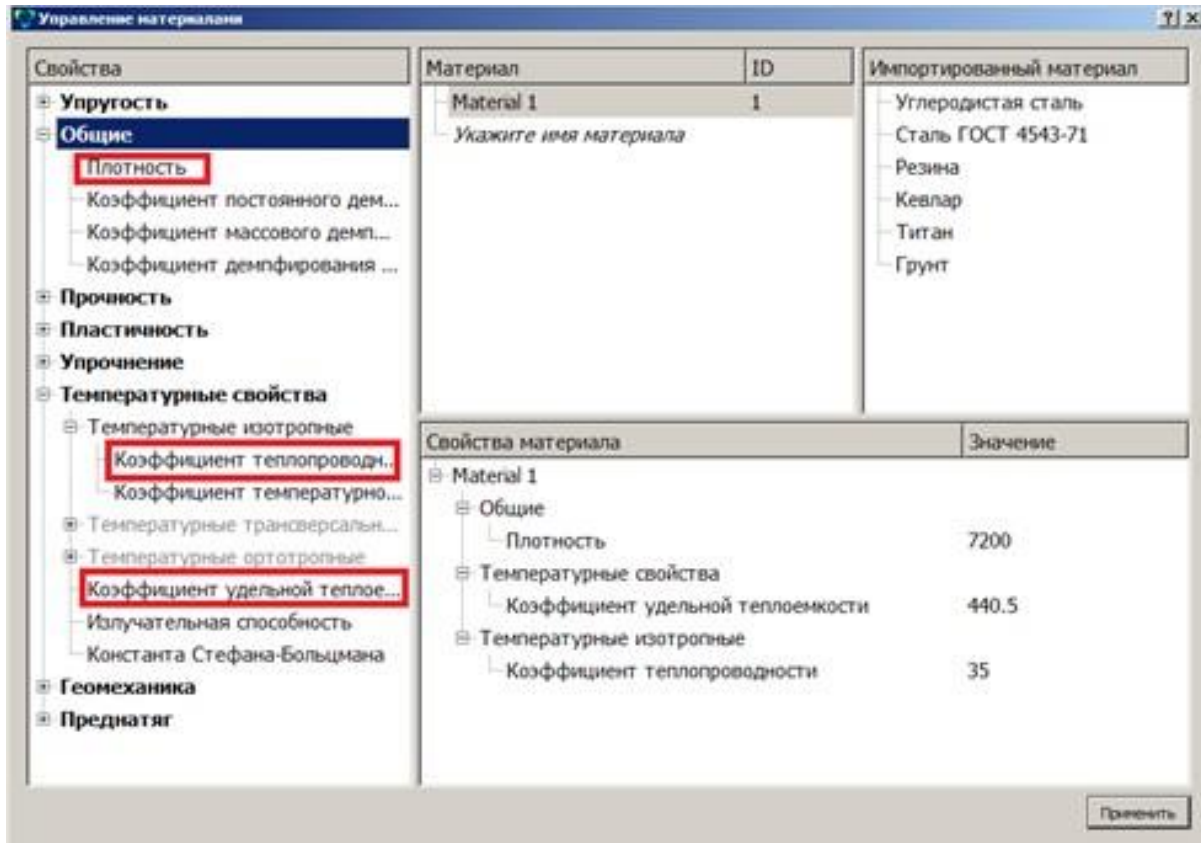


В виджете Управление материалами введите название для материала и задайте следующие параметры:

- 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: Объём;
- ID: 1 (или командой all);

Нажмите Применить.

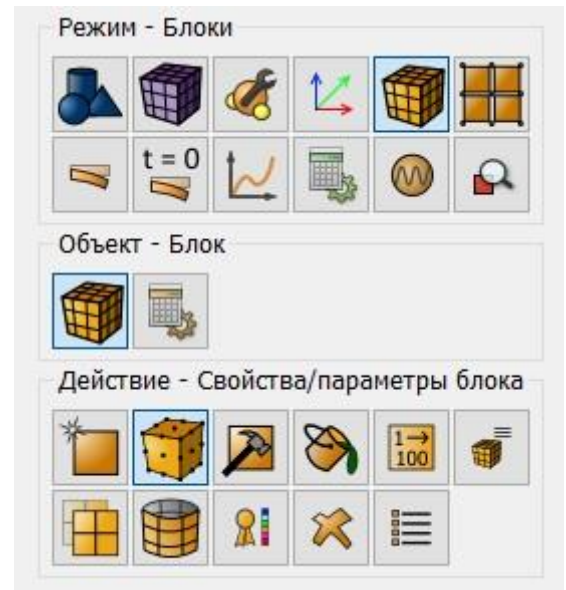
### 3. Задайте параметры блока.

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: 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;

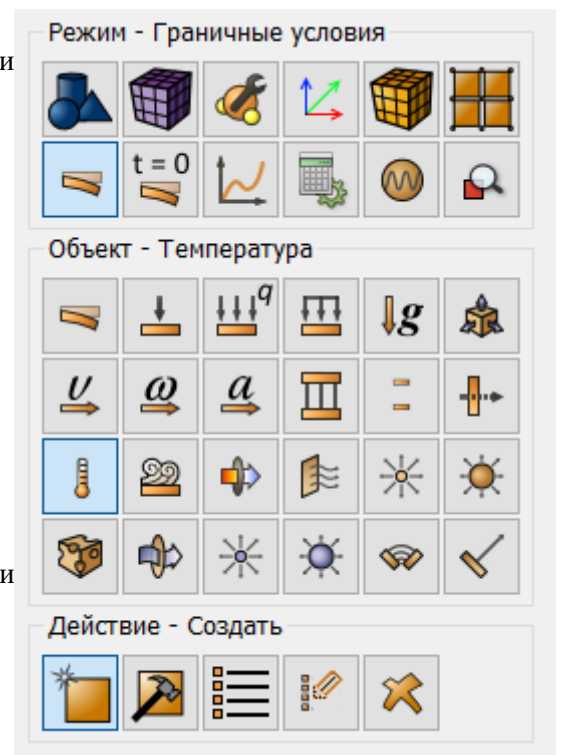
Нажмите Применить.

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

На панели команд выберите (Режим — Граничные условия, Объект — Температура, Действие — Создать). Задайте следующие параметры:

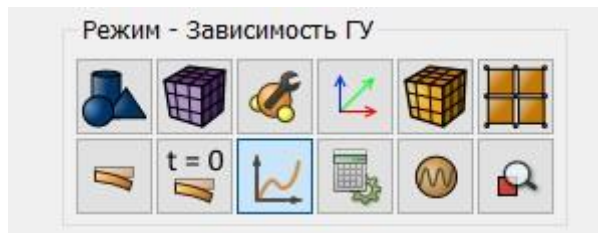
- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 6;
- Значение температуры: 1.

Нажмите Применить.



## Задание зависимости ГУ от времени

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



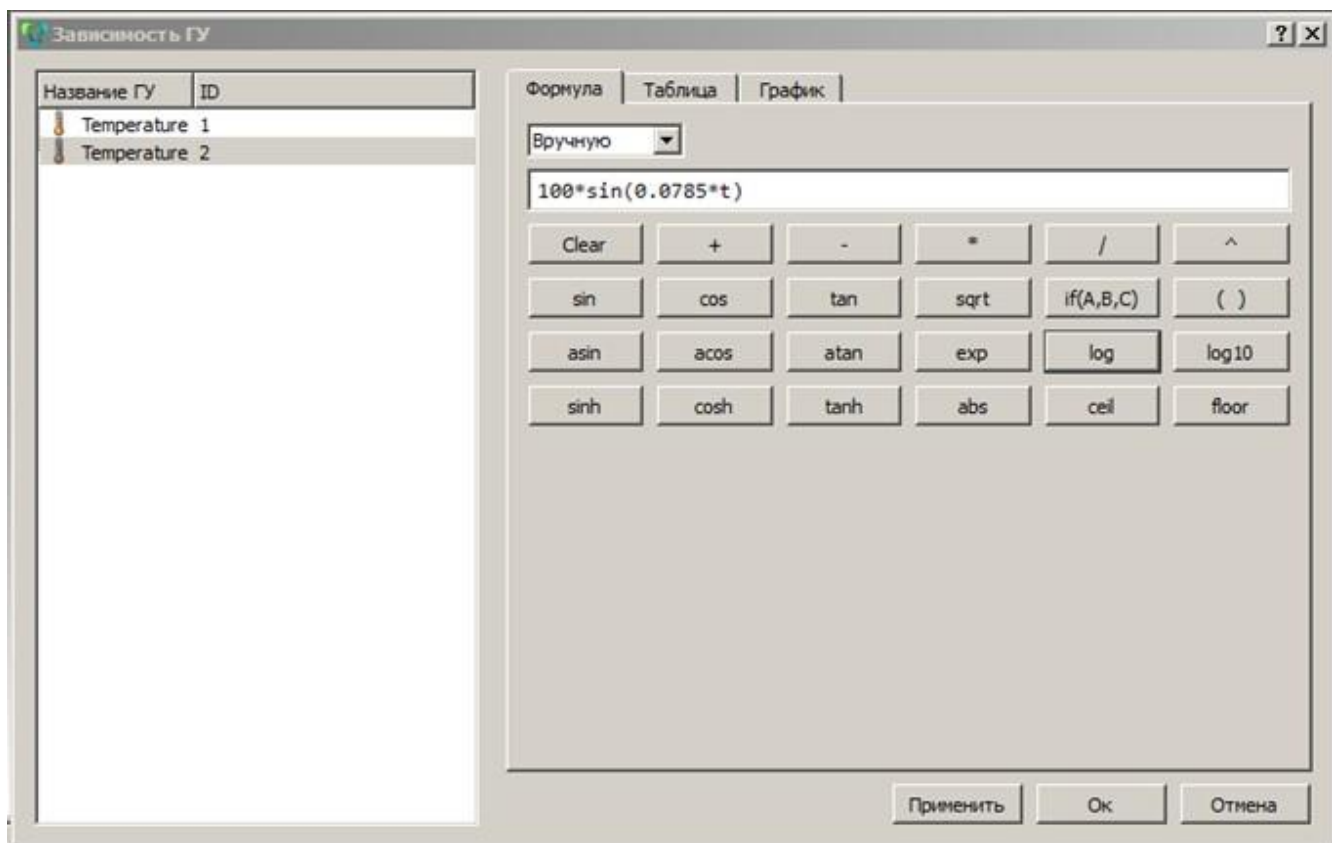
Появится окно с настройками.

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

2. Задайте следующие параметры:

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

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;
- Преднагруженная модель: уберите галочку;
- 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.

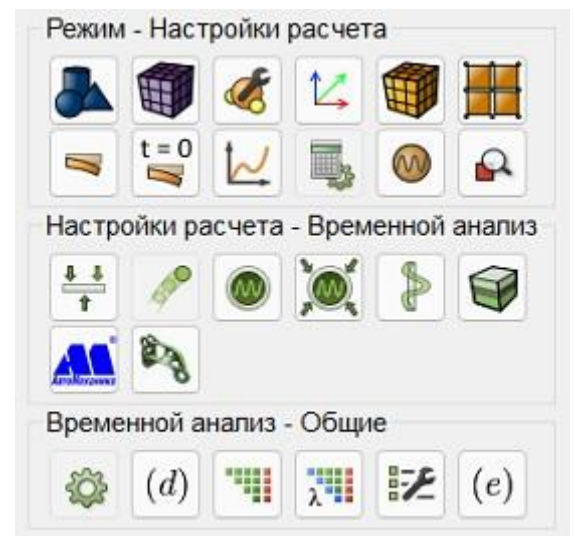
В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: “Calculation finished successfully at "date" "time"”.

## Анализ результатов

1. Откройте файл с результатами.

Это можно сделать тремя способами:

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



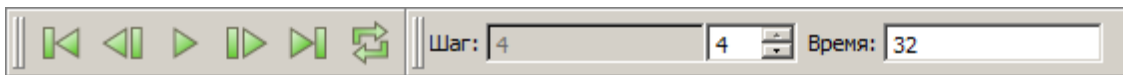
Нажмите Открыть последний результат.



Появится окно FidesysViewer, в котором вы сможете ознакомиться с результатами расчёта.

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.

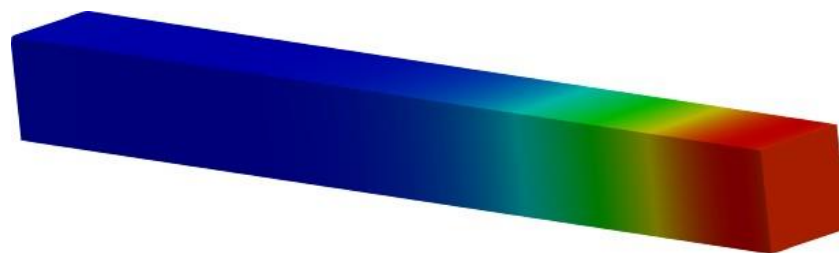
На панели инструментов установите следующие параметры:

- 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.

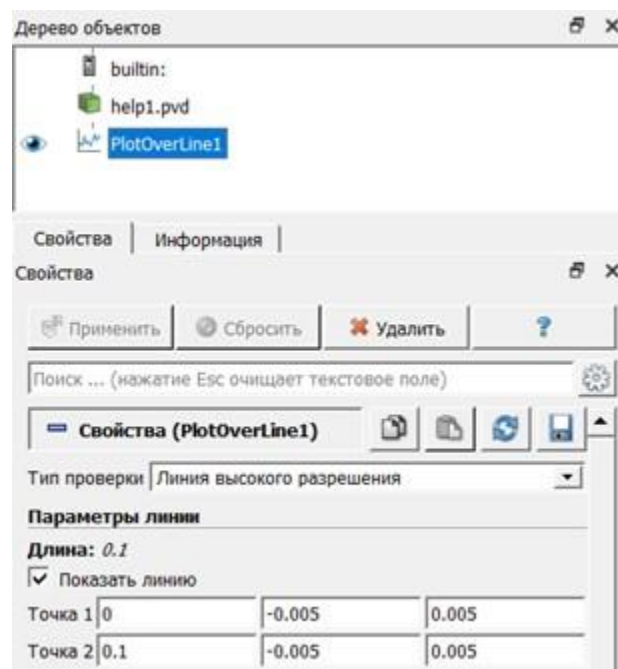



3. Постройте график вдоль одного из рёбер балки.

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.

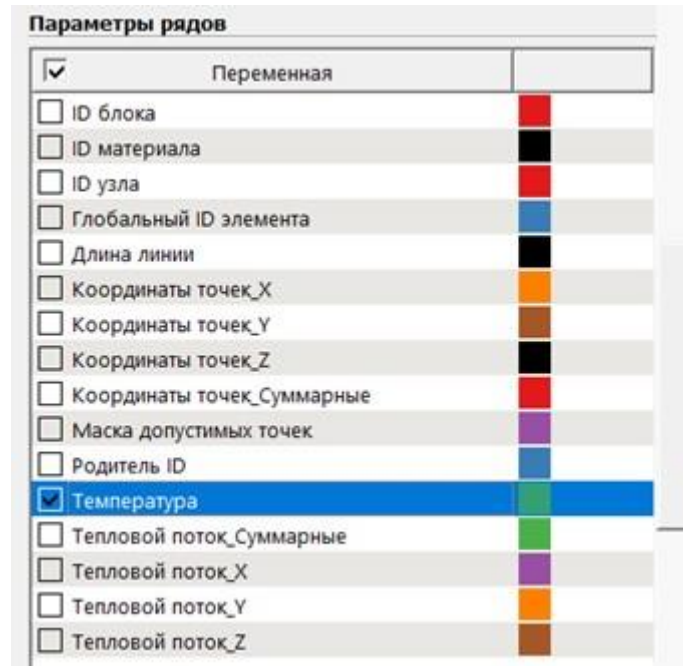


 Для автоматического применения изменений всех фильтров нажмите на соответствующую кнопку Автоматически применять изменения на панели команд.

4. Отобразите на графике изменение температуры.

Кликните по окну с графиком, затем перейдите к вкладке «Просмотр» в панели управления фильтра. В разделе Параметры рядов поставьте галочку только рядом с пунктом «Температура». Остальные настройки оставить по умолчанию.

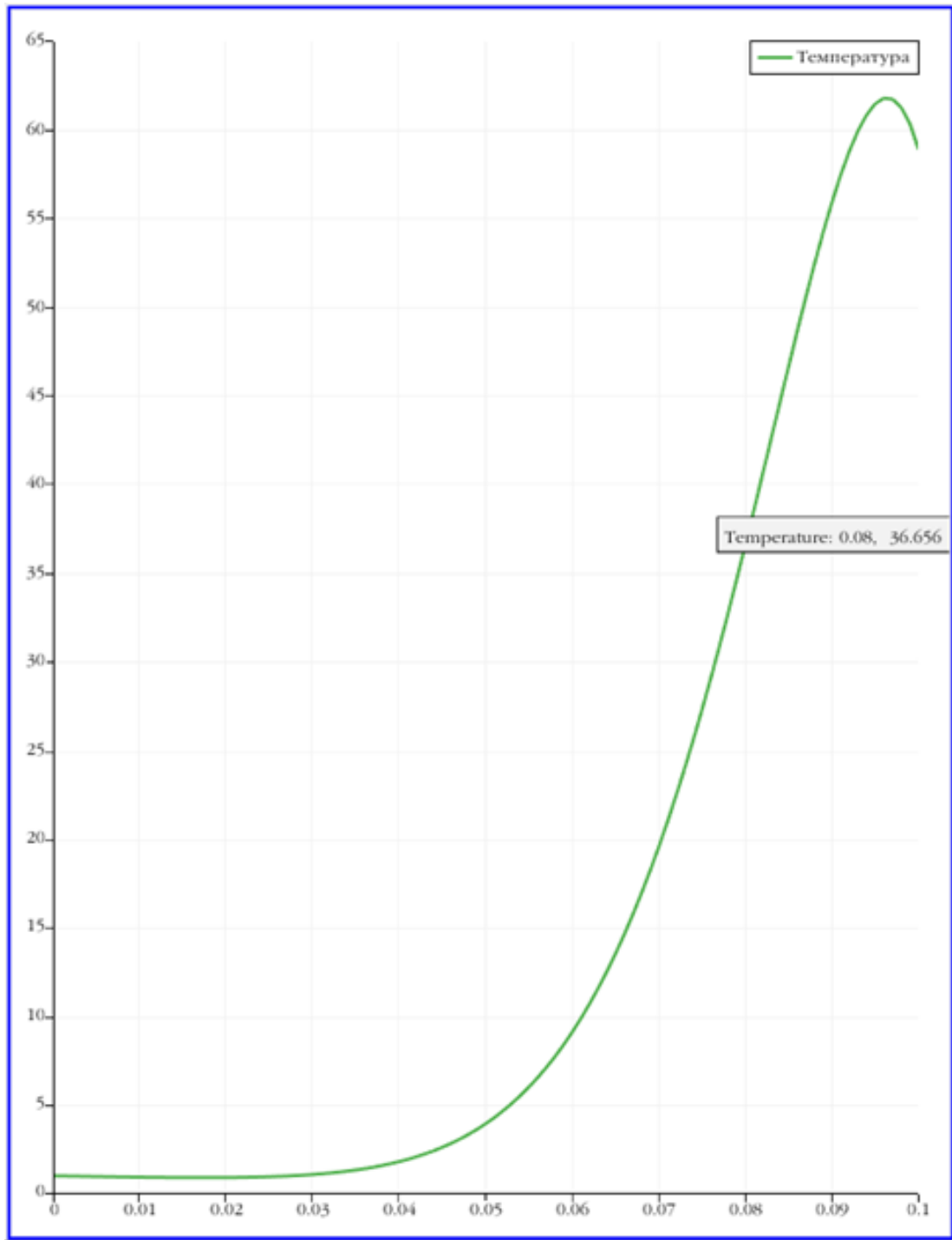
На графике отобразится зависимости температуры в точках, принадлежащих ребру балки, от координат этих точек.



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 36.6617 отличается от требуемого 36.60 на 0.17%.





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***

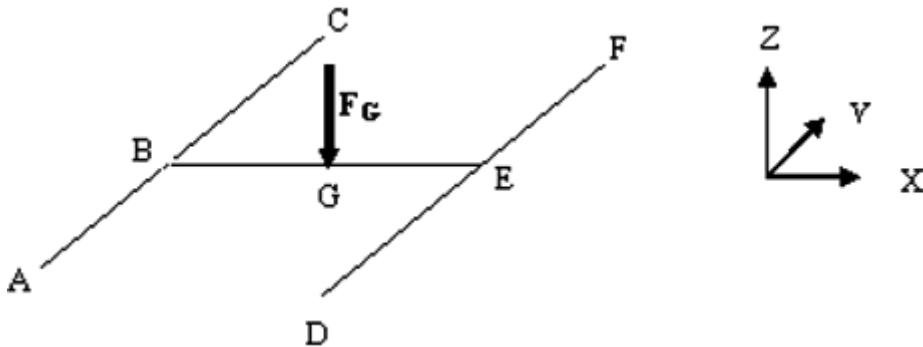
Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса.



Запустите файл *tutorial\_dynamics\_thermo.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

## Гармонический анализ (балки)

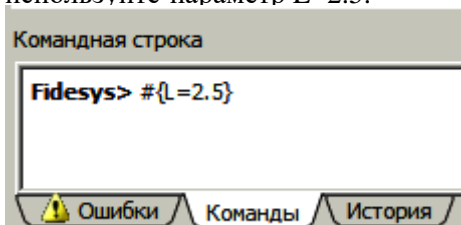
Рассматривается пример с балочной конструкцией. задается конструкционное демпфирование.



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.

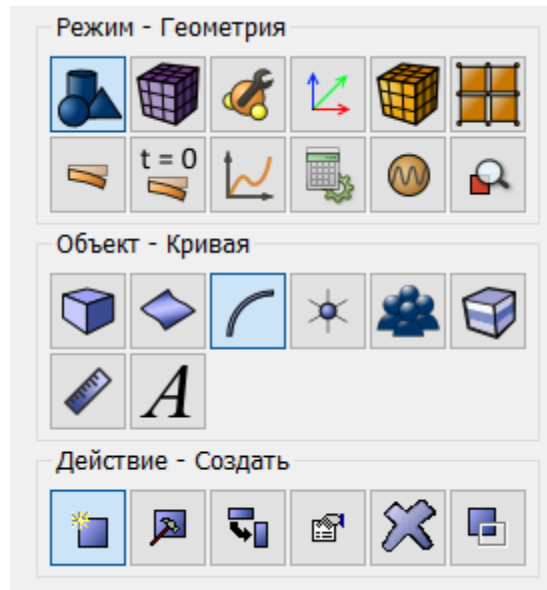
### Построение модели

1. Создайте конструкцию и 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, Положение и направление. Далее, укажите необходимые данные для создания первой линии:

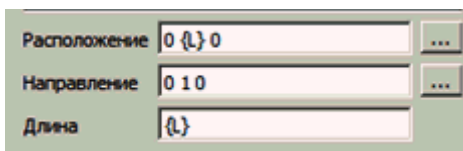
- Расположение: 0 0 0 (через пробел);
- Направление: 0 1 0;
- Длина: {L};

Нажмите Применить.

Укажите необходимые данные для создания второй линии:

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

Нажмите Применить.



Укажите необходимые данные для создания третьей линии:

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

Нажмите Применить.

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

Укажите необходимые данные для создания четвертой линии:

- Расположение:  $\{L\} \{L\} 0$ ;
- Направление:  $1 0 0$ ;
- Длина:  $\{L\}$ ;

Нажмите Применить.

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

Укажите необходимые данные для создания пятой линии:

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

Нажмите Применить.

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

Укажите необходимые данные для создания шестой линии:

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

Нажмите Применить.

Расположение	{2*L} {L} 0	...
Направление	0 1 0	...
Длина	{L}	

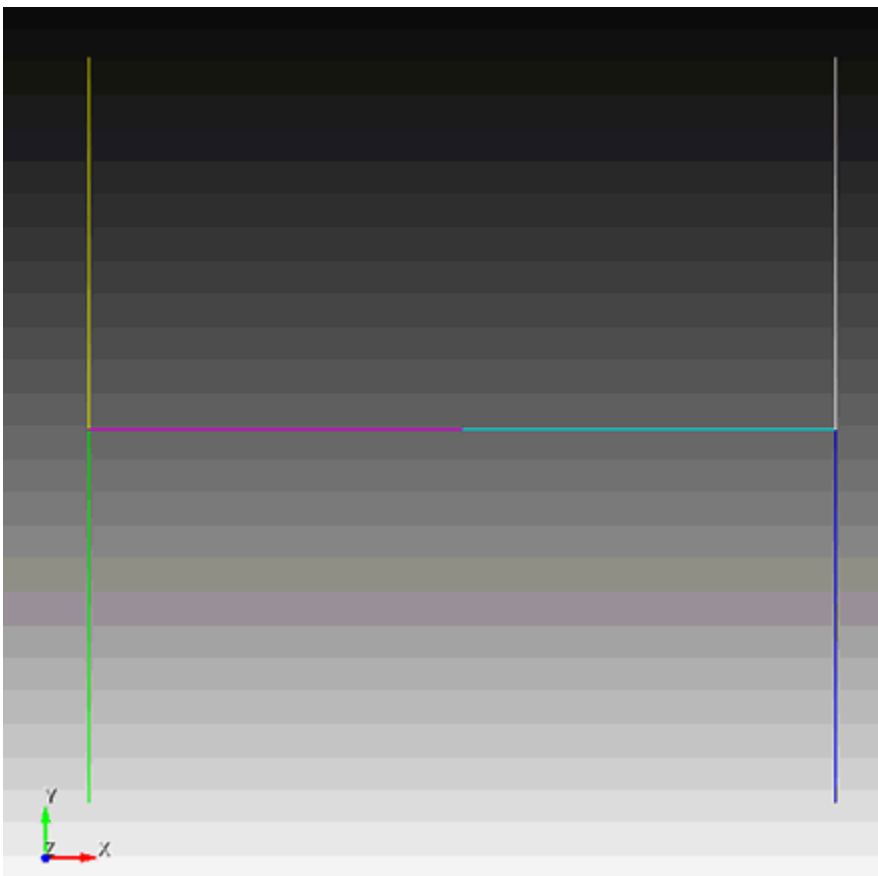
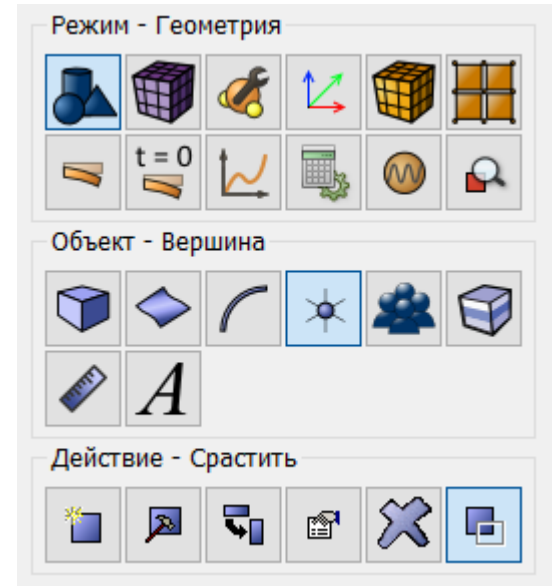
Срастите вершины на полученных балках. На панели инструментов выберите модуль построения вершин (Режим — Геометрия, Объект — Вершина, Действие — Срастить).

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:

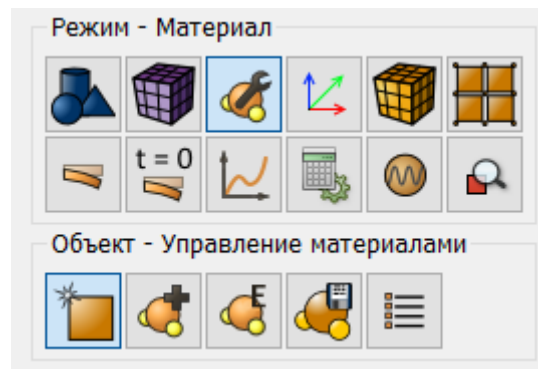
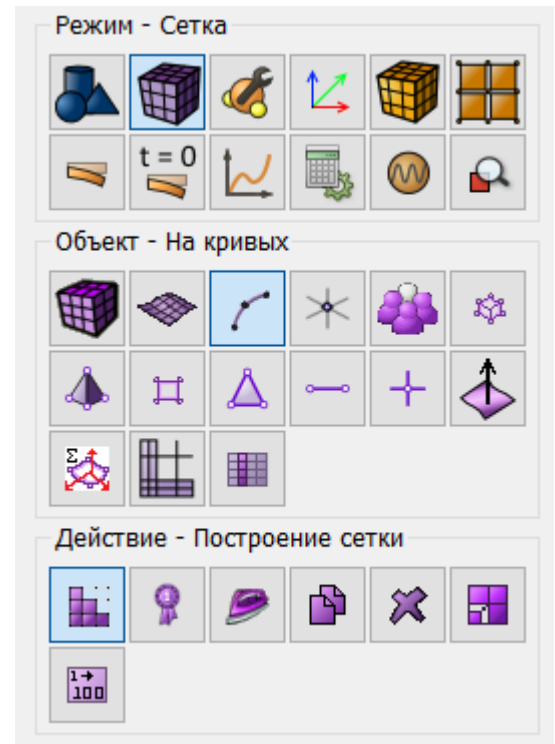
- Выбор кривых: all;
- Равномерно;
- Примерный размер;
- Примерный размер: 0.1;

Нажмите Применить. Нажмите Построить сетку.

## Задание материала и типа элемента

1. Создайте материал.

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

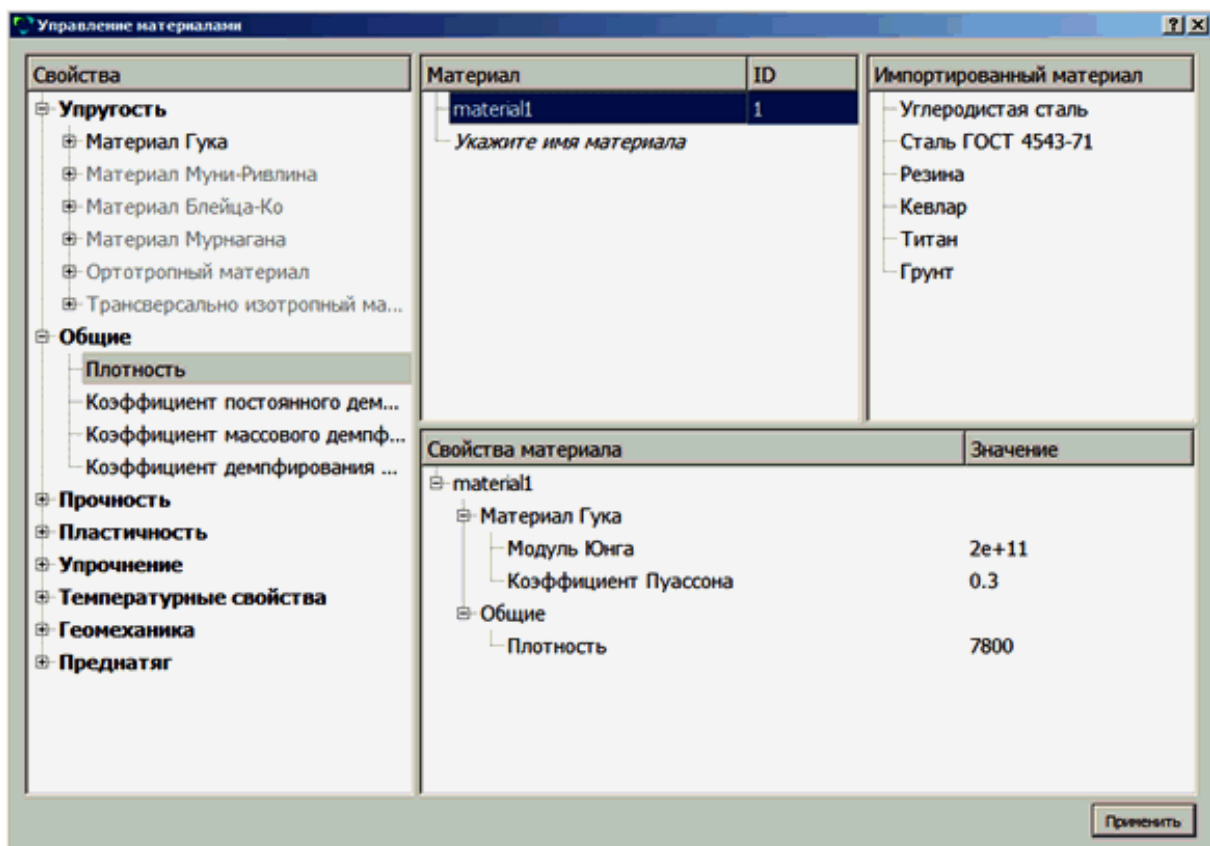


В открывшемся виджете Управление материалами в средней колонке укажите имя материала material1. В колонке свойств откройте список Упругость и перетащите название Материал Гука в колонку Свойства материала. Заполните свойства следующим образом:

- 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:

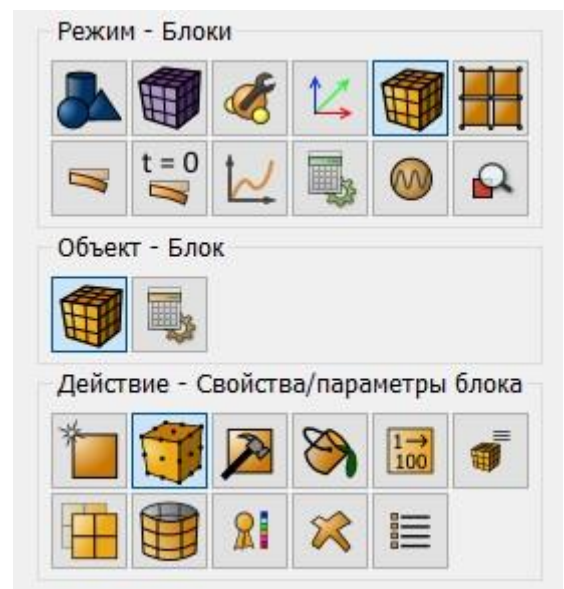
- ID блока(ов): 1;
- Материал: Material 1;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Балка;
- Порядок: 1;

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).

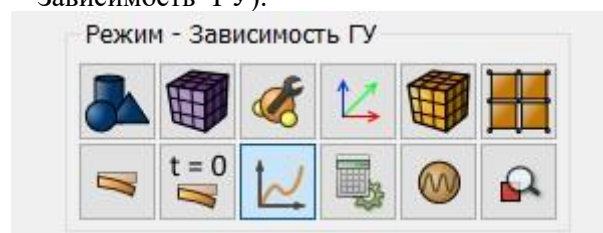
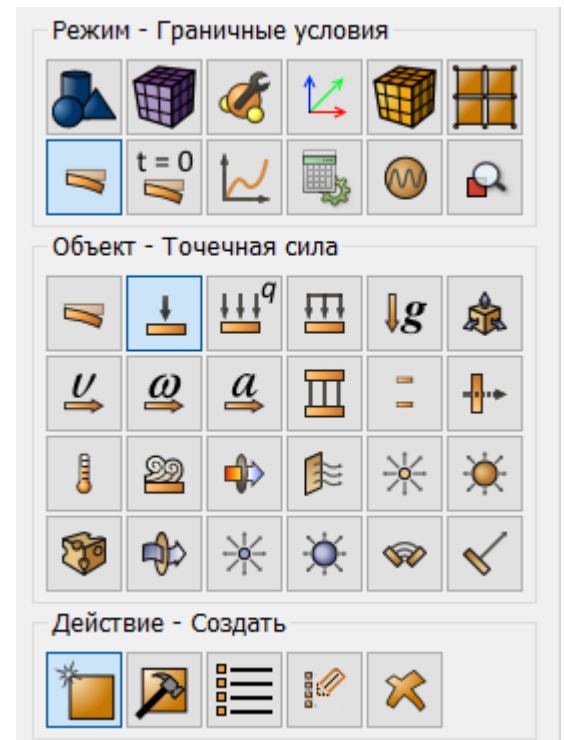
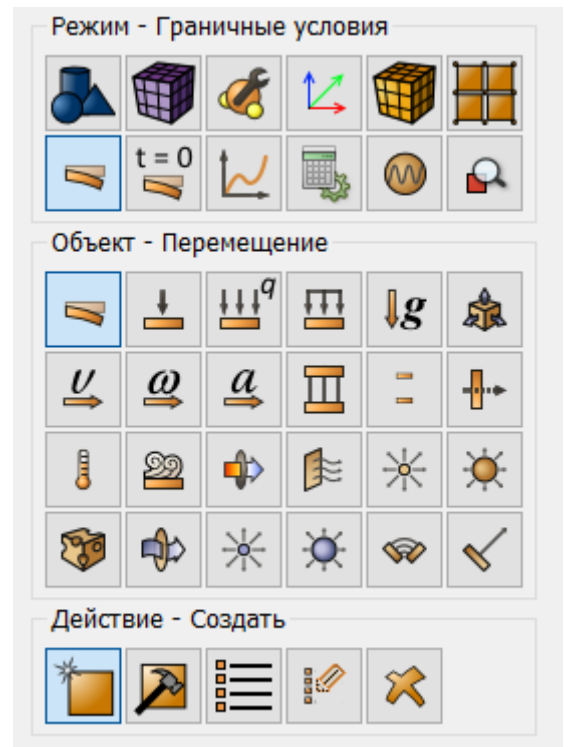
Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Вершина;
- ID объектов: 6 (или выделите мышью вершину, как показано на рисунке);
- Сила: 1;
- Направление: pz (отрицательное направление по оси z);

Нажмите Применить.

Задайте зависимость от частоты.

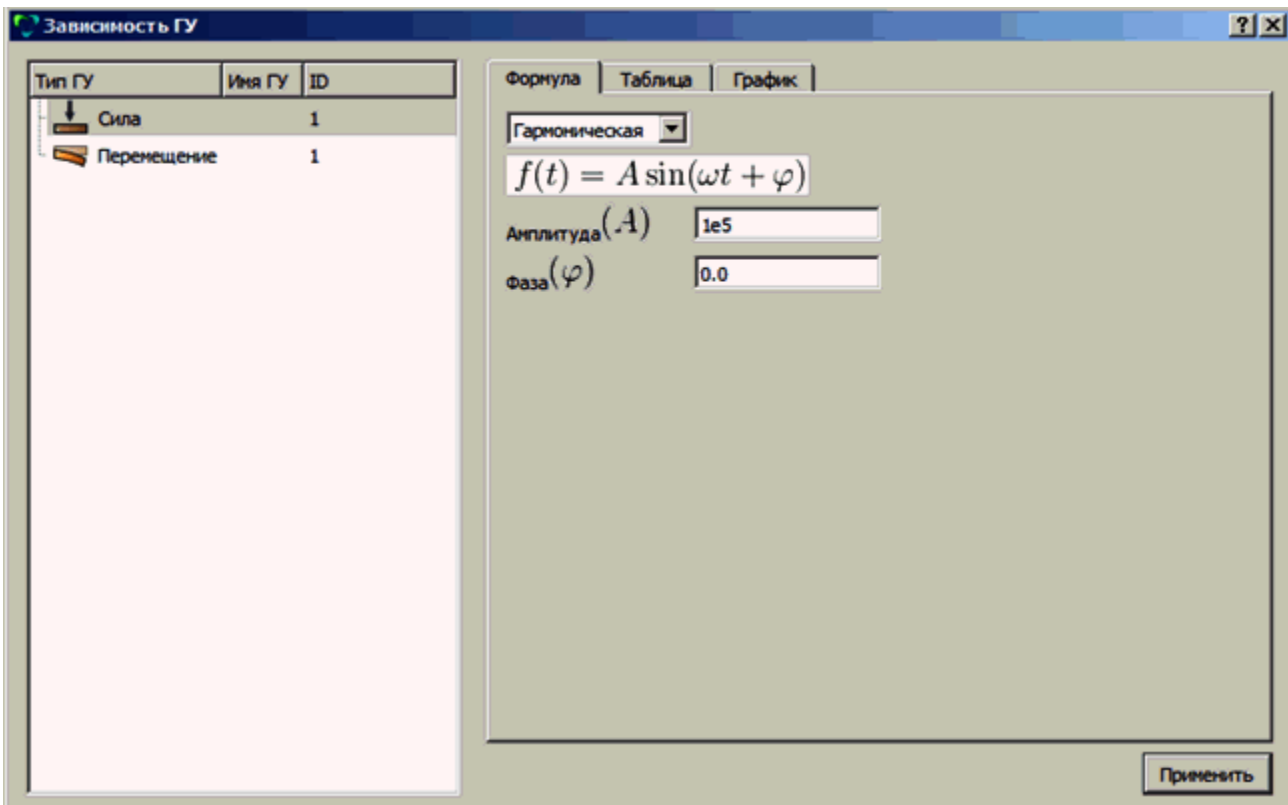
На панели команд выберите (Режим — Зависимость ГУ).



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

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 расчёта:

- 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).

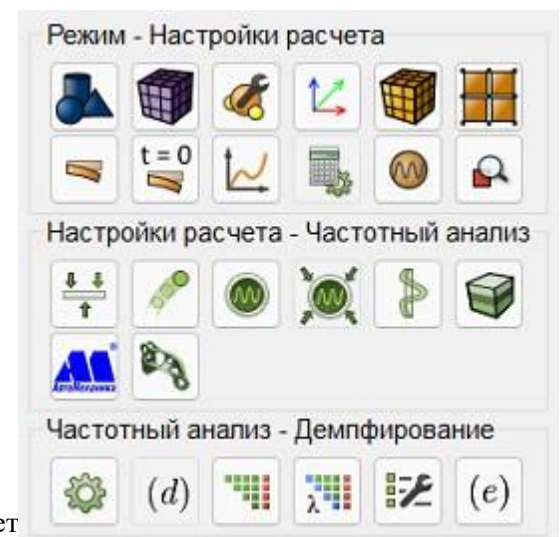
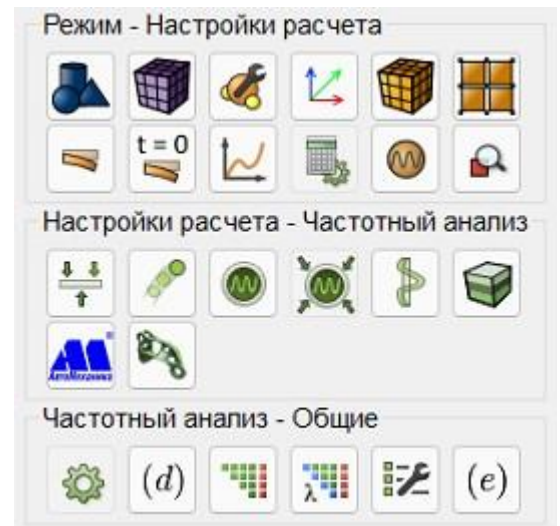
Задайте следующие параметры расчёта:

- 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 Расчёт - Результаты. Нажмите Открыть последний результат.
- На панели команд выберите Результаты (Режим — Результаты, Результаты — Открыть Результаты).



Появится окно FidesysViewer, в котором вы сможете ознакомиться с результатами расчёта.

3. В стандартной строке выберите Фильтры - Алфавитный указатель - Гармонический анализ.

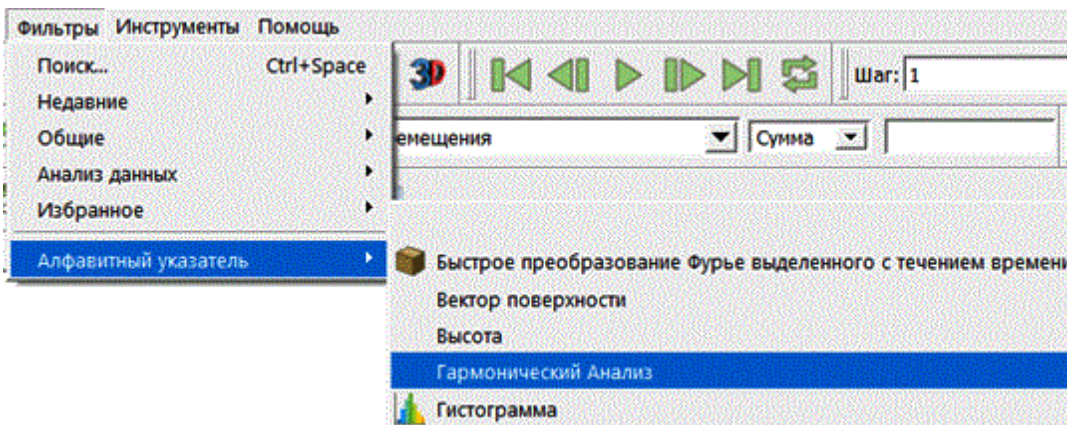
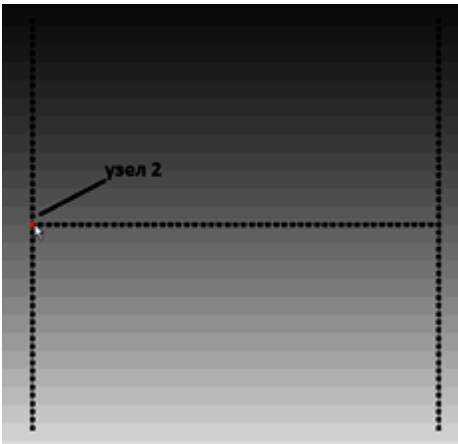


График зависимости Перемещений (Амплитуда) от частоты необходимо построить для узла 2 (совпадает с

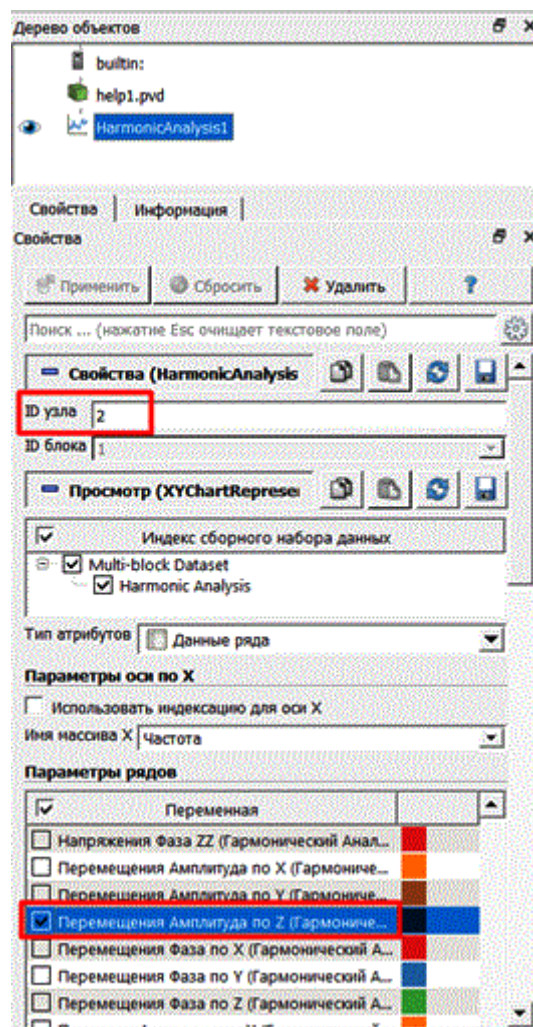
вершиной В).



Для фильтра Гармонический анализ в Дереве во вкладке Свойства укажите:

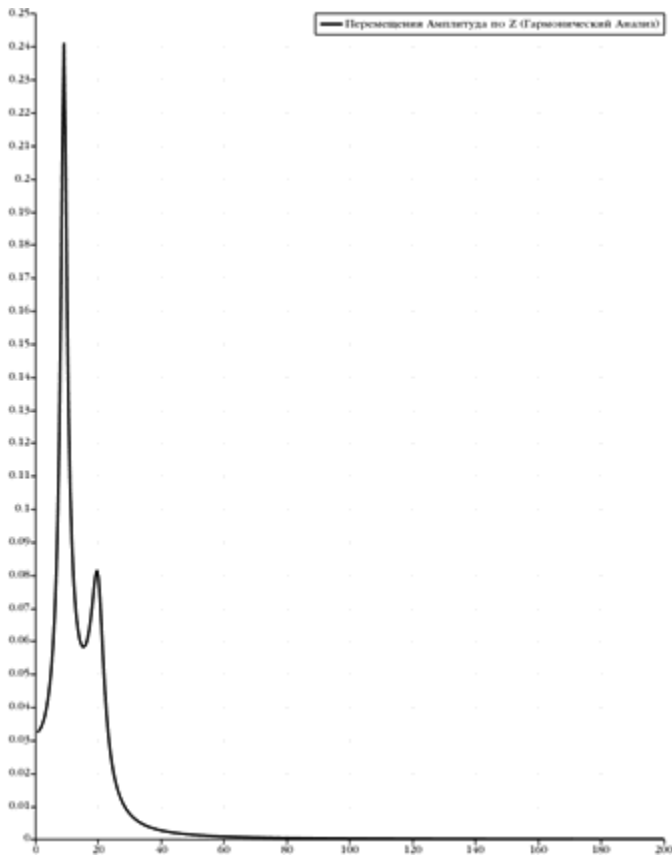
- ID узла: 2.

Нажмите Применить.

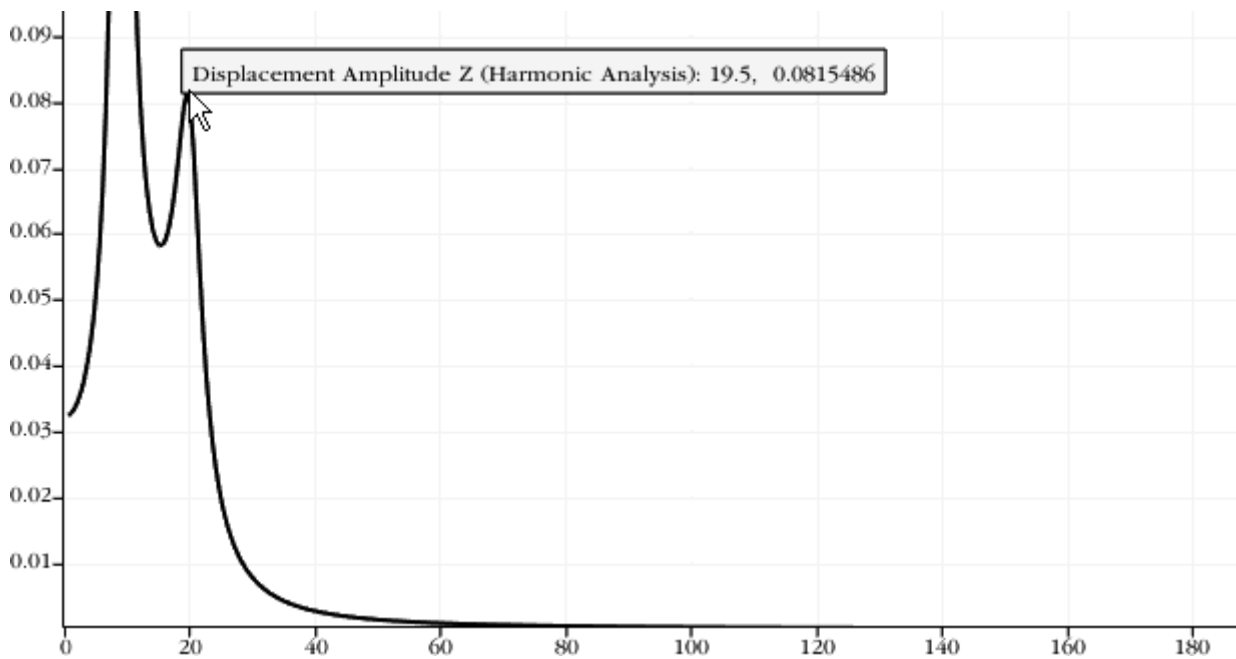


В появившемся разделе Параметры рядов для оси X выберите только Перемещения Амплитуда по Z (Гармонический анализ).

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.

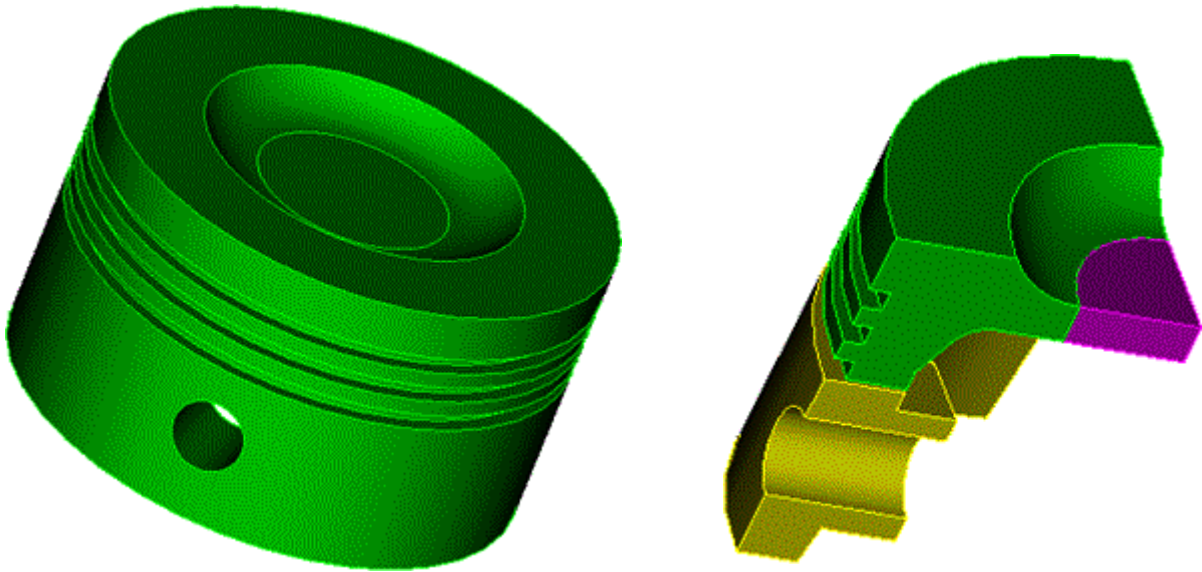


Запустите файл *harmonic\_beat.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.



## Моделирование связанного контакта

Рассматривается пример расчета конструкции, состоящей из нескольких объемов, которые не сращиваются между собой. Между двумя объемами имеется геометрический зазор, поэтому вместо «склеивания» объемов будет использоваться условие связанного контакта. Модель представляет собой четверть первоначальной детали.



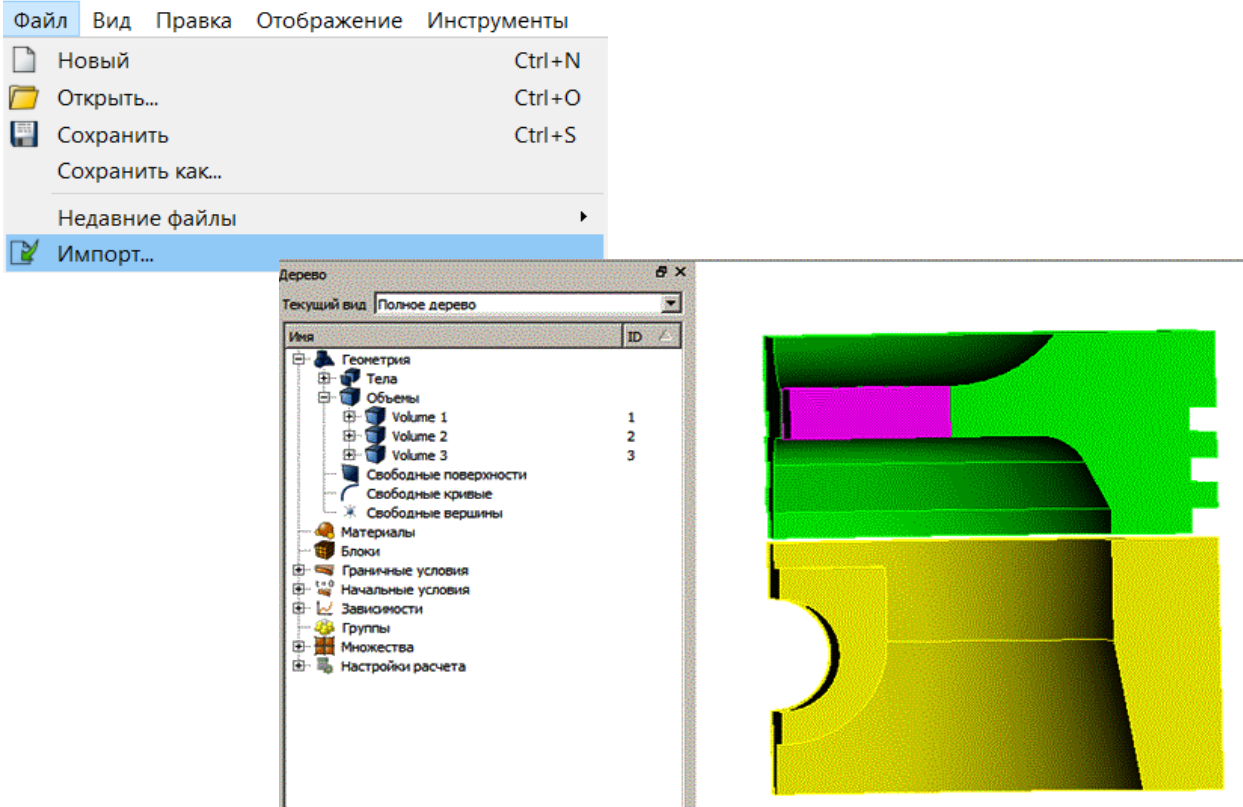
Модель закреплена на боковых гранях из условий симметрии. Внутренняя поверхность отверстия закреплена по всем перемещениям. На верхнюю грань детали приложено давление 1 МПа. Параметры материала: модуль Юнга  $E = 2e11$  Па, коэффициент Пуассона  $\nu = 0.3$ .

### *Построение модели*

1. Импортируйте геометрию.

Откройте модель [C:\Program Files\Fidesys\CAE-Fidesys-5.2\preprocessor\bin\help\fidesys\\_example\\_tutorials\modeling\\_contact\images\geom\\_example\\_contact.stp](C:\Program Files\Fidesys\CAE-Fidesys-5.2\preprocessor\bin\help\fidesys_example_tutorials\modeling_contact\images\geom_example_contact.stp)

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.

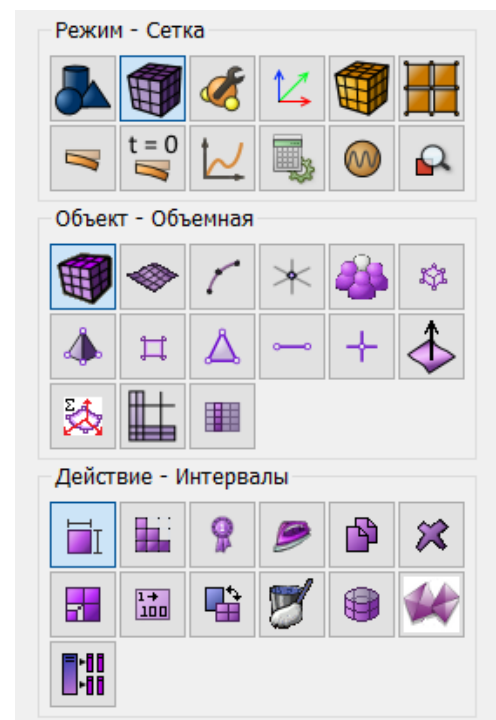
## Построение сетки

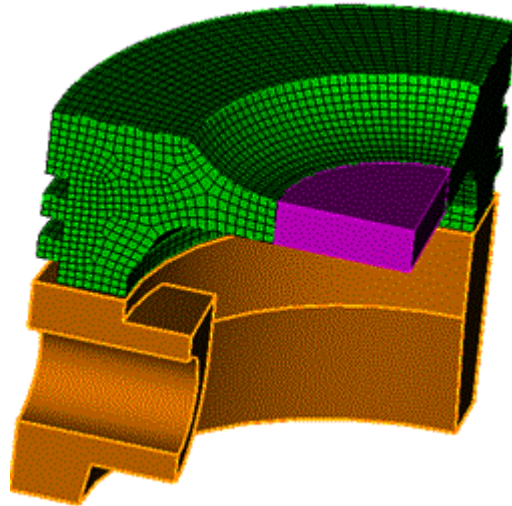
1. На панели команд выберите модуль построения объемной сетки (Режим — Сетка, Объект — Объемная, Действие — Интервалы).

Укажите следующие параметры:

- В выпадающем списке выберите: Задать размер;
- Выбор объемов: 1;
- Примерный размер: 0.1;

Нажмите Применить. Нажмите Построить сетку



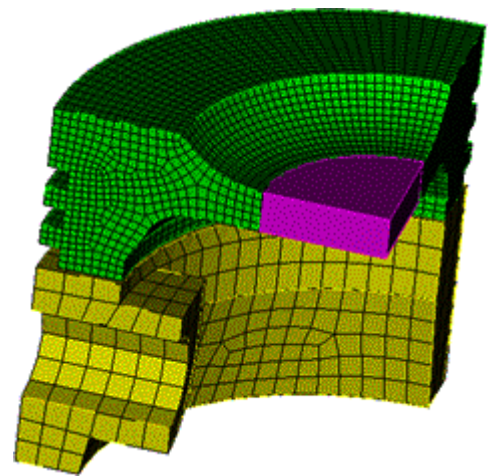


2. На панели команд выберите модуль построения объемной сетки (Режим — Сетка, Объект — Объемная, Действие — Интервалы).

Укажите следующие параметры:

- В выпадающем списке выберите: Задать размер;
- Выбор объемов: 2;
- Примерный размер: 0.3;

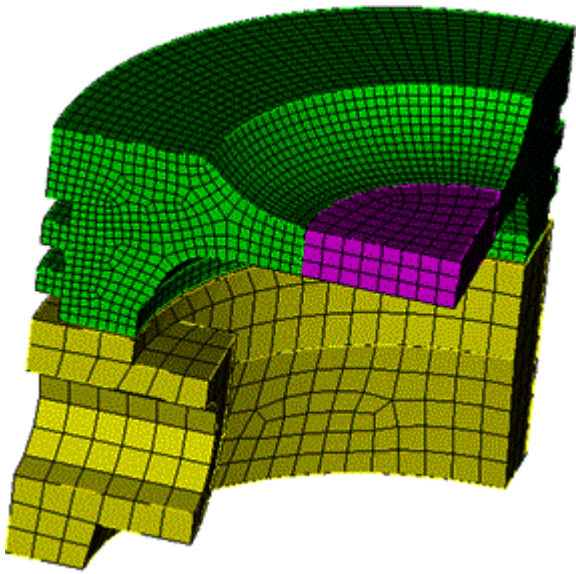
Нажмите Применить. Нажмите Построить сетку.



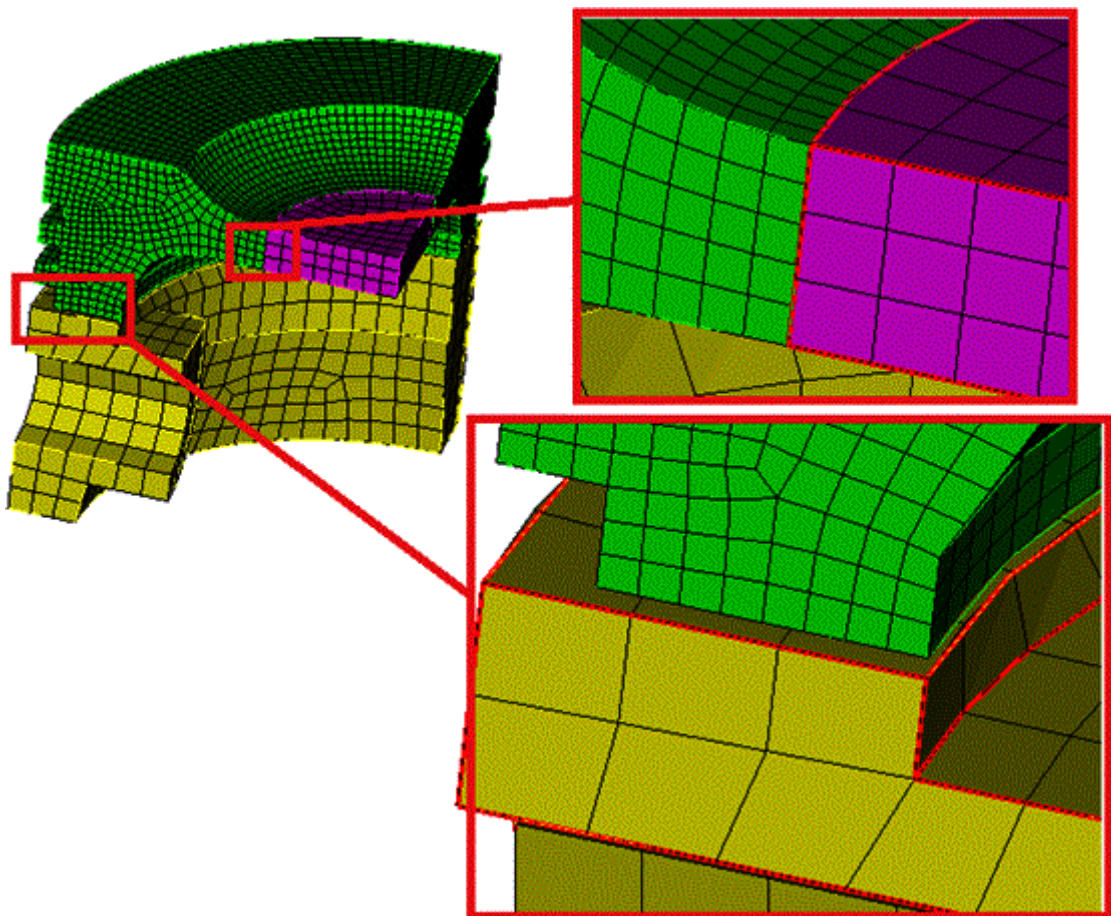
3. На панели команд выберите модуль построения объемной сетки (Режим — Сетка, Объект — Объемная, Действие — Интервалы). Укажите следующие параметры:

- В выпадающем списке выберите: Задать размер;
- Выбор объемов: 3;
- Примерный размер: 0.2;

Нажмите Применить. Нажмите Построить сетку.



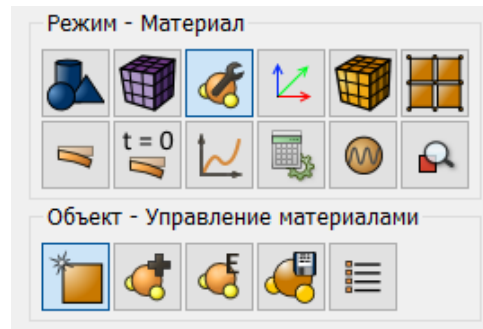
Таким образом, на модели была построена неконформная конечно-элементная сетка.



## Задание материала и свойств блока

1. Создайте материал.

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

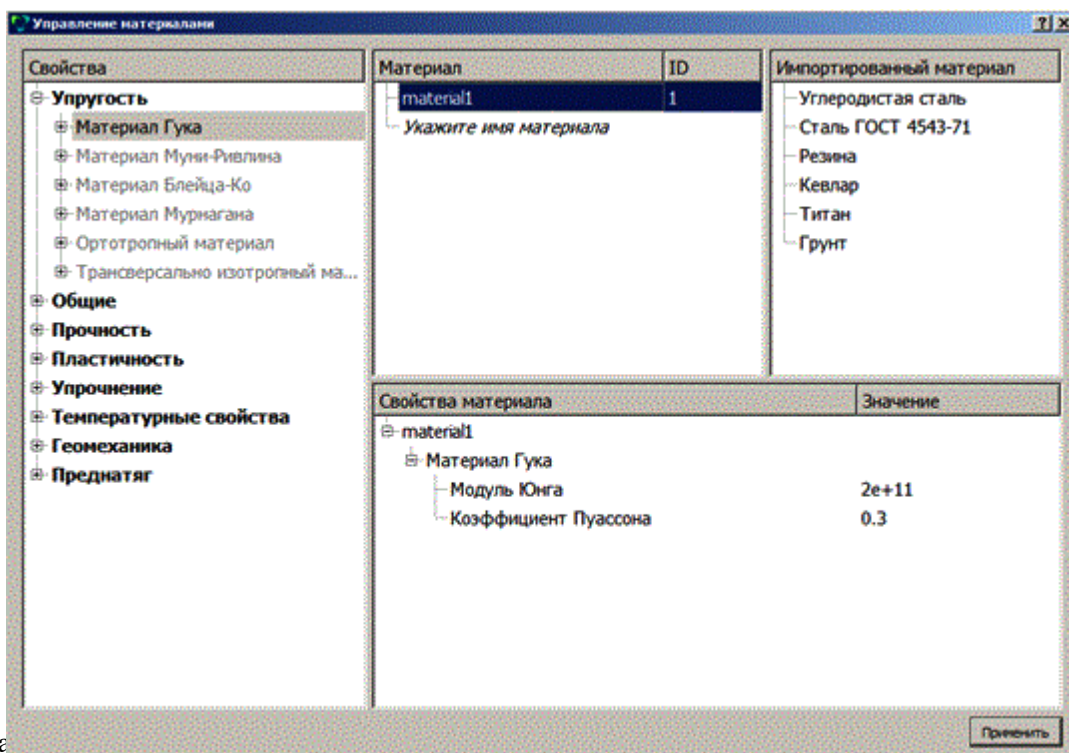


В открывшемся виджете Управление материалами в средней колонке укажите имя материала material1. В колонке свойств откройте список Упругость и перетащите название Материал Гука в колонку Свойства материала.

Заполните свойства следующим образом:

- Модуль Юнга:  $2e11$ ;
- Коэффициент Пуассона: 0.3;

Нажмите Применить. Закройте окно.



2. Созда

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.

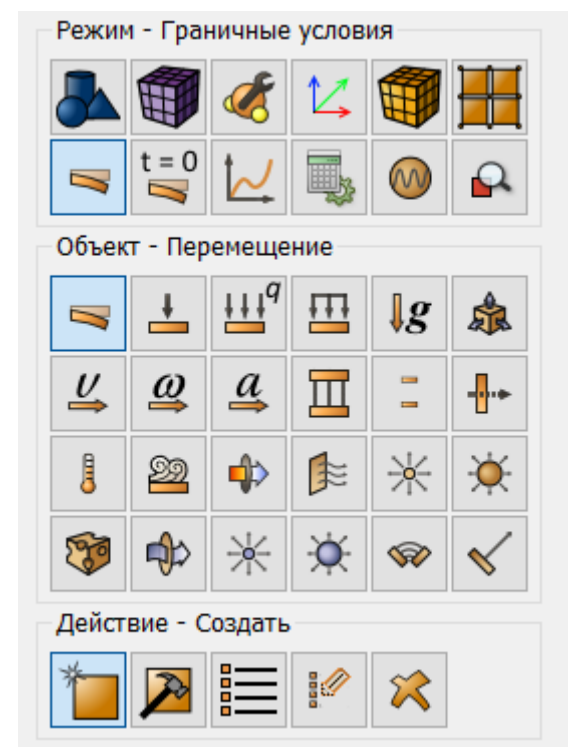
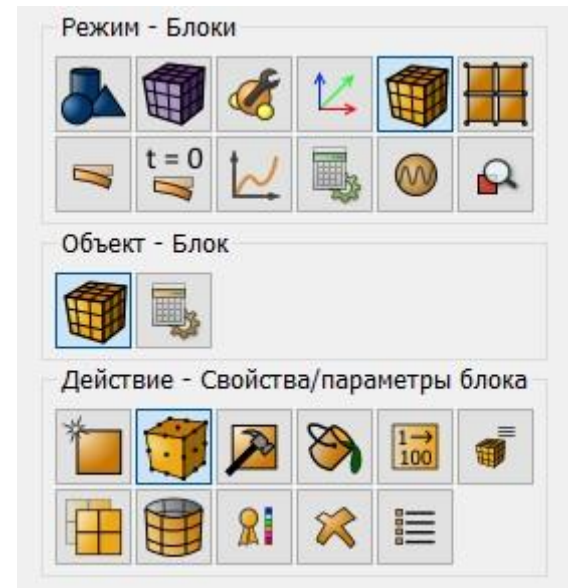
## Задание граничных условий

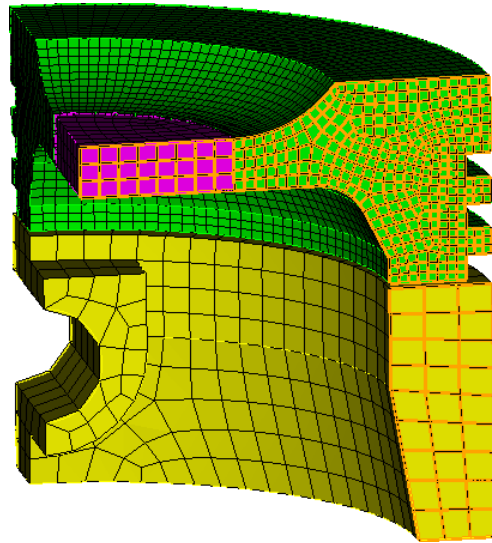
### 1. Закрепите боковые стороны детали из условия симметрии.

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).

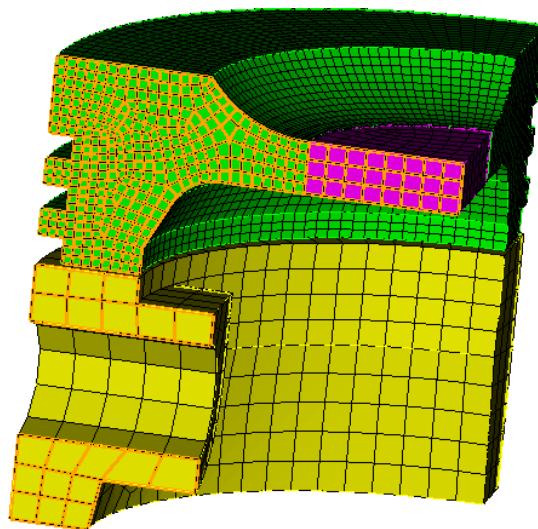




Нажмите Применить.

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);



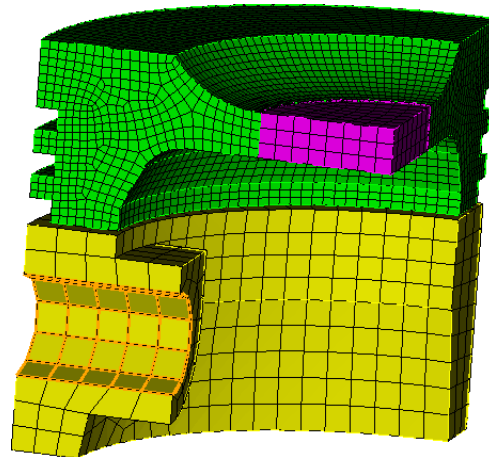
Нажмите Применить.

2. 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);



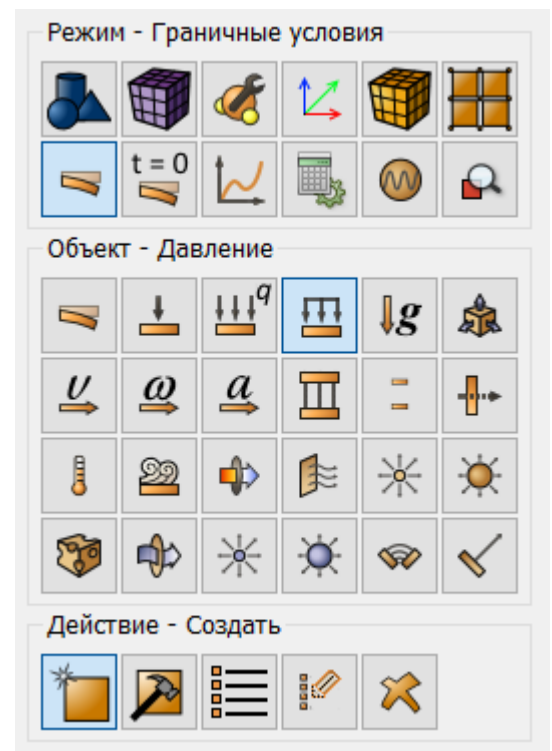
Нажмите Применить.

3. Приложите давление к верхней грани.

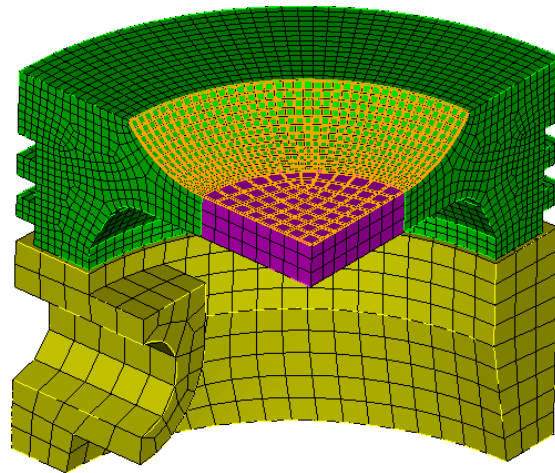
На панели команд выберите (Режим — Граничные условия, Объект — Давление, Действие — Создать).

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.

4. Задайте условие контакта.

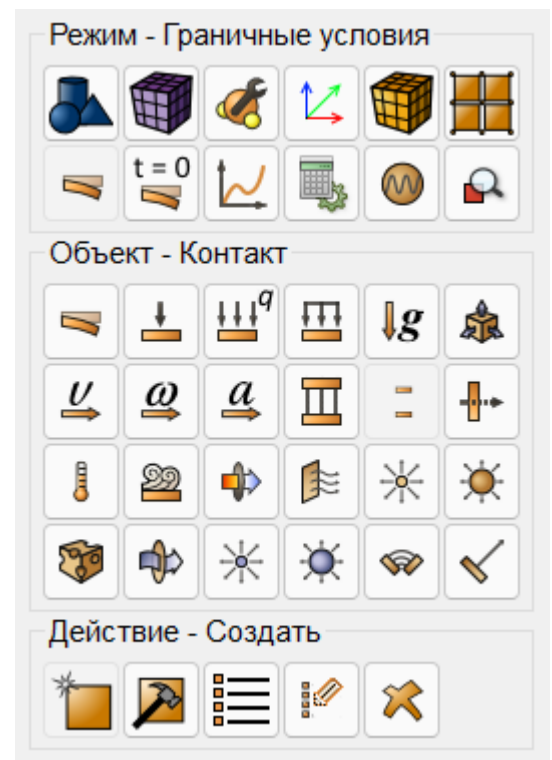
На панели команд выберите (Режим — Граничные условия, Объект — Контакт, Действие — Создать).

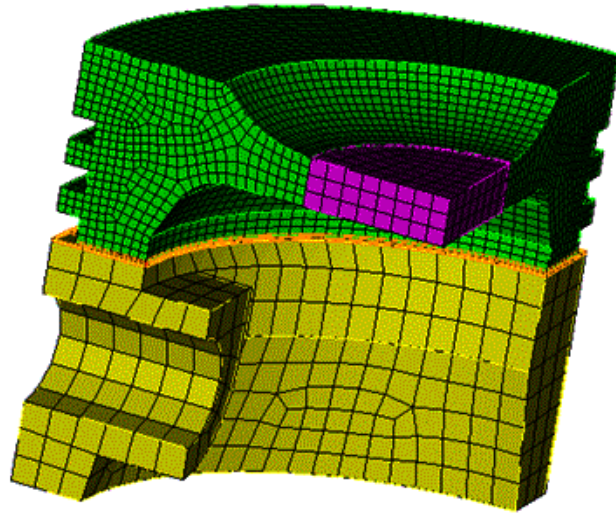
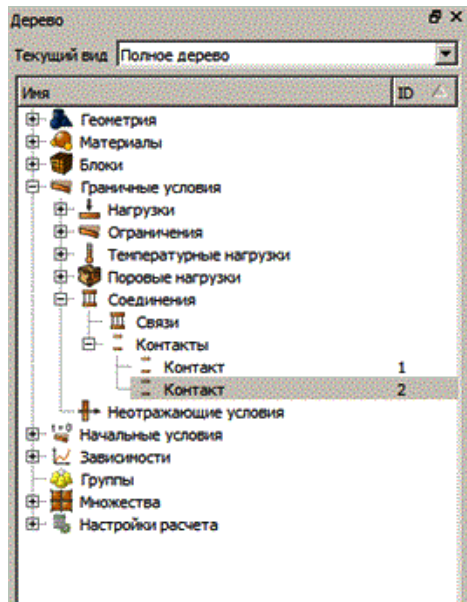
Задайте следующие параметры:

- 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, Настройки расчёта — Статический, Статический — Общие).

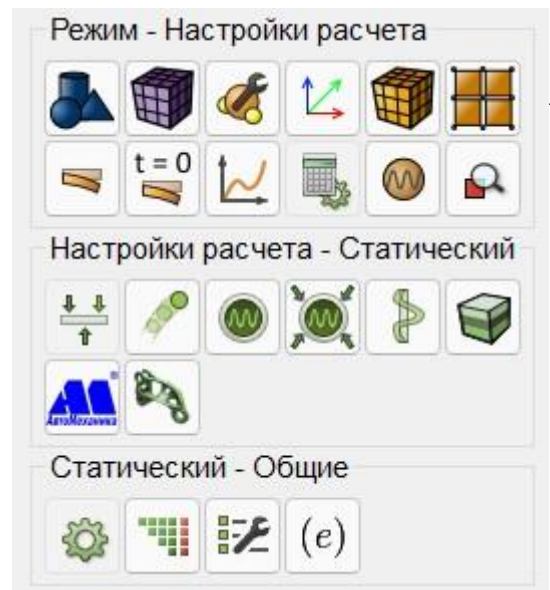
Задайте следующие параметры расчёта:

- 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:

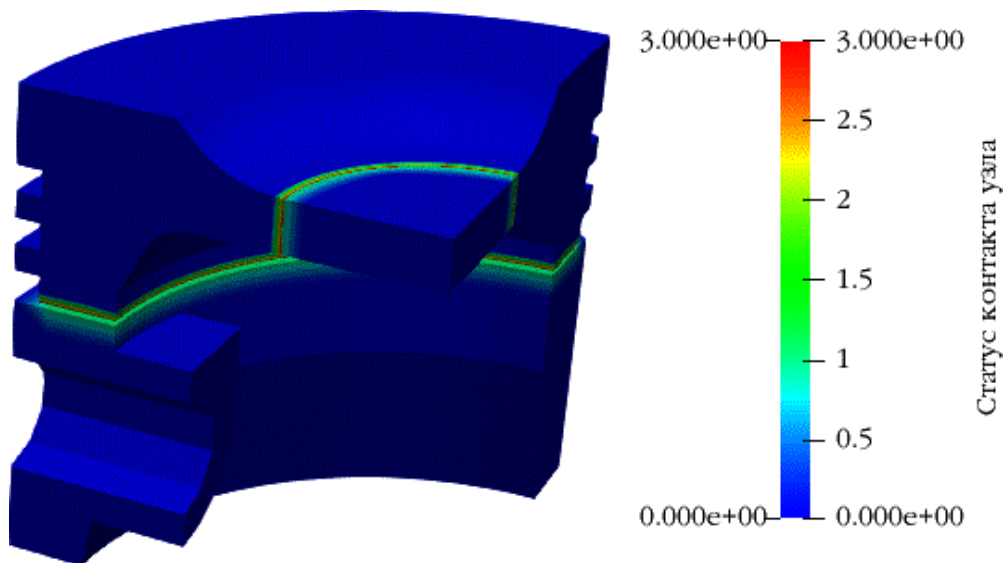
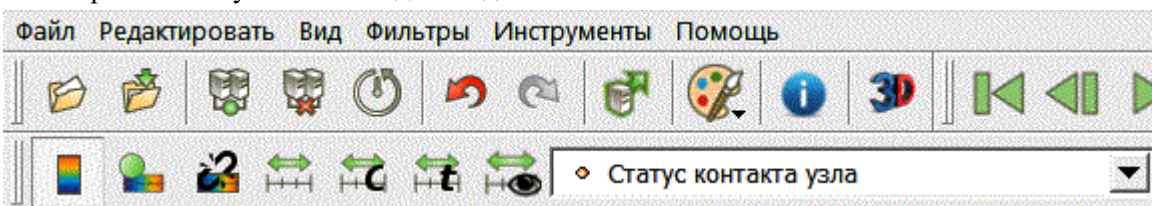
- Нажмите Ctrl+E.

- В главном меню выберите Расчёт - Результаты. Нажмите Открыть последний результат.
- На панели команд выберите Результаты (Режим — Результаты, Результаты — Открыть Результаты).

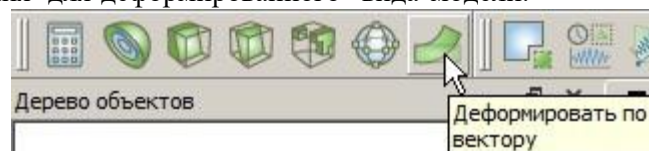


Появится окно FidesysViewer, в котором вы сможете ознакомиться с результатами расчёта.

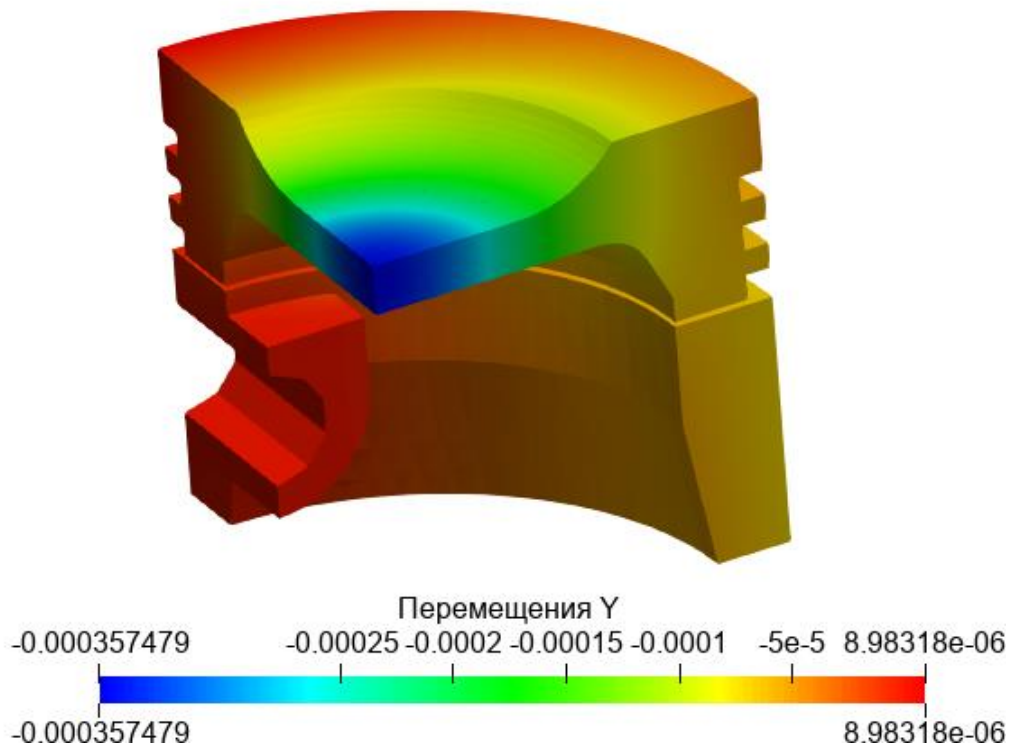
2. Отобразите статус контакта для модели.



3. Отобразите перемещения для деформированного вида модели.



На странице Свойств Укажите Множитель масштаба 2000.



### ***Использование консольного интерфейса***

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса.

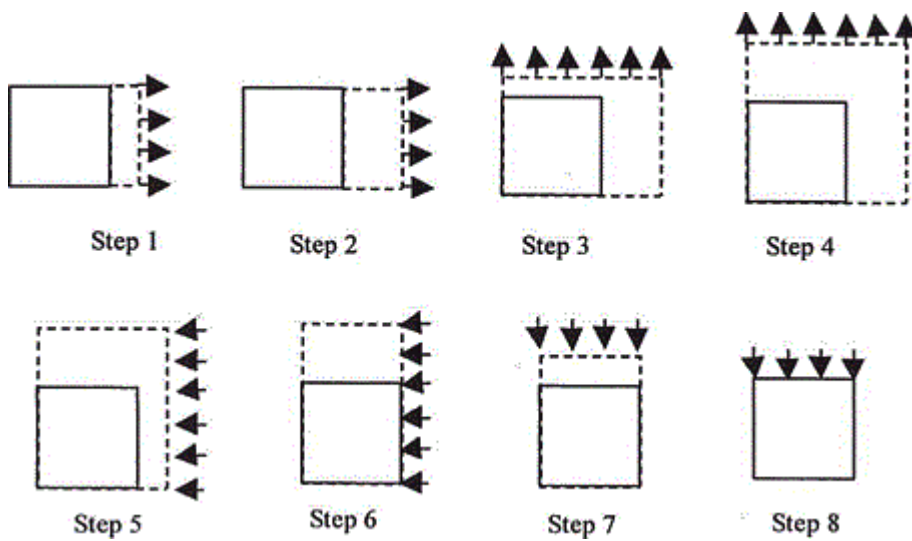


Запустите файл *modeling\_contact.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

## 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:  $E = 250e3$  Н/мм<sup>2</sup>,  $\nu = 0.25$ , предел текучести  $\sigma = 5$  Н/мм<sup>2</sup>. 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.

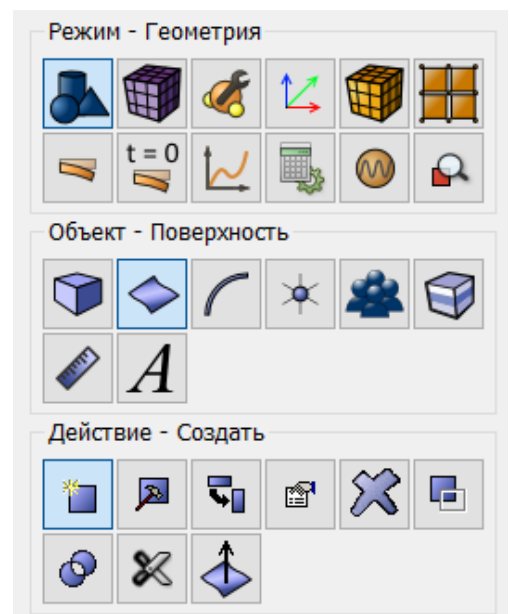
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — Геометрия, Объект — Поверхность, Действие — Создать).

Из списка геометрических примитивов выберите Прямоугольник.

Задайте размеры блока:

- Ширина: 1;
- Расположение: Z-плоскость;

Нажмите Применить.



2. Переместите поверхность к началу координат.

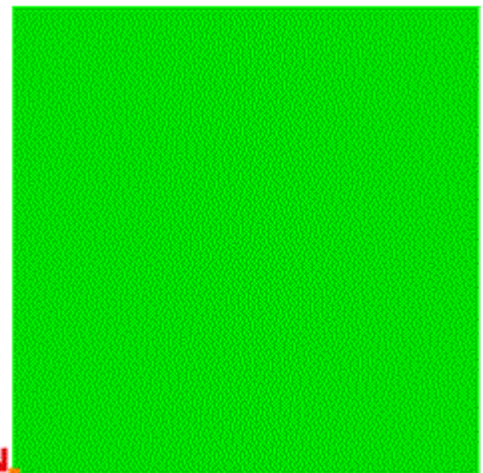
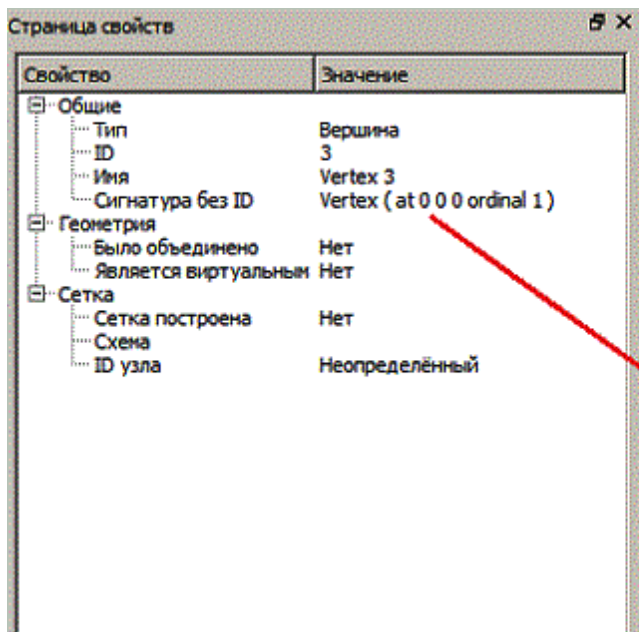
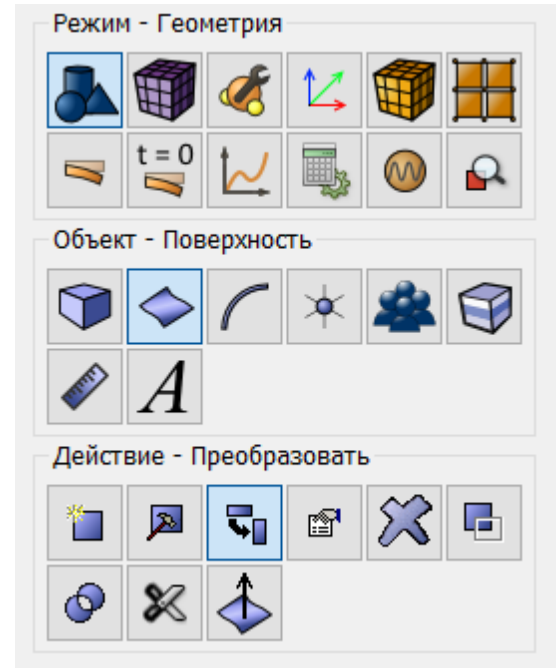
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — Геометрия, Объект — Поверхность, Действие — Преобразовать).

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

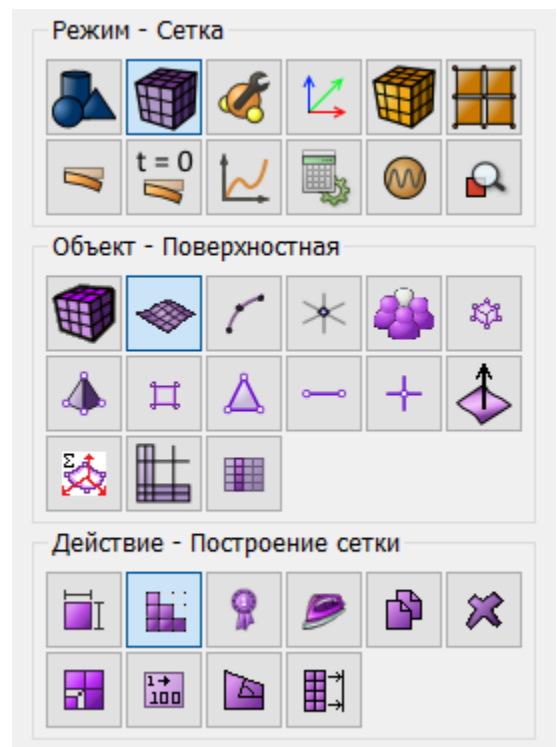
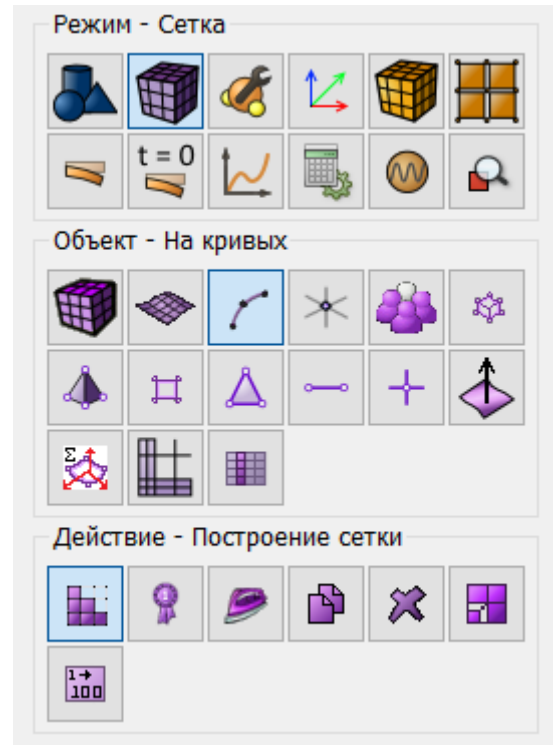
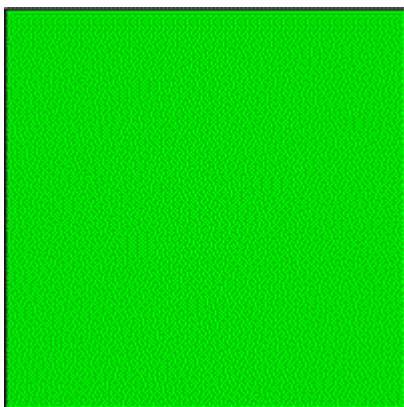
сетку.

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

Укажите:

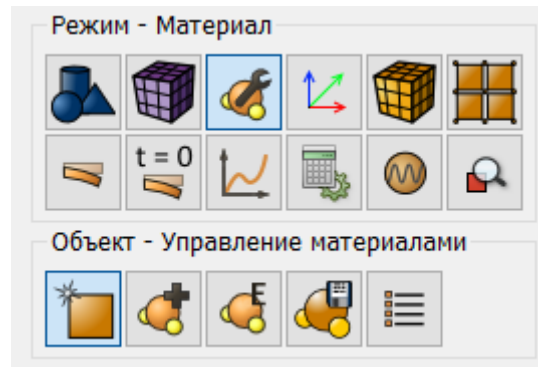
- Выберите схему построения сетки: Автоматическая;
- Выбор поверхностей: all;

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).



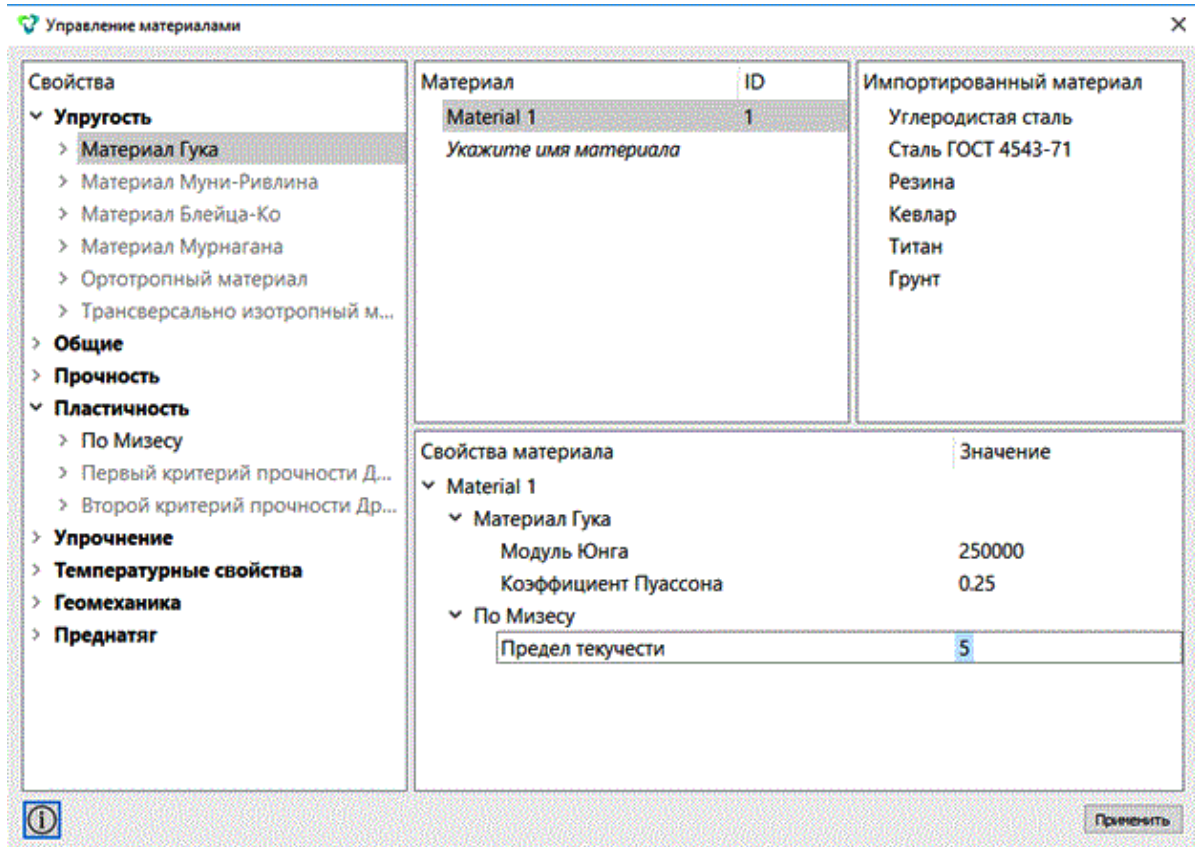
Укажите имя материала Material 1. Перетащите из левой колонки надпись **Материал Гука** в колонку **Свойства материала**. Задайте следующие параметры:

- 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 объекта(ов): 1 (или командой all);

Нажмите Применить.

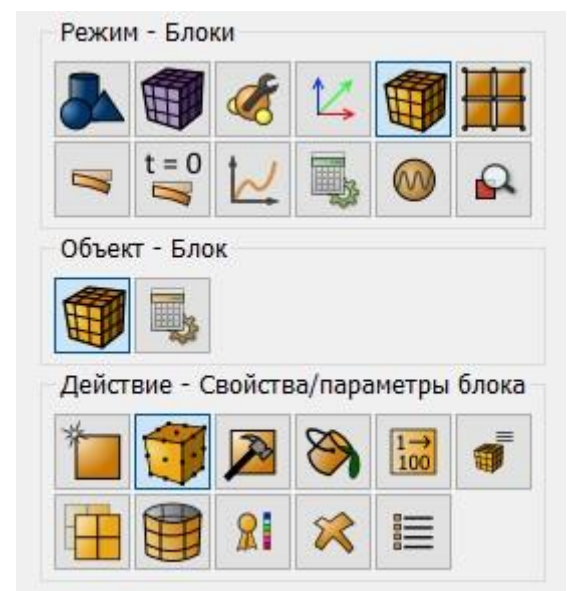
3. Задайте параметры блока.

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;

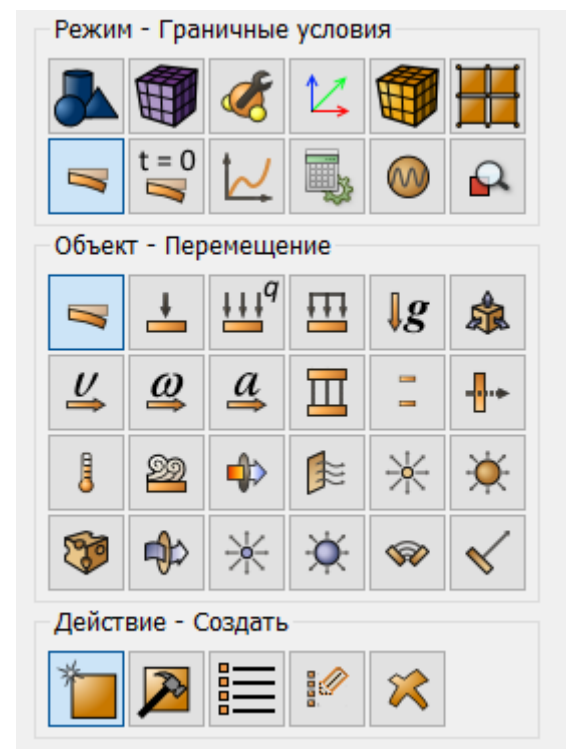
Нажмите Применить.

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:

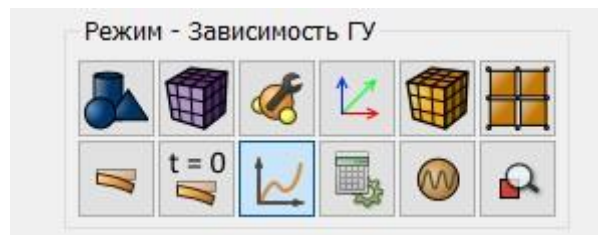
- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объектов: 1;
- Степени свободы: По Y;
- Величина: 0;

Нажмите Применить.

### ***Установите зависимость ГУ от времени и/или координат***

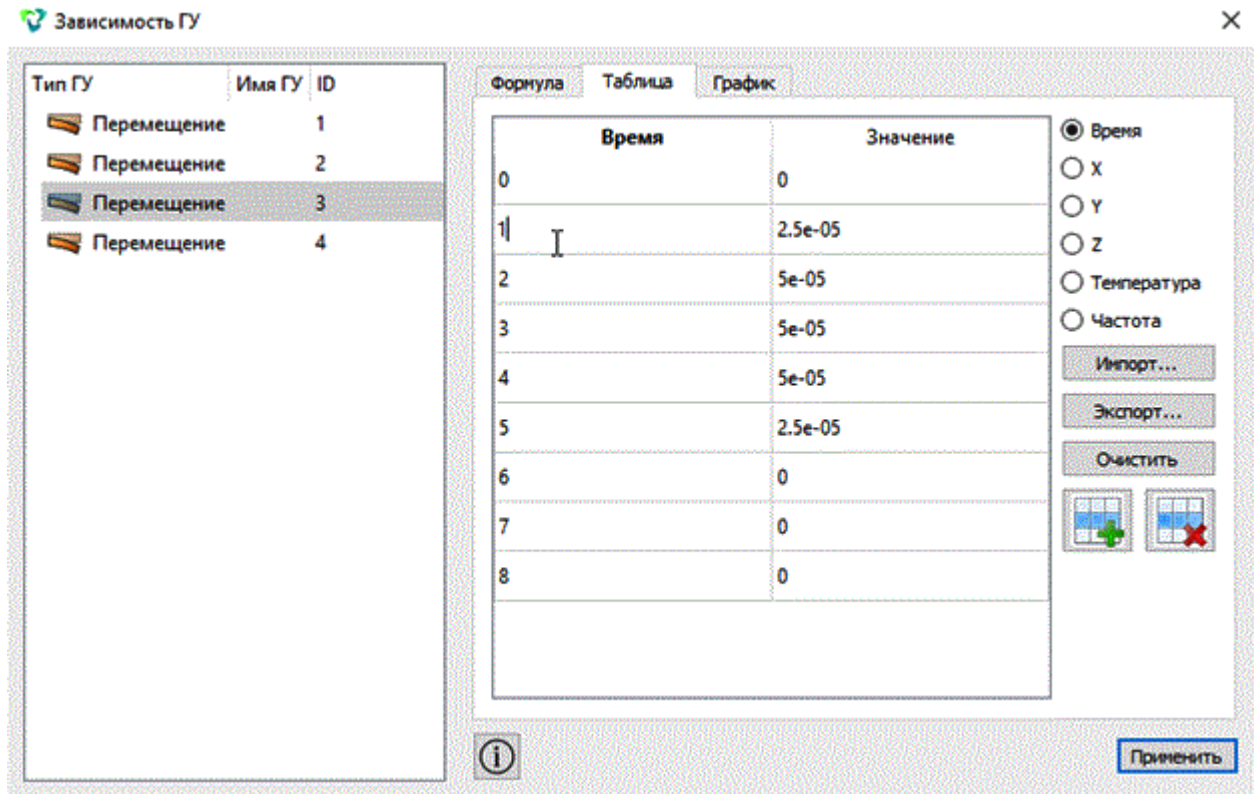
1. Создайте таблицу 1 для перемещений 3.

На панели команд выберите (Режим — Зависимость ГУ).



Далее, в левой колонке кликните на Перемещение 3 и переключитесь на вкладку Таблица. Задайте следующие параметры:

- Установите флаг: Время;
- Добавьте строки, нажав на кнопку с зеленым плюсом 9 раз;
- Заполните таблицу следующим образом:

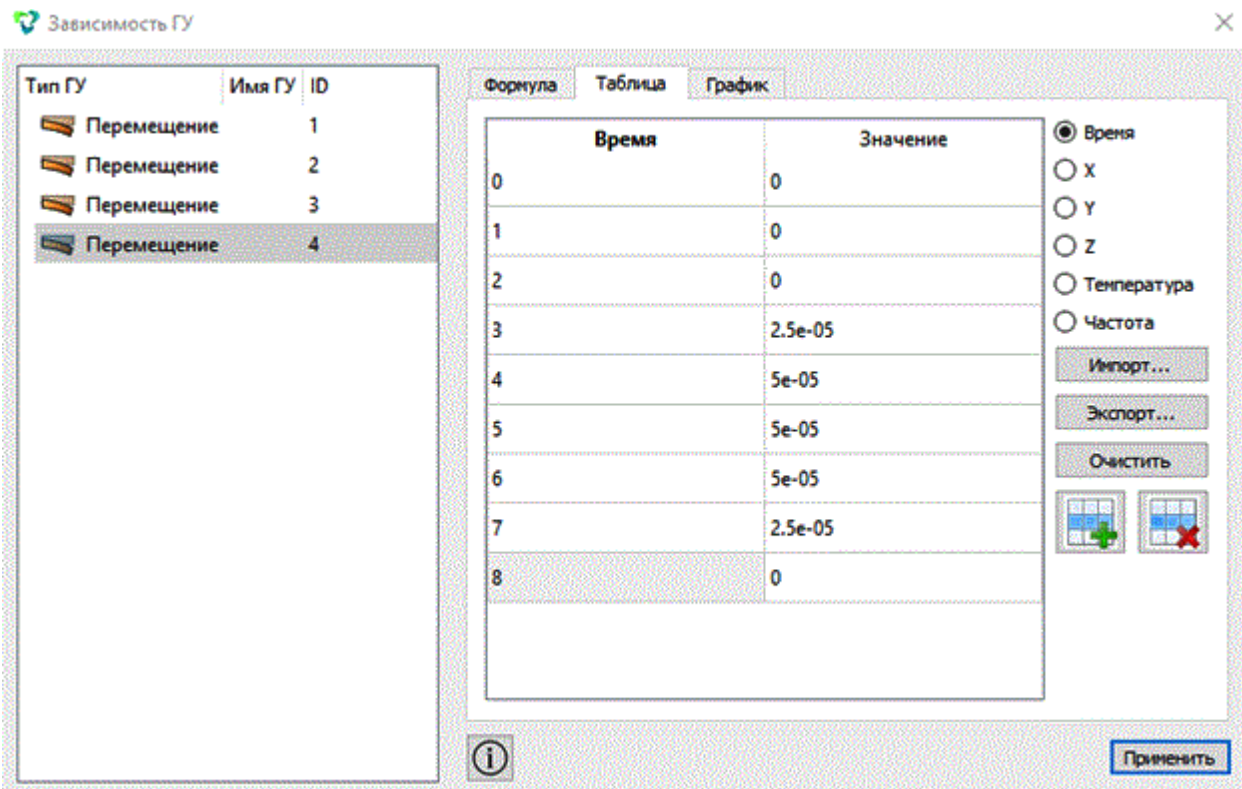


Нажмите Применить.

2. Создайте таблицу 2 для перемещений 4.

В окне Зависимость ГУ в левой колонке кликните на Перемещение 4 и переключитесь на вкладку Таблица. Задайте следующие параметры:

- Флажок: Время;
- Добавьте строки, нажав на кнопку с зеленым плюсом 9 раз;
- Заполните таблицу следующим образом:



Нажмите Применить.

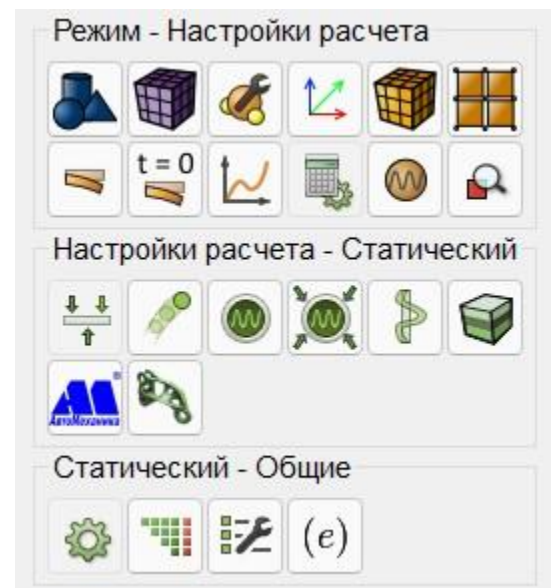
## Запуск расчёта

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим

— Настройки расчёта, Настройки расчёта

— Статический, Статический — Общие).



Выберите:

- Размерность: 2D;
- Тип плоской задачи: Плоское деформированное состояние;
- Модель: Упругость, Пластичность;
- Задать число шагов нагружения: 8;

Нажмите Применить. Нажмите Начать расчёт.

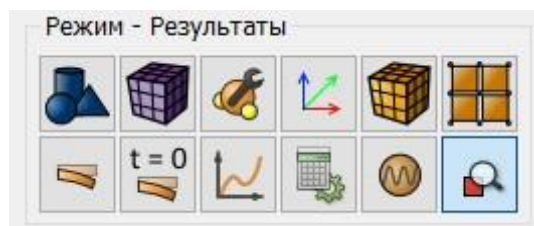
2. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат, и введите название файла.

3. 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).



Для анализа результатов перейдите в окно FidesysViewer.



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

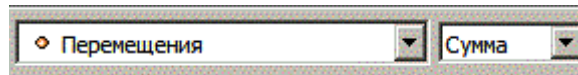
2. Подключите фильтр Деформировать по вектору (Меню – Фильтры – Алфавитный указатель – Деформировать по вектору). Или используйте соответствующую кнопку на панели команд:




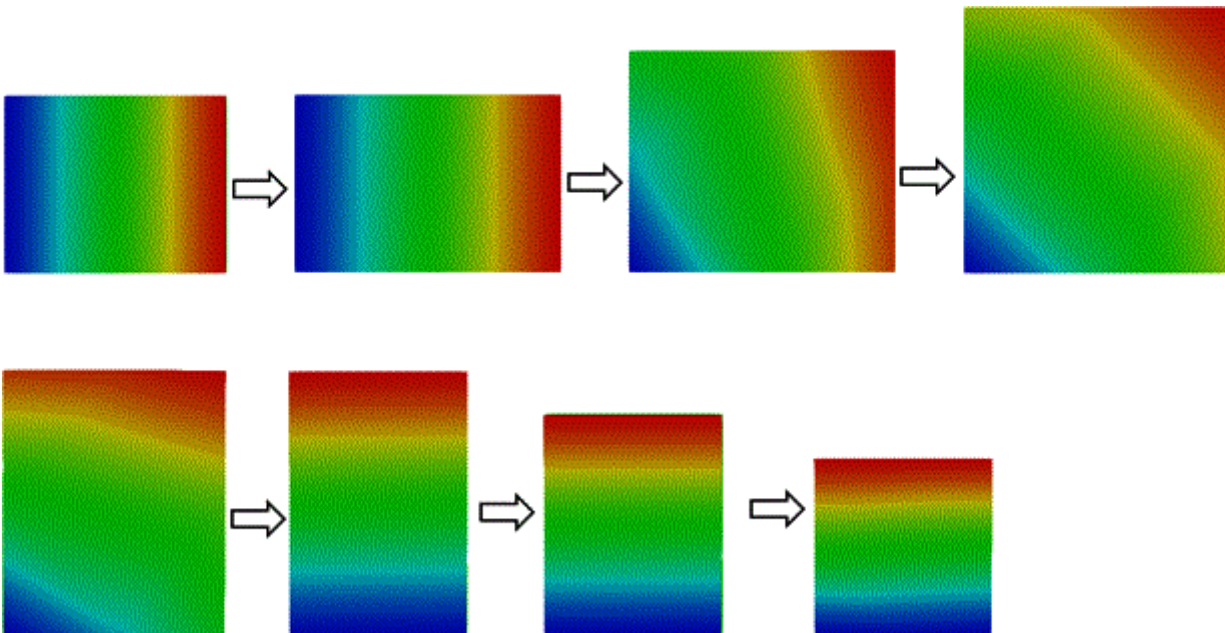
Для данного фильтра на вкладке Свойства установите:

- 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.



Запустите файл *elastoplastic\_plate\_loadsteps.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.



## 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, два перпендикулярных по оси Y, на противоположный приложено давление вдоль оси X (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. Объемы продолжают сжиматься.

### Построение модели

1. Создайте первый параллелепипед.

На панели команд выберите модуль построения объемной 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;

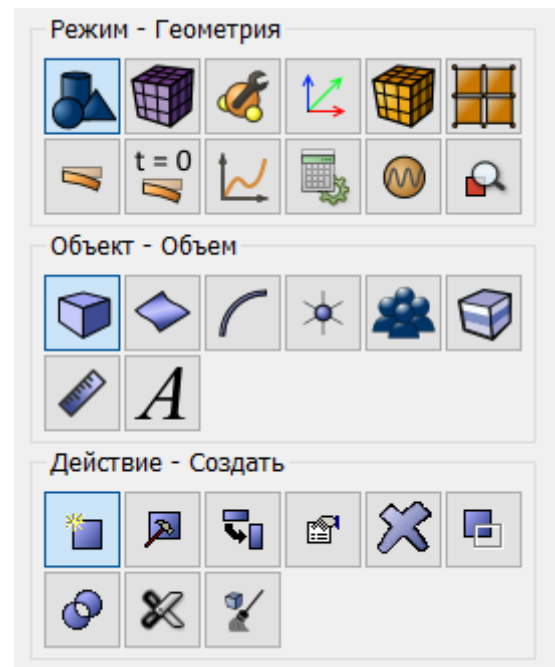
Нажмите Применить.

2. Создайте второй параллелепипед.

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

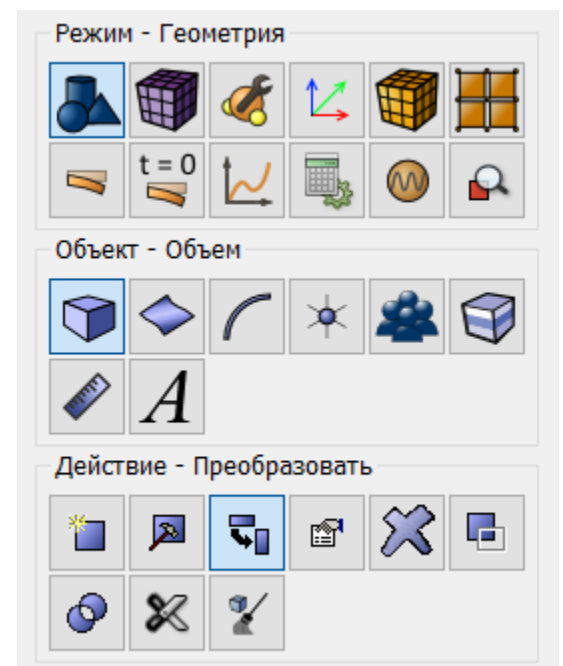
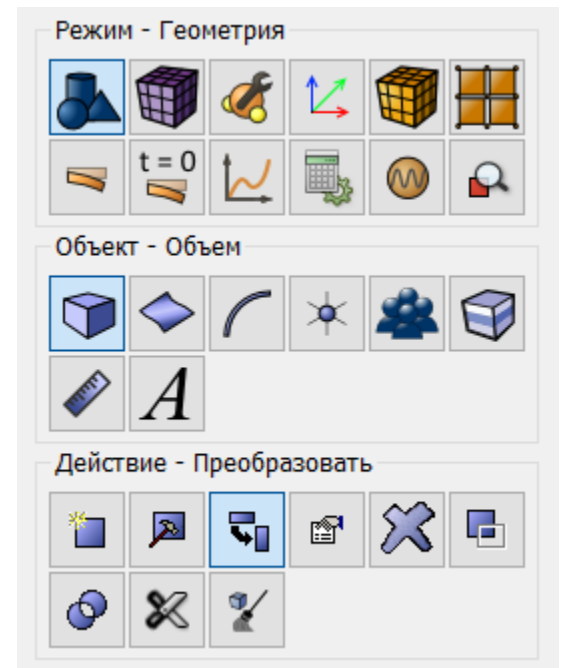
На панели команд выберите модуль построения объемной геометрии (Режим — Геометрия, Объект — Объем, Действие — Преобразовать).

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.



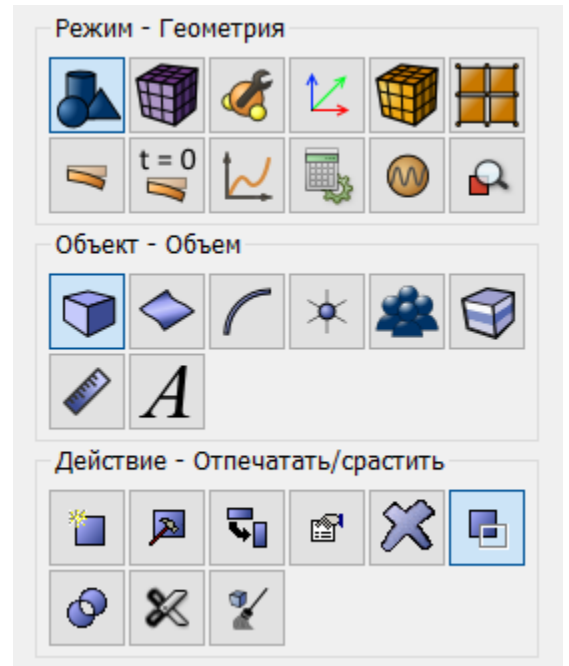
5. Срастите 2 объема.

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.Нажмите Применить.



### Построение сетки

1. На панели команд выберите модуль построения объемной сетки (Режим — Сетка, Объект — Объемная, Действие — Интервалы).

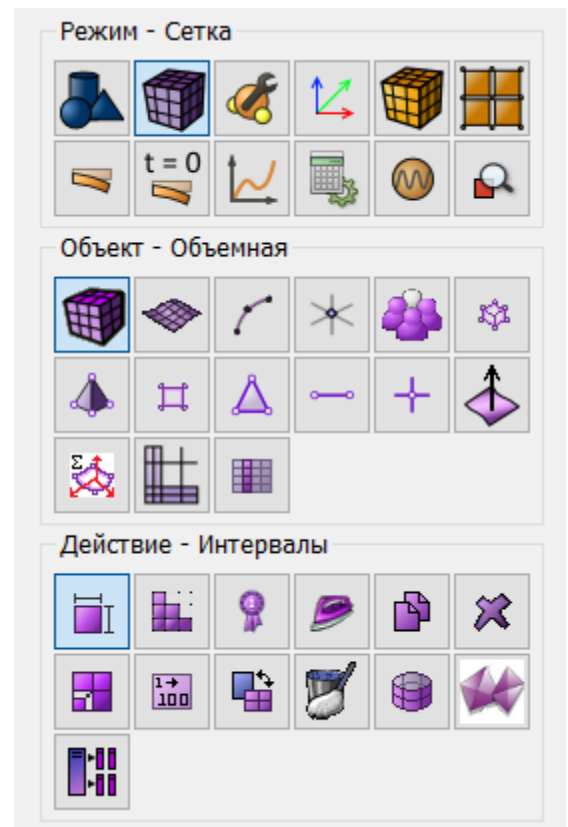
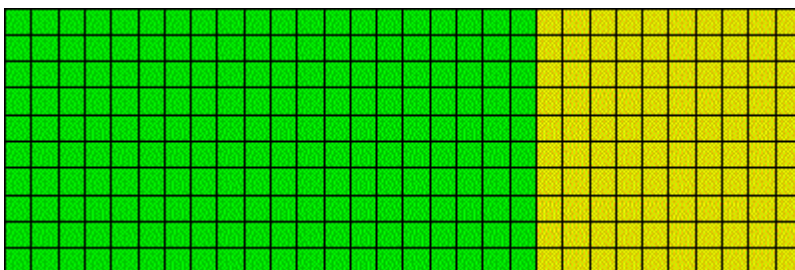
Укажите степень измельчения сетки:

- 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.

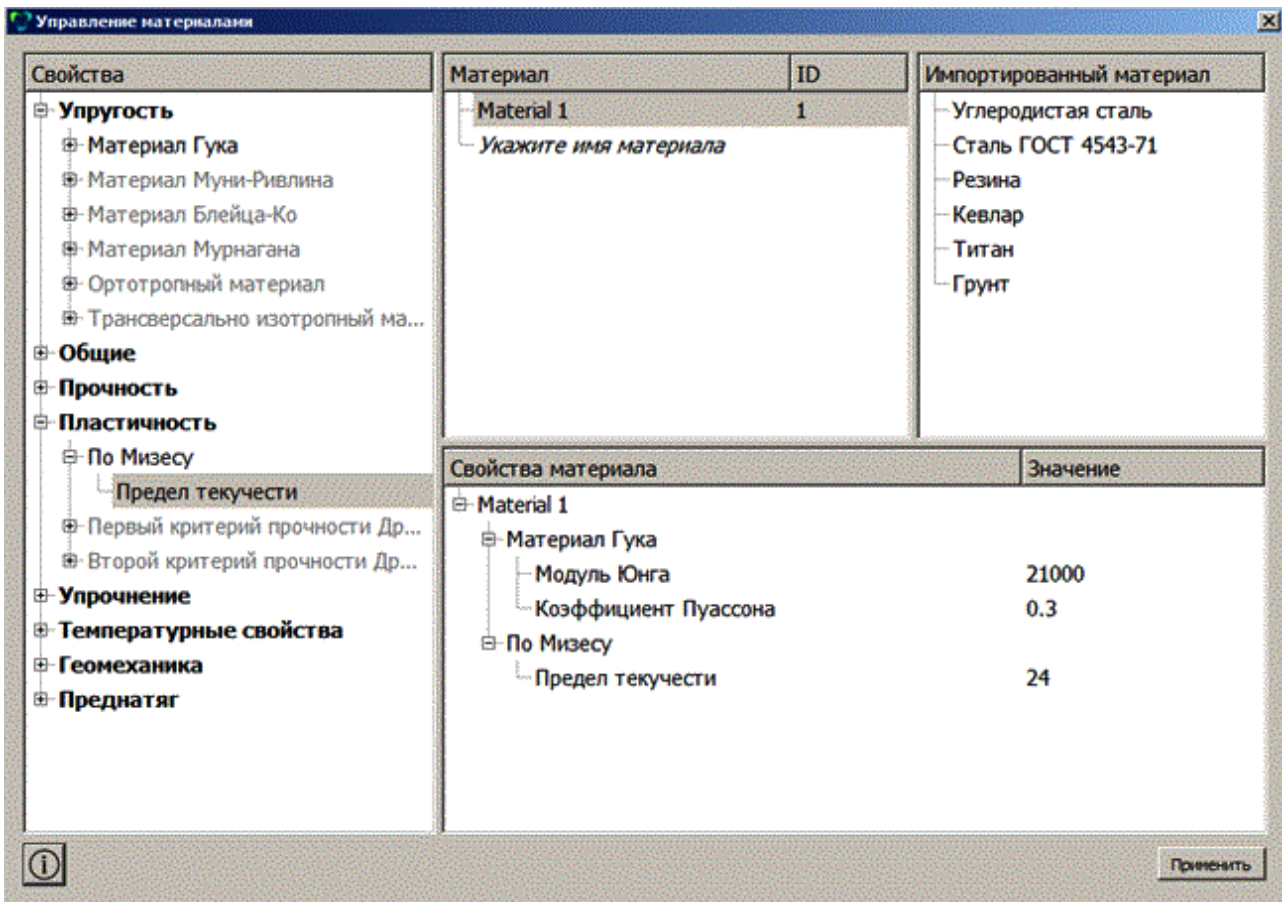
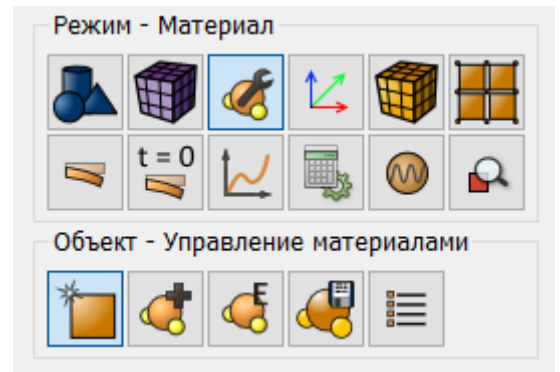
Задайте следующие параметры:

- Модуль Юнга:  $2.1e4$ ;
- 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.

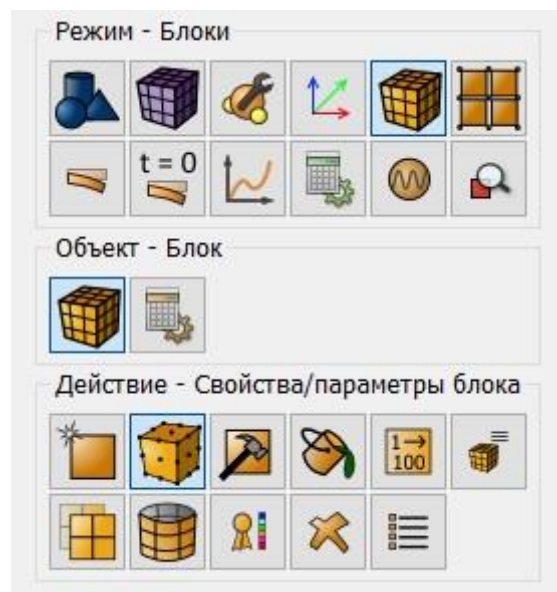
## 3. Задайте параметры блока.

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

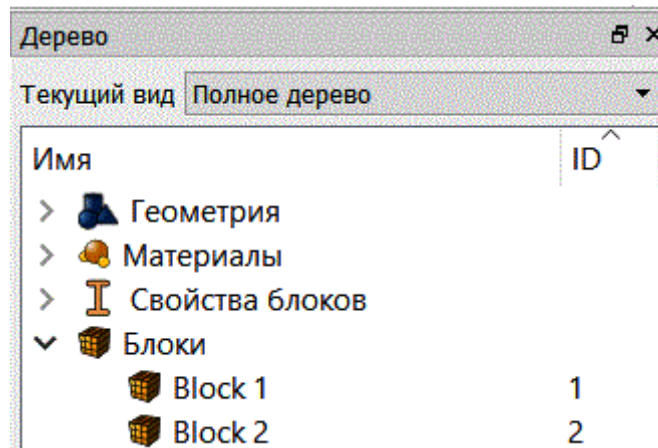
Задайте следующие параметры:

- 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.

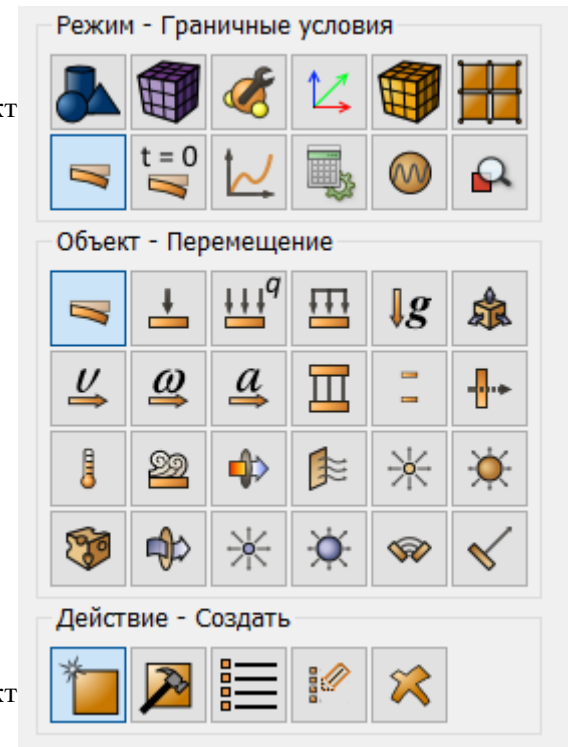
На панели команд выберите (Режим — Граничные условия, Объект — Перемещение, Действие — Создать).

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список сущностей: Поверхность;
- ID объектов: 6;
- Степени свободы: По X;
- Величина: 0;

Нажмите Применить.

3. Закрепите второй объем 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.

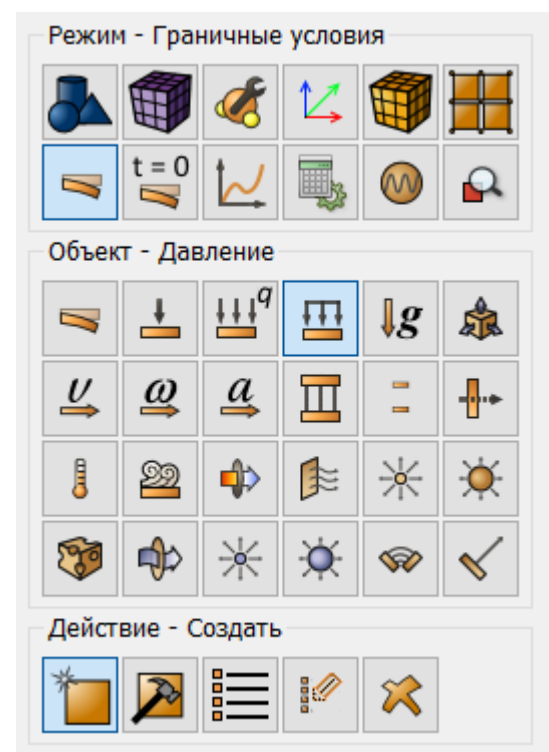
#### 5. Приложите давление 100 МПа на левый торец модели.

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

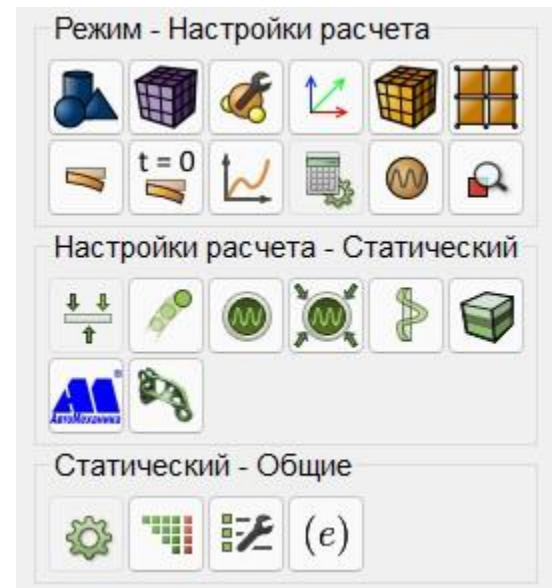
1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

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

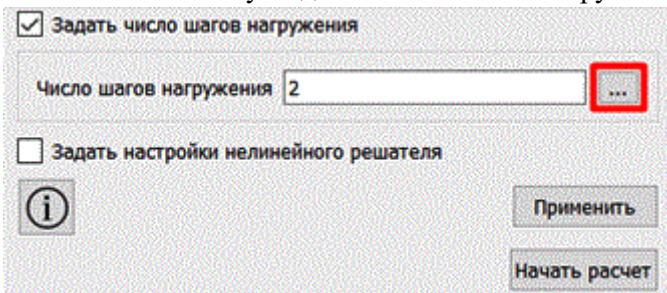
Выберите:

- Размерность: 3D;
- Модель: Упругость, Пластичность;
- Задать число шагов нагружения: 2;

Нажмите Применить.

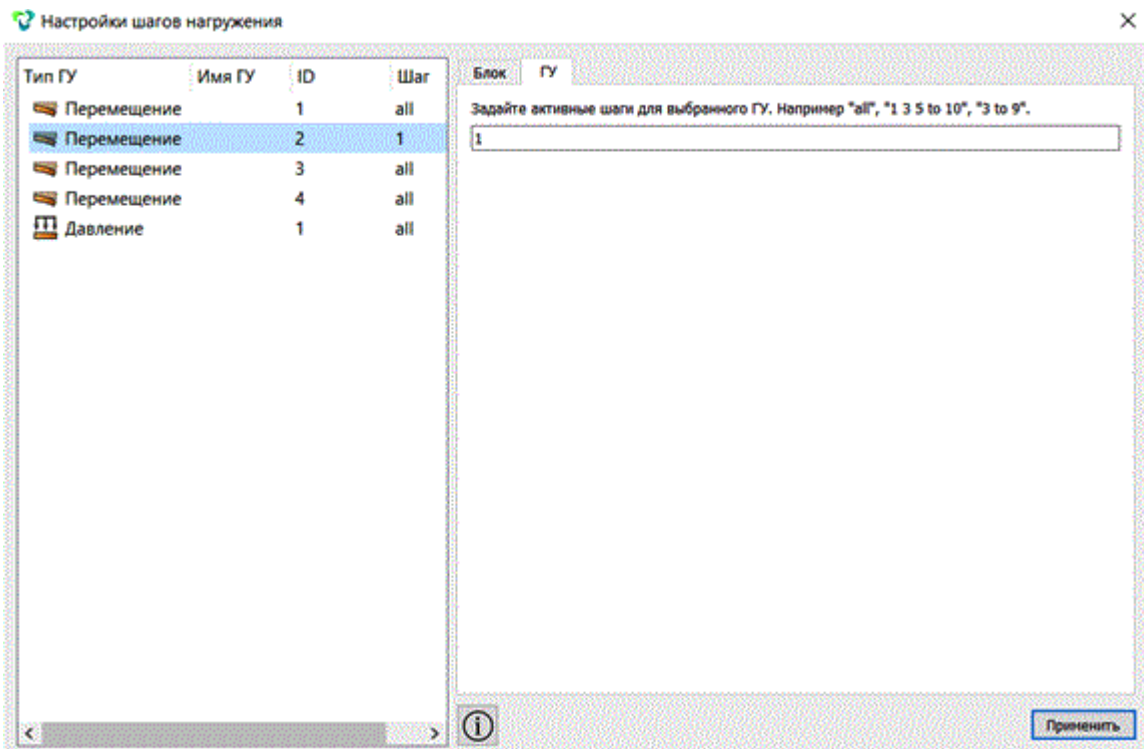


2. Поставьте галочку Задать число шагов нагружения и перейдите в окно Настройки шагов нагружения.



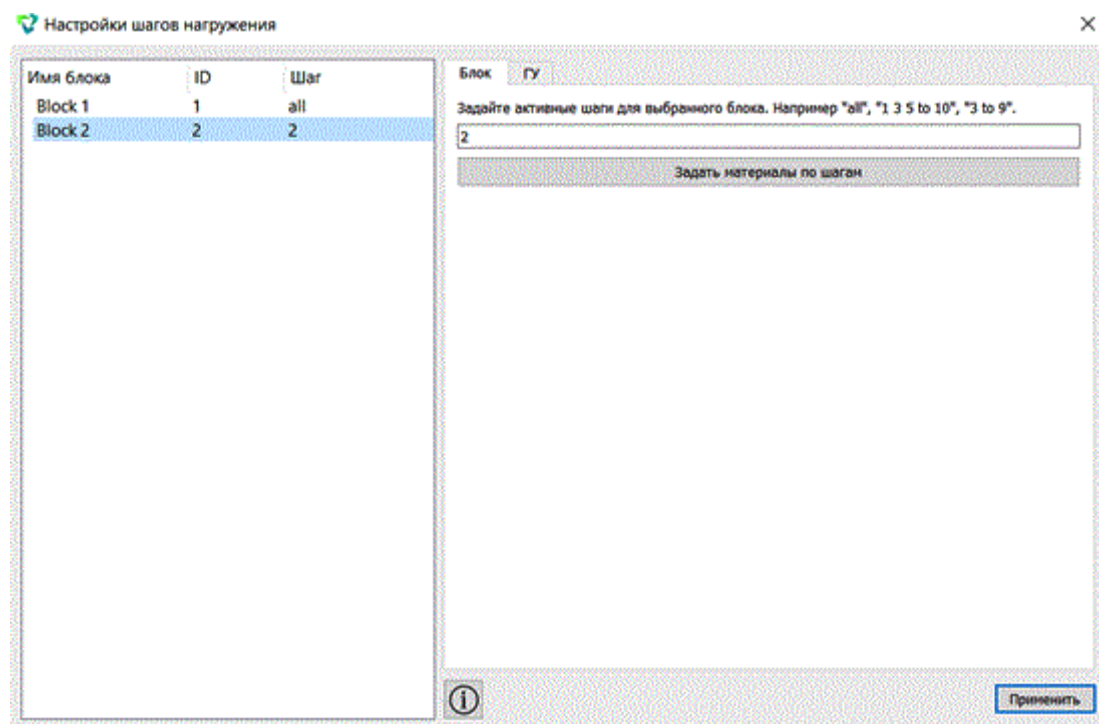
Задайте для перемещения 2 шаг расчета - 1, на котором данное граничное условие будет активно.





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.

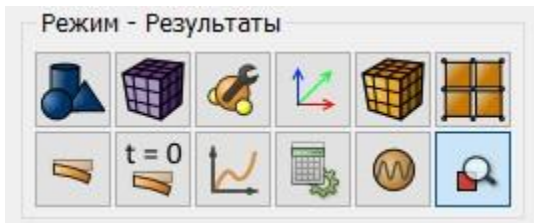
4. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат, и введите название файла.

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 Расчёт - Результаты. Нажмите Открыть последний результат.
- На панели команд выберите Результаты (Режим — Результаты, Результаты — Открыть Результаты).



Для постпроцессорного анализа перейдите в окно FidesysViewer.

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: Перемещение;
- Множитель масштаба: 100;
- Нажмите Применить.

3. На верхней панели выберите данные результата расчета для отображения. Из первого выпадающего списка выберите Перемещения, из второго – Сумма, из третьего – Поверхность с ребрами.

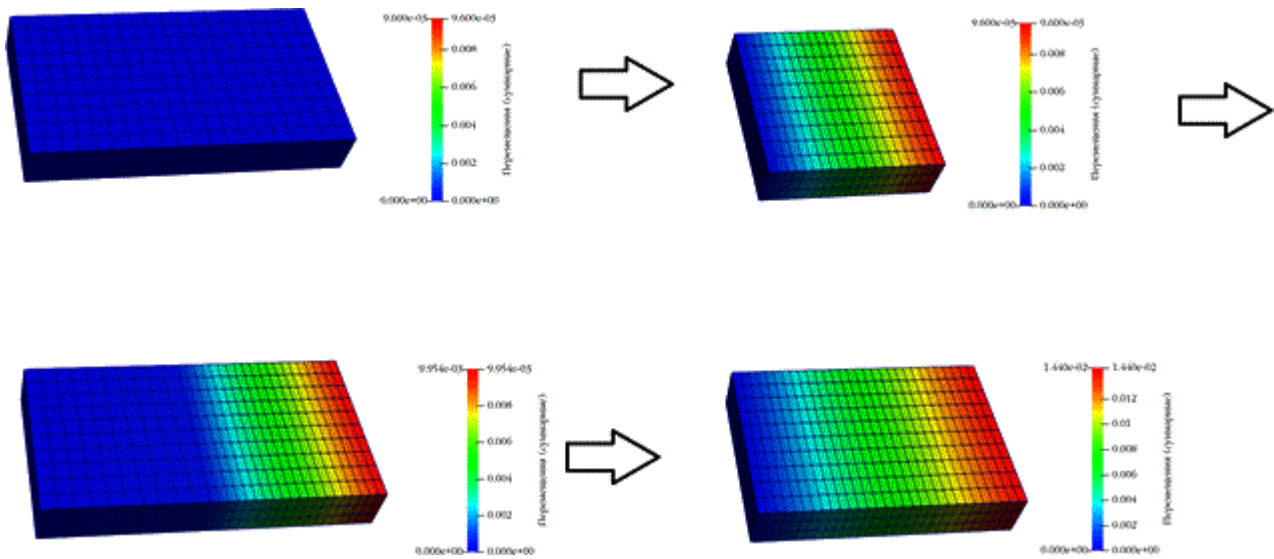


4. На панели просмотра шагов установите шаг 1. Вы должны увидеть изображение в начальном

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.

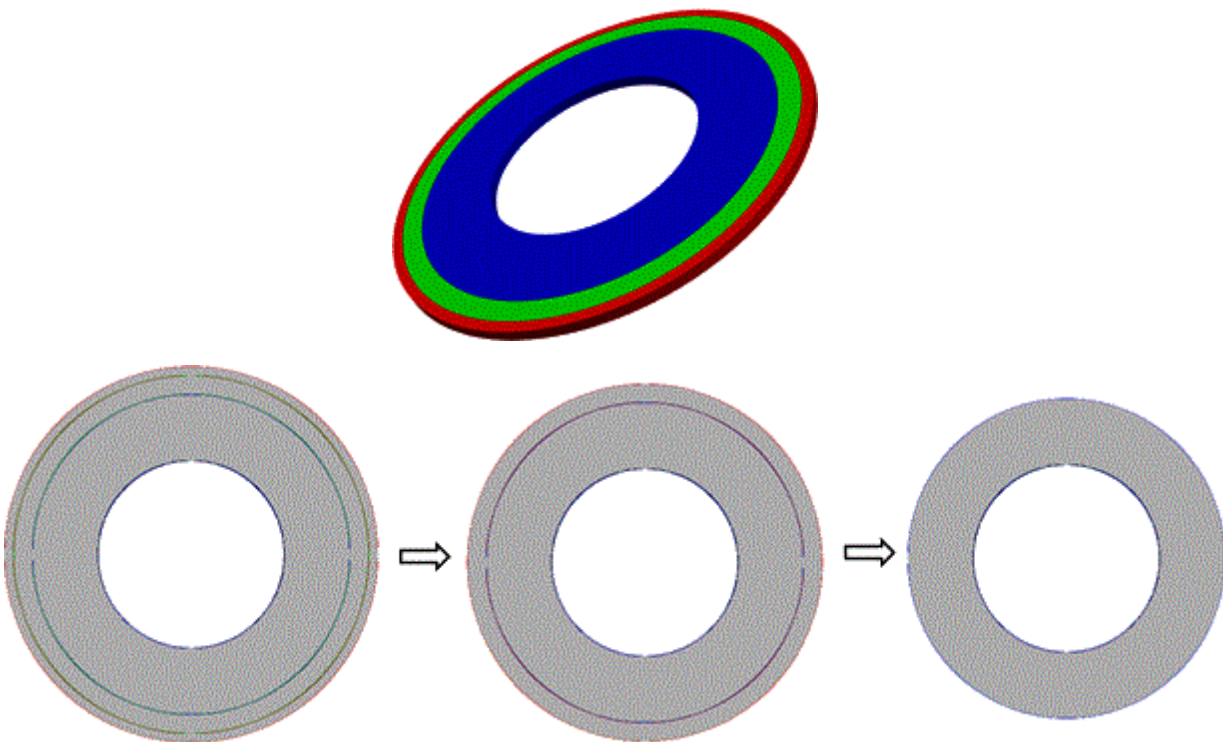


Запустите файл *add\_layers.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

## Последовательное удаление объемов в процессе расчета

Модель представляет собой цилиндрическую трубу, состоящую из трех слоев. Параметры материала для всех трех слоев:  $E = 2.1e4 \text{ Н/мм}^2$ ,  $\nu = 0.3$ , предел текучести  $\sigma = 24 \text{ Н/мм}^2$ . На внутреннюю поверхность

трубы прикладывается равномерное давление  $14 \text{ Н/мм}^2$ . 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 объемной 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;

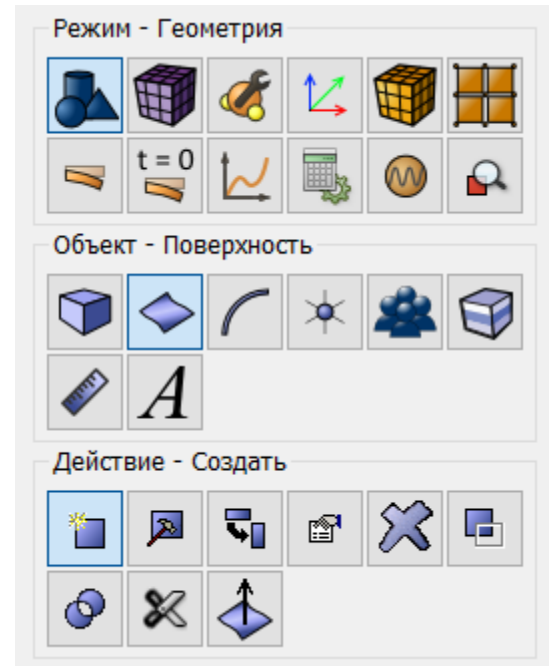
Нажмите Применить.

4. Создайте круглую поверхность радиусом 200.

Задайте размеры:

- Радиус: 200;
- 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).

Поверхность, Действие — Логические операции).

Из списка операций выберите Вычесть. Задайте следующие параметры:

- ID поверхности(ей): 2 3 4 (поверхности, из которых будут вычтены другие поверхности);
- ID поверхности(ей): 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 поверхности(ей): 6 (поверхности, из которых будут вычтены другие поверхности);
- ID поверхностей(ей): 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.

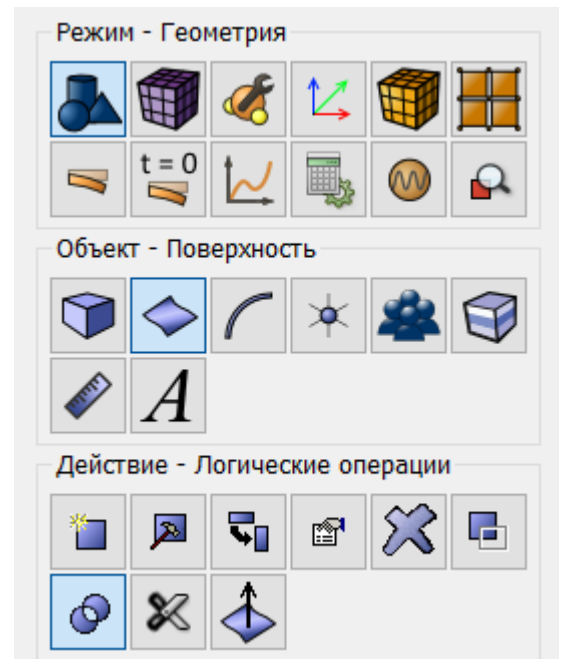
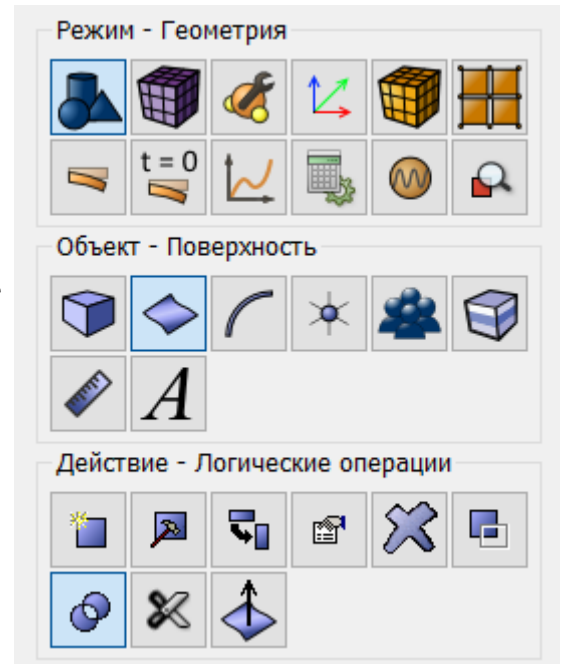
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — Геометрия, Объект — Поверхность, Действие — Логические операции).

Поверхность, Действие — Логические операции).

Из списка операций выберите Вычесть. Задайте следующие параметры:

- ID поверхности(ей): 7 (поверхности, из которых будут вычтены другие поверхности);
- ID поверхности(ей): 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 поверхностей: all (поверхности, которые будут разрезаны);
- 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:

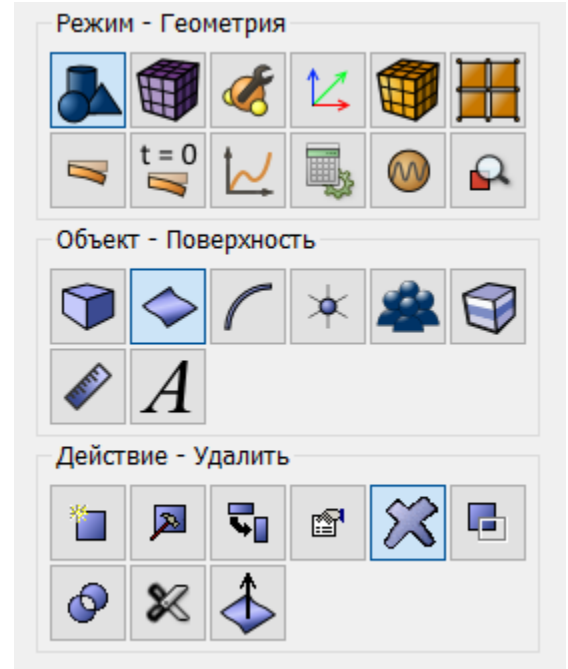
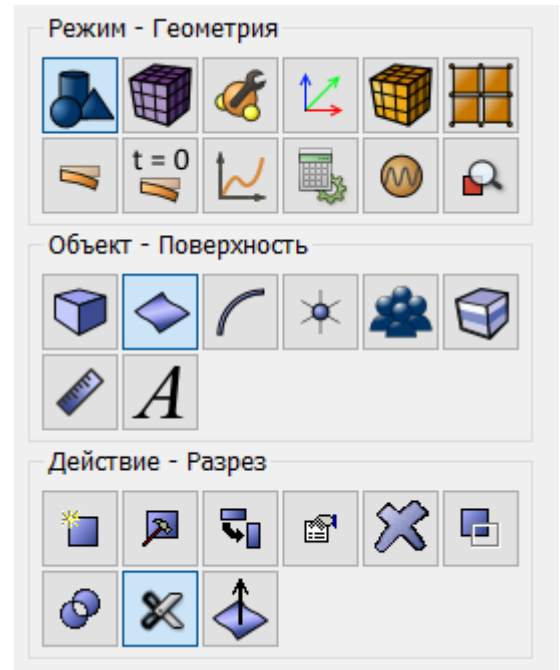
- ID поверхностей: all (поверхности, которые будут разрезаны);
- Разрезать: Плоскость ZX;
- Значение сдвига: 0.

Нажмите Применить.

### 9. Удалите поверхности.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — Геометрия, Объект — Поверхность, Действие — Удалить).

В поле ID поверхностей введите номера – 16 20 24 17 21 25 19 23 27. Нажмите Применить.



10. Сделайте протяжку поверхностей для создания объема:

На панели команд (Режим – Геометрия, Объект – Объем, Действие – Создать).

Из выпадающего списка выберите Протяжка. Задайте следующие параметры:

- ID поверхности(ей): all;
- Перпендикуляр;
- Расстояние: 10;
- Установите флаг Срастить результаты;

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).

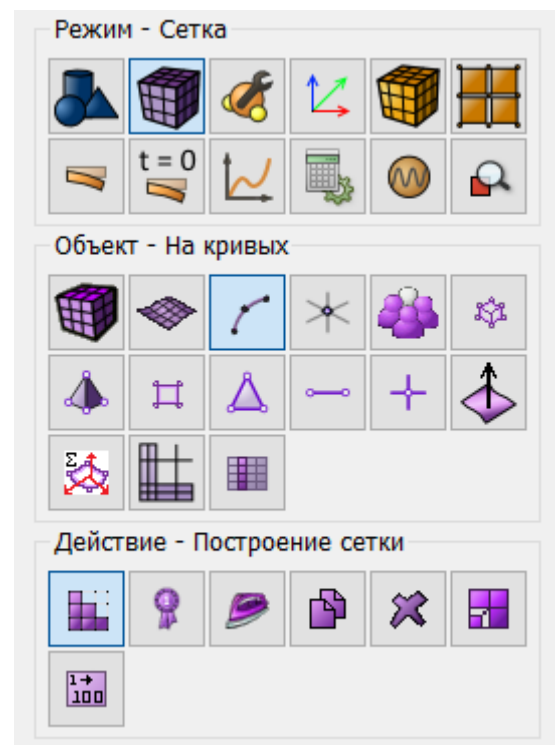
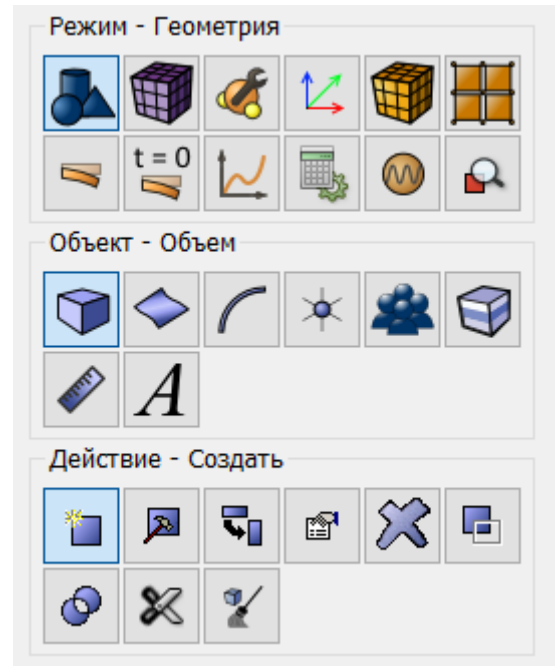
Укажите степень измельчения сетки:

- 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).

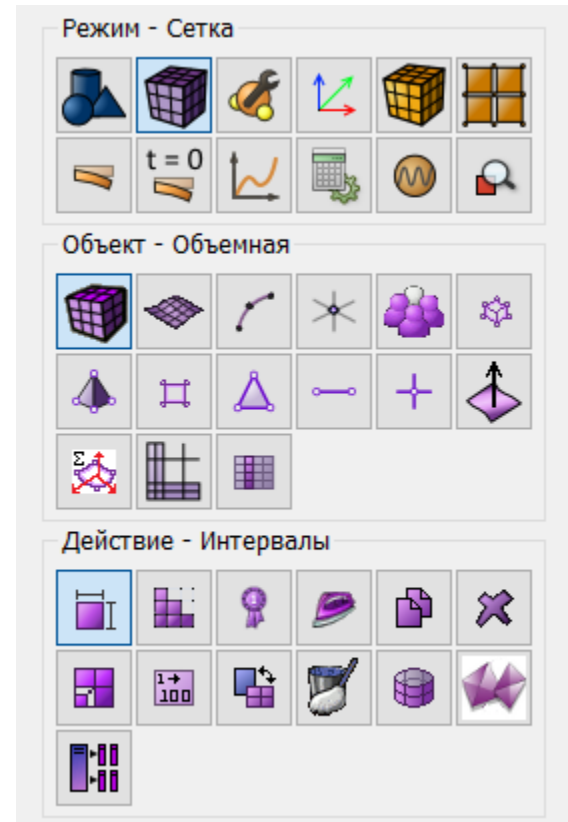
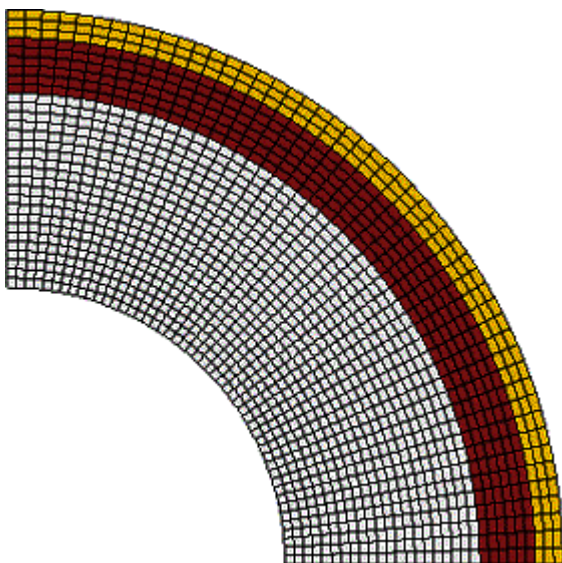
Нажмите Применить.

4. На панели команд выберите модуль построения сетки на плоскостях (Режим – Сетка, Объект – Объемная, Действие – Интервалы).

Укажите интервал построения сетки:

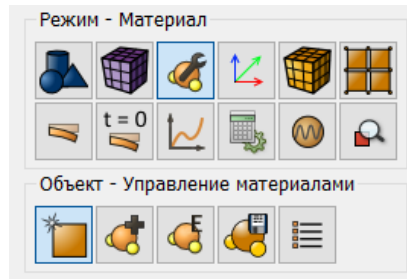
- Выберите режим построения сетки: Автоматический размер.
- Выбор объемов (укажите их ID): all;

Нажмите Задать размер. Нажмите Построить сетку.



## Задание материала

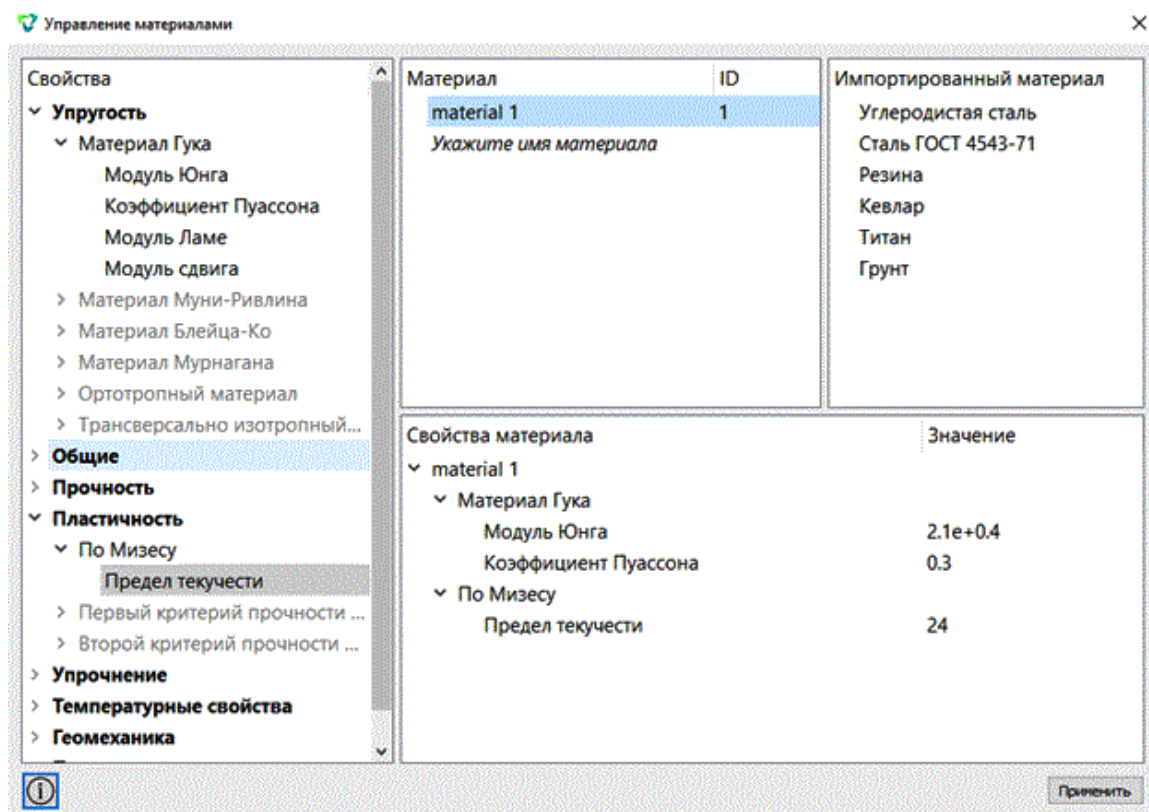
1. На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — Материал, Объект —



Управление материалами). Укажите имя материала material 1.

2. Перетащите из левой колонки надпись **Материал Гука**, а так же в разделе **Пластичность** надпись **По Мизесу** в колонку **Свойства материала**. Задайте следующие параметры:

- Модуль Юнга:  $2.1e+04$ ;
- Коэффициент Пуассона: 0.3;
- По Мизесу: 24.



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

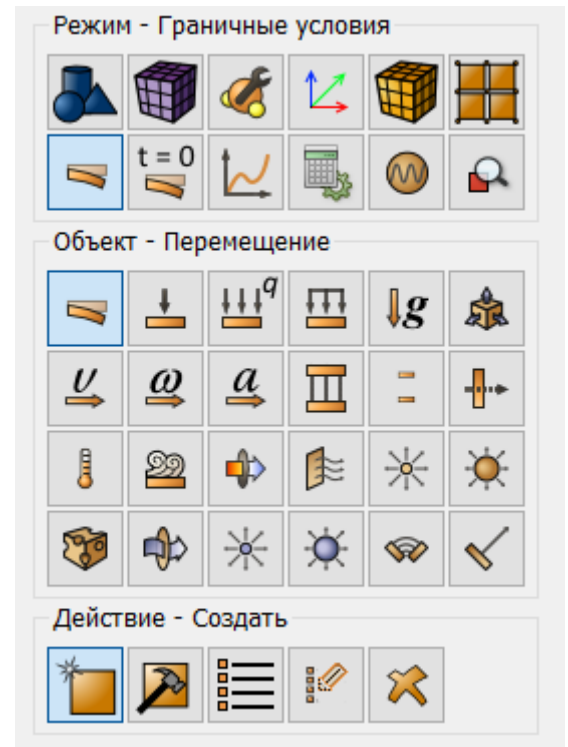
- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 31 36 41;
- Степени свободы: По X;
- Величина: 0.

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.



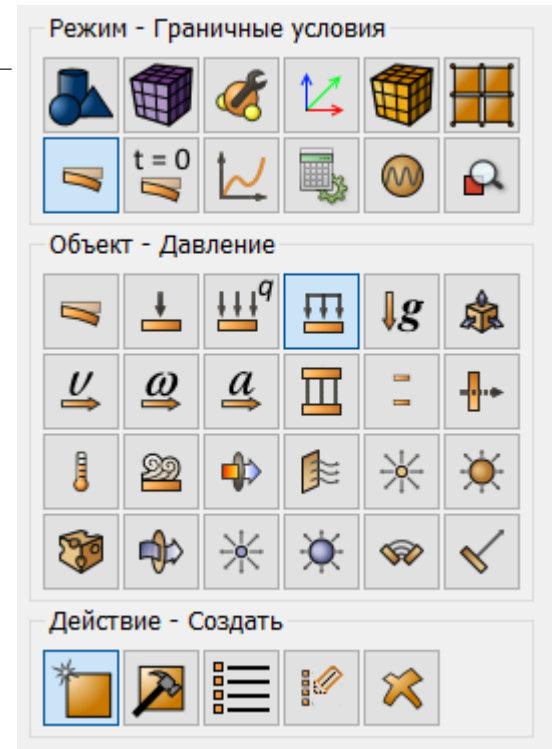
4. Приложите равномерное давление на поверхность.

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 материала и 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: Объем;
- 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: Объем;
- 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.

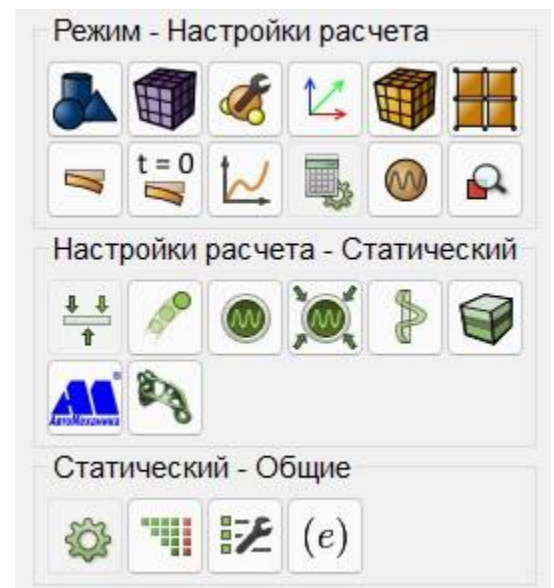
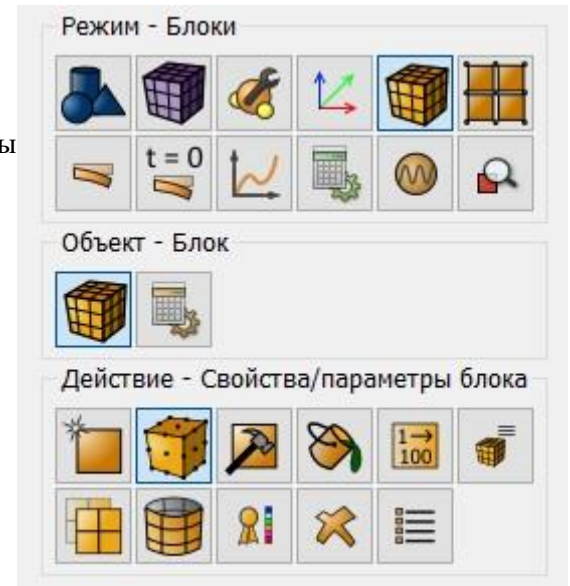
На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим — Настройки расчёта, Настройки расчёта — Статический, Статика — Общие).

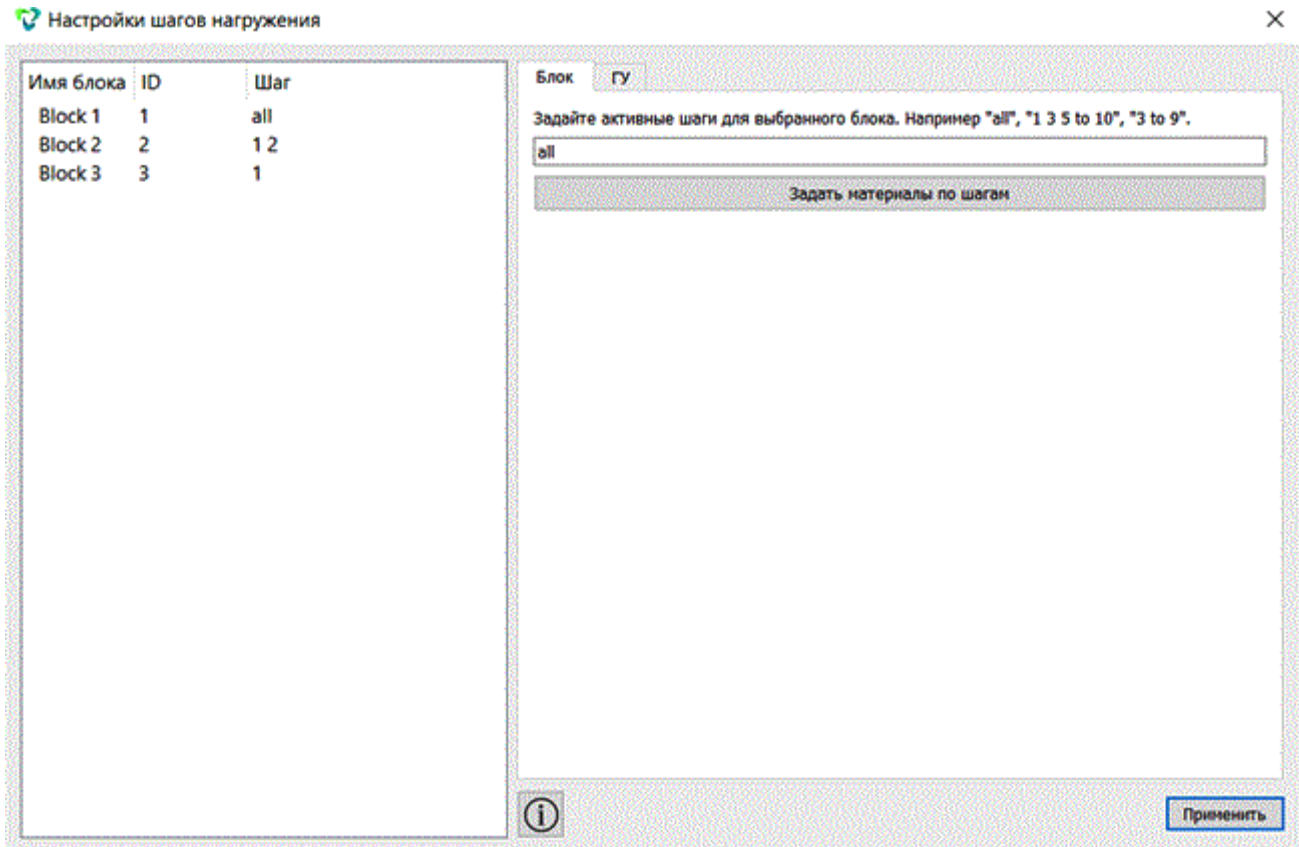
Выберите:

- Размерность: 3D;
- Тип плоской задачи: Плоское деформированное состояние;
- Модель: Упругость, Пластичность;
- Задать число шагов нагружения: 3.

Нажмите на  напротив поля Число шагов нагружения, для того чтобы настроить активные шаги расчета для блоков.

В левой колонке кликните по надписи Block 2. На вкладке Блоки установите активные шаги расчета —1 2(через пробел). В левой колонке кликните по надписи Block 3 и на вкладке Блоки установите активный шаг расчета —1.





Нажмите Применить. Закройте окно. 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).




2. Для постпроцессорного анализа перейдите в окно FidesysViewer.

3. На верхней панели выберите данные результата расчета для отображения. Из первого выпадающего списка выберите Напряжения, из второго – Мизес, из третьего – Поверхность.



4. 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.



Запустите файл *delete\_layers.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

## 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 объёмной геометрии (Режим — Геометрия, Объект — Поверхность, Действие — Создать).

Из списка геометрических примитивов выберите Прямоугольник. Задайте размеры блока:

- Ширина: 1000;
- Расположение: Z-плоскость.

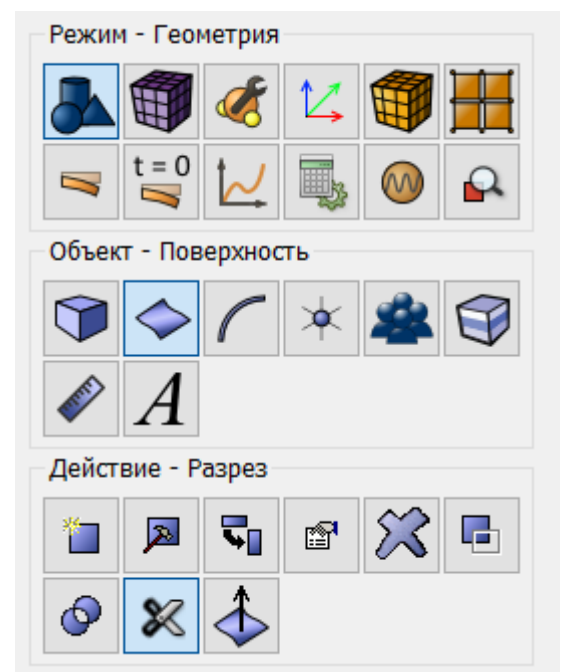
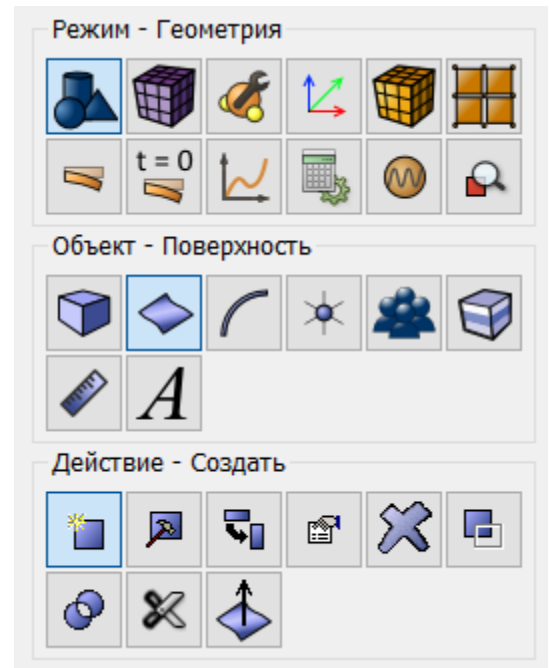
Нажмите Применить.

2. В силу симметрии рассмотрим половину модели.

На панели команд выберите модуль построения объёмной 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);





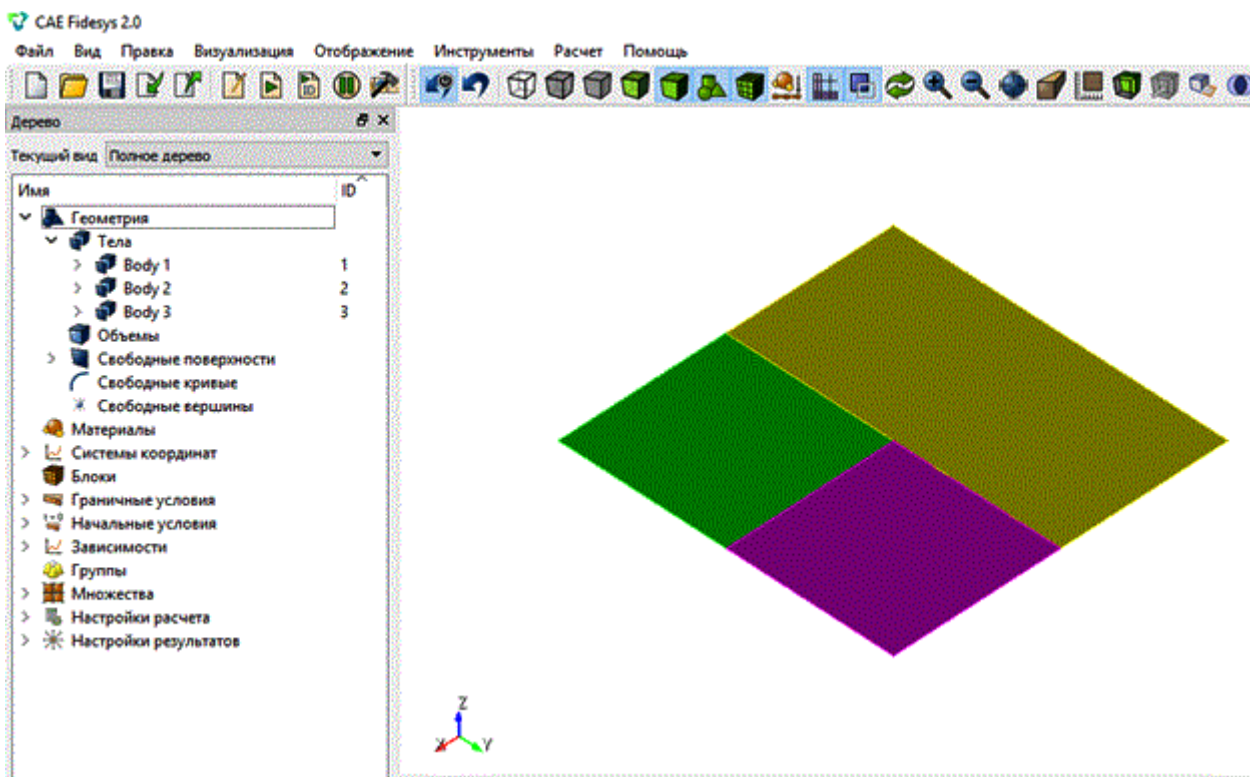
- Разрезать: YZ;
- Значение смещения: 0;

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).

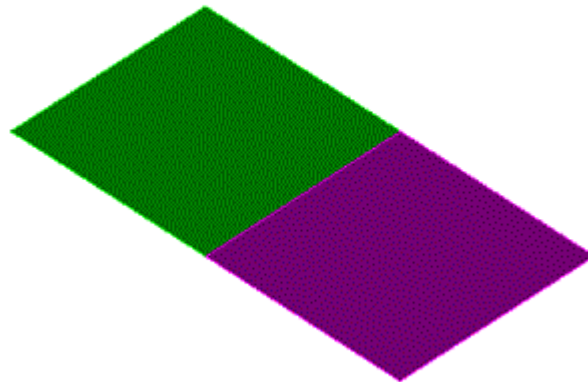
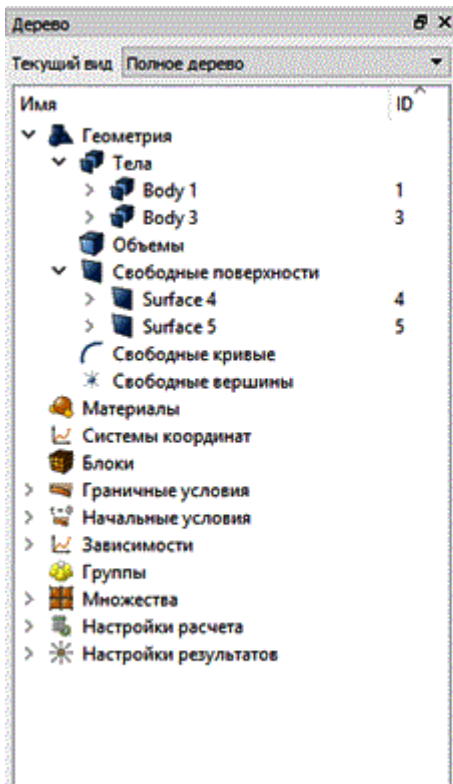
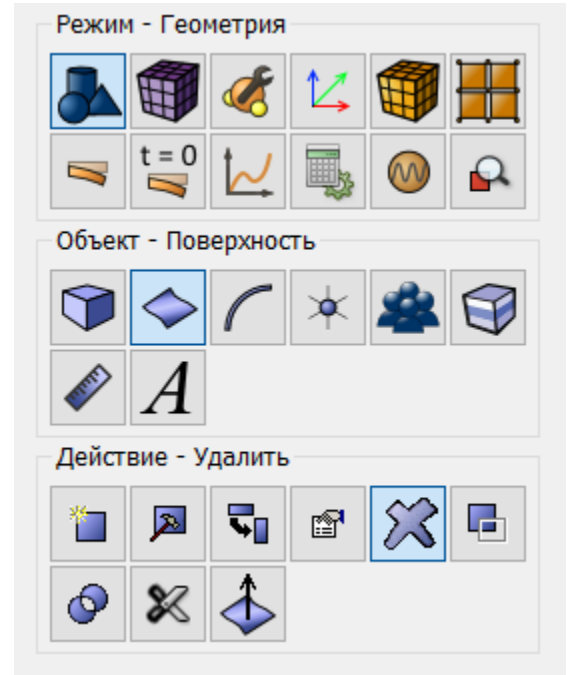
Удалите поверхность Surface 3.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — Геометрия, Объект — Поверхность, Действие — Удалить).

Задайте параметры:

- ID поверхности(ей): 3;

Нажмите Применить.



### 5. Поверните модель.

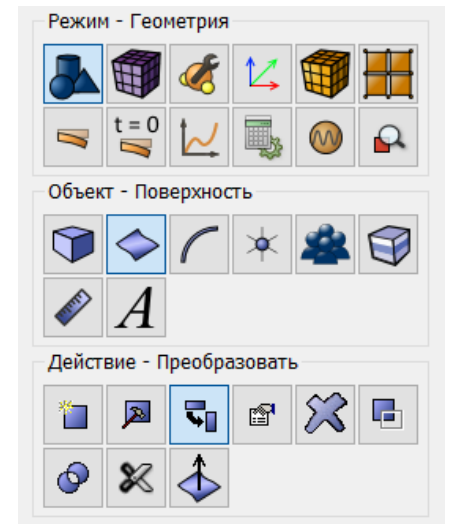
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — Геометрия, Объект — Поверхность, Действие — Преобразовать).

Из выпадающего списка выберите Повернуть.

Задайте следующие параметры:

- Поверхность ID(s): 4 5;
- Угол: -90;
- Повернуть вокруг: Ось Z;

Нажмите Применить.



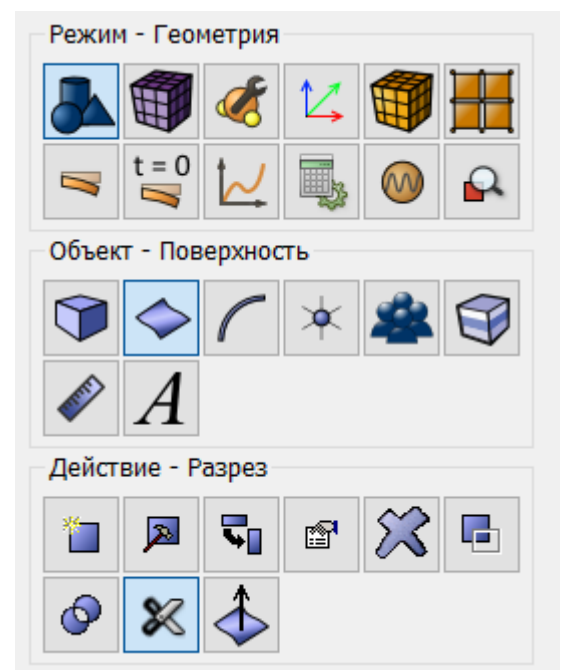
### 6. Разрежьте модель.

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

Из списка возможных видов разреза выберите пункт Координатная плоскость. Задайте следующие параметры:

- ID тел(a): 3 1;
- Разрезать: ZX;
- Значение смещения: -250;

Нажмите Применить.



## 7. Отпечатайте и срастите поверхности.

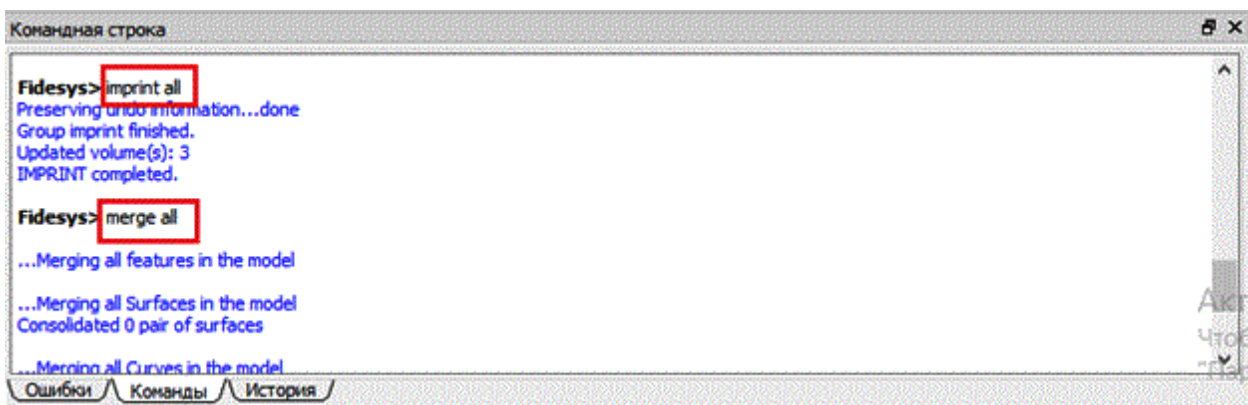
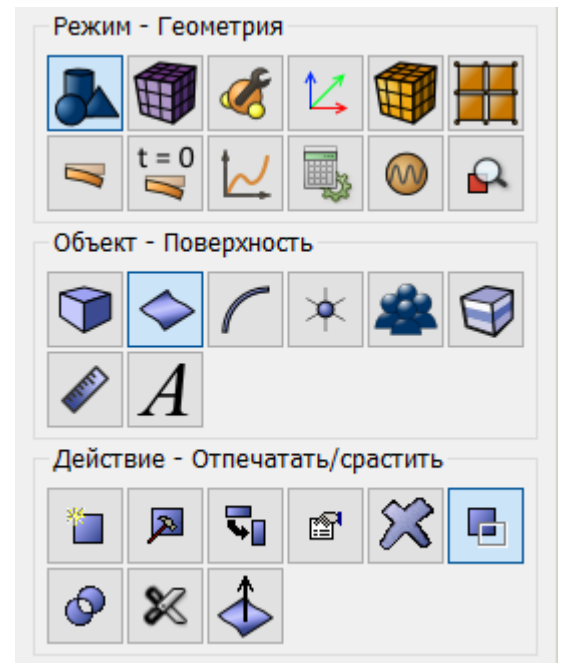
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — Геометрия, Объект — Поверхность, Действие — Отпечатать/срастить).

Задайте следующие параметры:

- ID поверхности(ей): all;

Нажмите Применить.

Или напишите в командной строке:  
*merge all*  
*imprint all*



## Построение сетки

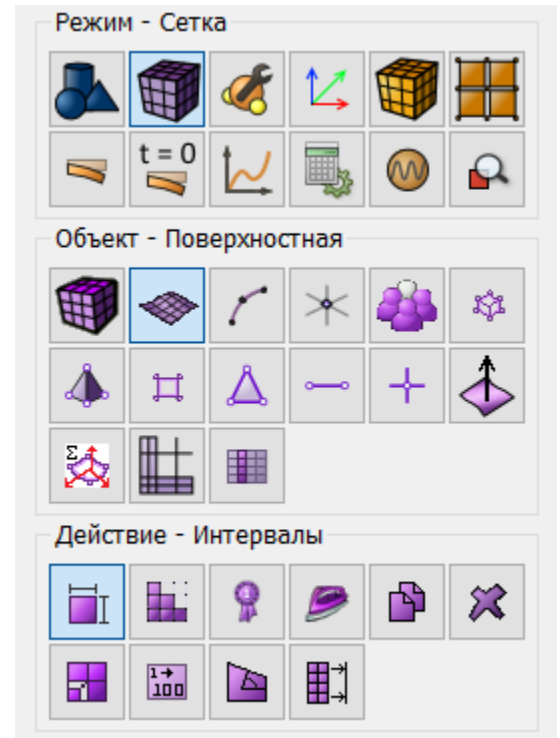
1. На панели команд выберите модуль построения сетки на кривых (Режим — Сетка, Объект — Поверхностная, Действие — Интервалы).

Укажите степень измельчения сетки:

- Задать размер;
- Выбор поверхностей: all;
- Примерный размер: 7;

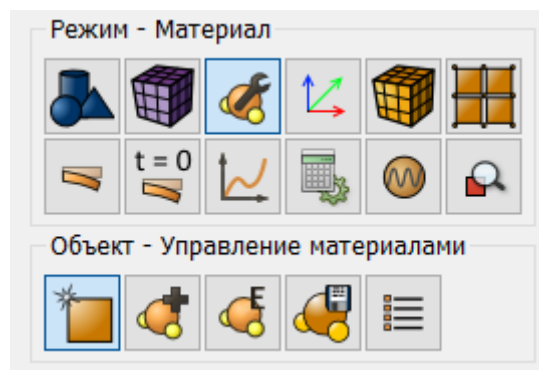
Нажмите Применить.

Нажмите Построить  
сетку.

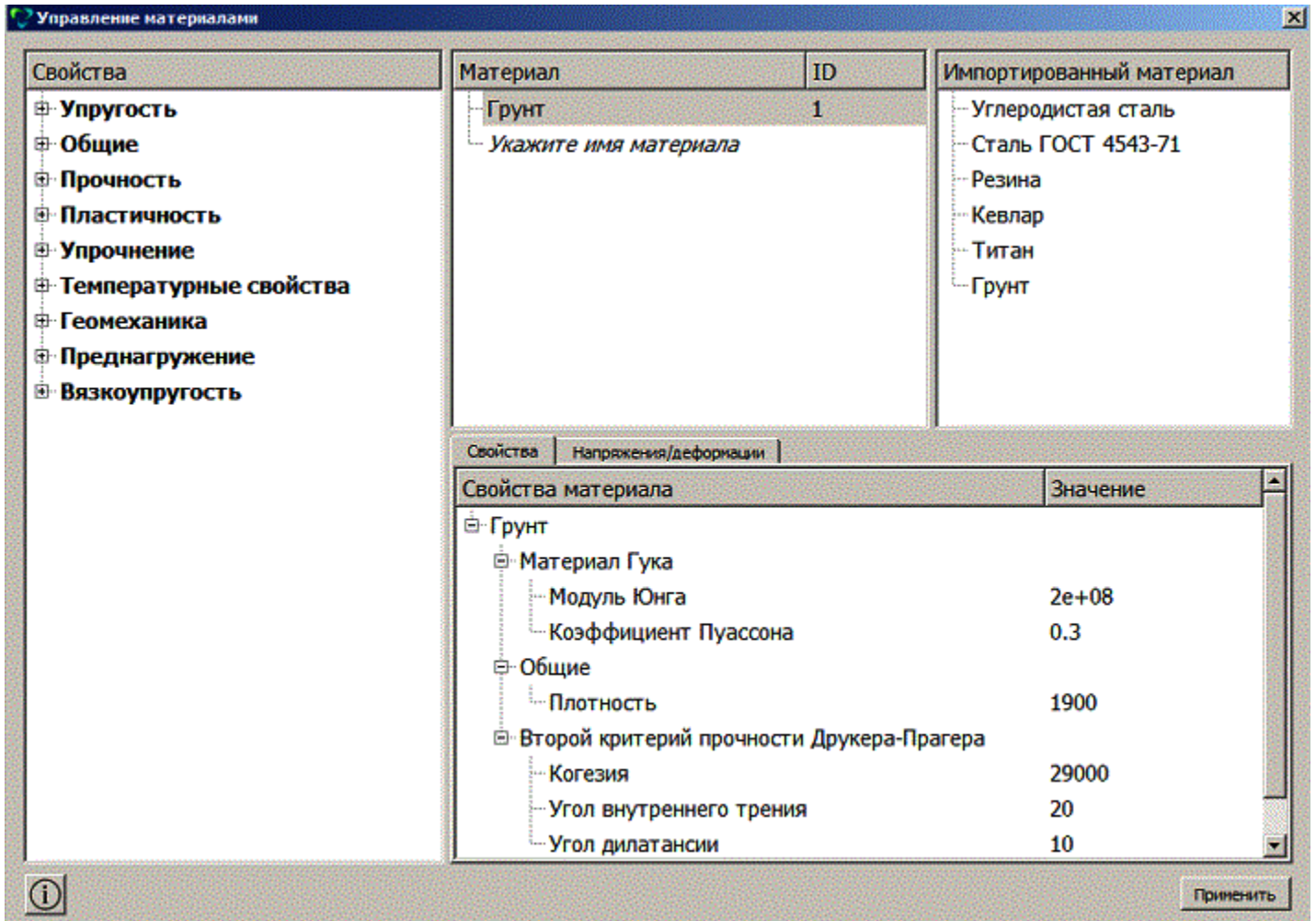


### *Задание материала и свойств блока*

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.

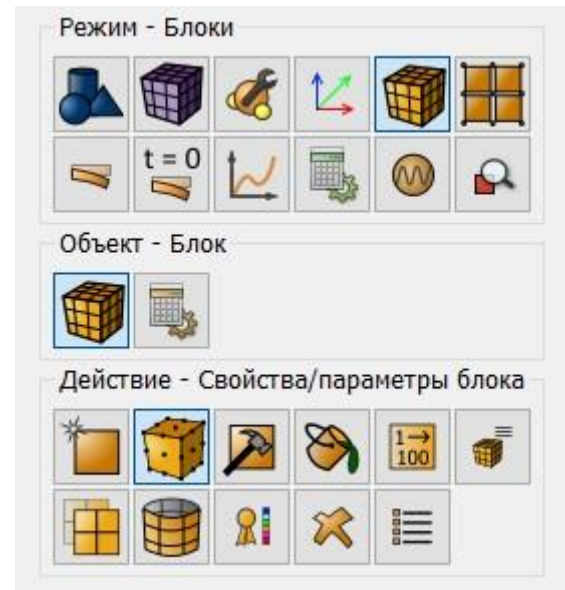
### 3. Задайте параметры блока.

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: 3;

Нажмите Применить.



## Задание граничных условий

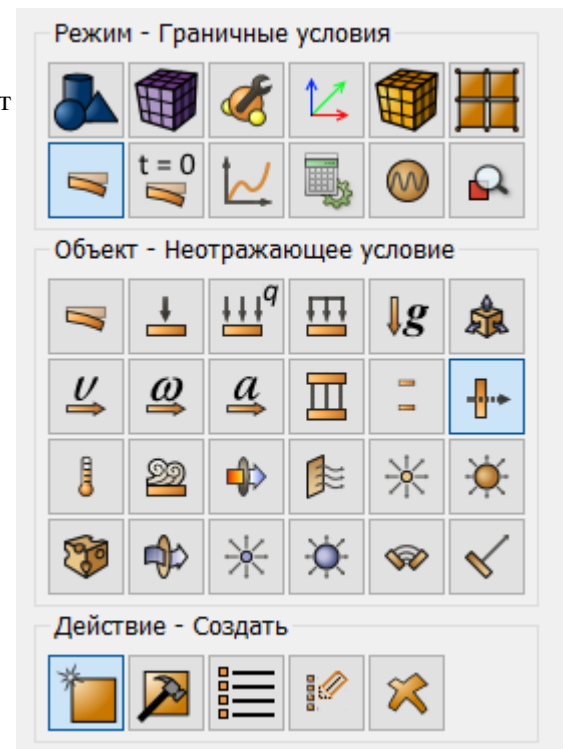
### 1. Задайте неотражающие граничные условия.

На панели команд выберите (Режим — Граничные условия, Объект — Неотражающее условие, Действие — Создать).

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список сущностей: Кривая;
- ID объекта(ов): 28 24 13 15 19 21(через пробел);

Нажмите Применить.



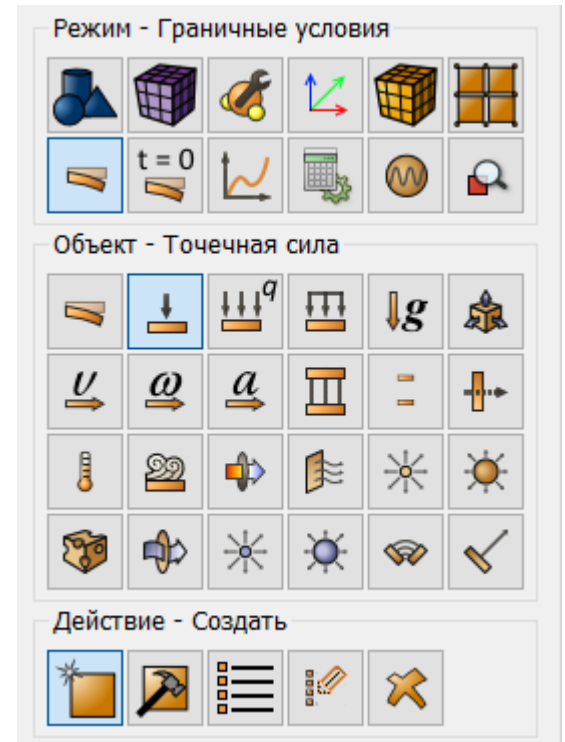
2. Задайте точечную силу.

На панели команд выберите (Режим — Граничные условия, Объект — Точечная сила, Действие — Создать).

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Вершина;
- ID объектов: 10;
- Сила: 1;
- Направление: 0 -1 0(через пробел);

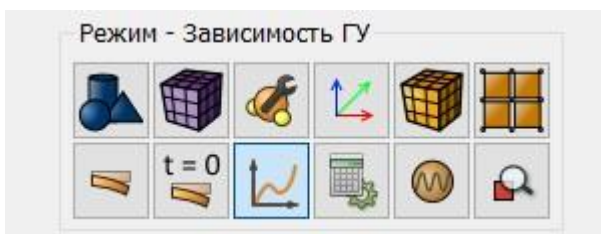
Нажмите Применить.



### ***Установите зависимость ГУ от времени***

1. Создайте формулу 1 для силы 1.

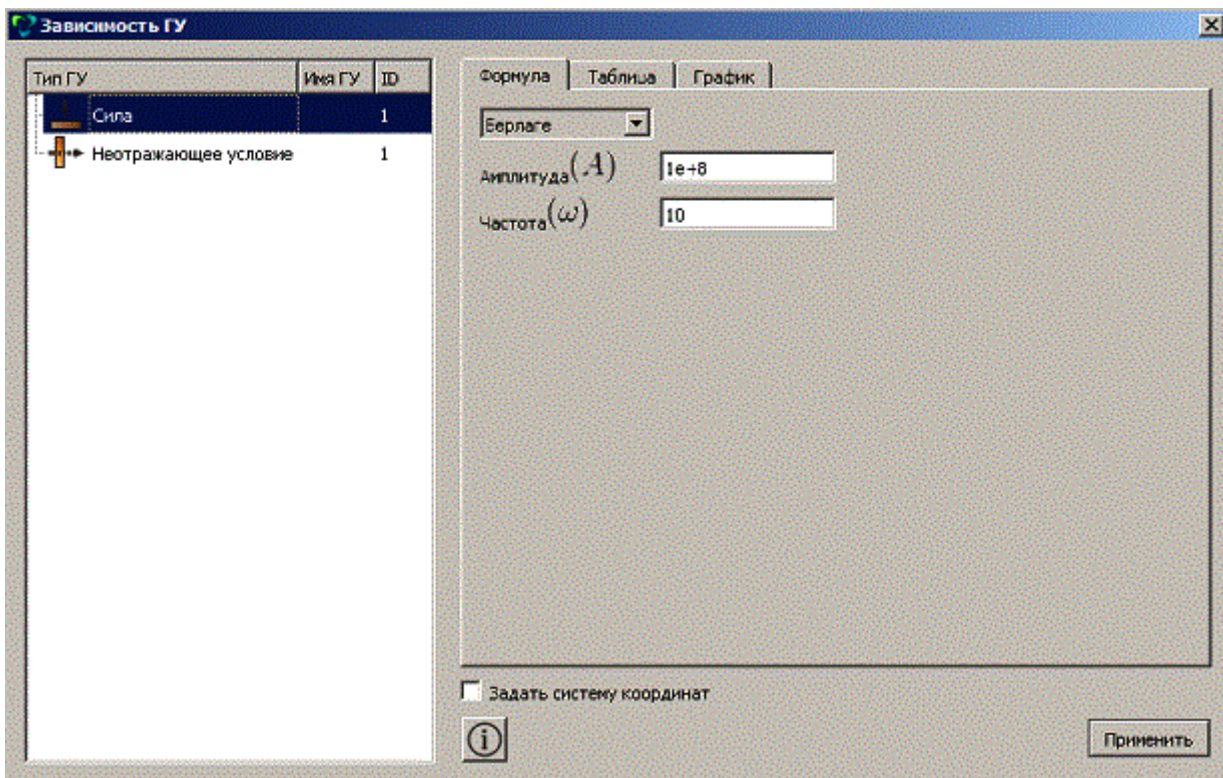
На панели команд выберите (Режим — Зависимость ГУ).



В левой колонке кликните по надписи Сила 1. На вкладке Формула в выпадающем списке выберите Берлаге. Задайте следующие параметры:

- Амплитуда: 1e8;
- Частота: 10.



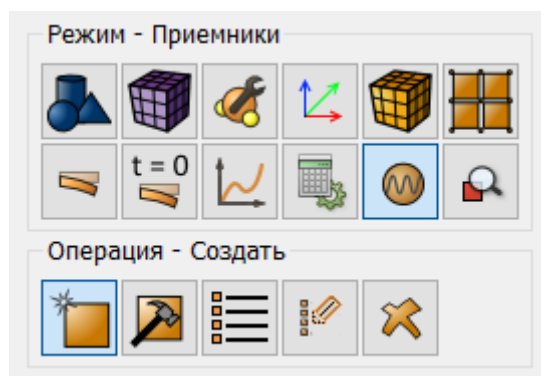


Нажмите Применить.

## Приёмники

1. Создайте приёмники на кривой 16 по всем направлениям.

На панели команд выберите (Режим — Приёмники, Операция — Создать).



Выберите из выпадающего списка те поля, данные которых необходимо сохранить в формате SEG-Y. Задайте следующие параметры:

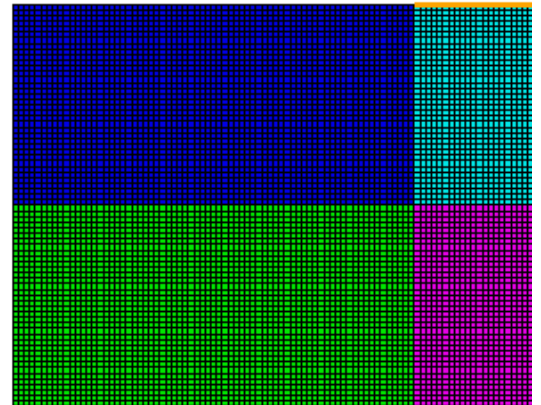
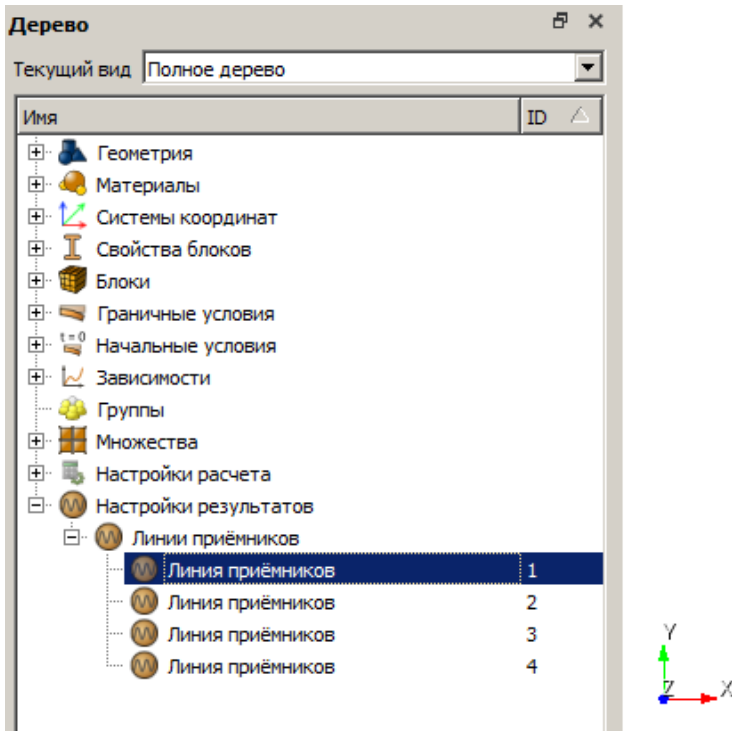
- Автоматическое присвоение ID;
- Список сущностей: Кривая;
- ID объекта(ов): 16;
- Перемещение;

- Переменные: Все;

Нажмите Применить.

Повторно проделайте все действия с теми же параметрами для каждого поля из выпадающего списка (скорость, главные напряжения, давление).

Линии приемников подсвечиваются на модели желтым цветом при клике в соответствующем разделе Древа.

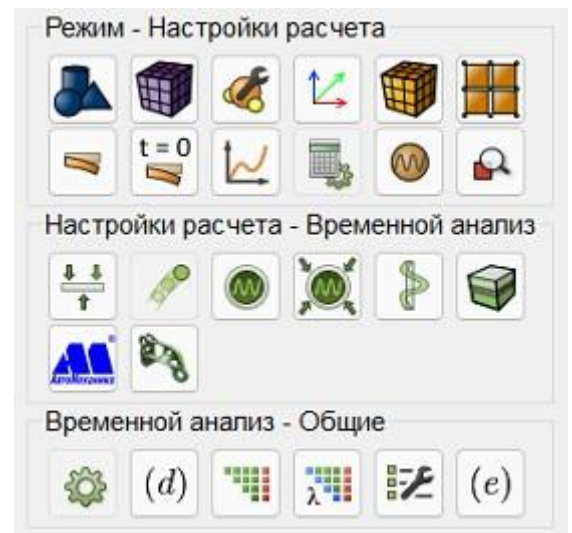


### Запуск расчёта

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

Задайте следующие параметры расчёта:

- Размерность: 2D;
- Метод: Полное решение;



- Схема: Явная;
- Максимальное время: 3;
- Количество шагов: 2025;
- Преднагруженная модель: уберите галочку;

Нажмите Применить.

Перейдите в раздел настройки полей вывода. На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим — Настройки расчёта, Настройки расчёта — Временной анализ, Временной анализ — Поля вывода).

Укажите:

- Сохранять результаты: Каждые 135 шагов;

Нажмите Применить. Нажмите Начать расчёт.

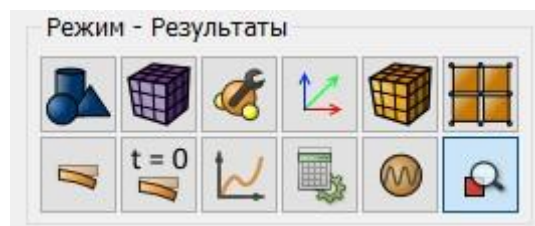
В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат, и введите название файла.

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 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).

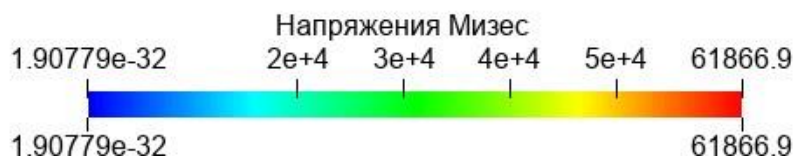
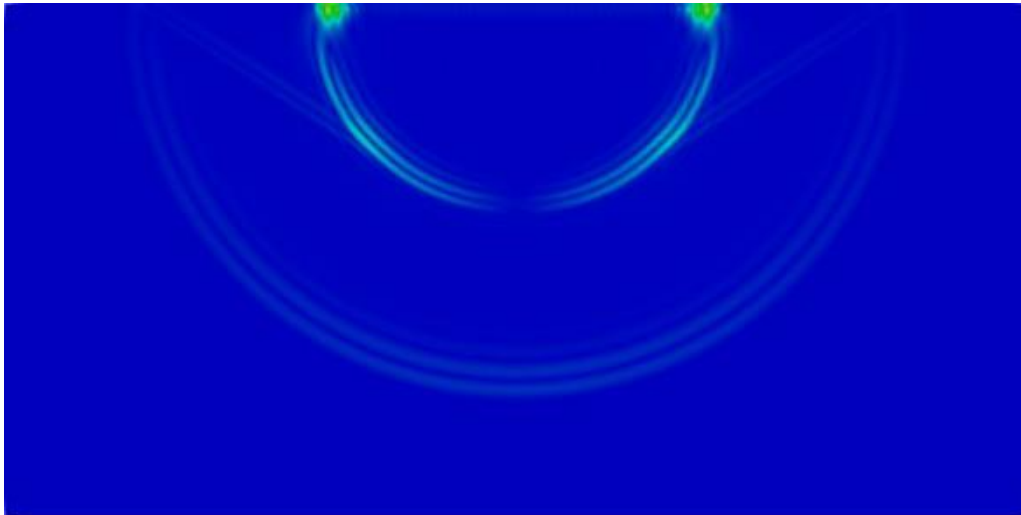


2. Для анализа результатов перейдите в окно FidesysViewer.

3. На верхней панели выберите данные результата расчета для отображения. Из первого выпадающего списка выберите Напряжение, из второго – Мизес.

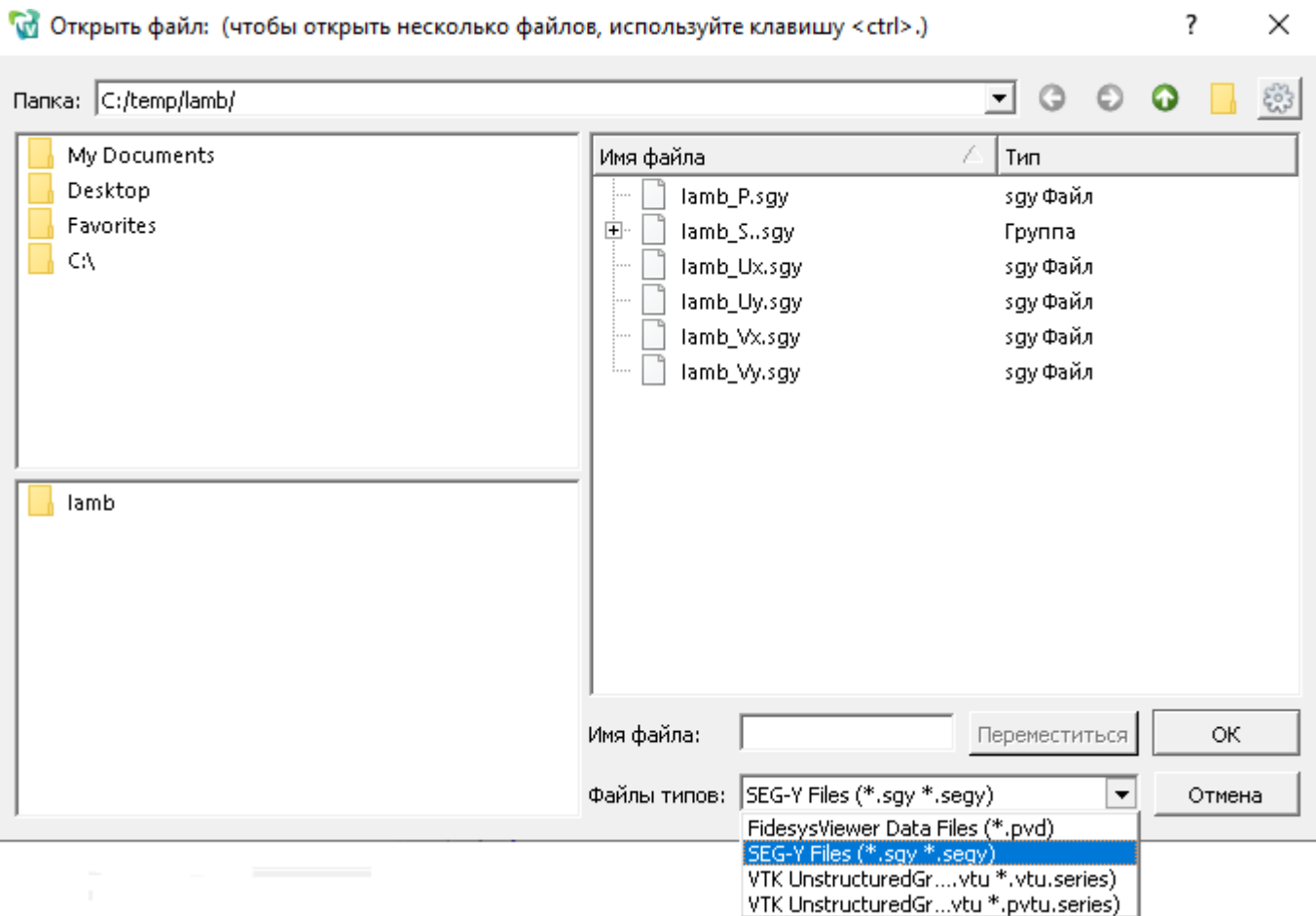


4. На панели просмотра шагов установите шаг 1. Вы должны увидеть изображение пластины в начальном состоянии. Далее, нажмите на Воспроизведение . Вы должны увидеть распространение напряжений с течением времени.

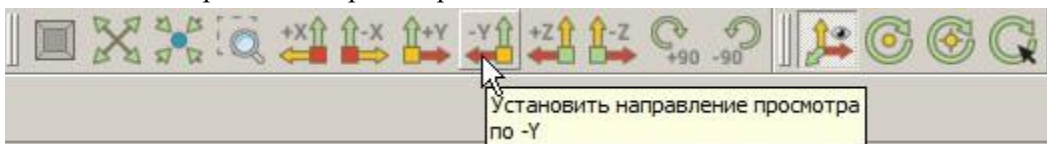


5. Откройте сохраненные данные в формате SEG-Y.

Для этого перейдите в Меню - Файл - Открыть. В выпадающем списке типов файлов выберите SEG-Y Files (\*.sgy, \*.segy). Укажите файл для просмотра lamb\_Uy.sgy



Установите направление просмотра вдоль оси Y.



В области визуализации отобразились результаты расчета для перемещения Uy в формате SEG-Y.



### ***Использование консольного интерфейса***

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса.



Запустите файл *boussinesq\_problem\_seguy.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

## 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.

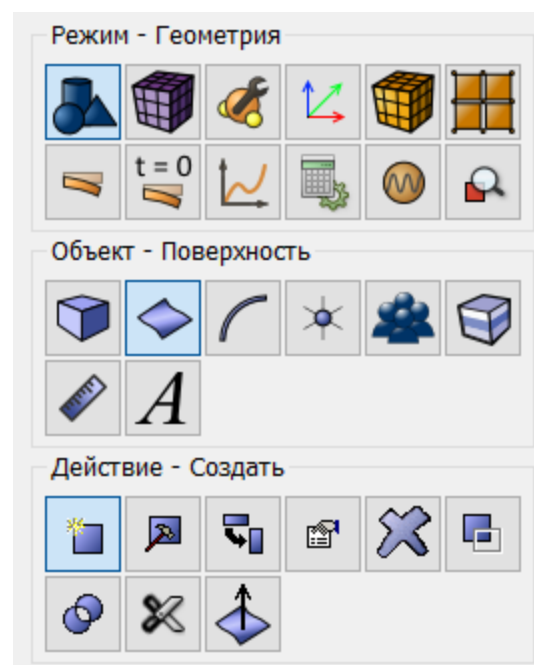
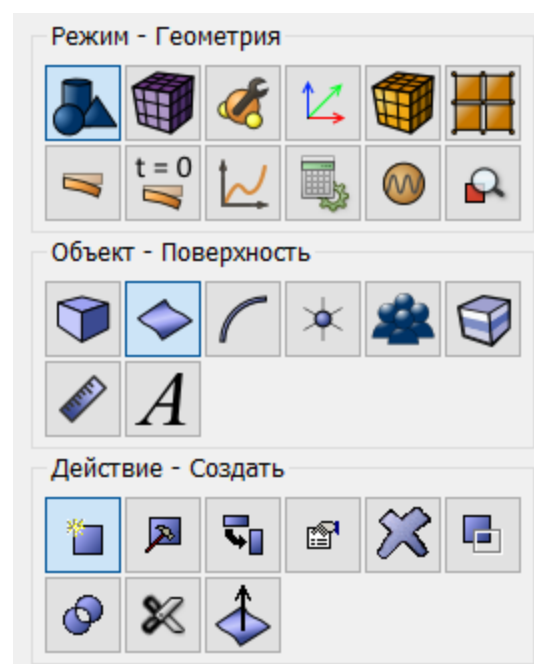
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие — **Создать**).

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**).

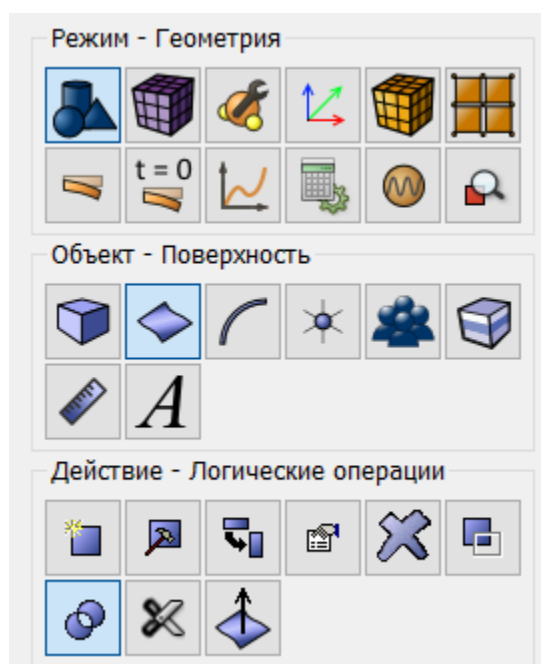
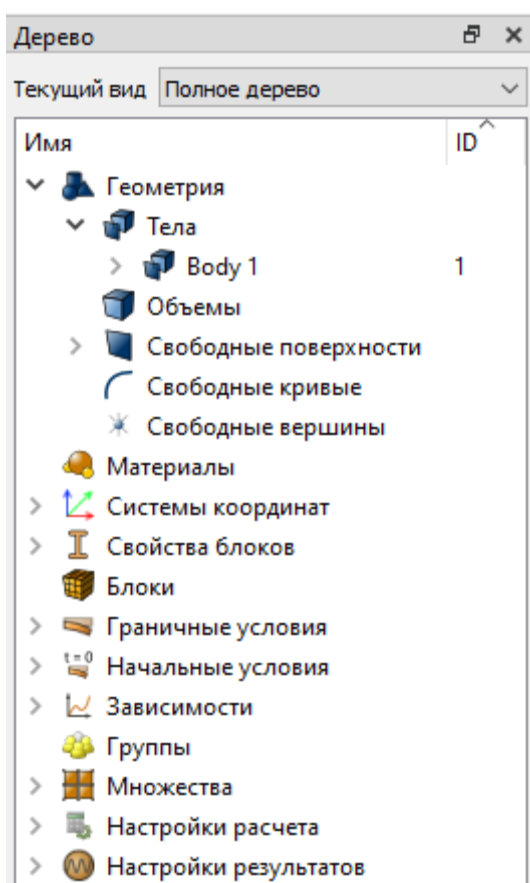
Из списка логических операций выберите **Вычесть**.

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**.

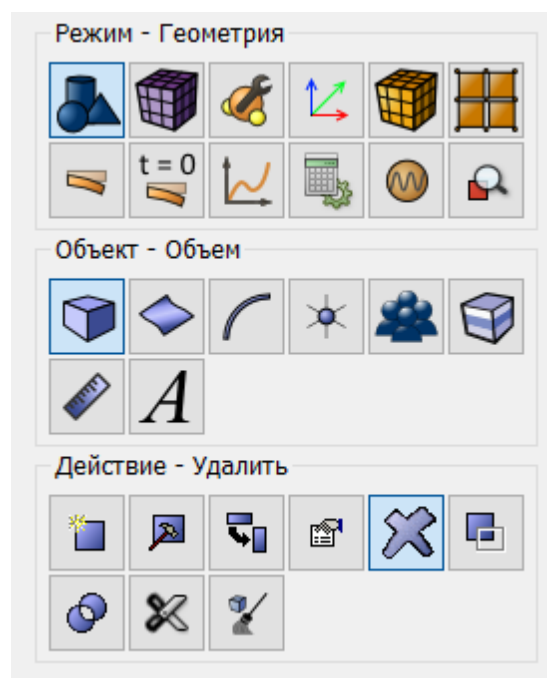
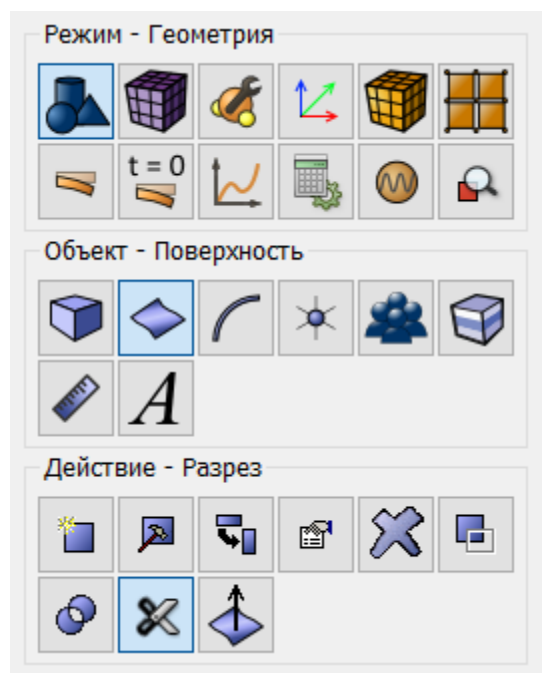
Затем удалите объемы 4 и 1.

На панели команд выберите модуль управление геометрией (Режим — Геометрия, Объект — Объем, Действие — Удалить).

Задайте параметры:

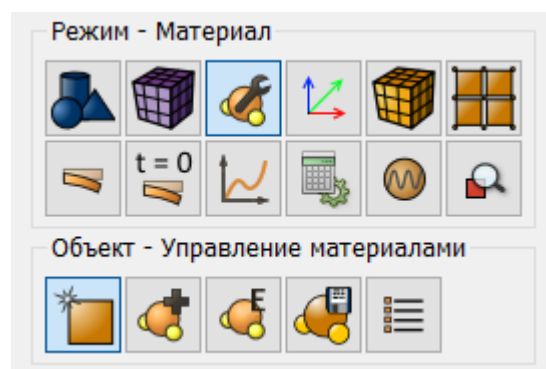
- ID объема(ов): 4 1(через пробел);

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 Платичность и перетащите Второй критерий прочности Друкера-Прагера в колонку Свойства материала.

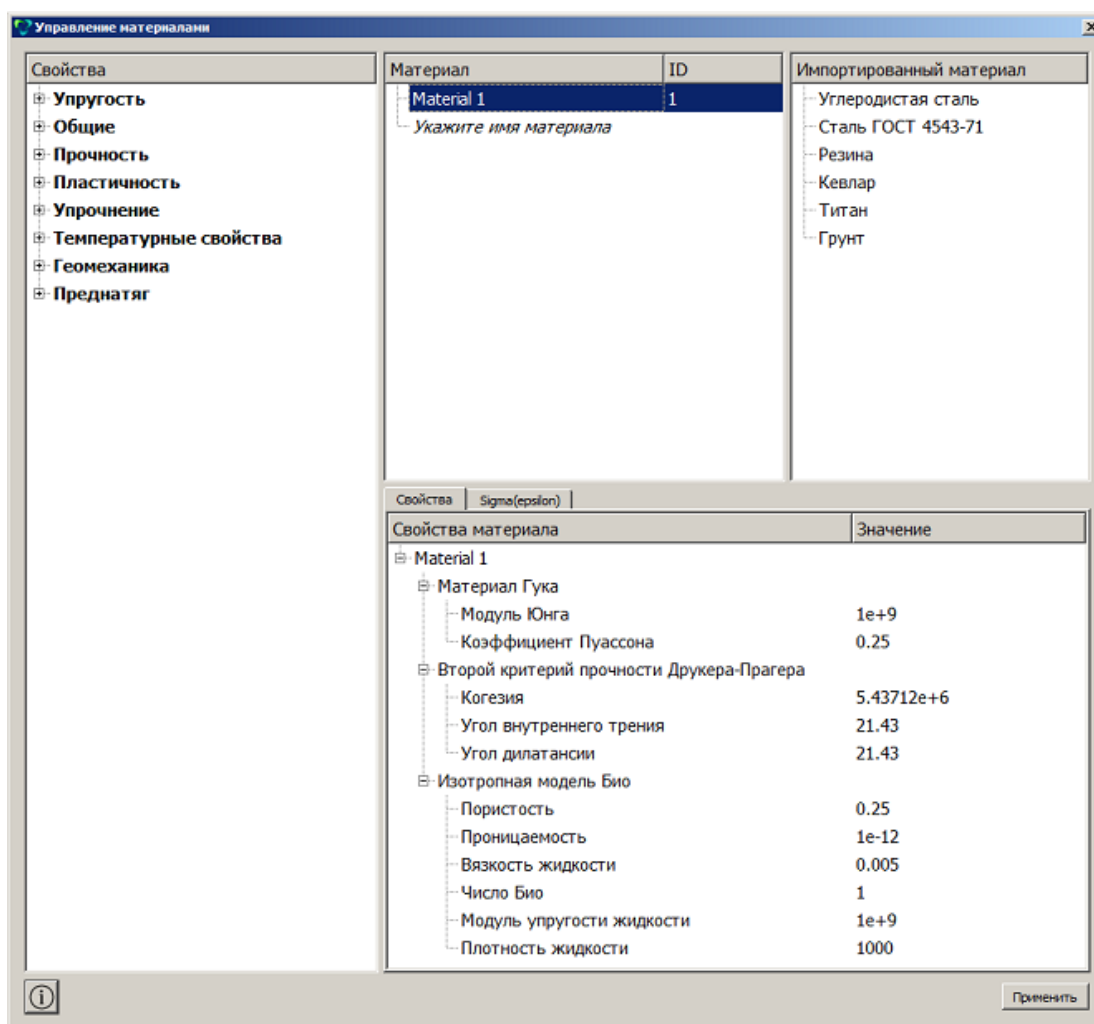
Задайте следующие параметры:

- 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:  $1e+9$ ;
- Плотность жидкости: 1000.



Нажмите **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**.

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**.

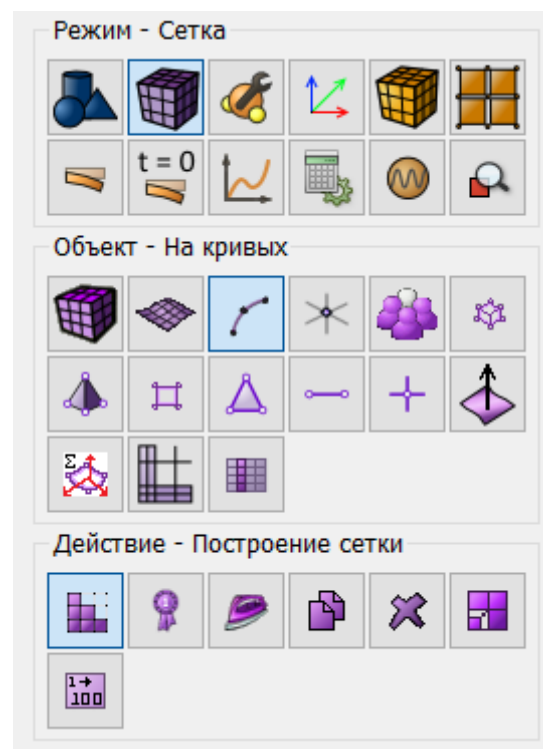
3. На панели команд выберите модуль управление сетками (Режим — **Сетка**, Объект — **На кривых**, Действие — **Построение сетки**). Укажите степень измельчения сетки:

- Выбор кривых: 13 14(через пробел);
- Равномерно;
- Интервал: 30;

Нажмите **Применить**.

4. Постройте сетку.

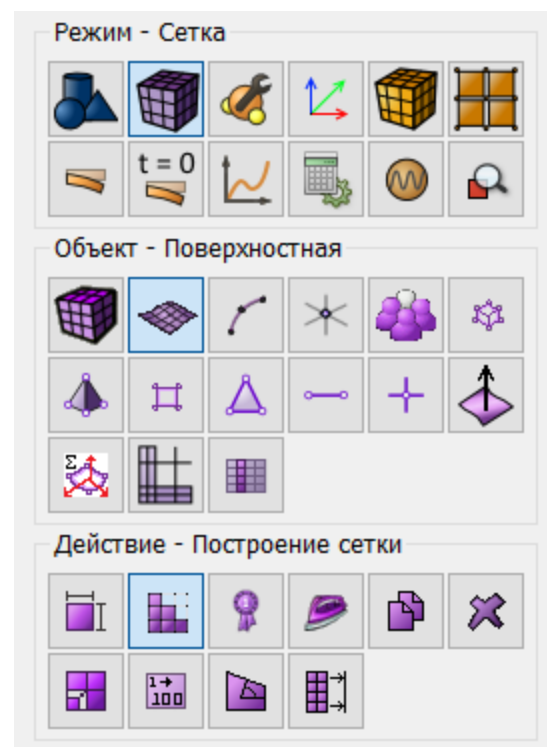
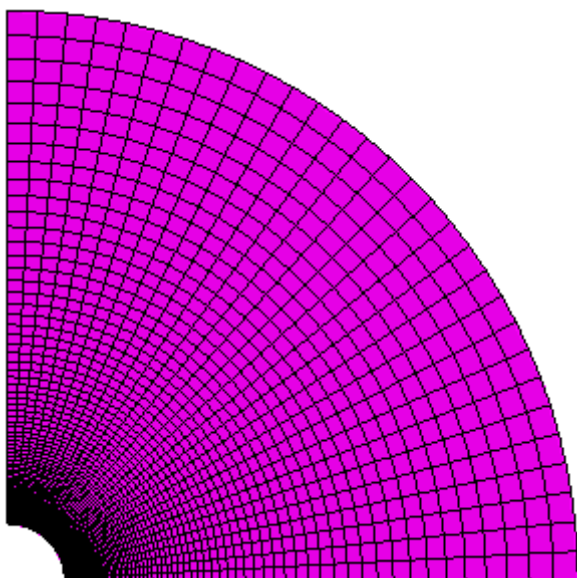
На панели команд выберите модуль управление сетками (Режим — **Сетка**, Объект — **Поверхностная**, Действие — **Построение сетки**).



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**).

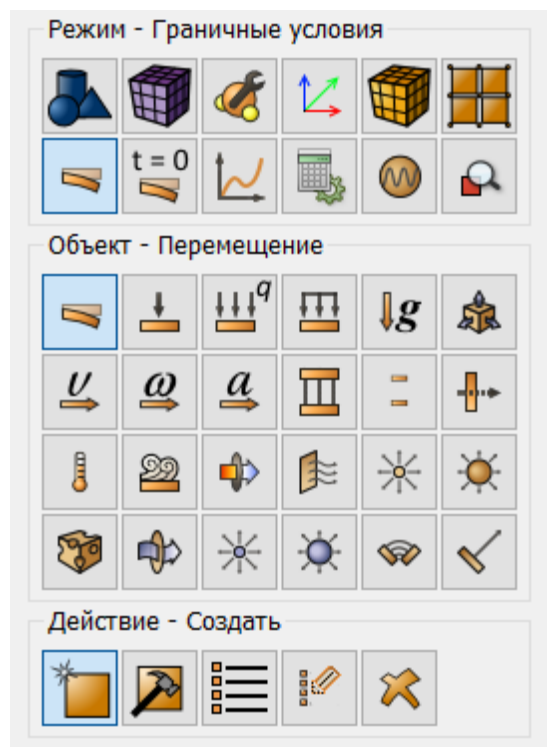
Задайте следующие параметры:

- 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**.

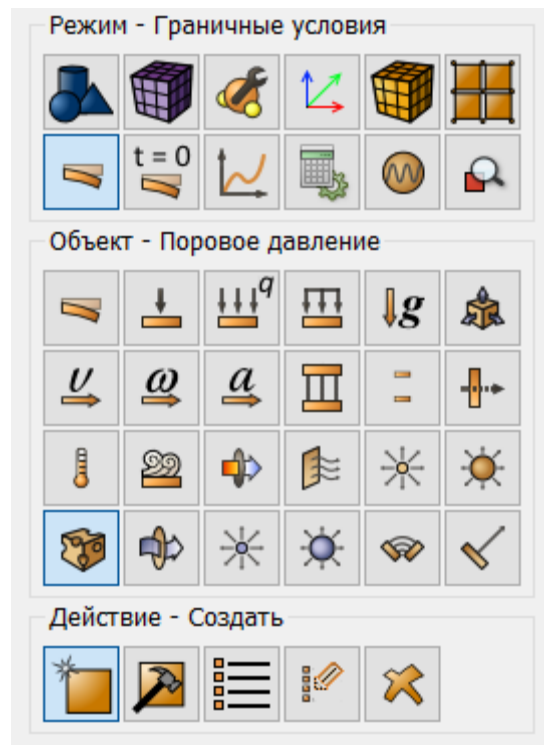
2. Задайте поровое давление.

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**).

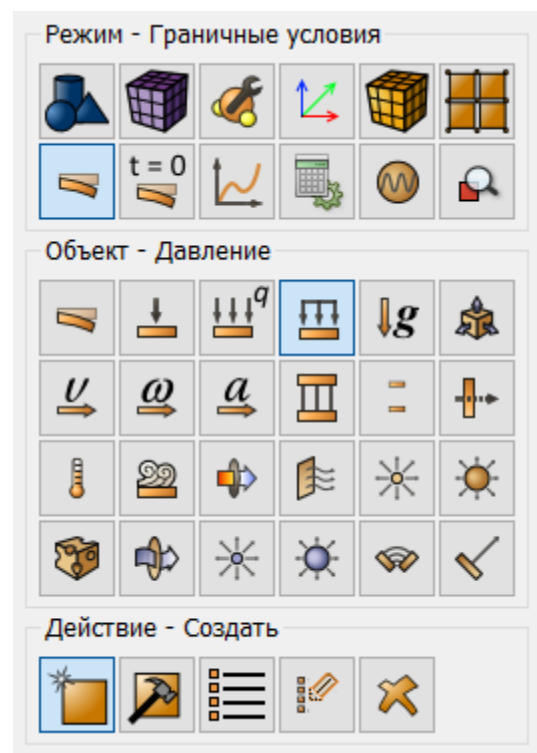
Задайте следующие параметры:

- 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:

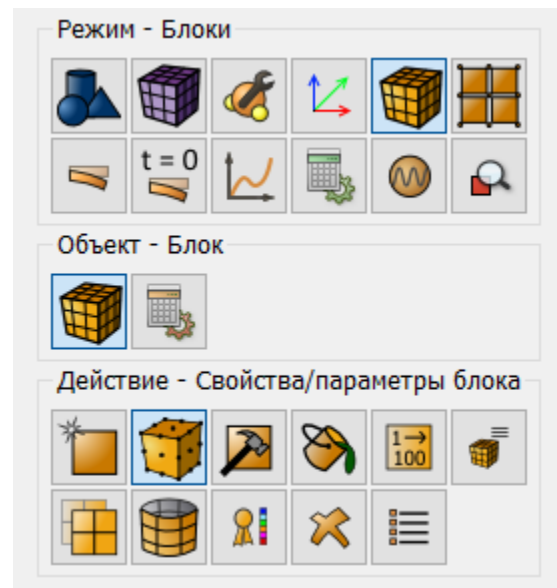
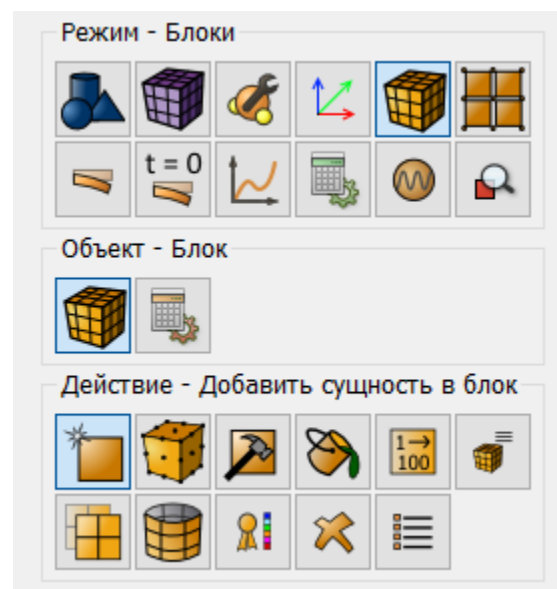
- ID блока(ов): 1;
- Материал: Material 1;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Плоскость;
- Порядок: 2;

Нажмите **Применить**.

### Запуск расчёта

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

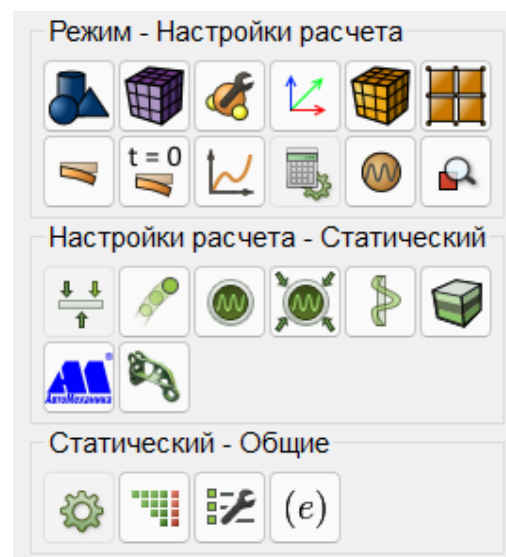
На панели команд выберите модуль настройки расчёта (Режим — **Настройки расчета**, Настройки расчета — **Статический**, Статический — **Общие**).



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.

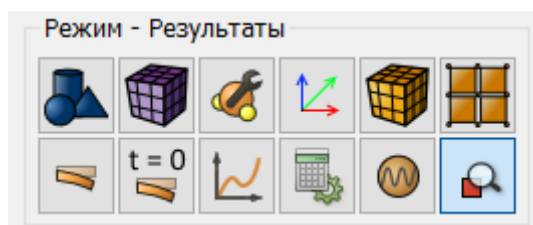
Нажмите **Применить**.



### **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**.



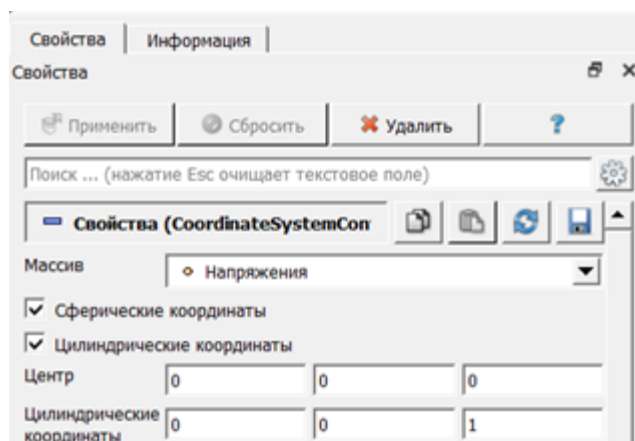
2. Для анализа результатов перейдите в окно **FidesysViewer**.

3. На панели инструментов выберите пункт **Фильтры** → **Алфавитный указатель** → **Системы координат**.

В открывшемся окне **Свойства** задайте:

- Массив: Напряжения.



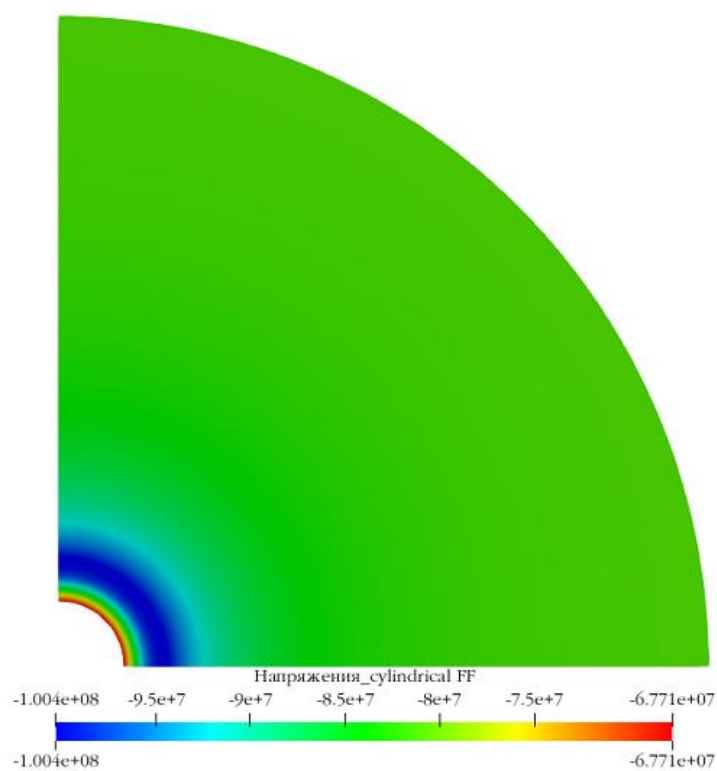


Нажмите **Применить**.

4. Отобразите компоненту  $\sigma_{\theta\theta}$  поля главных напряжений 3 на модели.

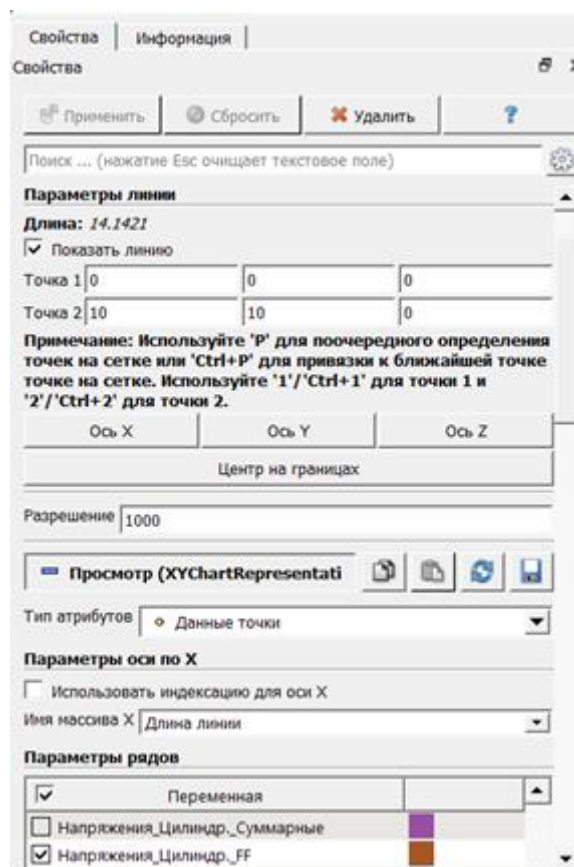
На панели инструментов установите следующие параметры:

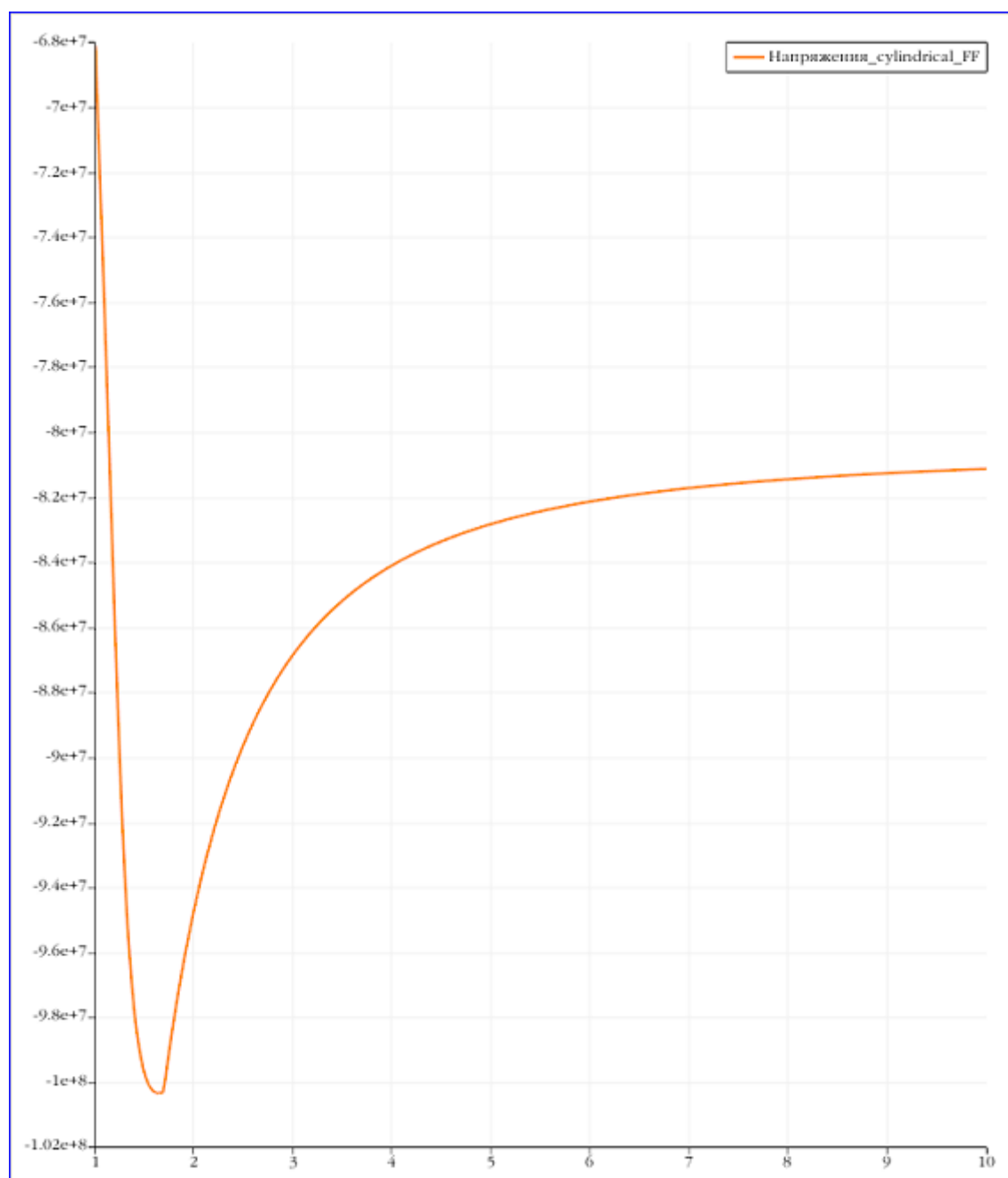
- Тип отображения: Поверхность;
- Поле отображения: Напряжения(цилиндр.);
- Компонента отображения: FF.



5. На панели инструментов выберите пункт **Фильтры** → **Алфавитный указатель** → **Построить график вдоль линии**. В открывшемся окне **Свойства** задайте:

- Нажмите Применить;
- Параметры рядов: уберите флажок Переменная;
- Параметры рядов: поставьте флажок Напряжения\_cylindrical\_FF.





### Использование консольного интерфейса

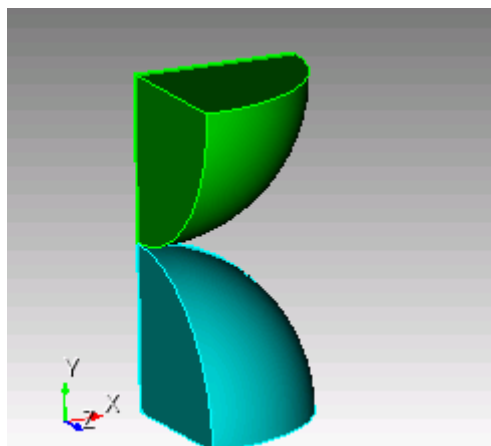
Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса.



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

## Задача Герца для двух полусфер, контактирующих в начале координат

В предлагаемой задаче моделируется задача Герца для двух полусфер, контактирующих в начале координат.



### Построение геометрии

1. Создайте сферу.

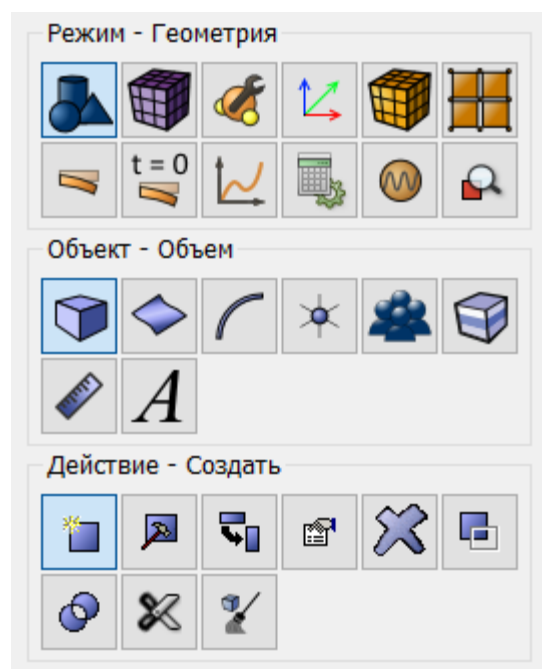
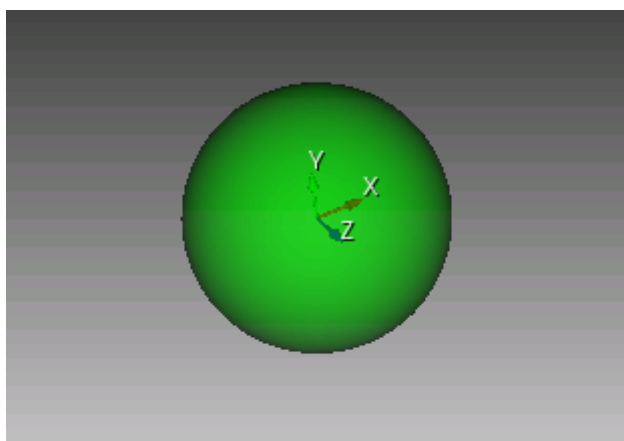
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объём**, Действие — **Создать**).

Из списка геометрических примитивов выберите **Сфера**.

Задайте следующие параметры:

- Сфера: 50;

Нажмите **Применить**.



2. Переместите сферу.

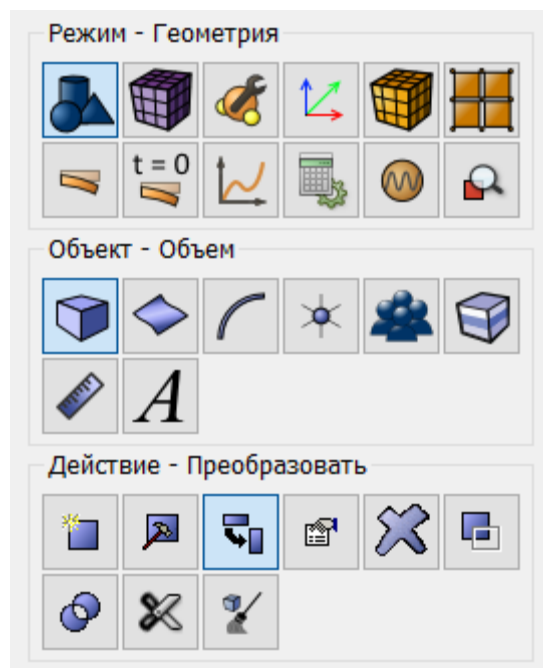
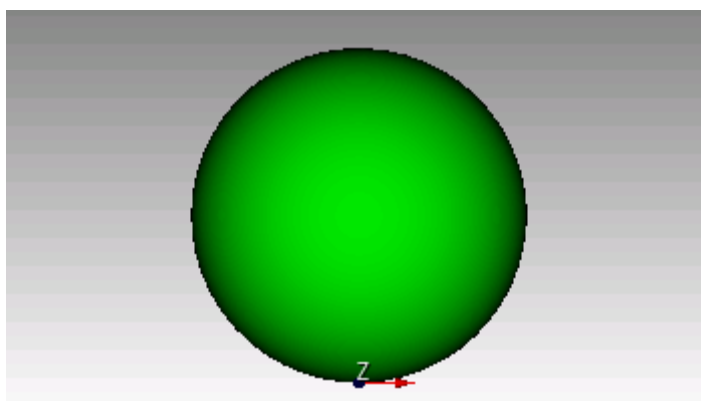
На панели команд выберите модуль преобразования объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объём**, Действие — **Преобразовать**).

Из выпадающего списка выберите **Переместить**.

Задайте следующие параметры:

- ID объёма(ов): 1;
- Включая сращенные;
- Расстояние по Y: 50;

Нажмите **Применить**.



3. Создайте вторую сферу.

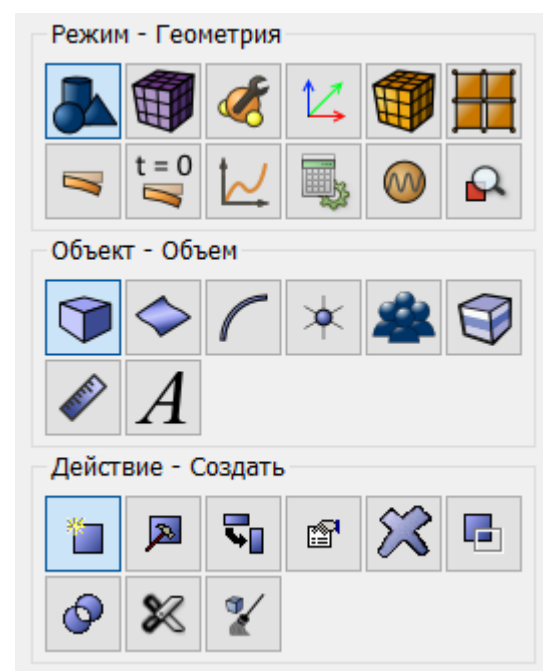
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объём**, Действие — **Создать**).

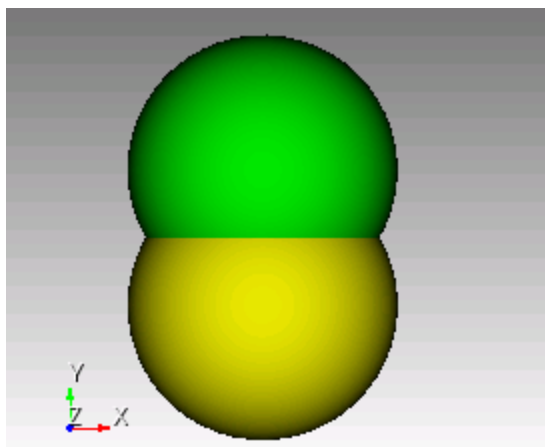
Из списка геометрических примитивов выберите **Сфера**.

Задайте следующие параметры:

- Сфера: 50;

Нажмите **Применить**.





4. Переместите вторую сферу.

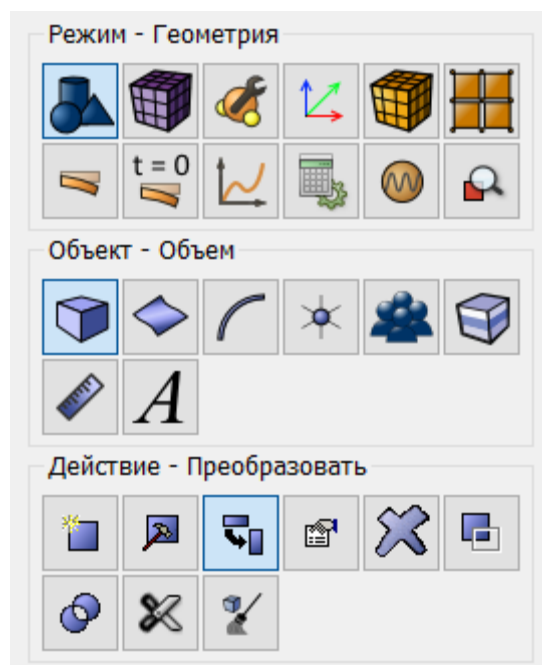
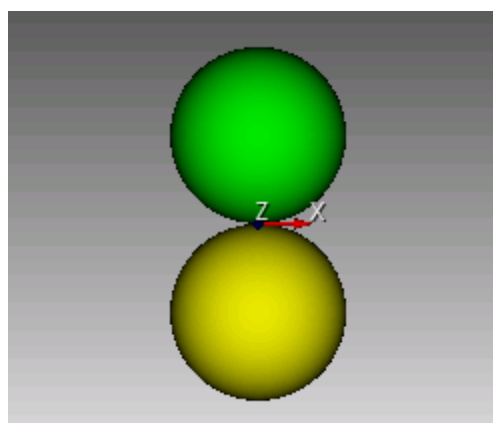
На панели команд выберите модуль преобразования объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объём**, Действие — **Преобразовать**).

Из выпадающего списка выберите **Переместить**.

Задайте следующие параметры:

- ID объёма(ов): 2;
- Включая сращенные;
- Расстояние по Y: -50;

Нажмите **Применить**.



5. Разрежьте первую сферу на две части.

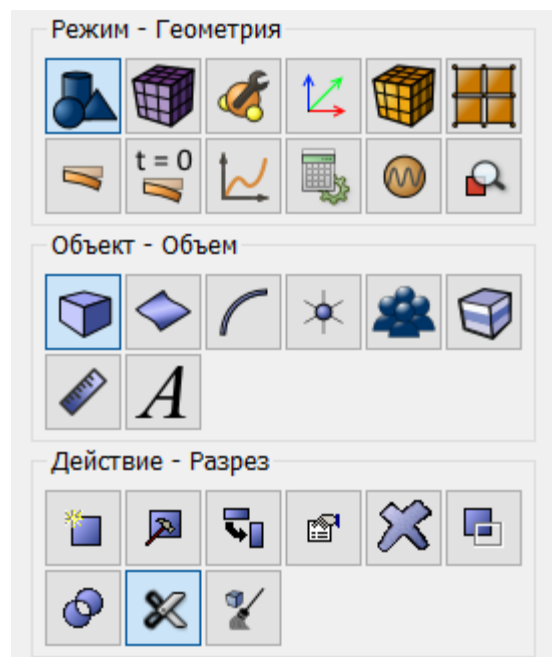
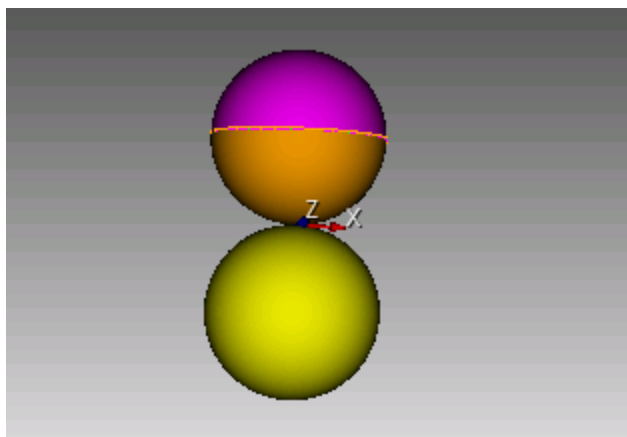
На панели команд выберите модуль преобразования объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объём**, Действие — **Разрез**).

Из выпадающего списка выберите **Координатная плоскость**.

Задайте следующие параметры :

- ID объёма(ов): 1;
- ZX;
- Значение смещения: 50;

Нажмите **Применить**.



6. Разрежьте вторую сферу на две части.

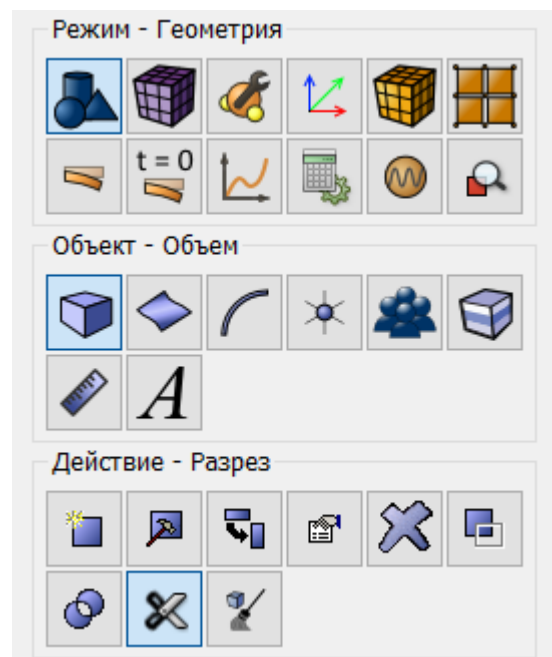
На панели команд выберите модуль преобразования объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объём**, Действие — **Разрез**).

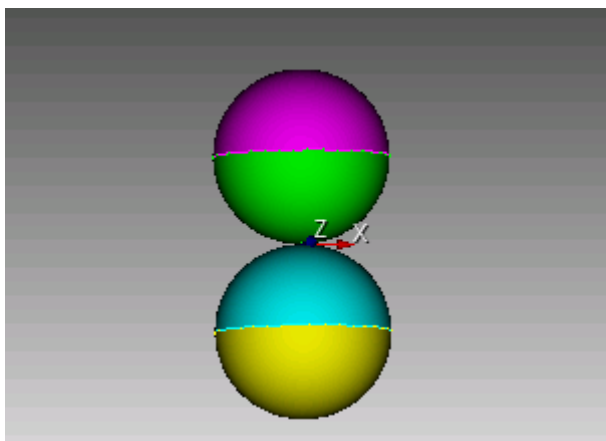
Из выпадающего списка выберите **Координатная плоскость**.

Задайте следующие параметры:

- ID объёма(ов): 2;
- ZX;
- Значение смещения: -50;

Нажмите **Применить**.





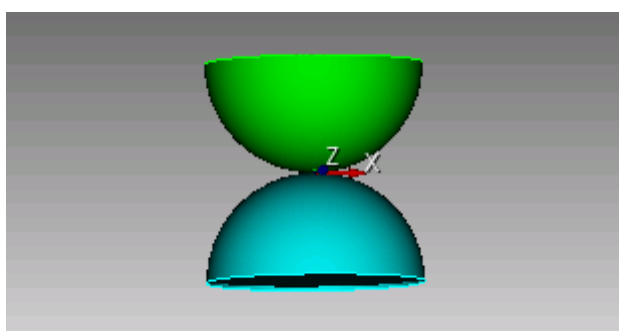
7. Удалите отрезанные части сфер.

На панели команд выберите модуль преобразования объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объём**, Действие — **Удалить**).

Задайте следующие параметры:

- ID объёма(ов): 2 3;

Нажмите **Применить**.



8. Разрежьте геометрию на две части.

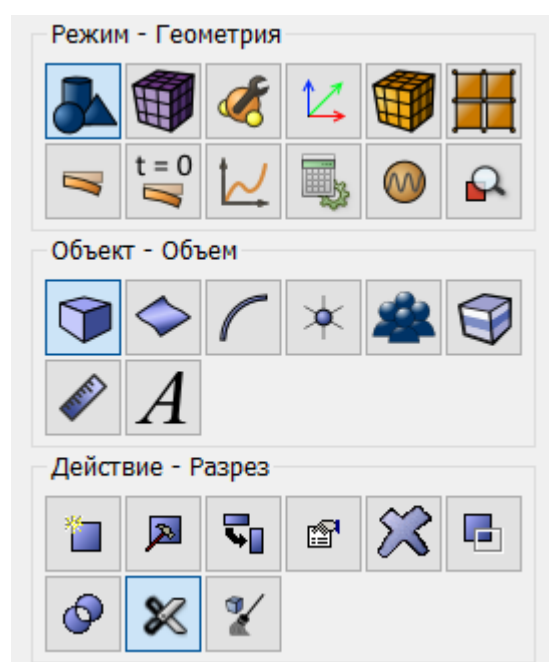
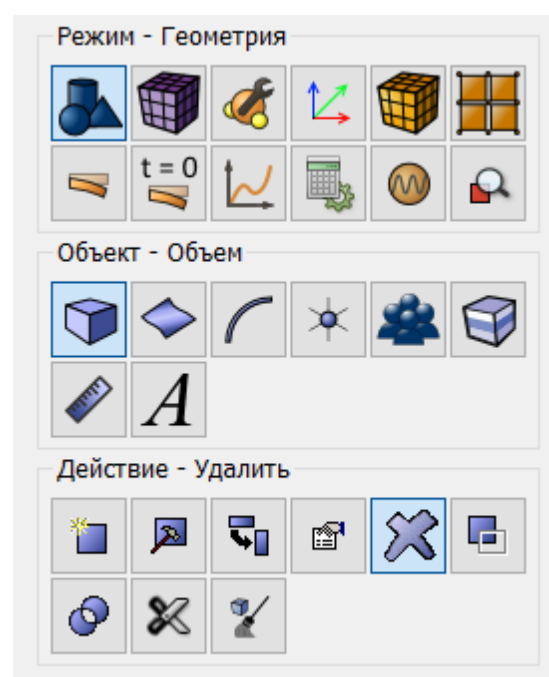
На панели команд выберите модуль преобразования объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объём**, Действие — **Разрез**).

Из выпадающего списка выберите **Координатная плоскость**.

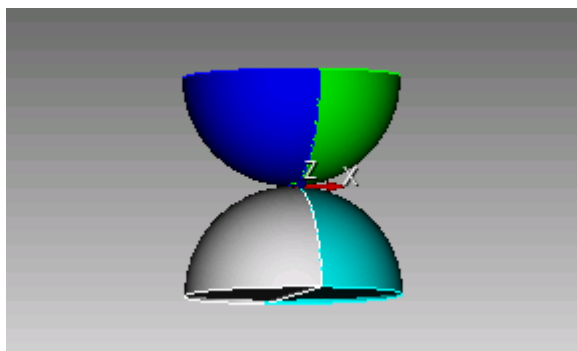
Задайте следующие параметры:

- ID объёма(ов): All;
- YZ;

Нажмите **Применить**.







9. Разрежьте геометрию на две части.

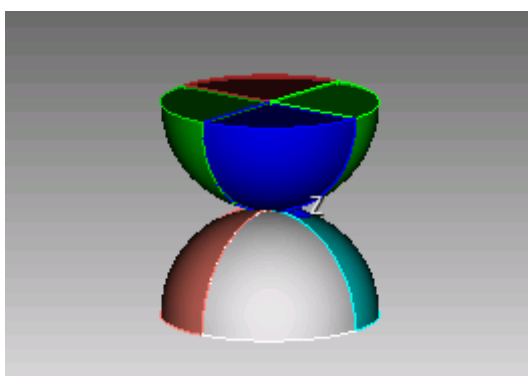
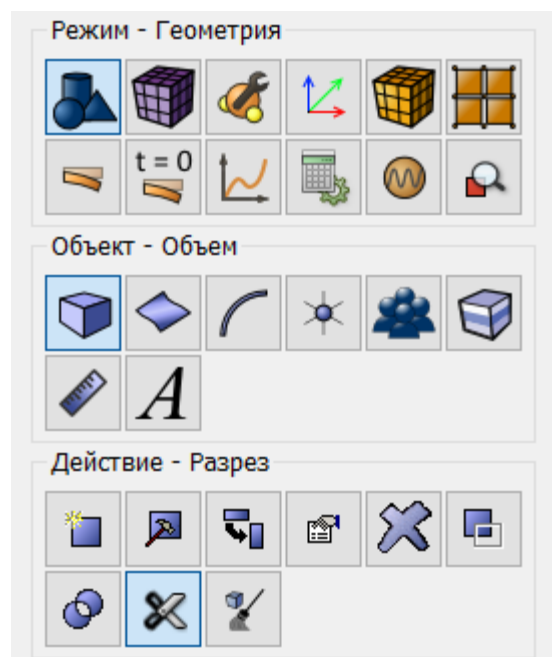
На панели команд выберите модуль преобразования объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объём**, Действие — **Разрез**).

Из выпадающего списка выберите **Координатная плоскость**.

Задайте следующие параметры:

- ID объёма(ов): All;
- XY;

Нажмите **Применить**.



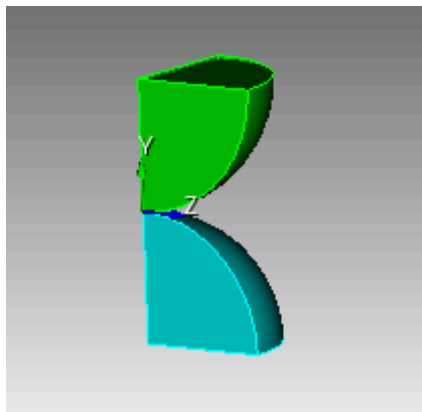
10. Удалите части сфер.

На панели команд выберите модуль преобразования объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объём**, Действие — **Удалить**).

Задайте следующие параметры:

- ID объёма(ов): 5 6 7 8 9 10;

Нажмите **Применить**.

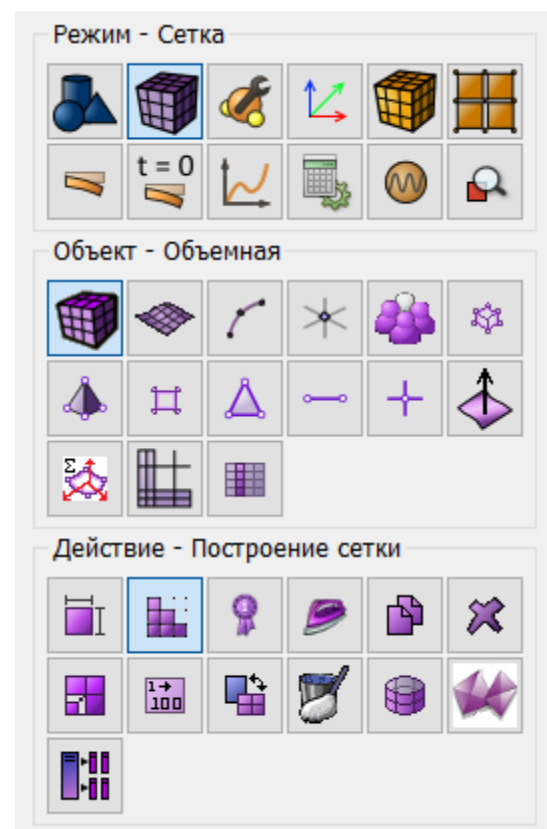
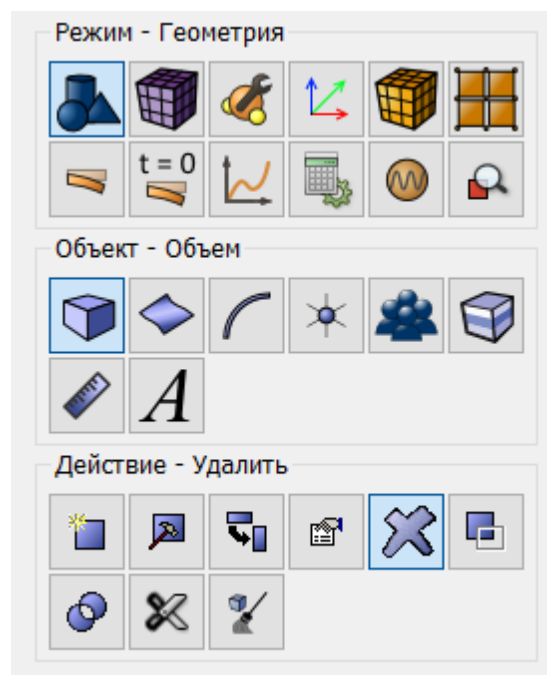


### Построение сетки

1. Создайте многогранную сетку для всей модели. На панели команд выберите (Режим — **Сетка**, Объект — **Объёмная**, Действие — **Построение сетки**).

Из выпадающего списка выберите **Многогранная**.

Введите объем all. Нажмите **Задать размер**.



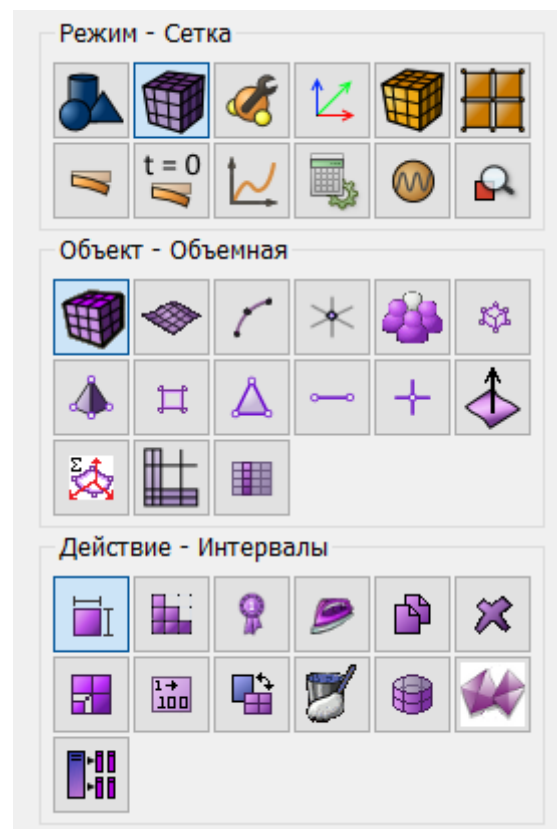
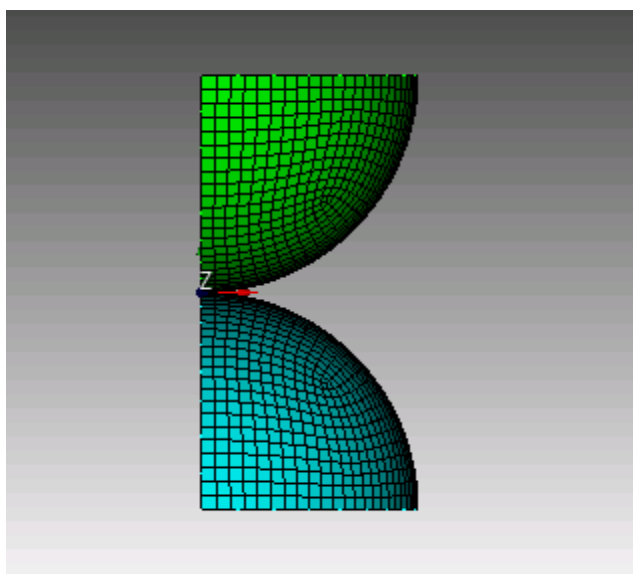
2. Создайте сетку. На панели команд выберите (Режим — Сетка, Объект — Объемная, Действие — Интервалы).

Из выпадающего списка выберите **Автоматический размер**.

Перетащите ползунок на 4.

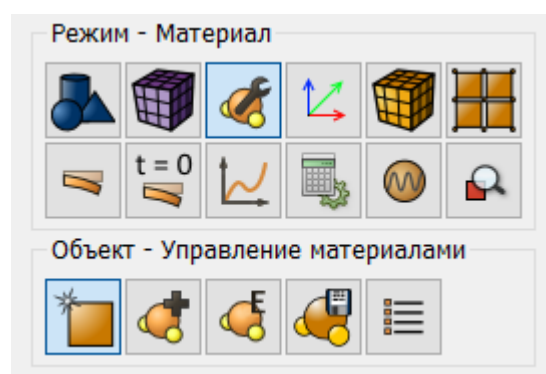
Нажмите **Применить**.

Нажмите **Построить сетку**.



### Задание материала и свойств блоков

1. Задайте материал. На панели команд выберите (Режим — Материал, Объект — Управление материалами).



В колонке "Материал" введите имя материала **Material 1**.

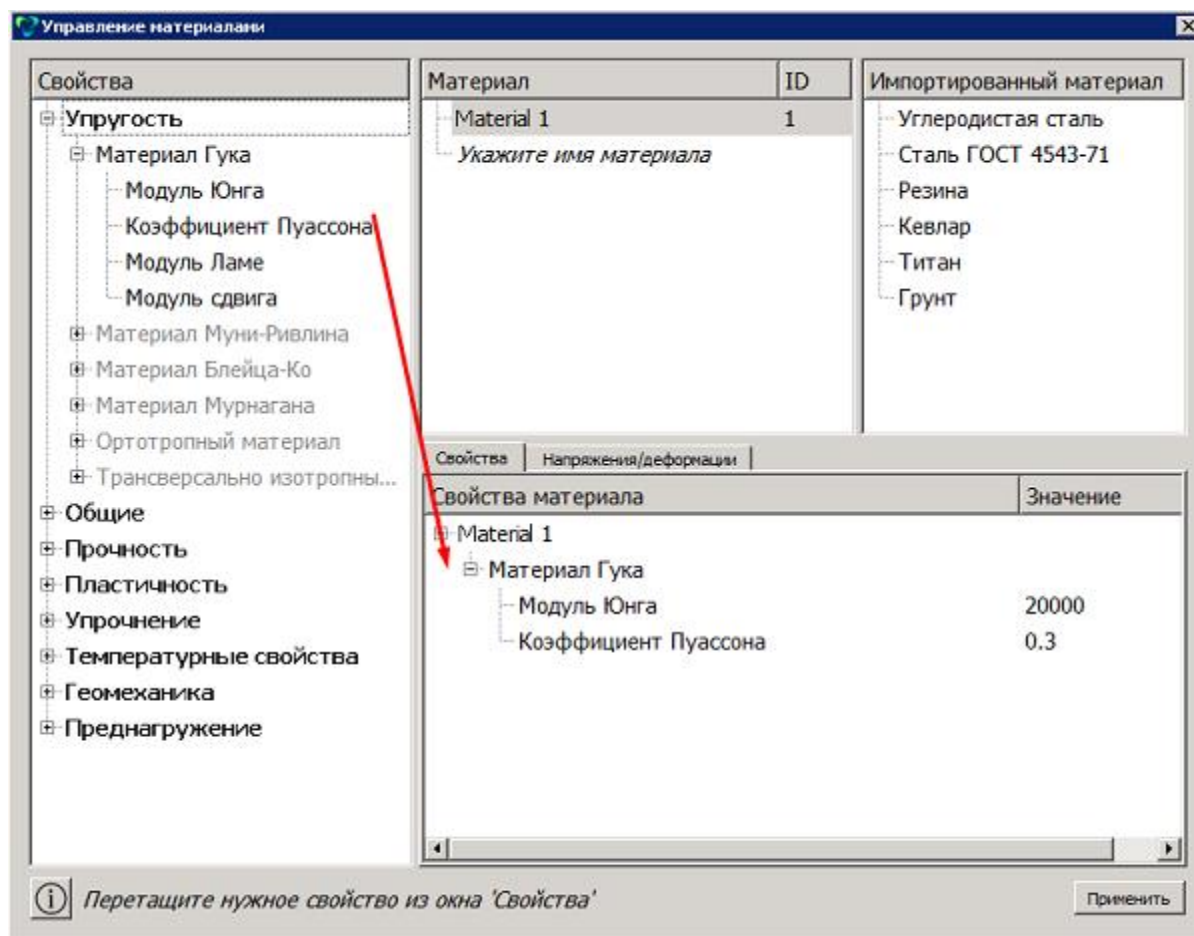
Нажмите **Применить**.

В колонке Свойства материала выберите созданный материал, после чего перетащите к нему нужные свойства из левой колонки.

Перетащите свойства и укажите их значение:

- Модуль Юнга:  $2e4$ ;
- Коэффициент Пуассона: 0.3;

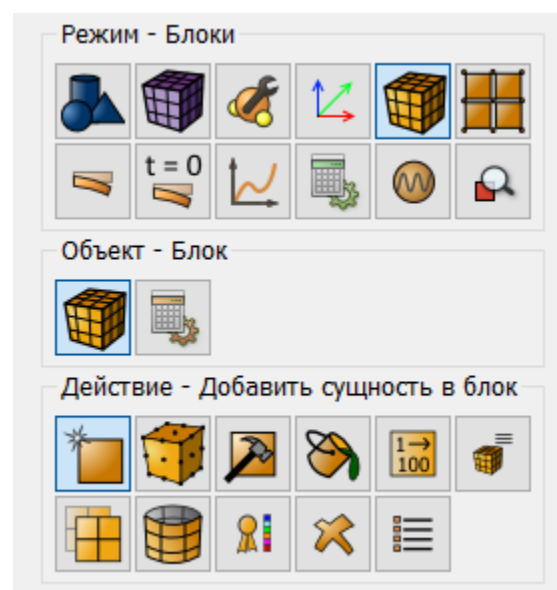
Нажмите **Применить**.



2. Создайте блок для модели. На панели команд выберите (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**).

В списке сущностей выберите **Объем**. Введите 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: Объемное тело;
- Порядок: 1;

Нажмите **Применить**.

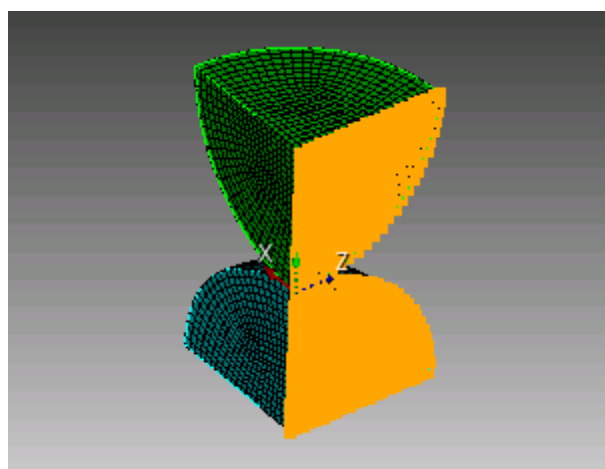
### Задание граничных условий

1. Закрепите поверхности в перемещениях по X.

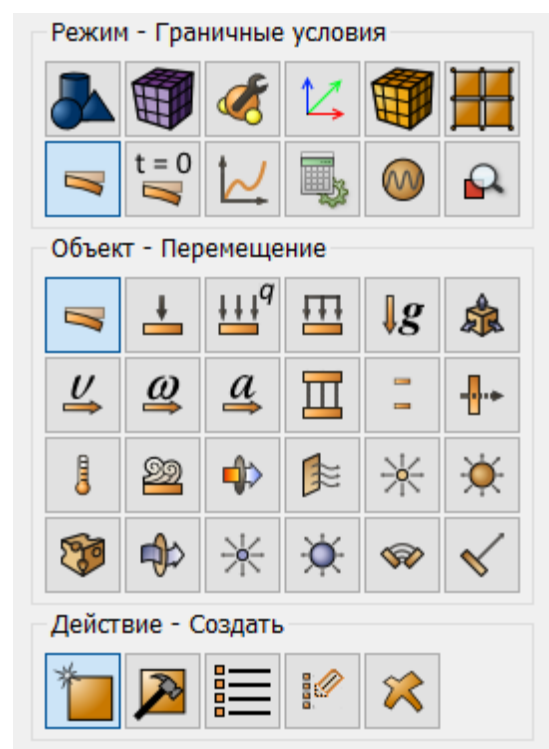
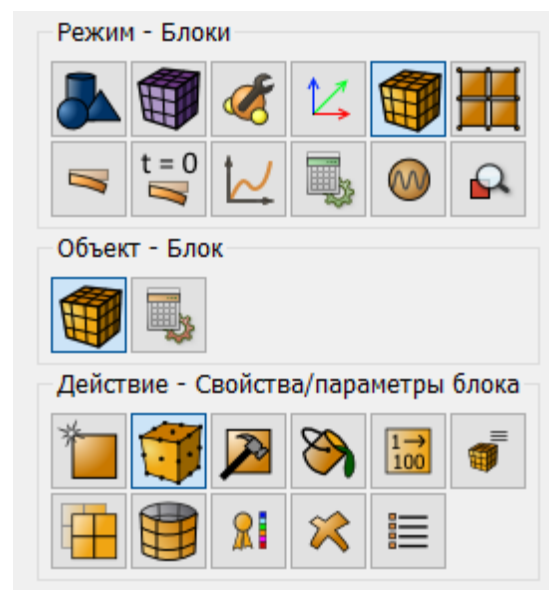
На панели команд выберите (Режим — **Граничные условия**, Объект — **Перемещение**, Действие — **Создать**).

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 25 33;
- Степени свободы: по X;
- Величина: 0.



Нажмите **Применить**.

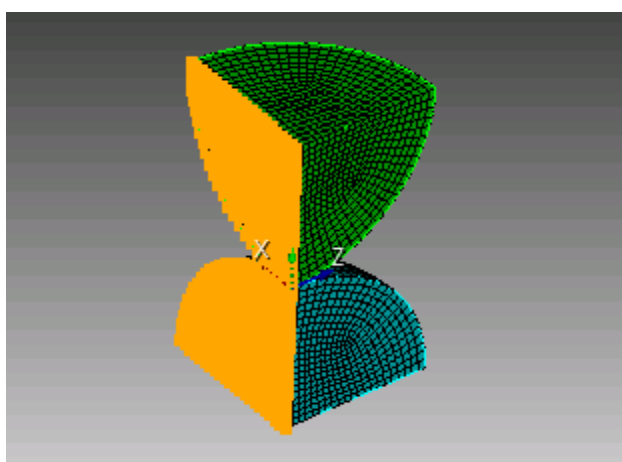


2. Закрепите поверхности в перемещениях по Z.

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

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 23 31;
- Степени свободы: по Z;
- Величина: 0.



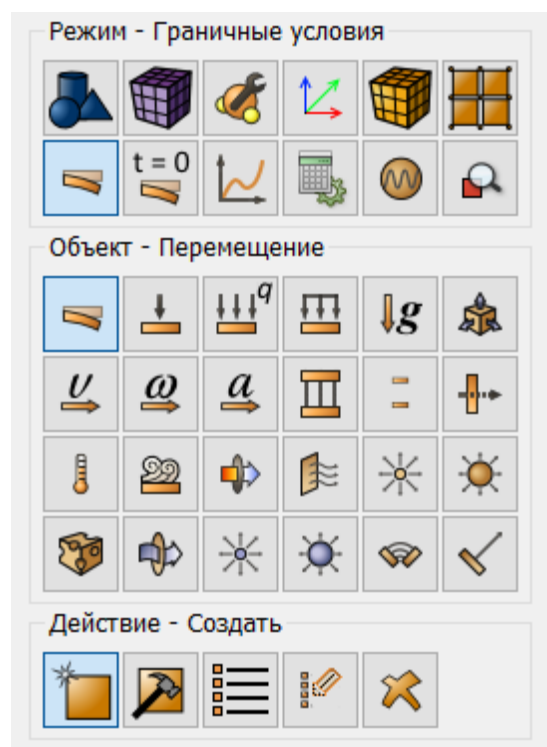
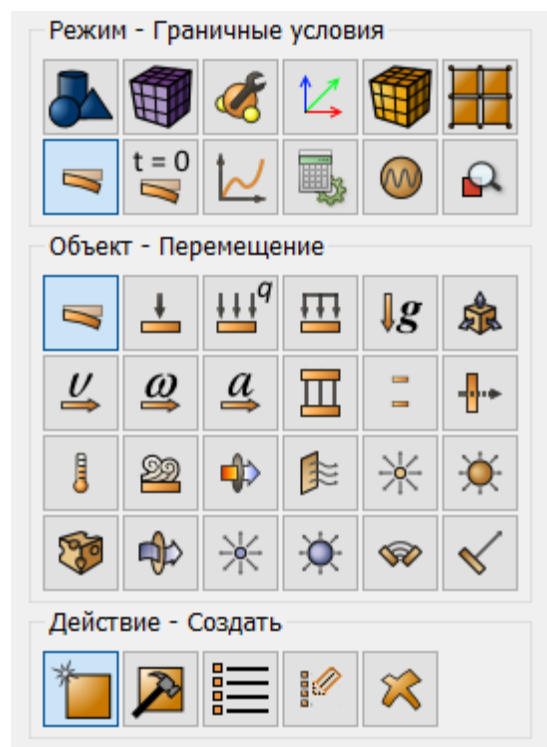
Нажмите **Применить**.

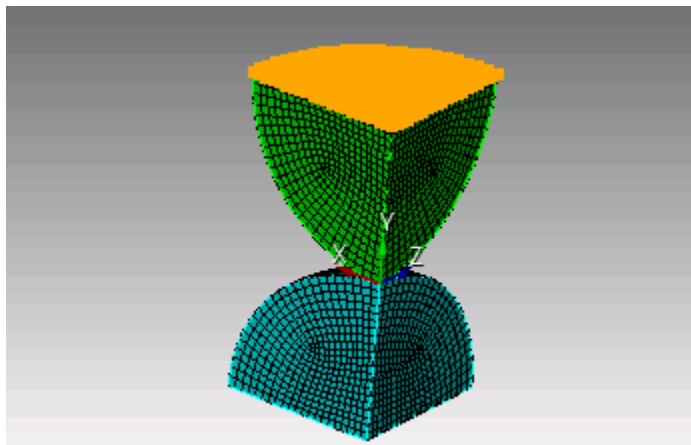
3. Задайте начальное перемещение

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

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 24;
- Степени свободы: по Y;
- Величина: -2.





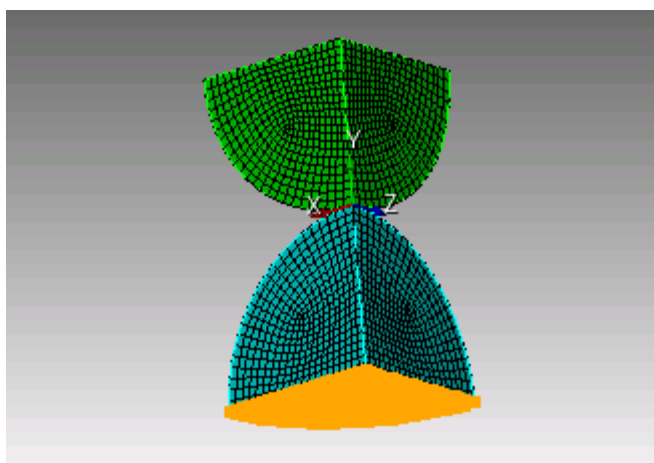
Нажмите **Применить**.

4. Задайте еще одно начальное перемещение.

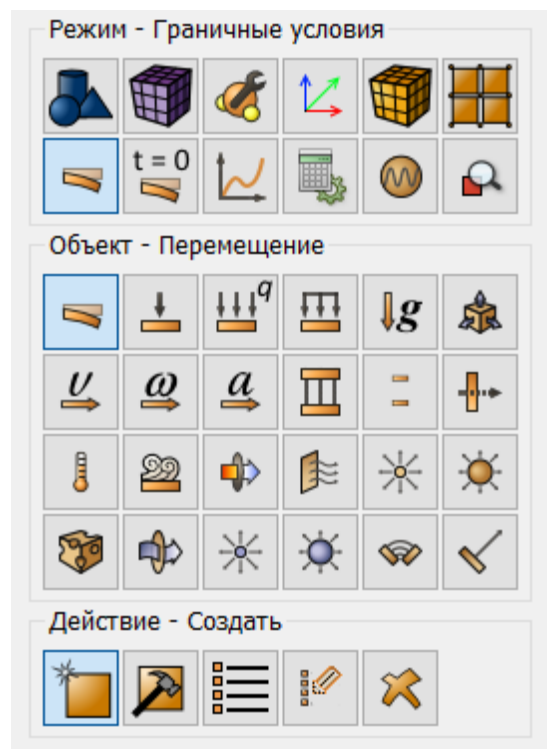
На панели команд выберите (Режим — **Граничные условия**, Объект — **Перемещение**, Действие — **Создать**).

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 34;
- Степени свободы: по Y;
- Величина: 2.



Нажмите **Применить**.

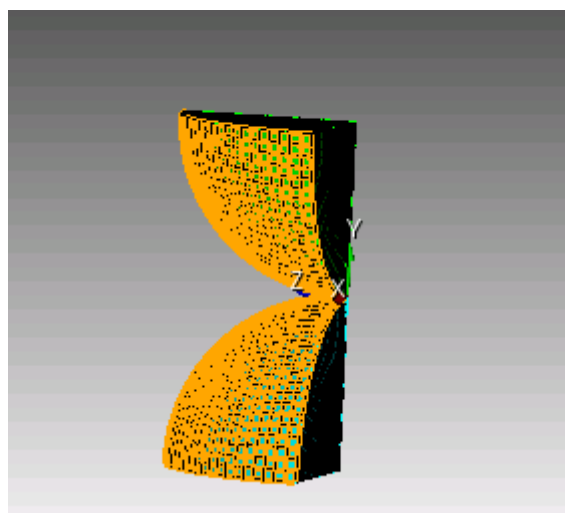


## 5. Задайте условие контакта

На панели команд выберите (Режим — **Граничные условия**, Объект — **Контакт**, Действие — **Создать**).

Задайте следующие параметры:

- Список главное и побочной сущностей:  
Поверхность;
- ID объектов главное сущности: 32;
- ID объектов побочной сущности: 26;
- Точность: 0.0005;
- Тип: Общий;
- Метод: Автовыбор.



Нажмите **Применить**.

## Запуск на расчет

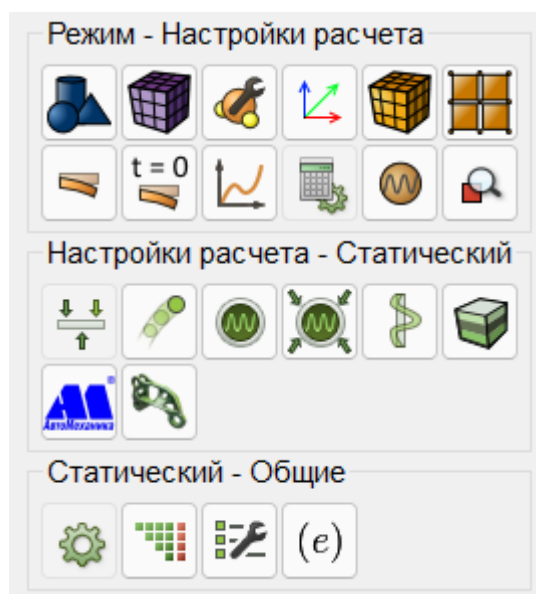
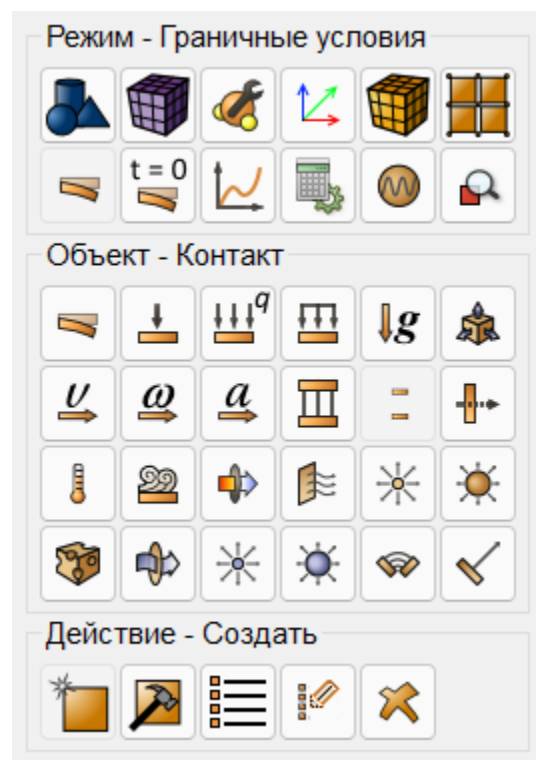
1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите (Режим — **Настройки расчета**, Настройки расчета — **Статический**, Статический — **Общие**).

Выберите:

- Размерность: 3D;
- Модель: Упругость;

Нажмите **Применить**, а затем **Начать расчет**.





2. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат.

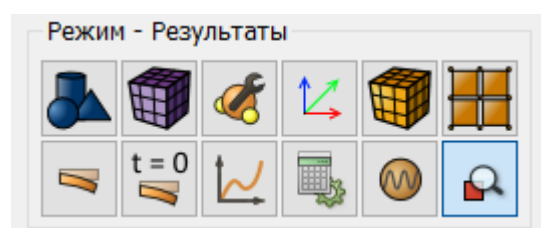
В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: “Calculation finished successfully at "date time"”.

### Анализ результатов

1. Откройте файл с результатами.

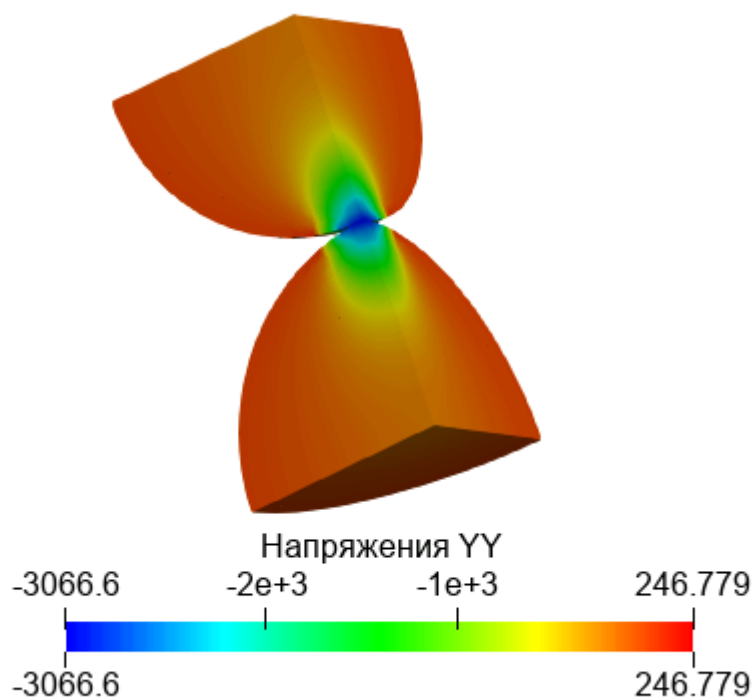
Это можно сделать тремя способами:

- 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 **FidesysViewer**, в котором вы сможете ознакомиться с результатами расчёта.

2. На верхней панели выберите данные результата расчета для отображения. Из первого выпадающего списка выберите **Напряжение**, из второго – **YY**.



### ***Использование консольного интерфейса***

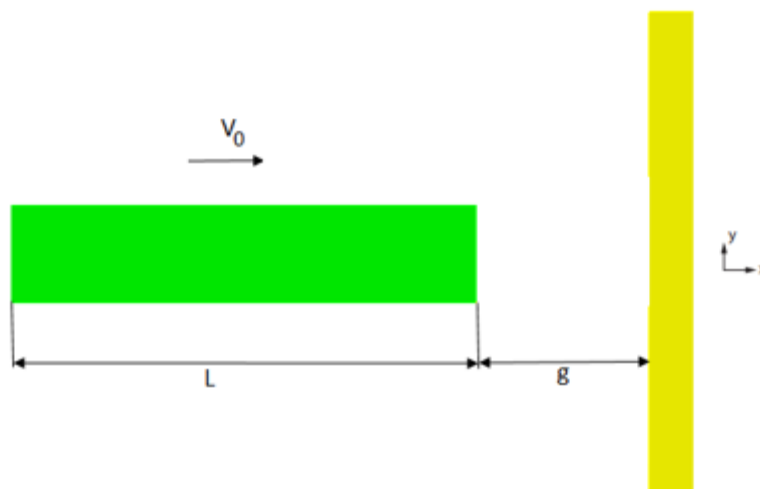
Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса.



Запустите файл *Hertz\_problem.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

## Расчет динамической задачи пластин с контактом

Рассматривается задача об упругой полосе, которая движется с начальной скоростью и врежется в жесткую стену. Во время взаимодействия полоса контактирует со стеной (скользящий контакт без трения).



### Построение геометрии

1. Создайте прямоугольник.

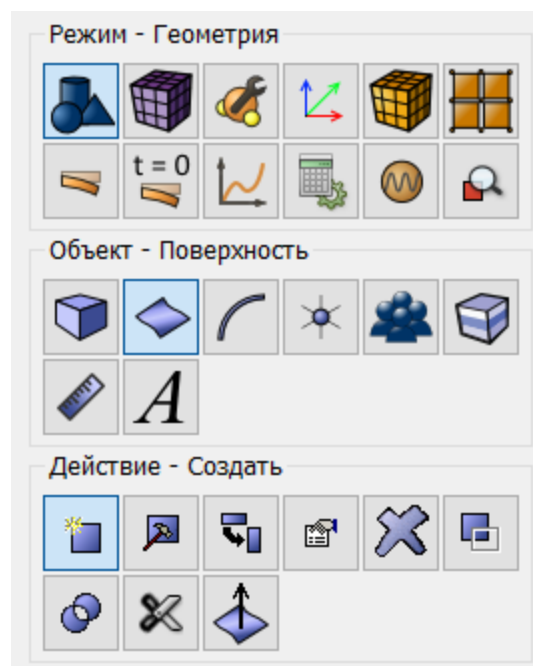
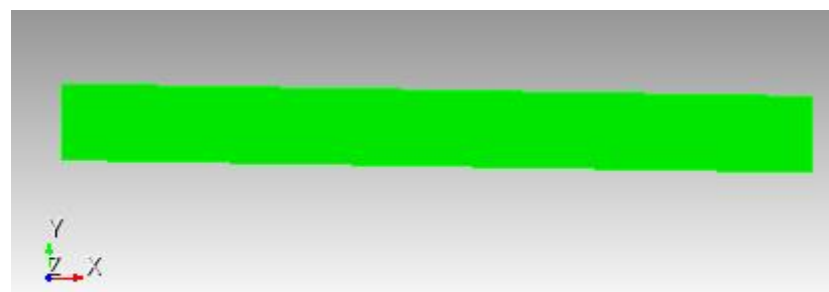
На панели команд выберите модуль построения геометрии (Режим — Геометрия, Объект — Поверхность, Действие — Создать).

Из списка геометрических примитивов выберите **Прямоугольник**.

Задайте следующие параметры:

- Ширина: 10;
- Высота: 1;
- Z-плоскость;

Нажмите **Применить**.



2. Создайте вертикальный прямоугольник.

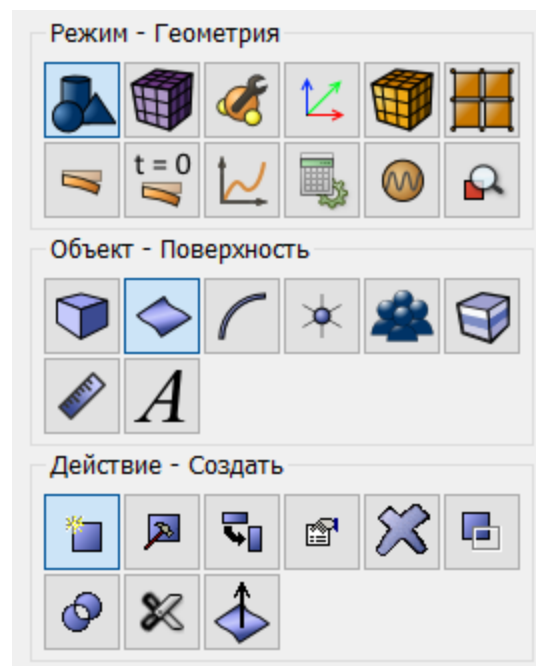
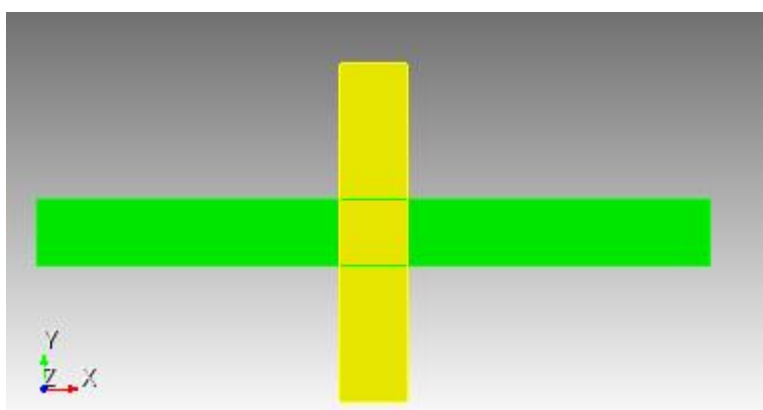
На панели команд выберите модуль построения геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие — **Создать**).

Из списка геометрических примитивов выберите **Прямоугольник**.

Задайте следующие параметры:

- Ширина: 1;
- Высота: 5;
- Z-плоскость;

Нажмите **Применить**.



3. Переместите вертикальный прямоугольник.

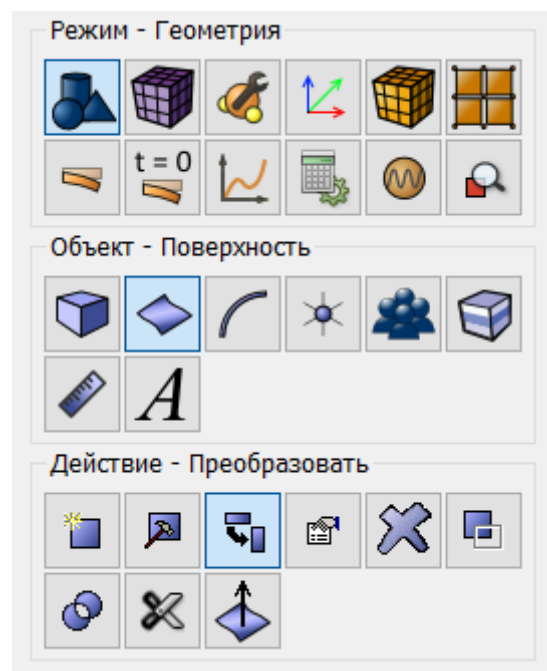
На панели команд выберите модуль преобразования геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие — **Преобразовать**).

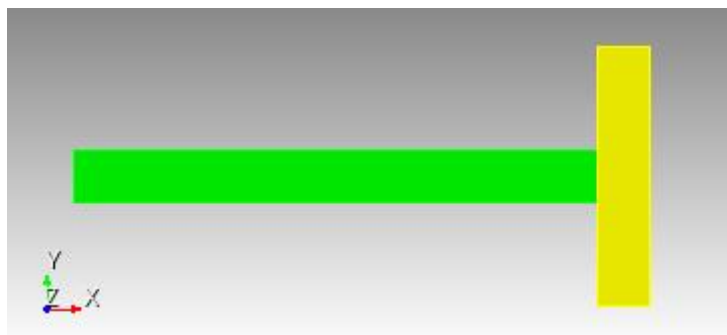
Из выпадающего списка выберите **Переместить**.

Задайте следующие параметры:

- ID поверхности: 2;
- Включая сращенные;
- Расстояние по X: 5.51;

Нажмите **Применить**.





### Построение сетки

1. Создайте сетку для для двух прямоугольников.

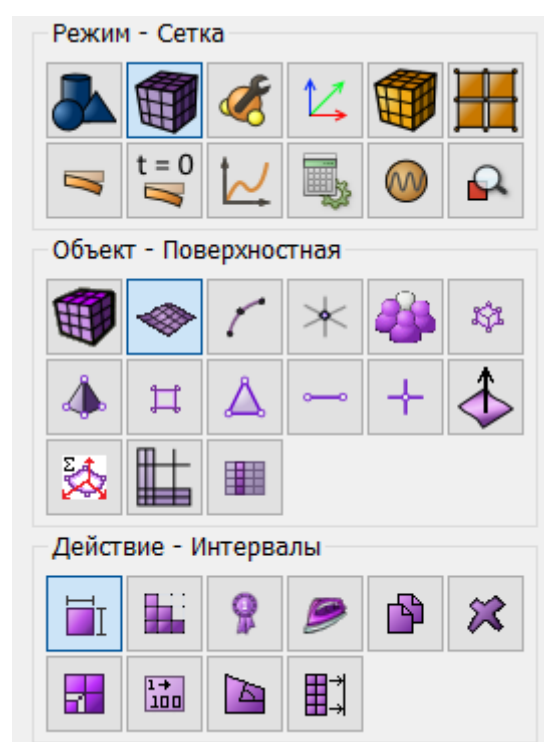
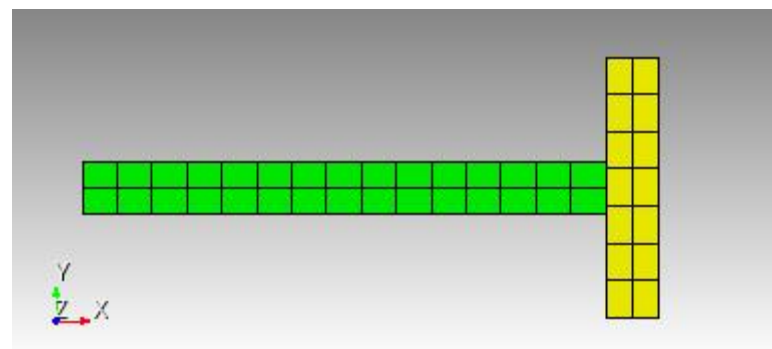
На панели команд выберите (Режим — **Сетка**, Объект — **Поверхностная**, Действие — **Интервалы**).

Из выпадающего списка выберите: Автоматический размер;

- Выбор поверхностей: all;
- Переместите ползунок авторазмера на 7;

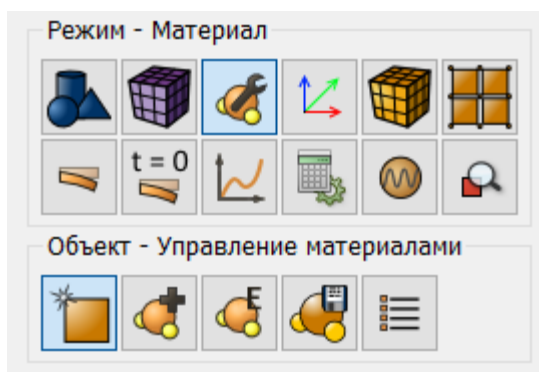
Нажмите **Применить**.

Нажмите **Построить сетку**.



### Задание материала и свойств блоков

1. Задайте первый материал. На панели команд выберите (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**).



В колонке "Материал" введите имя материала **Mat1**.

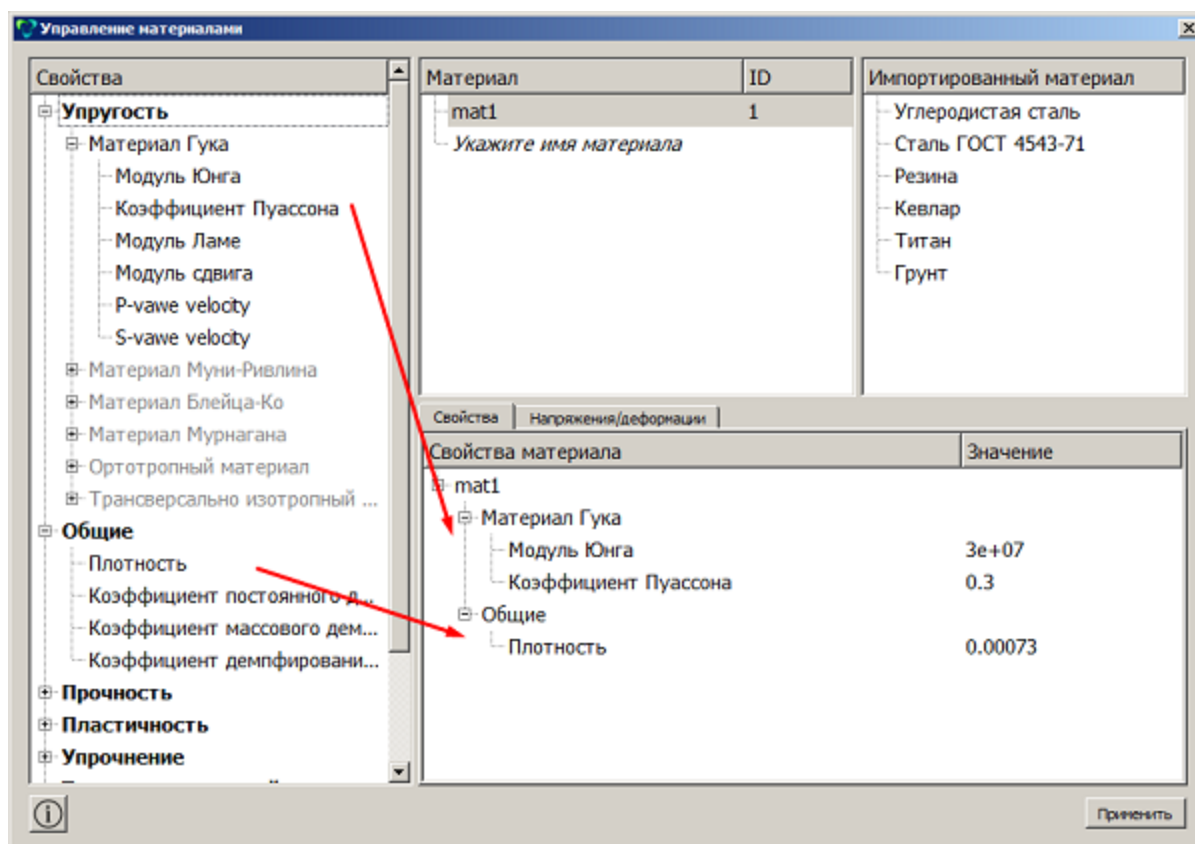
Нажмите **Применить**.

В колонке Свойства материала выберите созданный материал, после чего перетащите к нему нужные свойства из левой колонки.

Перетащите свойства и укажите их значение:

- Модуль Юнга:  $3e+07$ ;
- Коэффициент Пуассона: 0.3;
- Плотность:  $0.73e-3$ ;

Нажмите **Применить**.

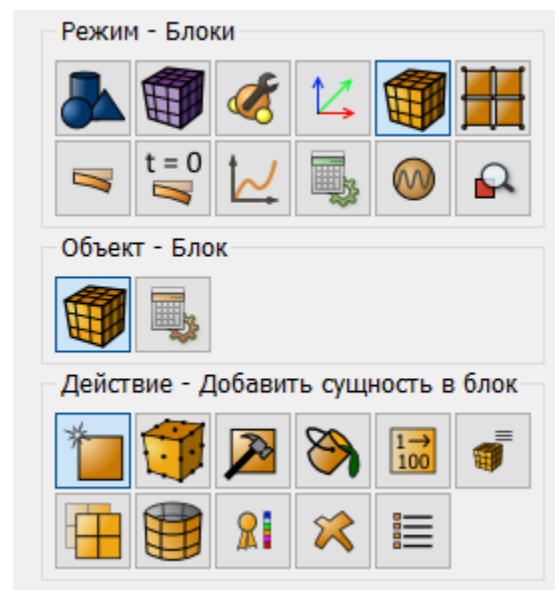


2. Создайте блок для прямоугольников. На панели команд выберите (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**).

В списке сущностей выберите **Поверхность**.

Введите ID объекта(ов): all;

Нажмите **Применить**.



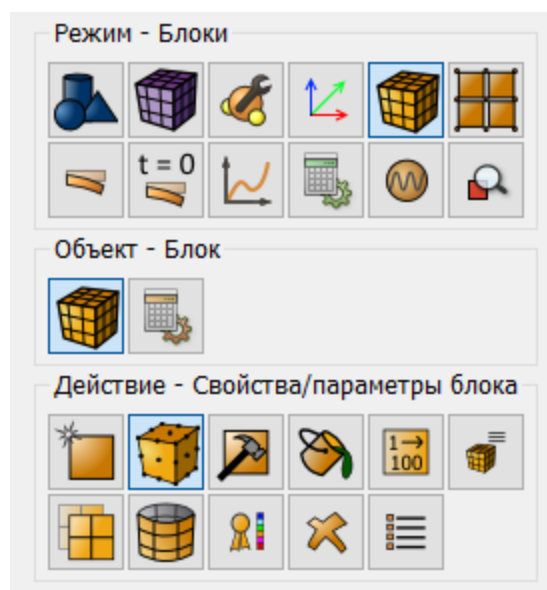
3. Задайте параметры блока.

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

Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Материал: Mat1;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Плоскость;
- Порядок: 2;

Нажмите **Применить**.



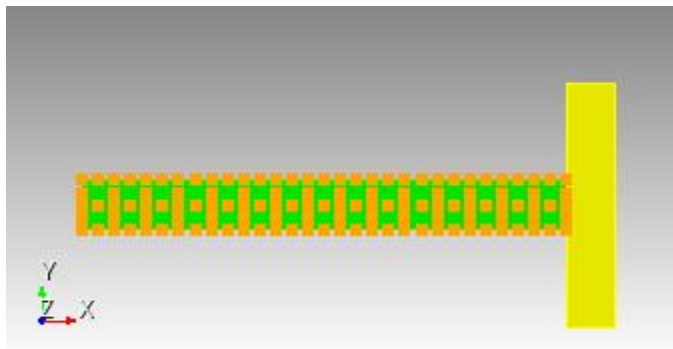
### ***Задание граничных условий***

1. Закрепите горизонтальную пластину в перемещениях по Y и Z.

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

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 1;
- Степени свободы: по Y, по Z;
- Величина: 0;



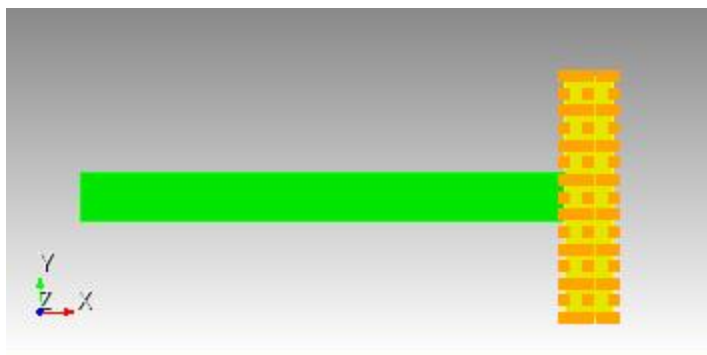
Нажмите **Применить**.

2. Закрепите вертикальную пластину по всем перемещениям и вращениям.

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

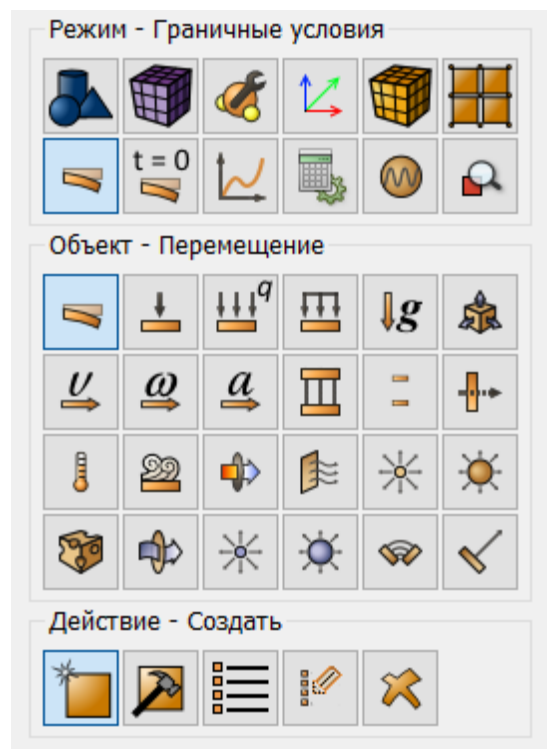
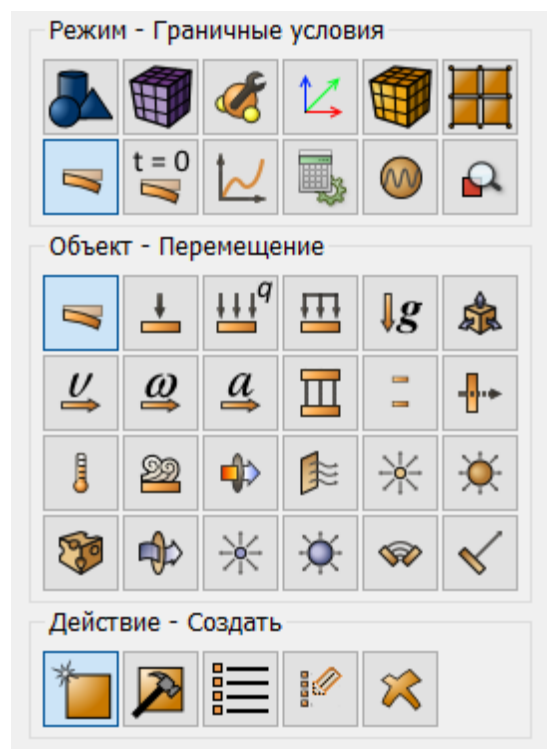
Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 2;
- Степени свободы: Все;
- Величина: 0;



Нажмите **Применить**.

3. Задайте условие контакта

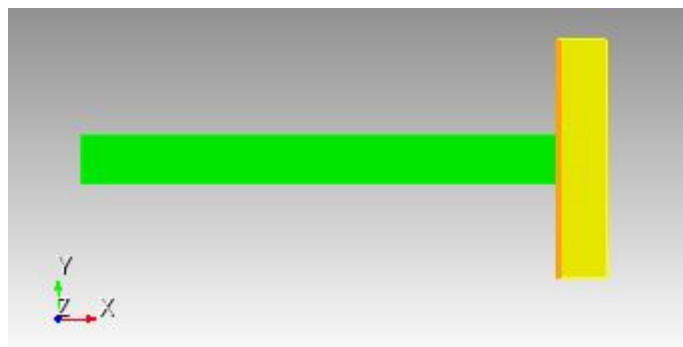




На панели команд выберите (Режим — **Граничные условия**, Объект — **Контакт**, Действие — **Создать**).

Задайте следующие параметры:

- Список главной и побочной сущностей: Кривая;
- ID объектов главной сущности: 6;
- ID объектов главной сущности: 4;
- Точность: 0.0005;
- Тип: Общий;
- Метод: Штрафов;
- Жесткость контакта по нормали: 0,5;
- Жесткость контакта по касательной: 0.5;



Нажмите **Применить**.

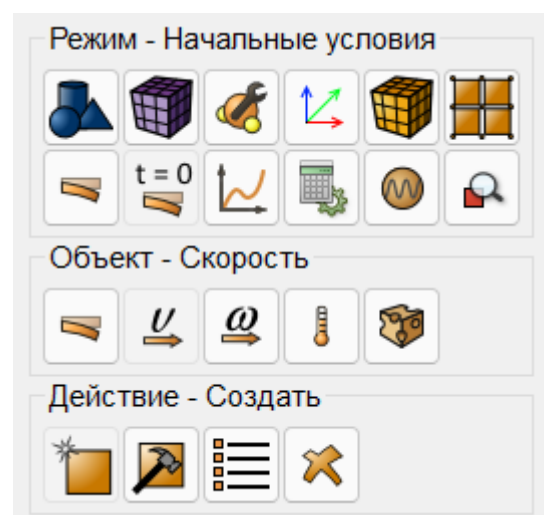
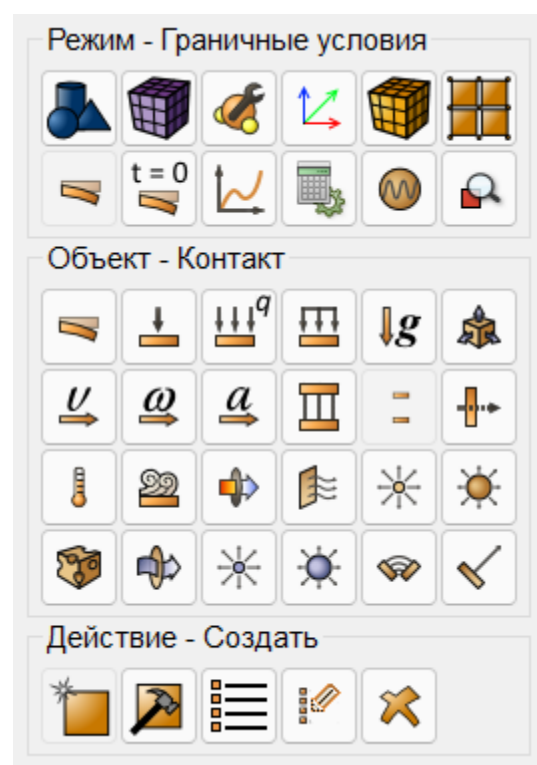
### **Задание начальных условий**

1. Приложите начальную скорость на первую пластину

На панели команд выберите (Режим — **Начальные условия**, Объект — **Скорость**, Действие — **Создать**).

Задайте следующие параметры:

- Поверхность;
- ID объекта(ов): 1;
- X Скорость: 202.2;





Нажмите **Применить**.

### Запуск на расчет

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите (Режим — **Настройки расчета**, Настройки расчета — **Временной анализ**, Временной анализ — **Общие**).

Выберите:

- Размерность: 2D;
- Модель: Упругость;
- Плоское деформированное состояние;
- Схема: Неявная;
- Максимальное время: 0.00016;
- Число шагов: 1000;
- Преднагруженная модель: уберите флаг;
- Задать настройки неявной схемы: Затухание алгоритма Ньюмарка: 0;

Нажмите **Применить**.

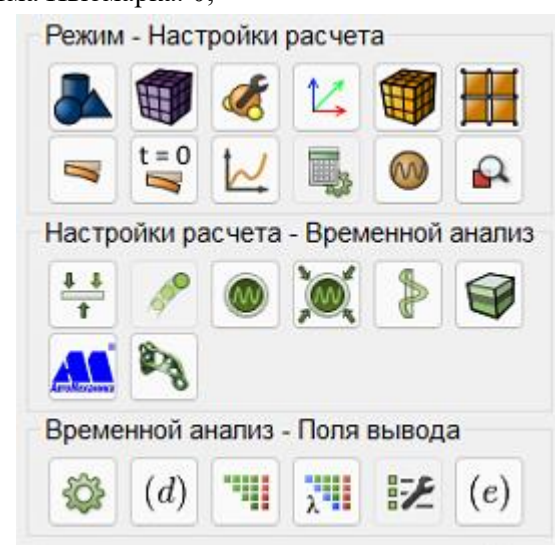
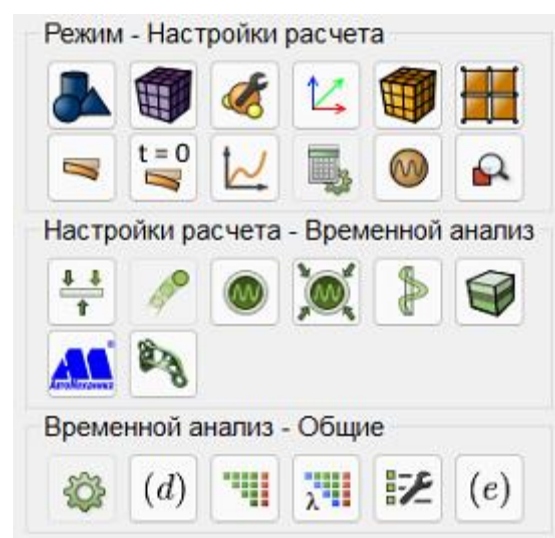
Нажмите **Начать расчет**.

2. Задайте дополнительные настройки.

На панели команд выберите (Режим — **Настройки расчета**, Настройки расчета — **Временной анализ**, Временной анализ — **Поля вывода**).

Выберите:

- Вычислять кинетическую энергию и энергию деформации;



Нажмите **Применить**.

Нажмите **Начать расчет**.

3. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат

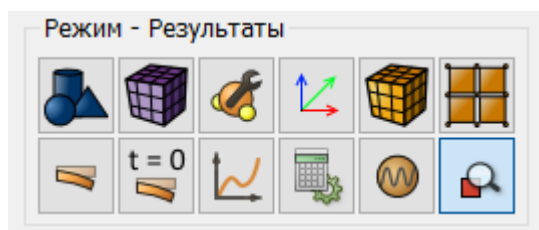
В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: "Calculation finished successfully at "date time".

### *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)**.

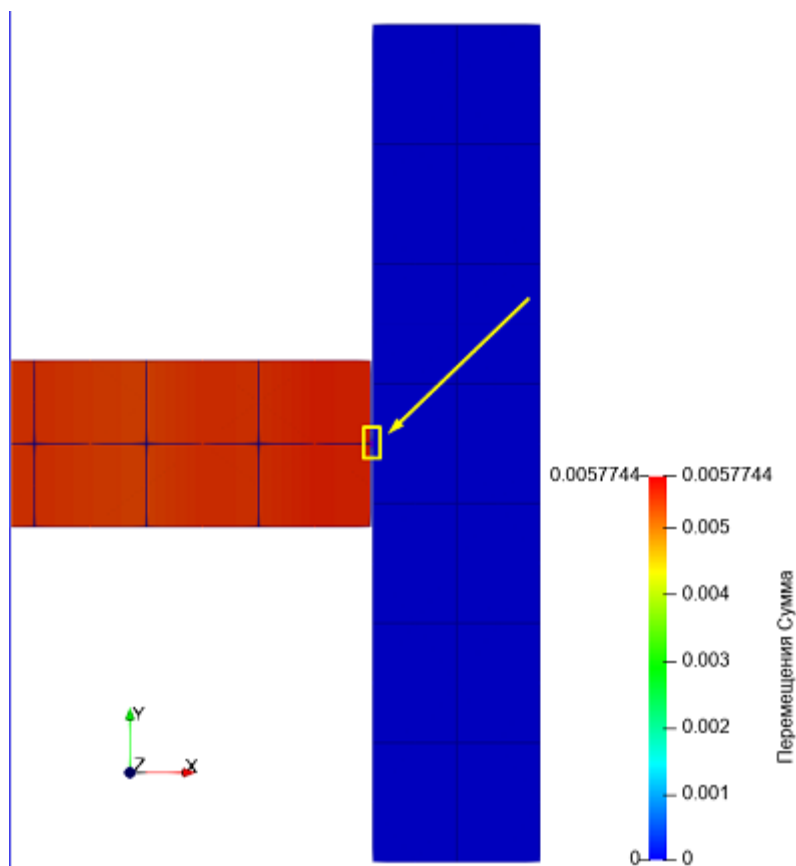


Появится окно **FidesysViewer**, в котором вы сможете ознакомиться с результатами расчёта.

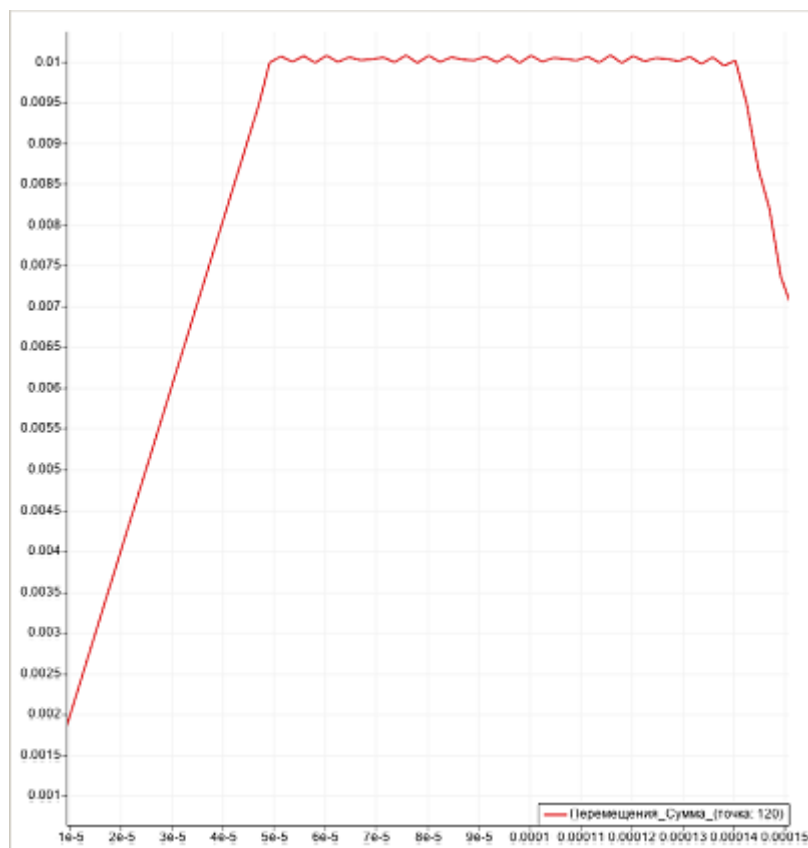
2. На главной панели FidesysViewer нажмите **Выбрать точки**.



Выберите на геометрической модели точку с координатами (5 0 0).



В главном меню выберите **Фильтры - Алфавитный указатель - Построить выделенное в зависимости от времени**.



### ***Использование консольного интерфейса***

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса.



Запустите файл *dyn\_contact\_penalty.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

## Оптимизационная задача с использованием Fidesys Python API

Для проведения оптимизационного расчета необходимо, чтобы были выполнены следующие условия:

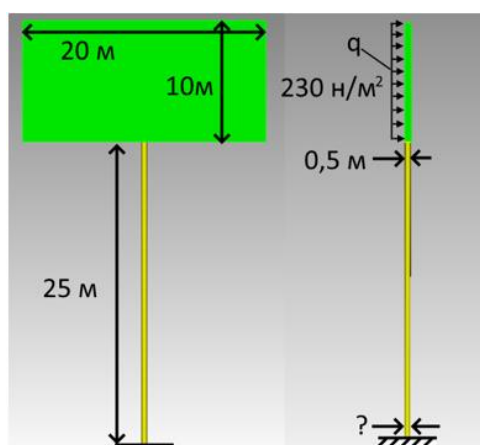
- Установлен Python v.3.8 и выше;
- Установлена библиотека vtk для Python;
- Установлена библиотека numpy для Python.

Чтобы выполнить эти условия необходимо сделать следующее:

- Скачать Python 3.8 и выше с сайта python.org и установить.
- Открыть командную строку Windows (cmd.exe) и прописать в ней:  
pip3 install numpy (затем нажать Enter и дать установиться);  
pip3 install vtk (затем нажать Enter и дать установиться).

После того как все подготовительные действия выполнены можно приступить к решению задачи.

Рассматривается задача оптимизации диаметра основания столба рекламного щита, нагруженного ветровой нагрузкой.



### Построение модели

1. Создайте параллелепипед.

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

Из списка геометрических примитивов выберите **Параллелепипед**.

Задайте следующие параметры :

- X (ширина): **20**;
- Y (высота): **0.5**;
- Z (глубина): **10**;

Нажмите **Применить**.

Далее получившийся объем необходимо переместить.

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

Из списка операций выберите **Переместить**.

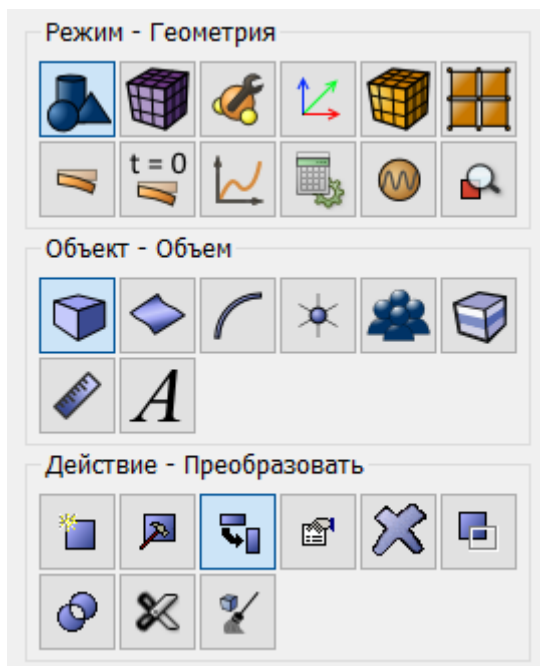
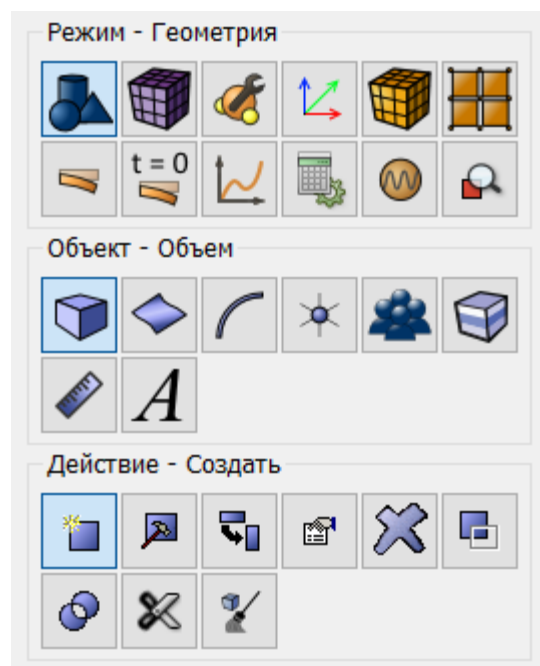
Задайте следующие параметры:

- Метод: **Расстояние**;
- Расстояние по X: **0**;
- Расстояние по Y: **0**;
- Расстояние по Z: **30**;

Нажмите **Применить**.

2. Создайте столб в виде усеченного конуса.

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

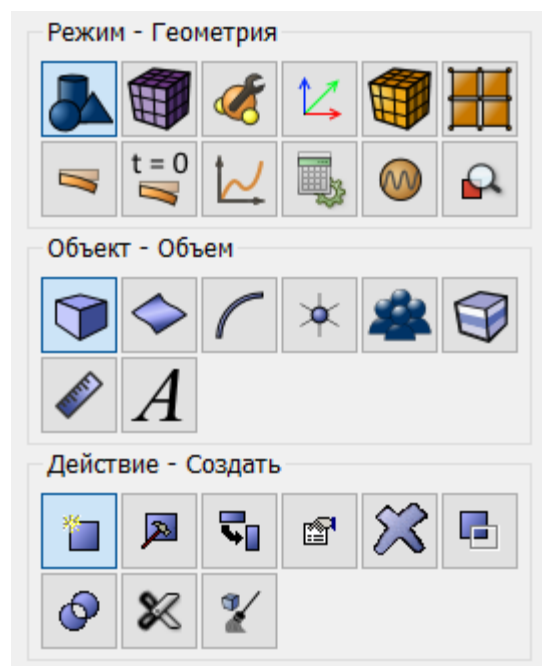


Из списка геометрических примитивов выберите **Конус**.

Задайте следующие параметры:

- Высота: **25**;
- Верхний радиус: **0.25**;
- **Круговой**;
- Радиус: **0.3**;

Нажмите **Применить**.



Далее получившийся усеченный конус необходимо переместить.

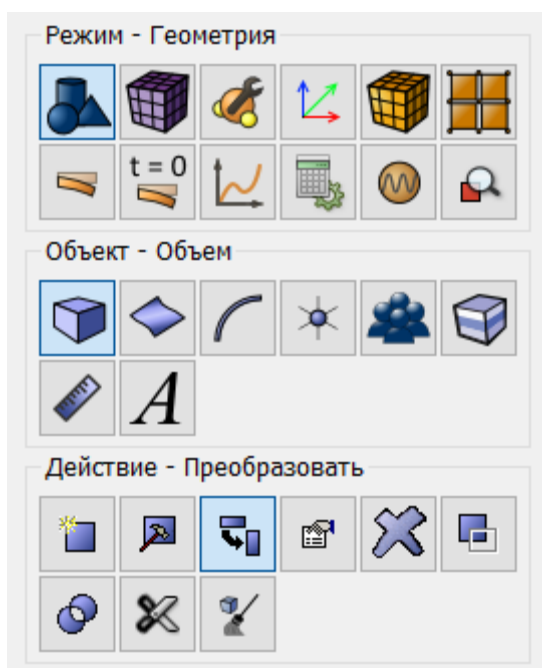
На панели команд выберите модуль построения объемной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объём**, Действие — **Преобразовать**).

Из списка операций выберите **Переместить**.

Задайте следующие параметры:

- Метод: **Расстояние**;
- Расстояние по X: **0**;
- Расстояние по Y: **0**;
- Расстояние по Z: **12.5**;

Нажмите **Применить**.





3. Создайте общие поверхности для построения совместной сетки.

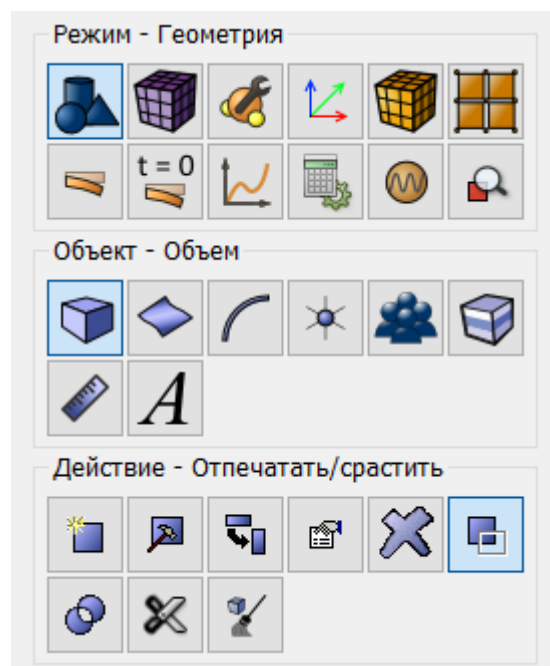
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объём**, Действие — **Отпечатать/срастить**).

Из списка операций выберите **Отпечатать и срастить**.

Задайте следующие параметры:

- ID объема(ов): **all**;

Нажмите **Применить**.



### *Построение конечно-элементной сетки*

1. Создайте тетраэдральную сетку.

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

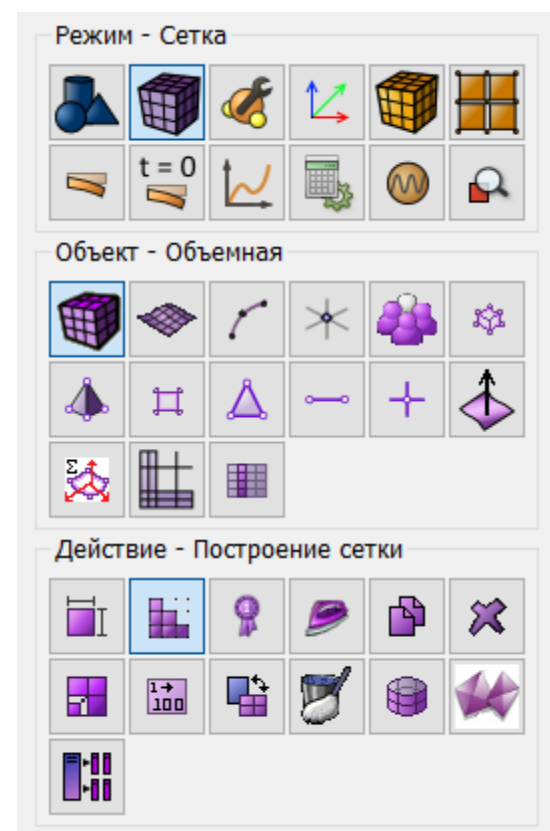
Из списка операций выберите **Тетраэдральная**.

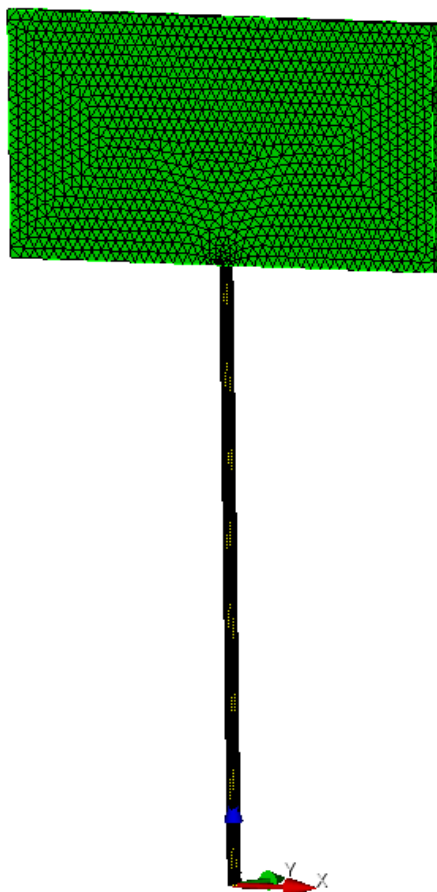
Задайте следующие параметры:

- Выбор объёмов: **all**;

Нажмите **Построить сетку**.

Если всё было сделано правильно, до вы должны увидеть такую модель:

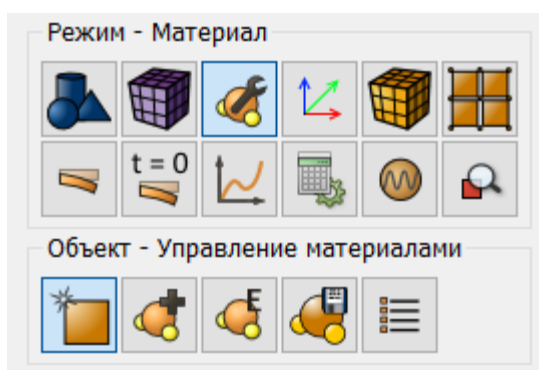




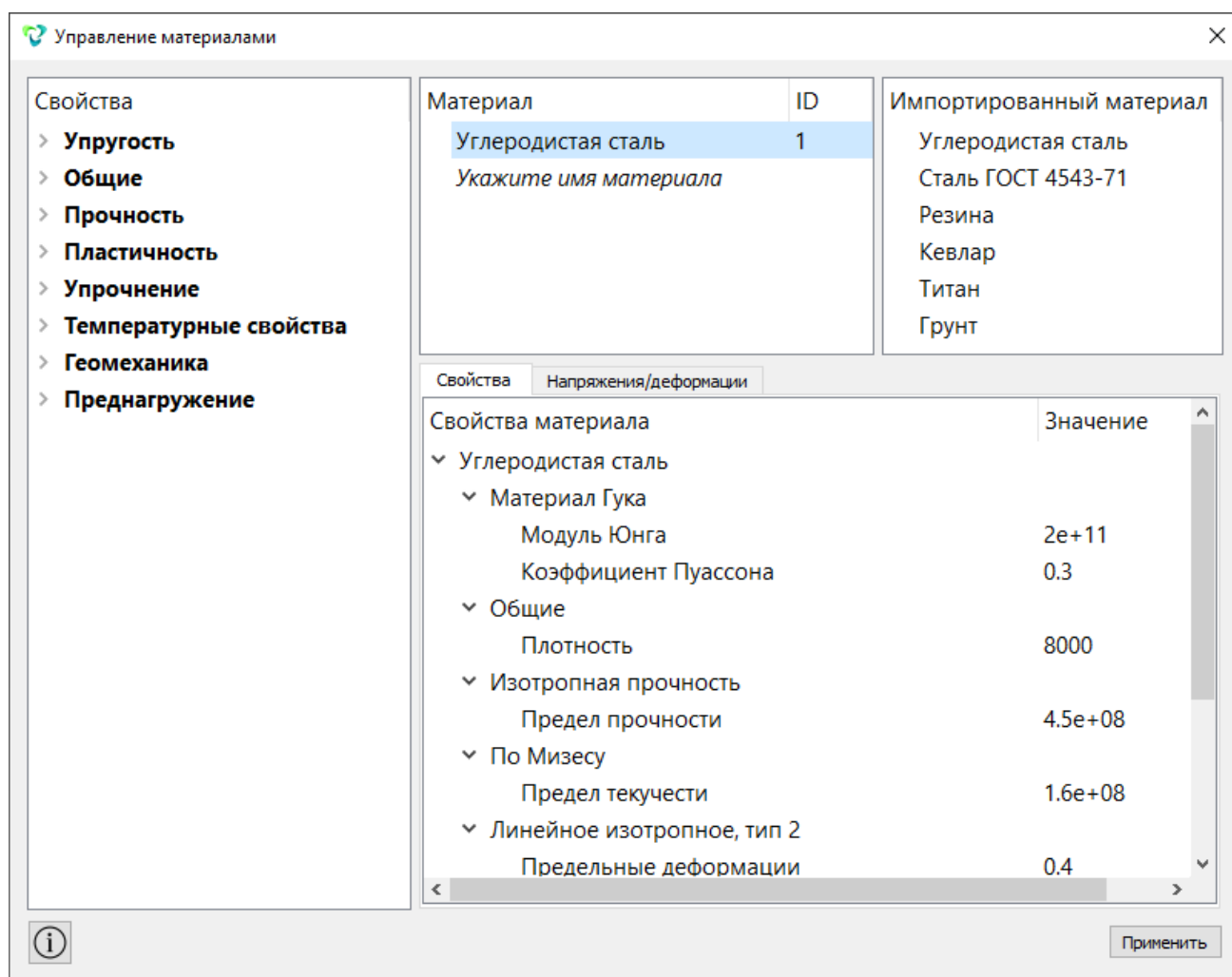
### *Задание материала и свойств блока*

1. Создайте материал.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**).



В открывшемся окне Управление материалами из третьей колонки во вторую перенесите материал «Углеродистая сталь».



2. Создайте блок.

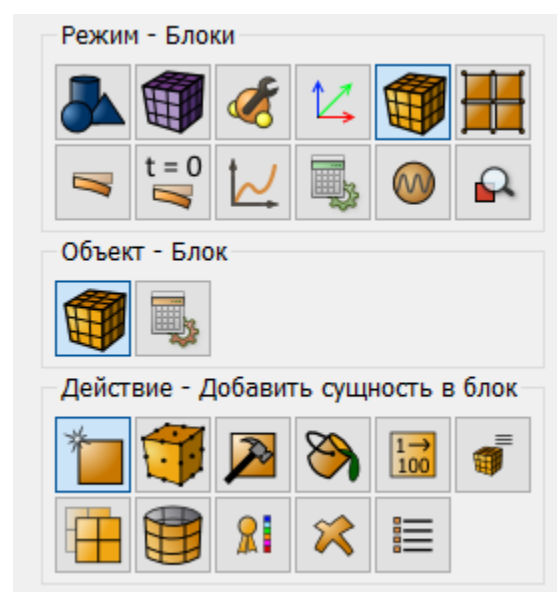
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**).

Из списка сущностей выберите **Объем**.

Задайте следующие параметры:

- ID объекта(ов): **all**;

Нажмите **Применить**.



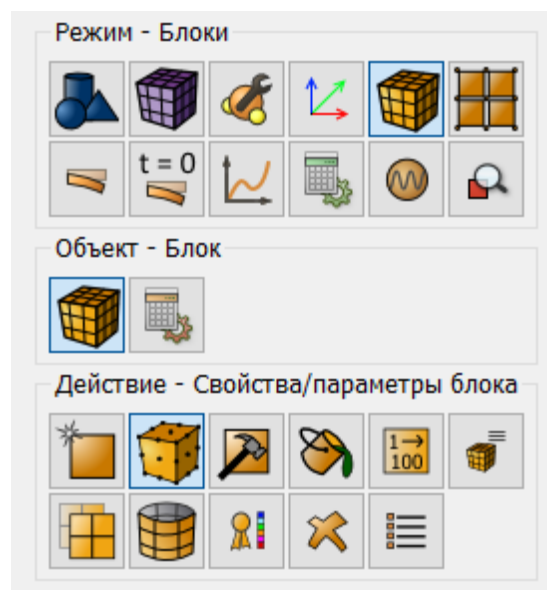
### 3. Задайте параметры блока.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Свойства/параметры блока**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): **1**;
- Материал: **Углеродистая сталь**;
- Система координат: **Глобальная декартова**;
- Категория: **Объёмное тело**;
- Порядок: **1**;

Нажмите **Применить**.



### Задание граничных условий

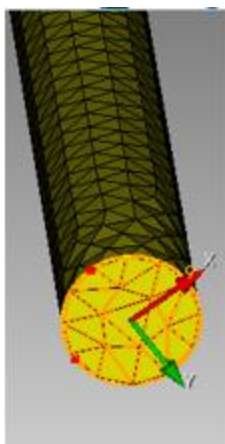
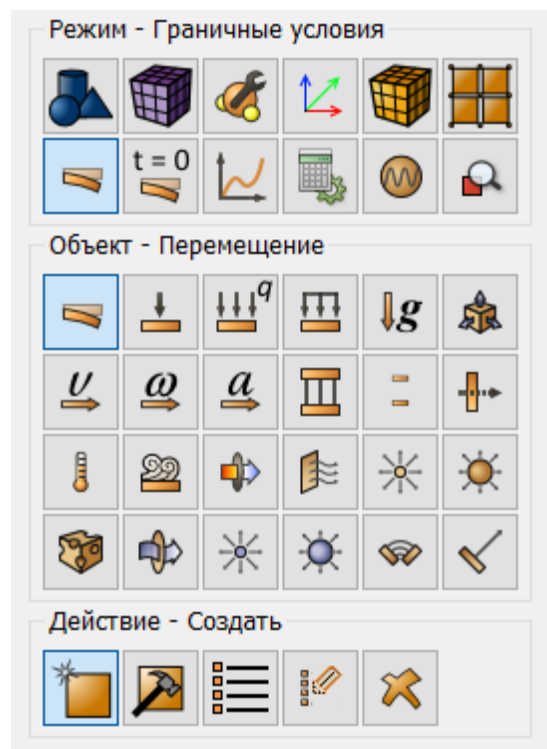
#### 1. Закрепите от всех перемещений основание столба.

На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Граничные условия**, Объект — **Перемещение**, Действие — **Создать**).

Задайте следующие параметры:

- Список объектов: **поверхность**;
- ID объекта(ов): **8**;
- Степени свободы: **Все**;
- Величина (можно не заполнять): **0**;

Нажмите **Применить**.



2. Задайте распределенную ветровую нагрузку по поверхности щита  $p=230 \text{ Н/м}^2$ .

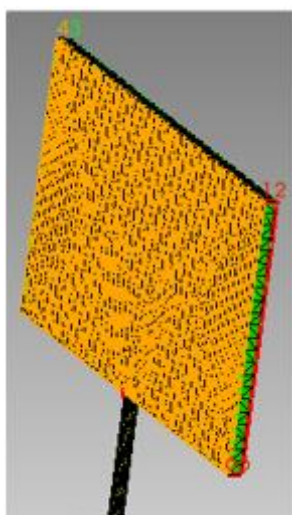
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Граничные условия**, Объект — **Распределенная сила**, Действие — **Создать**).

Из списка сущностей выберите **Поверхность**.

Задайте следующие параметры:

- ID объекта(ов): **3**;
- Тип силы: **Распределенная**;
- Сила: **230**;
- Вектор направления: **(0 1 0)**;

Нажмите **Применить**.



3. Добавьте действие гравитации.

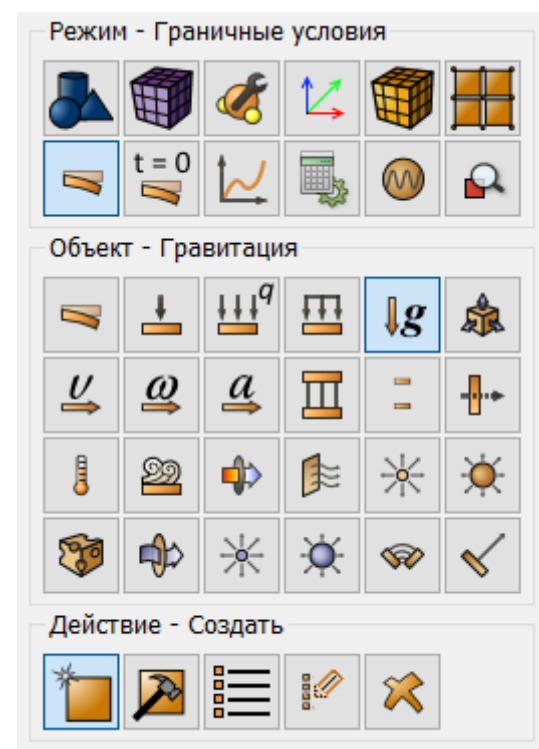
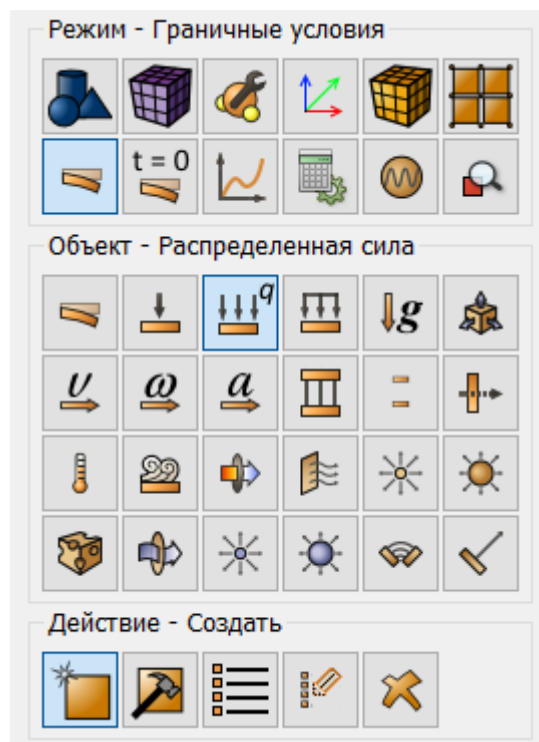
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Граничные условия**, Объект — **Гравитация**, Действие — **Создать**).

Из списка сущностей выберите **Глобально**.

Задайте следующие параметры:

- Направления: Z **-9.81**.

Нажмите **Применить**.



## Задание настроек решателя

1. Задайте настройки для статического решения задачи в 3D постановке.

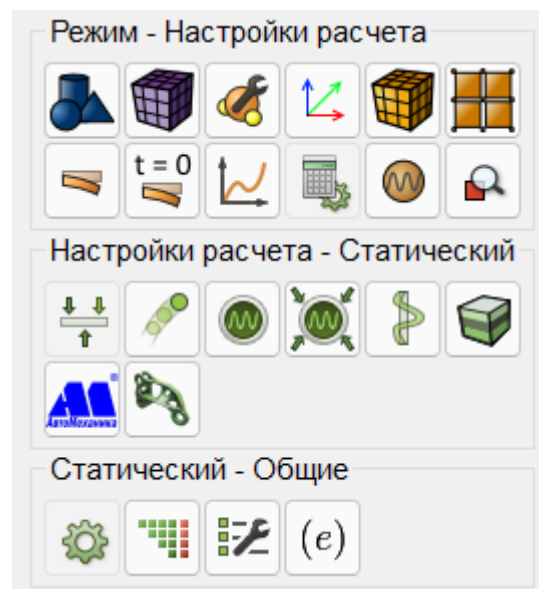
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Настройки расчёта**, Настройки расчета — **Статический**, Статический — **Общие**).

Из списка размерностей выберите **3D**.

Задайте следующие параметры:

- Модель: **Упругость**;

Нажмите **Применить**.



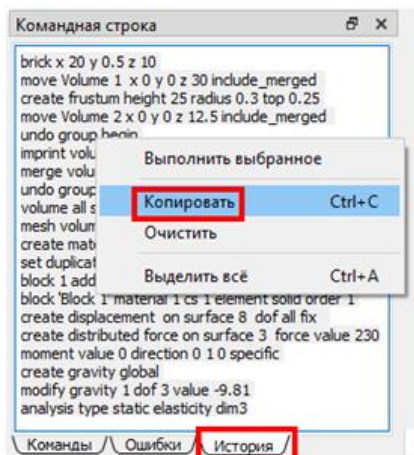
## Получение и преобразование скрипта модели

1. Извлеките скрипт модели из истории.

Перейдите в командную строку и переключите вкладку на **"История"**, где вы увидите скрипт сформированной вами модели:

```
reset  
brick x 20 y 0.5 z 10  
move Volume 1 x 0 y 0 z 30 include_merged  
create frustum height 25 radius 0.25 top 0.25  
move Volume 2 x 0 y 0 z 12.5 include_merged  
undo group begin  
imprint volume all  
merge volume all  
undo group end  
volume all scheme tetmesh  
mesh volume all  
create material 1 from 'Углеродистая сталь'  
set duplicate block elements off  
block 1 add volume all  
block 'Block 1' material 1 cs 1 element solid order 1  
create displacement on surface 8 dof all fix  
create distributed force on surface 3 force value 230 moment value 0 direction 0 1 0 specific  
create gravity global  
modify gravity 1 dof 3 value -9.81  
analysis type static elasticity dim3
```

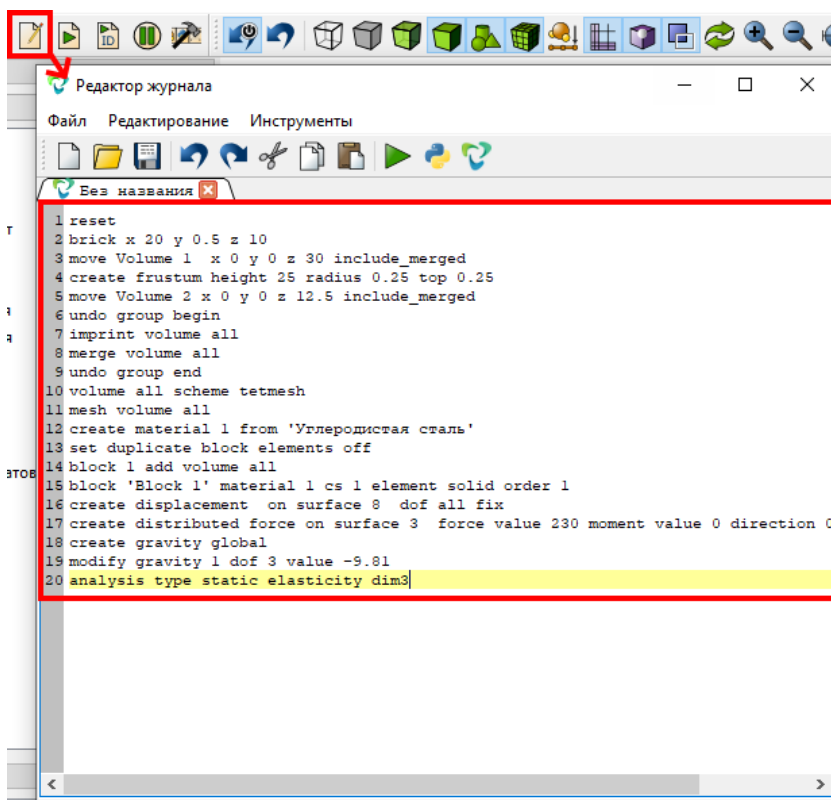
Правой кнопкой мыши кликните в любое место в командной строке и выберите **"Выделить всё"**, затем повторно кликните правой кнопкой по выделенному скрипту и выберите **"Копировать"**.



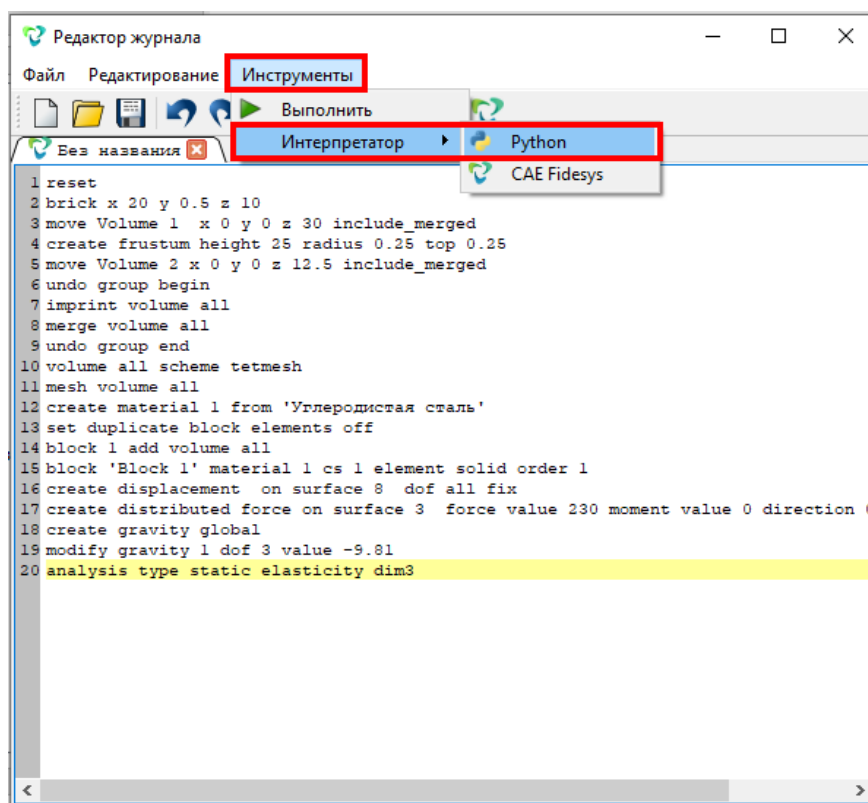
Таким образом вы скопировали скрипт в буфер обмена.

## 2. Преобразуйте скрипт в синтаксис Python.

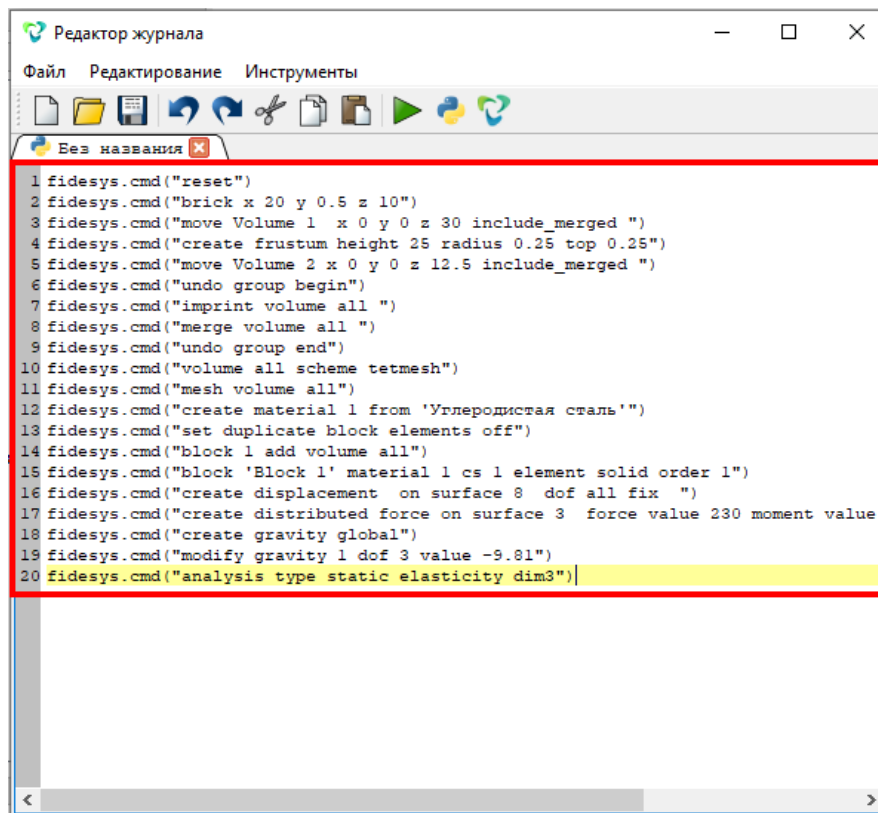
Откройте редактор журнала и вставьте скопированный ранее скрипт в его окно.



Преобразуйте скрипт в синтаксис Python через меню Инструменты - Интерпретатор - Python.



Если всё сделано правильно, то вы получите следующий скрипт в окне:



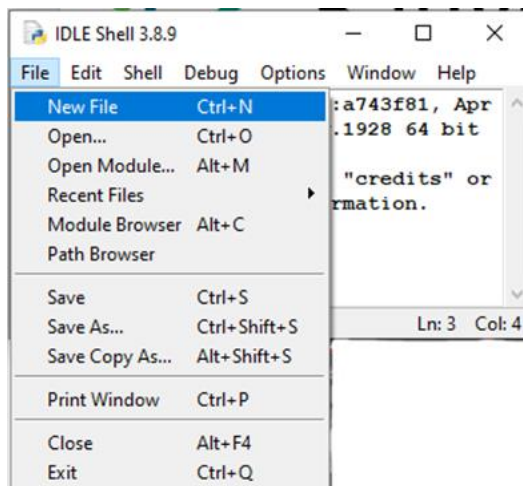
Скопируйте из редактора журнала получившийся скрипт.



## Создание и запуск скрипта Python

1. Создайте файл скрипта Python.

Запустите Python IDLE, в меню выберите File - New File, после чего откроется окно для редактирования скрипта.



2. Скопируйте приведенный ниже скрипт в открывшееся пустое окно.

Данный скрипт Python уже содержит ту часть скрипта модели Fidesys, которую мы получили ранее. Место вставки скрипта модели Fidesys помечено соответствующими комментариями.

Обратите внимание, что варьирование диаметра основания столба происходит путем внесения изменений в команду создания конуса:

- начальный вид команды: `fidesys.cmd("create frustum height 25 radius 0.25 top 0.25");`

- вид изменяемой команды: `fidesys.cmd("create frustum height 25 radius "+str(r)+"top 0.25").`

Вставка `" +str(r) +"` добавляет в разрыв текстовой команды значение радиуса.

```
import vtk      # Библиотека работы с выходными данными
from vtk.util.numpy_support import vtk_to_numpy # Модуль для преобразования результатов
import sys     # Системная библиотека
import os     # Системная библиотека
```

```
fidesys_path = r'C:\Program Files\Fidesys\CAE-Fidesys-5.2 ' # Расположение Фидесиса
base_dir = os.path.dirname(os.path.abspath(__file__)) # Директория где лежит скрипт
pvd_file = os.path.join(base_dir, '1.pvd') # Файл ссылок на результаты
prep_path = os.path.join(fidesys_path, 'preprocessor', 'bin') # Директория, где препроцессор
os.environ['PATH'] += prep_path # Добавление пути к препроцессору в PATH
sys.path.append(prepare_path) # Добавление пути к препроцессору в PATH
import cubit    # Библиотека препроцессинга
import fidesys  # Библиотека Фидесиса
cubit.init([""]) # Инициализация препроцессора
fc = fidesys.FidesysComponent() # Создание обязательного компонента Фидесис fc
fc.initApplication(prepare_path) # Инициализируем путь к препроцессору
fc.start_up_no_args() # Запуск обязательного компонента Фидесис fc
```

```
r = 0.25      # Начальный радиус основания
print("Начальный диаметра ", 2*r) # Вывод в консоль данных о начальном значении диаметра основания
isOptimized = False # Изначально False - начальная конструкция не оптимизирована
prohod = 1     # Начальное значение счетчика проходов(итераций)
while isOptimized == False: # Цикл повторяется до тех пор пока не наступит условие isOptimized == True
    print("Проход № ",prohod) # Пишем в консоль какой проход
    overstressed = [] # Создаем пустой массив для заполнения перенапряженными узлами

    # -----Начало вставляемого скрипта из Фидесис-----
    fidesys.cmd("reset")
    fidesys.cmd("brick x 20 y 0.5 z 10")
    fidesys.cmd("move Volume 1 x 0 y 0 z 30 include_merged ")
    fidesys.cmd("create frustum height 25 radius "+str(r)+"top 0.25")
    fidesys.cmd("move Volume 2 x 0 y 0 z 12.5 include_merged ")
    fidesys.cmd("undo group begin")
    fidesys.cmd("imprint volume all ")
    fidesys.cmd("merge volume all ")
    fidesys.cmd("undo group end")
    fidesys.cmd("volume all scheme tetmesh")
    fidesys.cmd("mesh volume all")
    fidesys.cmd("create material 1 from 'Углеродистая сталь'")
    fidesys.cmd("set duplicate block elements off")
    fidesys.cmd("block 1 add volume all")
    fidesys.cmd("block 'Block 1' material 1 cs 1 element solid order 1")
    fidesys.cmd("create displacement on surface 8 dof all fix ")
    fidesys.cmd("create distributed force on surface 3 force value 230 moment value 0 direction 0 1 0 specific")
    fidesys.cmd("create gravity global")
    fidesys.cmd("modify gravity 1 dof 3 value -9.81")
    fidesys.cmd("analysis type static elasticity dim3")
    # -----Конец вставляемого скрипта из Фидесис-----

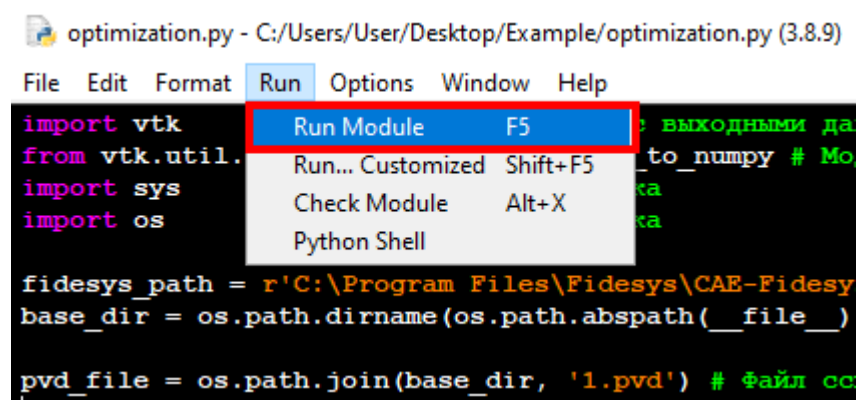
    output_pvd_path = os.path.join(base_dir + "\\\" + "1.pvd") # Объявляем директорию и файл сохранения
    print("starting calculation to " + output_pvd_path) # Выводим в консоль директорию и файл сохранения
    fidesys.cmd("calculation start path '" + output_pvd_path + "'") # Просим Фидесис начать расчет в указанную
директорию

    print(" ")
    print("Расчет успешно завершен!")
    print(" ")
    reader = vtk.vtkXMLUnstructuredGridReader() #Подключаем читалку
    print("Читаем результаты из ",str(base_dir)+r"\1\case1_step01_substep01.vtu") # Пишет откуда берем
результаты
    filename = os.path.join(str(base_dir)+r"\1\case1_step01_substep01.vtu") # Указываем путь к файлу
    reader.SetFileName(filename) # Подключаем путь к читалке и читаем
    reader.Update() # Needed because of GetScalarRange
    grid = reader.GetOutput() # Забираем выходные данные
    point_data = grid.GetPointData() # Забираем данные для точек
    arrayOfStress = vtk_to_numpy(point_data.GetArray("Stress")) # Считываем напряжения из массива результатов
    node_id = vtk_to_numpy(point_data.GetArray("Node ID")) # Считываем номера узлов из массива
результатов
    print("Начинаем поиск перенапряженных узлов")
    print(" ")
    for point in range(len(arrayOfStress)):
        if arrayOfStress[point][6] > 106e6: # Проверяем напряжения по Мизесу в узлах
```

```
overstressed.append(node_id[point]) # Заполняем массив номерами перенапряженных узлов
if len(overstressed) == 0: # Проверяется размер массива перенапряженных узлов, если он 0 то
    isOptimized = True # приравниваем переменную isOptimized=True, чтобы выйти из цикла
    print("Конструкция оптимизирована!")
else:
    print("Перенапряженных узлов: ",len(overstressed)) # Выводим информацию о количестве
перенапряженных узлов
    print(" ")
    r = r + 0.05 # Увеличиваем радиус на 0.05
    prohod = prohod + 1 # Увеличиваем значение счетчика проходов
fc.deleteApplication() #Удаляем из памяти выполненную задачу
print(" ")
print("Готово! Оптимальный диаметр не менее ", 2*r)
```

### 3. Запустите скрипт.

В меню выберите Run - Run Module и когда система попросит сохранить этот файл, сохраните его в папку Example, созданную в директории, в пути которой нет кириллических символов, во избежание ошибок.



В процессе и по завершению расчета вы будете наблюдать следующие результаты в консоли.

```
===== RESTART: C:/Users/User/Desktop/Example/optimization.py =====
Начальный диаметр 0.5
Проход № 1
starting calculation to C:\Users\User\Desktop\Example\1.pvd

Расчет успешно завершен!

Читаем результаты из C:\Users\User\Desktop\Example\1\case1_step01_substep01.vtu
Начинаем поиск перенапряженных узлов

Перенапряженных узлов: 2931

Проход № 2
starting calculation to C:\Users\User\Desktop\Example\1.pvd

Расчет успешно завершен!

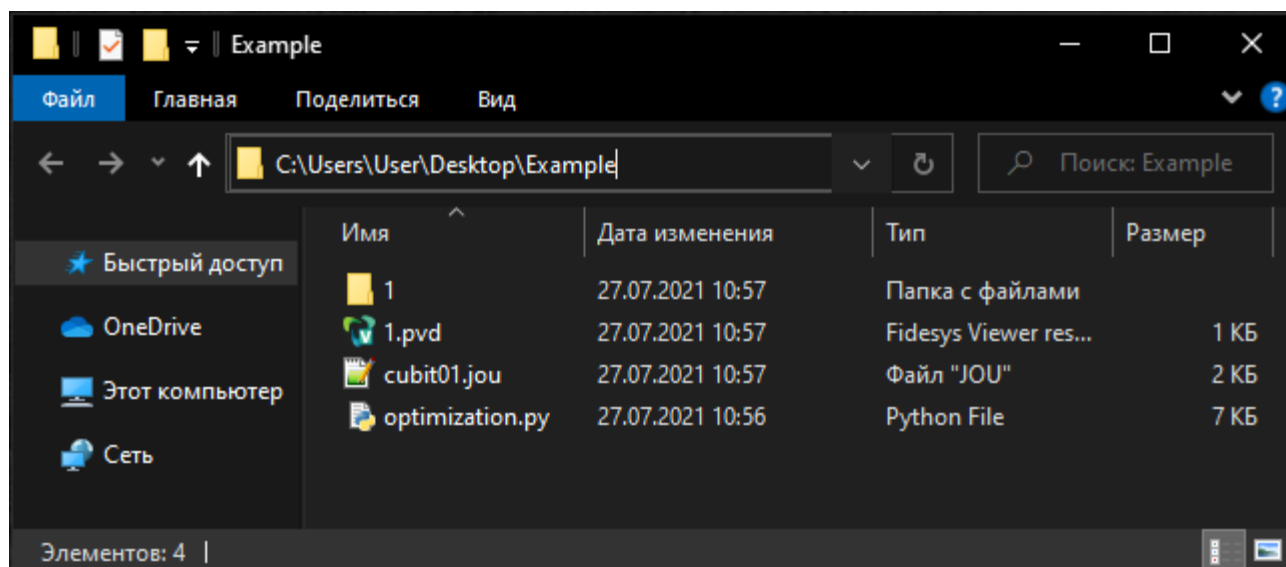
Читаем результаты из C:\Users\User\Desktop\Example\1\case1_step01_substep01.vtu
Начинаем поиск перенапряженных узлов

Конструкция оптимизирована!

Готово! Оптимальный диаметр не менее 0.6
>>> |
```

Ln: 169 Col: 4

Сохранение результатов произойдет в ту папку, в которой лежал файл скрипта. По завершении расчета вы сможете открыть и посмотреть файл результатов 1.pvd.



## Задача о нагружении внутренним давлением баллона с силовой оболочкой

Рассматривается задача о нагружении внутренним давлением баллона с силовой оболочкой, состоящей из двойного спирального слоя и кольцевой намотки на цилиндрической части.

### Построение модели

1. Создайте сферу.

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

Из списка геометрических примитивов выберите **Сфера**. Задайте следующие параметры:

- Радиус: 1.

Нажмите **Применить**.

2. Создайте вторую сферу.

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

Из списка геометрических примитивов выберите **Сфера**. Задайте следующие параметры:

- Радиус: 1.

Нажмите **Применить**.

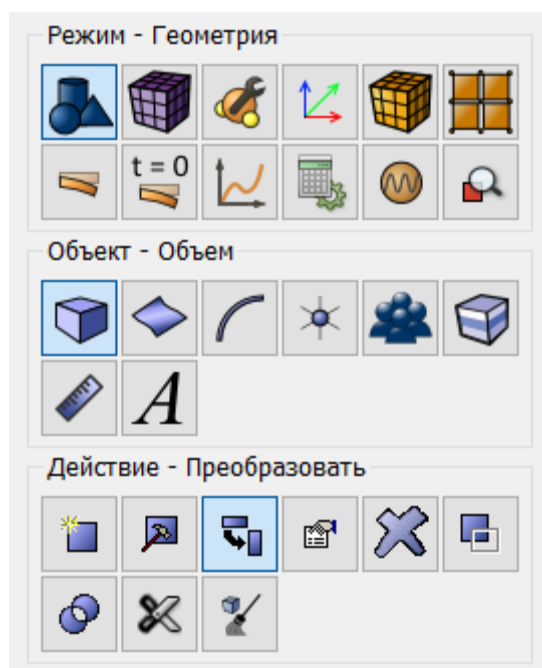
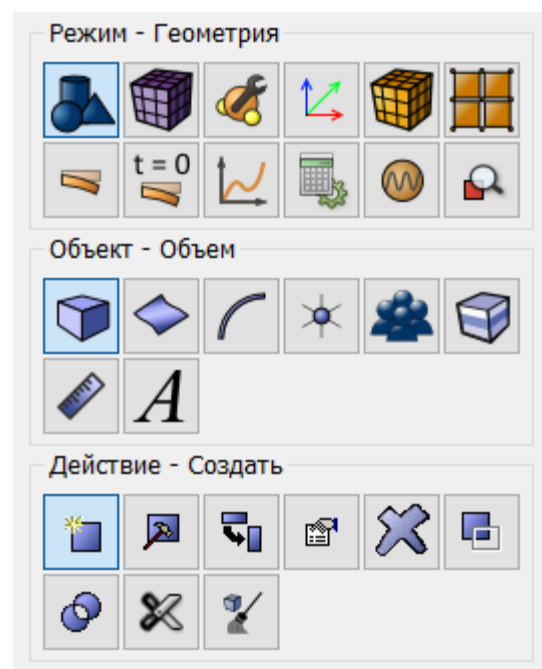
3. Переместите вторую сферу.

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

Из списка геометрических примитивов выберите **Переместить**. Задайте следующие параметры :

- Объем ID(ов): 2;
- Выбрать метод: Расстояние;
- Расстояние по X: 5.

Нажмите **Применить**.



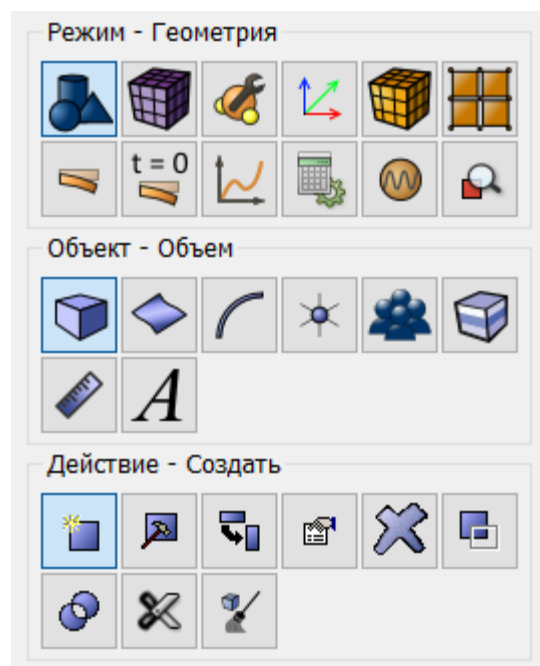
#### 4. Создайте круговой цилиндр.

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

Из списка геометрических примитивов выберите **Цилиндр**.  
Задайте следующие параметры:

- Высота: 5;
- Круговой;
- Радиус: 1.

Нажмите **Применить**.



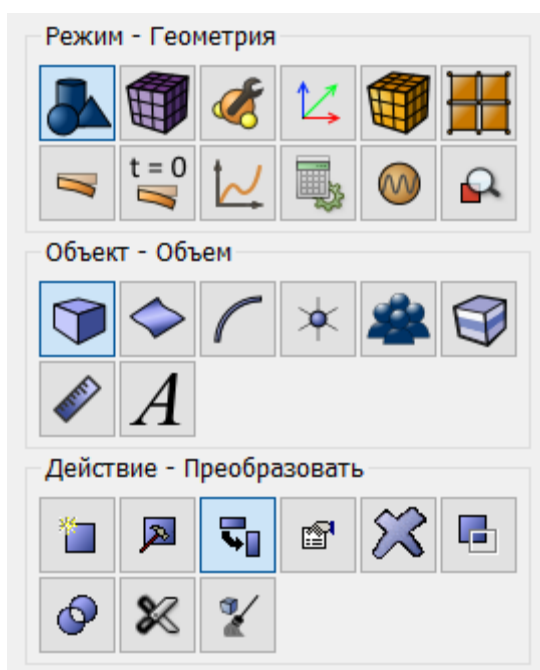
#### 5. Поверните цилиндр.

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

Из списка геометрических примитивов выберите **Повернуть**.  
Задайте следующие параметры:

- Объем ID(ов): 3;
- Угол: 90;
- Повернуть вокруг: Ось Y.

Нажмите **Применить**.



#### 6. Переместите цилиндр.

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

Из списка геометрических примитивов выберите **Переместить**. Задайте следующие параметры:

- Объем ID(ов): 3;
- Выбрать метод: Расстояние;
- Расстояние по X: 2.5.

Нажмите **Применить**.

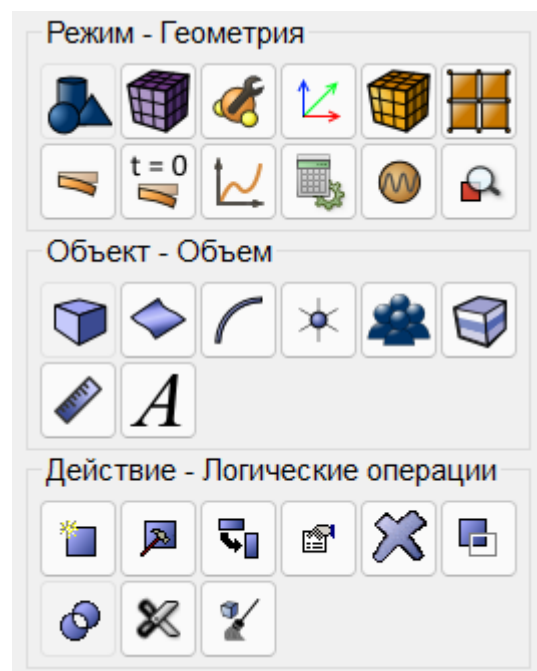
### 7. Объедините объемы.

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

Из списка геометрических примитивов выберите **Объединить**.  
Задайте следующие параметры:

- ID объема(ов): 2 3 1.

Нажмите **Применить**.

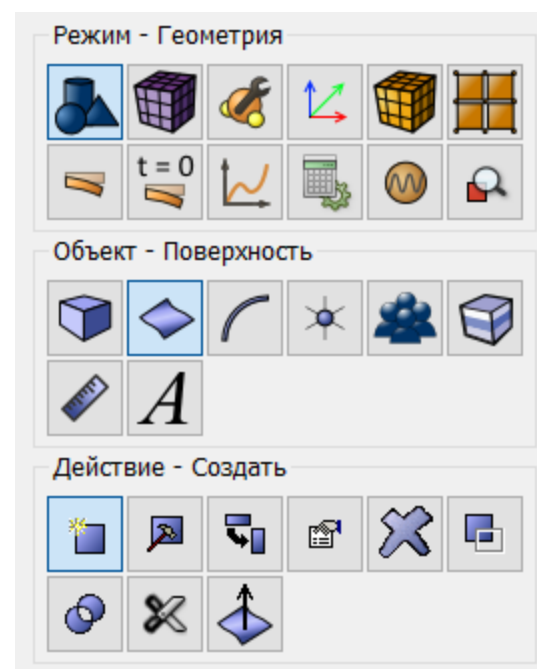


### 8. Скопируйте поверхность модели.

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

Из списка геометрических примитивов выберите **Копировать и изменить**. Задайте следующие параметры:

- ID поверхности(ей): 3 7 6;
- Переместить;
- (0,0,0);
- Повторить: 1.



### 9. Удалите объем.

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

Задайте следующие параметры :

- ID объема(ов): 2.

Нажмите **Применить**.

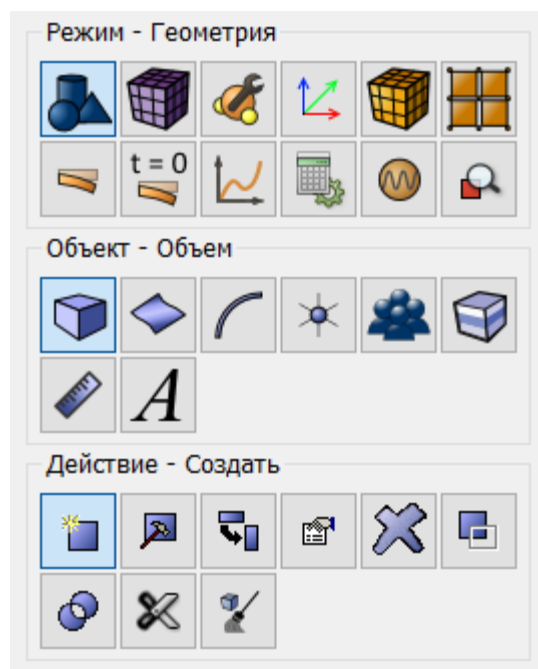
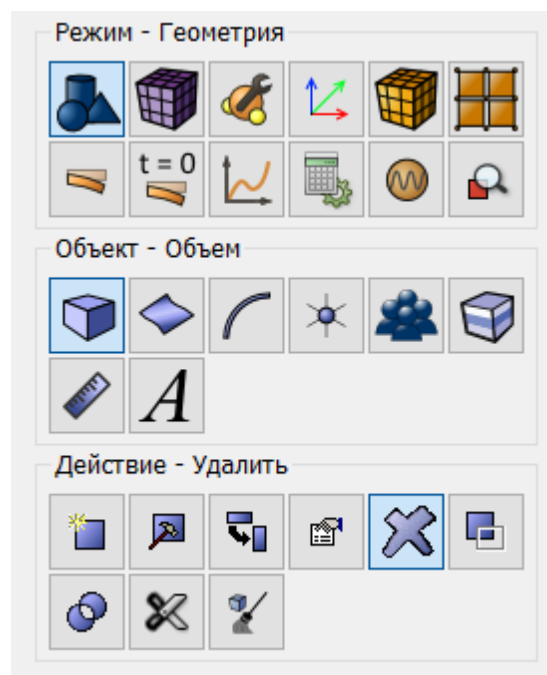
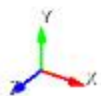
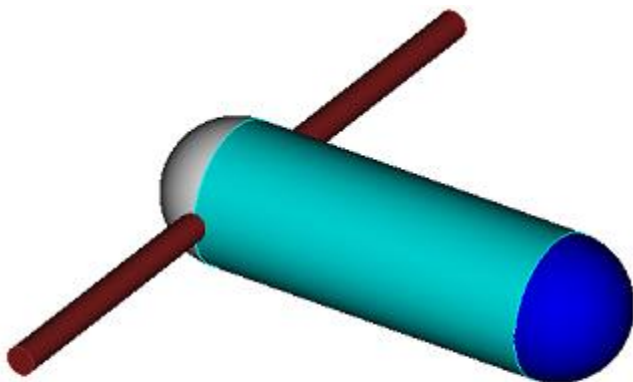
10. Создайте круговой цилиндр.

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

Из списка геометрических примитивов выберите **Цилиндр**.  
Задайте следующие параметры:

- Высота: 10;
- Круговой;
- Радиус: 0.2.

Нажмите **Применить**.





11. Поверните цилиндр.

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

Из списка геометрических примитивов выберите **Повернуть**.  
Задайте следующие параметры :

- Объем ID(ов): 7;
- Угол: 90;
- Повернуть вокруг: Ось Y.

Нажмите **Применить**.

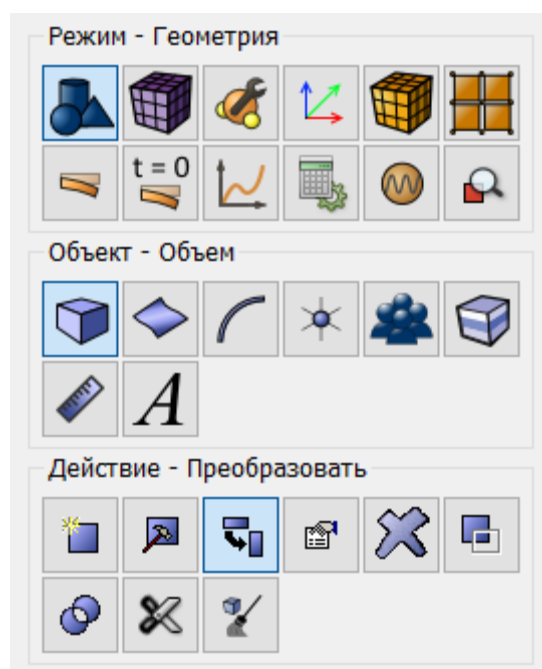
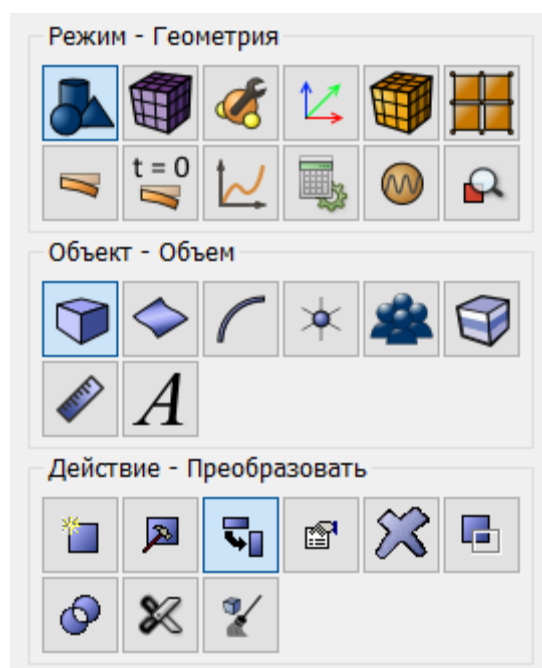
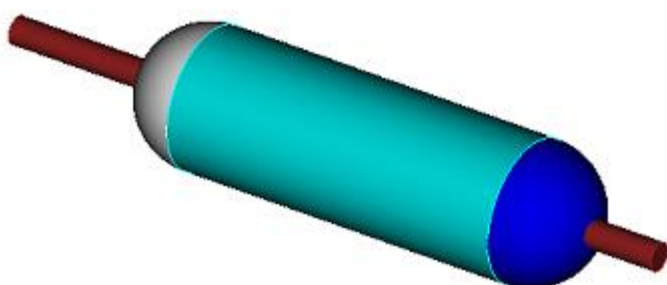
12. Переместите цилиндр.

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

Из списка геометрических примитивов выберите **Переместить**.  
Задайте следующие параметры:

- Объем ID(ов): 7;
- Выбрать метод: Расстояние;
- Расстояние по X: 2.

Нажмите **Применить**.



13. Разрежьте новый цилиндр относительно начальной геометрии.

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

Из списка геометрических примитивов выберите **Продлённый из поверхности лист**.

Задайте следующие параметры :

- ID тел(а): 6;
- С поверхностью (ID): 11.

Нажмите **Применить**.

14. Прodelайте тоже самое для тела 5. Задайте следующие параметры :

- ID тел(а): 5;
- С поверхностью (ID): 11.

Нажмите **Применить**.

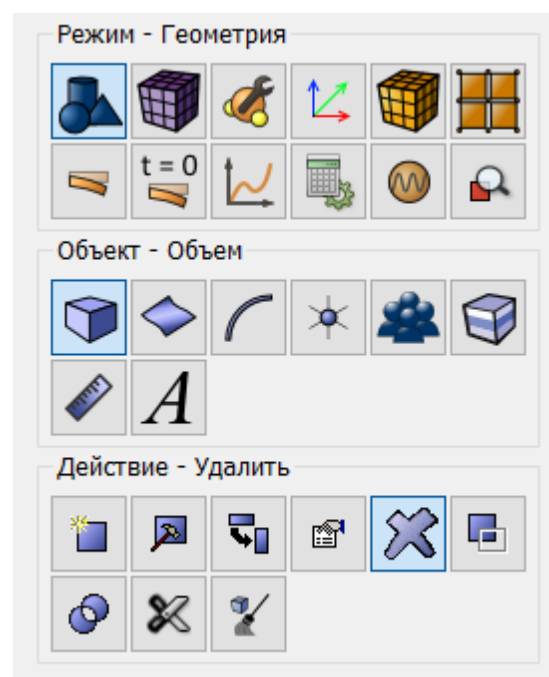
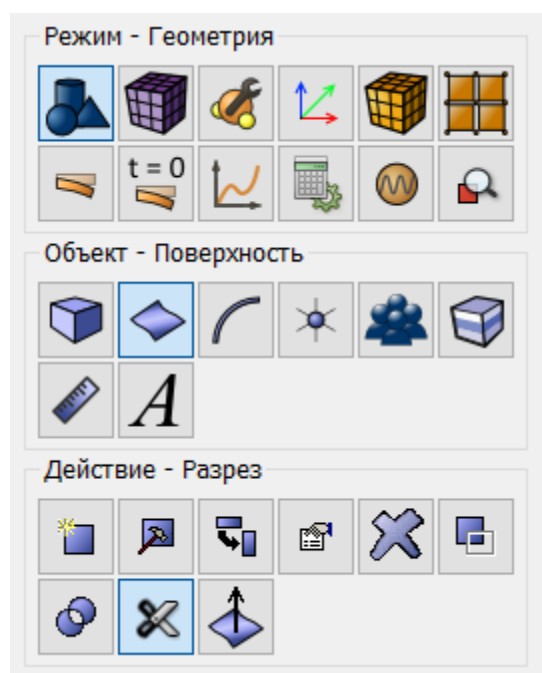
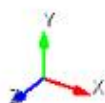
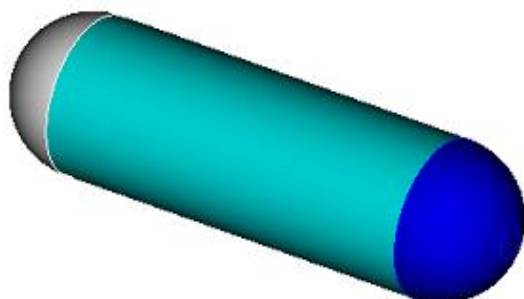
15. Удалите объем.

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

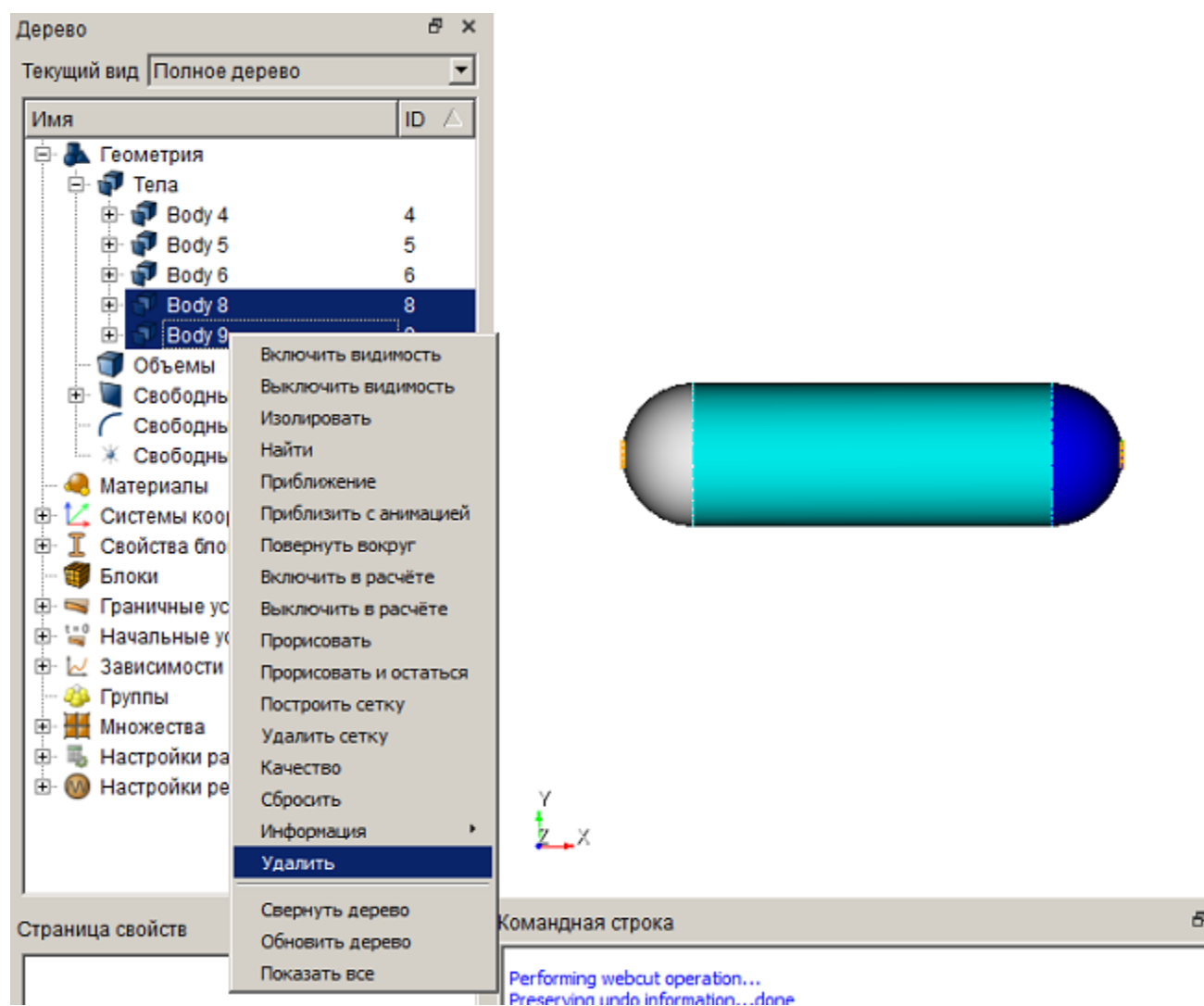
Задайте следующие параметры :

- ID объема(ов): 7.

Нажмите **Применить**.



16. Удалите тела 8 и 9. Для этого, удерживая клавишу **Ctrl**, выберите в дереве объектов эти тела и в контекстном меню нажмите **Удалить**.



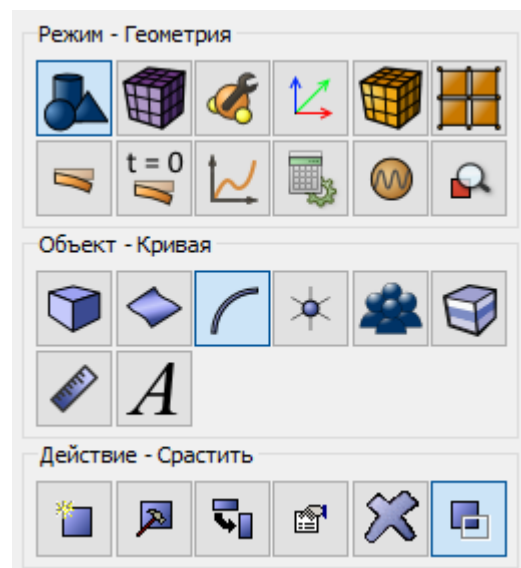
17. Срастите все кривые.

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

Из выпадающего списка выберите **Срастить**. Задайте следующие параметры:

- ID кривой(ых): all.

Нажмите **Применить**.



### Построение сетки

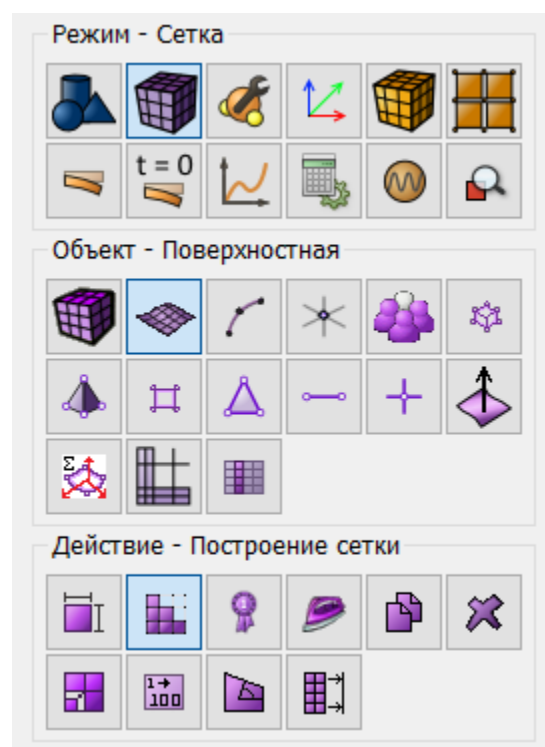
1. Задайте схему построения сетки для боковых поверхностей.

На панели команд выберите (Режим - Сетка, Объект - Поверхностная, Действие - Построение сетки).

Из выплывающего списка выберите **Отверстие**. Задайте следующие параметры:

- Выбор поверхности: 16 14;
- Радиальные интервалы: 15.

Нажмите **Применить** схему.



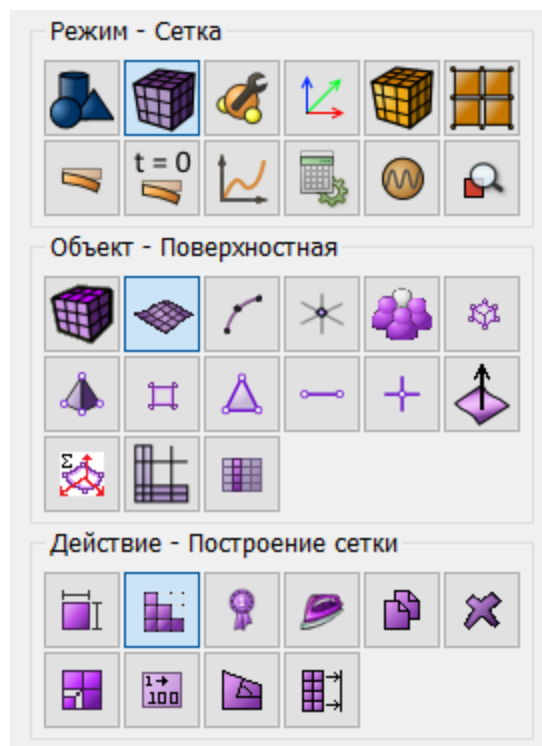
2. Задайте схему построения сетки для центральной поверхности.

На панели команд выберите (Режим - Сетка, Объект - Поверхностная, Действие - Построение сетки).

Из выпадающего списка выберите **Кусочная карта**. Задайте следующие параметры:

- Выбор поверхностей: 8.

Нажмите **Применить схему**.



3. Создайте сетку для модели.

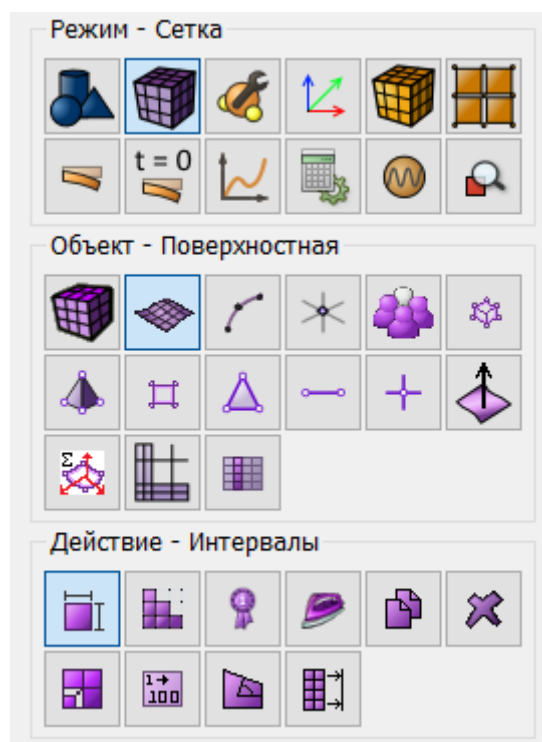
На панели команд выберите (Режим - Сетка, Объект - Поверхностная, Действие - Интервалы).

Из выпадающего списка выберите **Задать размер**. Задайте следующие параметры:

- Выбор поверхностей: all;
- Примерный размер: 0.07.

Нажмите **Применить**.

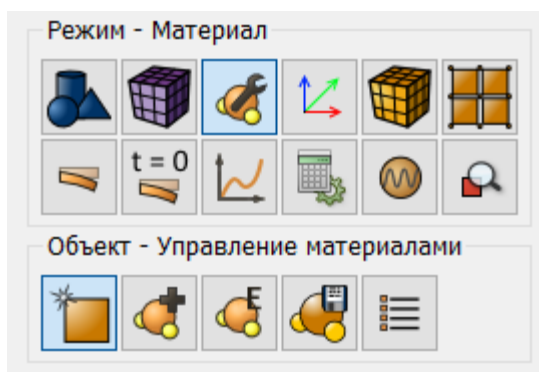
Нажмите **Построить схему**.



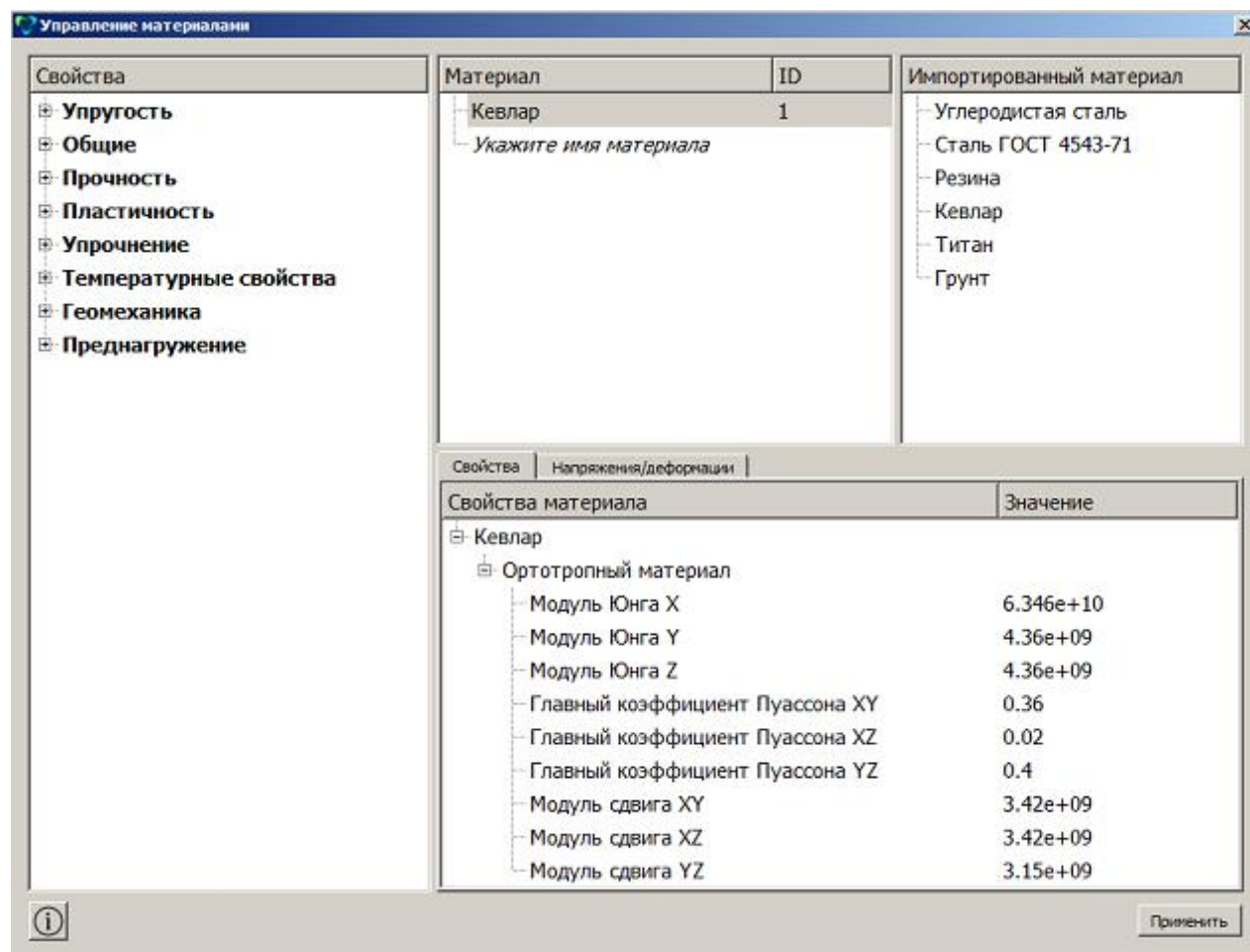
### **Задание материала и свойств блока**

1. Создайте материал.

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



В открывшемся окне **Управление материалами** перетащите из третьей колонки материал **Кевлар**.



Нажмите **Применить**. Закройте окно.

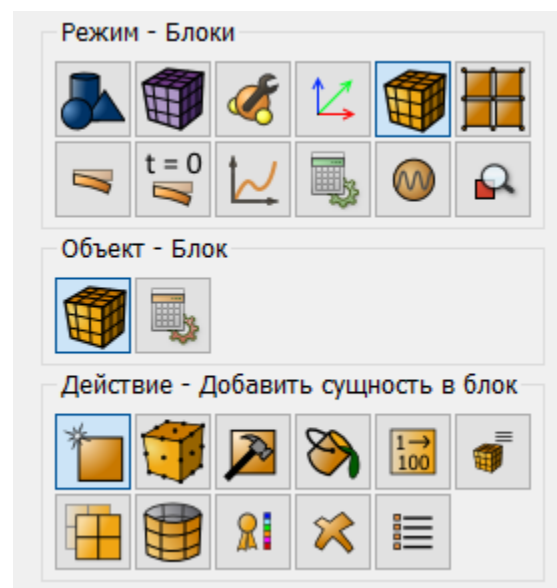
2. Создайте блок одного типа материала.

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

Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Список сущностей: Поверхность;
- ID объекта(ов): 14 16.

Нажмите **Применить**.



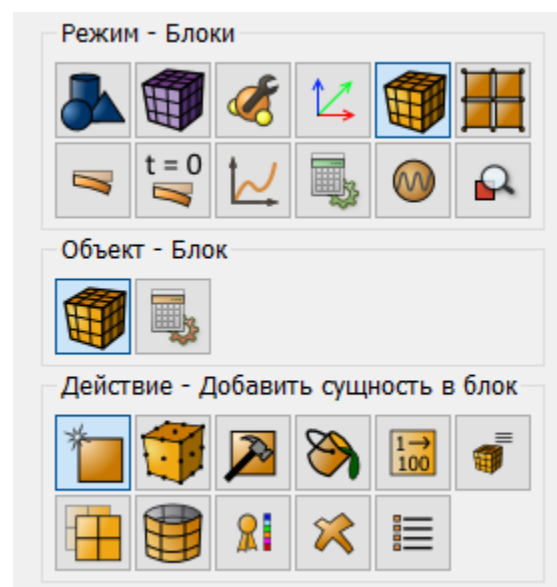
3. Создайте второй блок.

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

Задайте следующие параметры:

- ID блока: 2;
- Список сущностей: Поверхность;
- ID объекта(ов): 8.

Нажмите **Применить**.



4. Задайте параметры для первого блока.

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

Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 1;
- Категория: Оболочка;
- Порядок: 1;

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

- Толщина: 0.005;
- Материал: Кевлар;
- Угол: 30.

Нажмите **Добавить строку** и задайте параметры:

- Толщина: 0.005;
- Материал: Кевлар;
- Угол: -30.

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

Нажмите **Применить**.

5. Задайте параметры для второго блока.

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

Задайте следующие параметры:

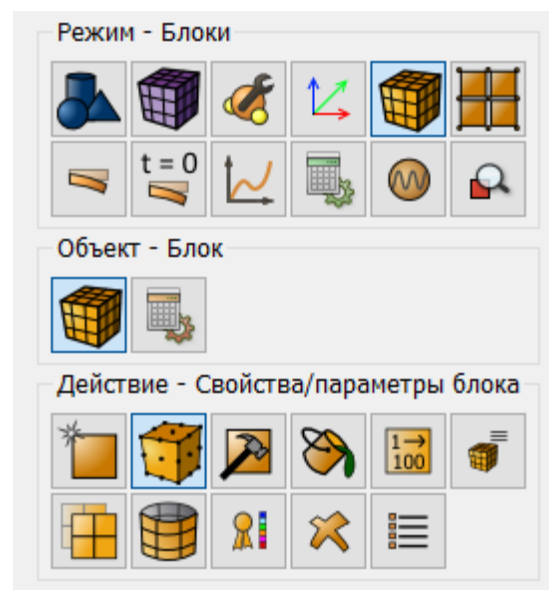
- ID блока(ов): 2;
- Категория: Оболочка;
- Порядок: 1;

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

- Толщина: 0.005;
- Материал: Кевлар;
- Угол: 30.

Нажмите **Добавить строку** и задайте параметры:

- Толщина: 0.005;





- Материал: Кевлар;
- Угол: -30.

Еще раз нажмите **Добавить строку** и задайте параметры:

- Толщина: 0.005;
- Материал: Кевлар;
- Угол: 90.

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

Нажмите **Применить**.

### *Задание граничных условий.*

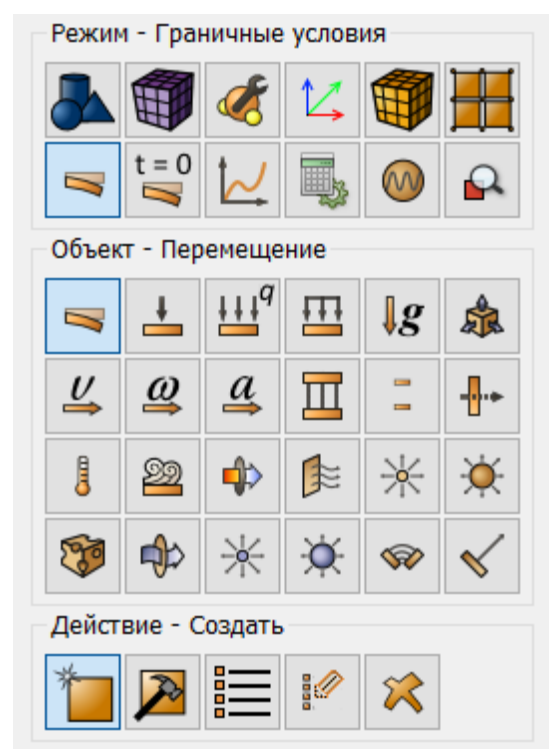
1. Закрепите одну кривую отверстия по всем перемещениям.

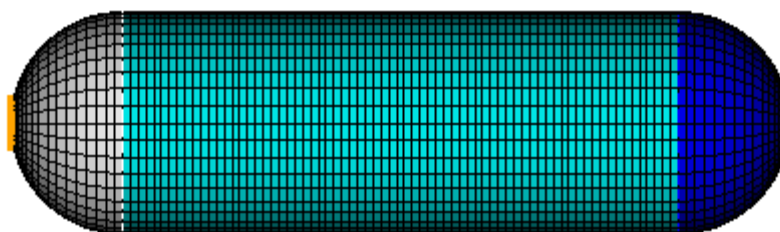
На панели команд выберите (Режим — **Граничные условия**, Объект — **Перемещение**, Действие — **Создать**).

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объекта(ов): 10;
- Степени свободы: По X, По Y, По Z;
- Величина: 0 (можно не заполнять).

Нажмите **Применить**.





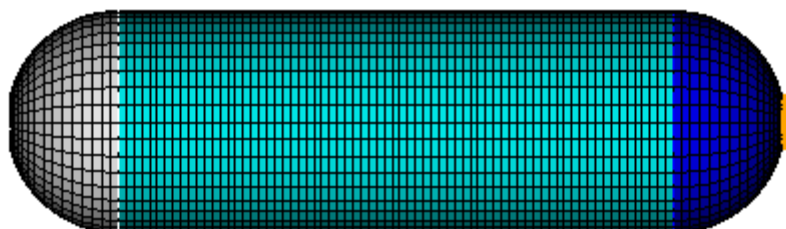
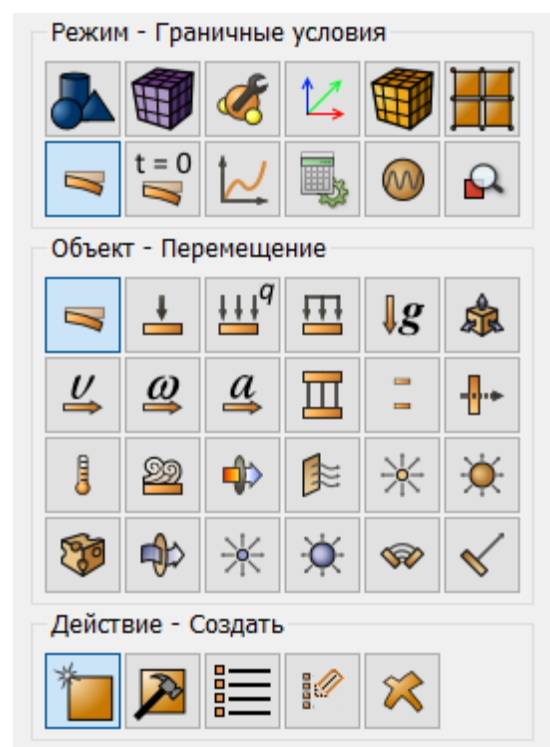
2. Закрепите другую кривую отверстия по Y и Z.

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

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объекта(ов): 12;
- Степени свободы: По Y, По Z;
- Величина: 0 (можно не заполнять).

Нажмите **Применить**.



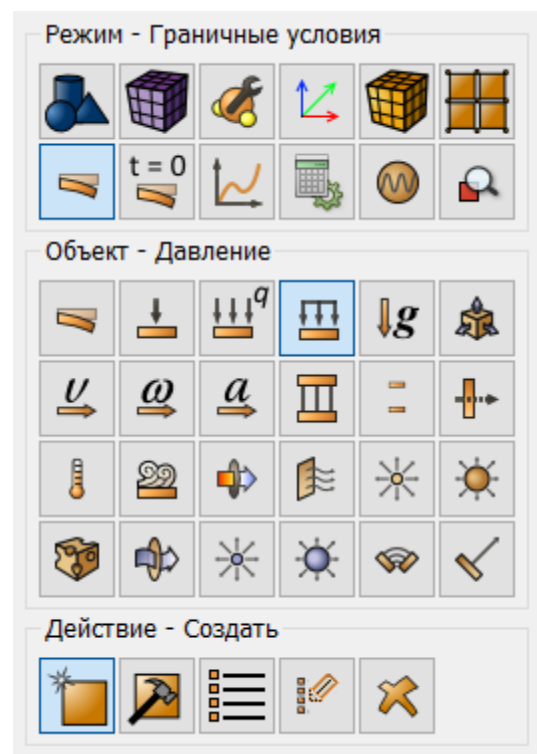
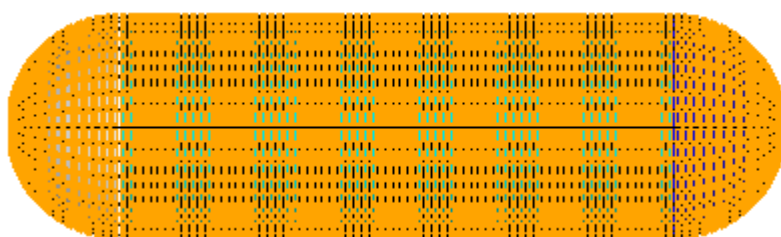
3. Приложите давление ко всем поверхностям.

На панели команд выберите (Режим — **Граничные условия**, Объект — **Давление**, Действие — **Создать**).

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объекта(ов): all;
- Значение: -5e6.

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**).

Задайте следующие параметры расчёта:

- Размерность: 3D;
- Модель: Упругость.

Нажмите **Применить**.

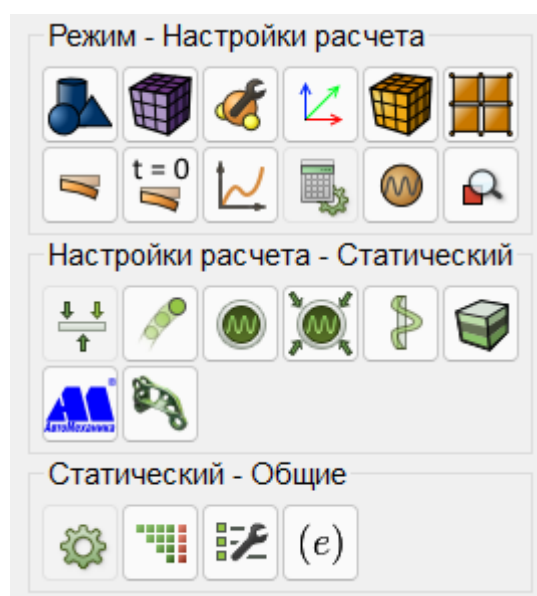
Нажмите **Начать расчет**.

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

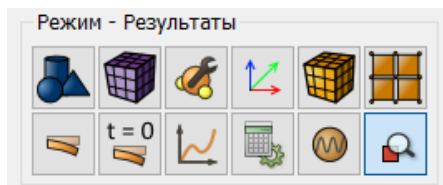
3. В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: "Calculation finished successfully at "date time".

### 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 **FidesysViewer**, в котором вы сможете ознакомиться с результатами расчёта.

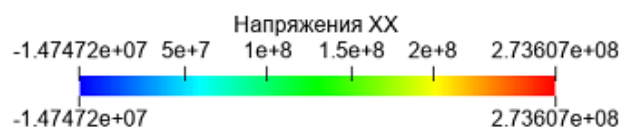
2. Отобразите компоненту  $\sigma_{yy}$  поля напряжений. На панели инструментов установите следующие параметры:

- Тип отображения: Поверхность;
- Поле отображения: Напряжение;
- Компонента отображения: YY.

После применения настроек должна отобразиться следующая картина:

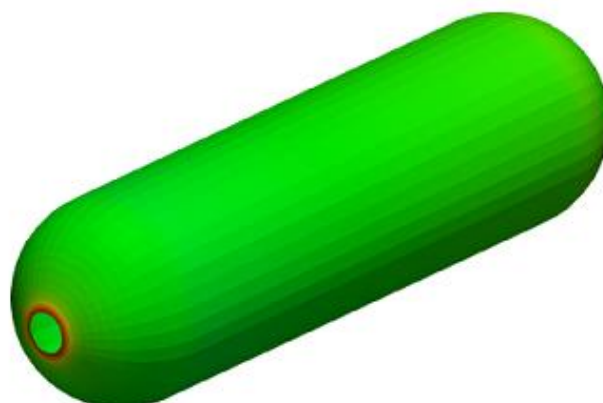


3. Отобразите компоненту  $\sigma_{xx}$ .



4. Отобразите суммарные перемещения.

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



### **Использование консольного интерфейса**

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса.



Запустите файл *ballon\_pressure\_shel.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

## Пошаговый пример для демонстрации обнуления напряжений при замене материала на некотором шаге

### Описание задачи

Рассматривается пошаговое растяжение пластины. В пластине сделано круглое включение из основного материала (т.е материал одинаковый на всей пластине). Задача решается в 2 шага нагружения. На первом шаге пластина испытывает одноосное растяжение по оси  $x$ , на втором шаге нагрузка снимается и происходит замена материала для включения таким образом, что модуль Юнга и коэффициент Пуассона остаются прежними, но задаются нулевые начальные напряжения. Анализируются напряжения вокруг включения на последнем шаге нагружения.

### Построение модели

1. Создайте пластину со стороной 100.

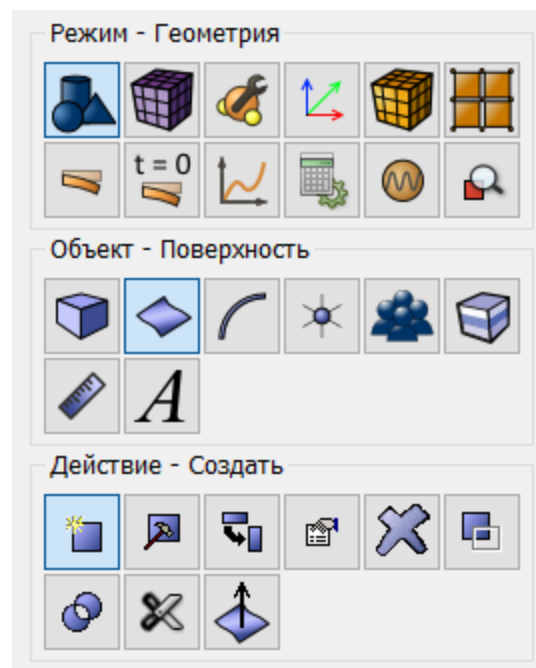
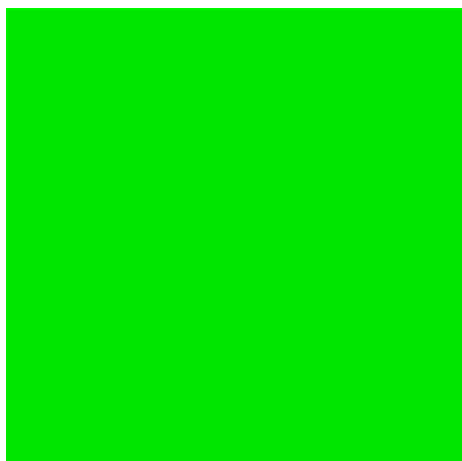
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие — **Создать**).

Из списка геометрических примитивов выберите **Прямоугольник**.

Задайте следующие параметры:

- Ширина: 100.

Нажмите **Применить**.



2. Создайте круг радиусом 10.

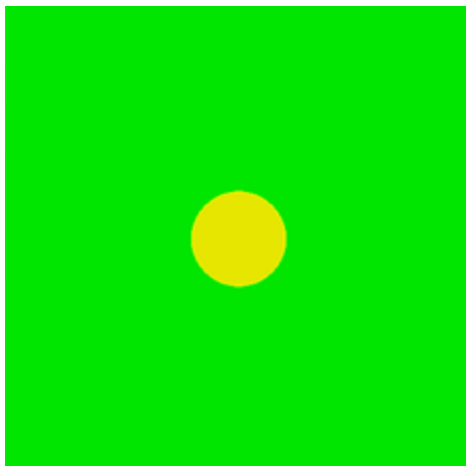
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие — **Создать**).

Из списка геометрических примитивов выберите **Круг**.

Задайте следующие параметры:

- Радиус: 10;
- Выберите Z-плоскость.

Нажмите **Применить**.



3. Выржьте круг из пластины, сохраняя оригиналы (Сохранить В).

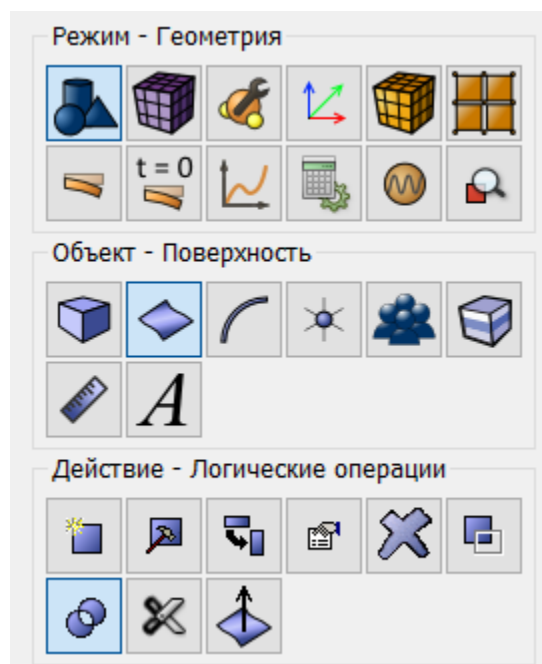
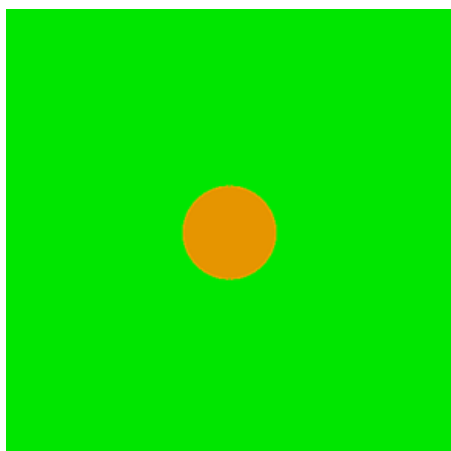
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие — **Логические операции**).

Из списка логических операций выберите **Вычесть**.

Задайте следующие параметры:

- A - ID поверхности: 1;
- B - ID поверхности: 2;
- Сохранить В.

Нажмите **Применить**.



#### 4. Срастите геометрию.

На панели команд выберите модуль построения объемной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие — **Отпечатать/срастить**).

Из списка действий выберите **Отпечатать и срастить**.

Задайте следующие параметры:

- ID поверхности: all

Нажмите **Применить**.

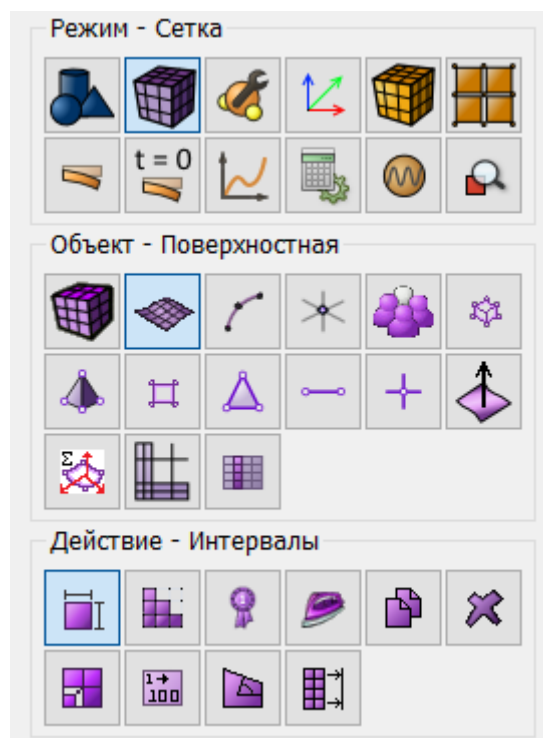
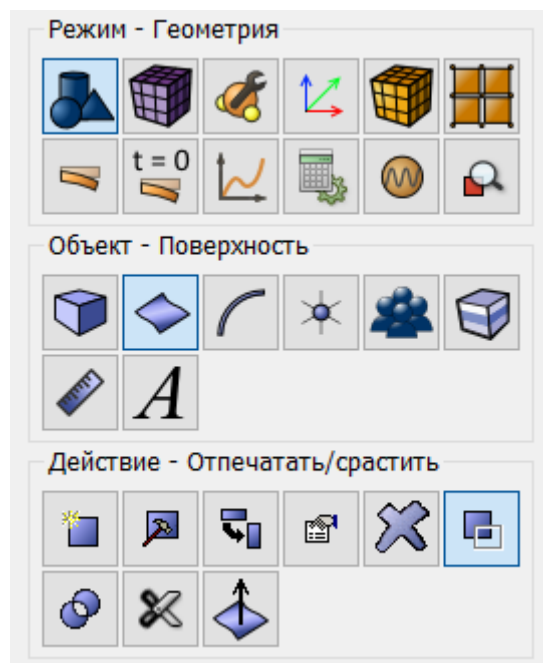
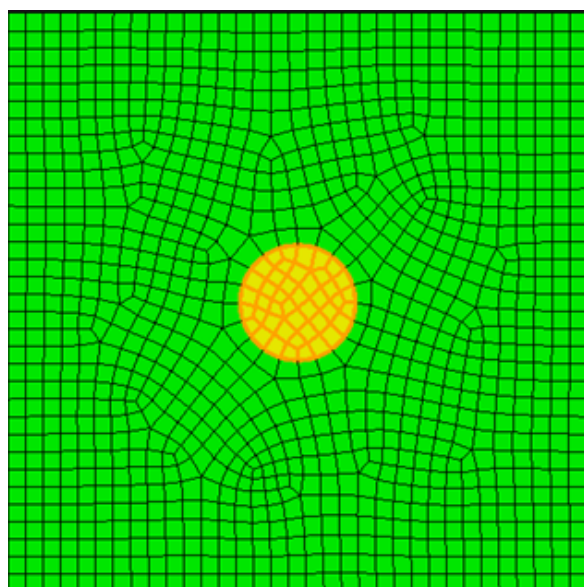
#### *Построение сетки*

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

Задайте следующие параметры:

- Автоматический размер;
- Выбор поверхностей: all.

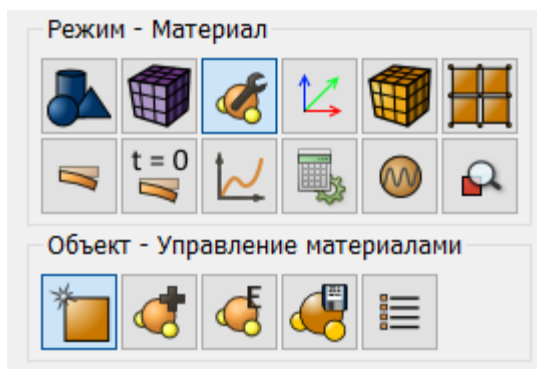
Нажмите **Построить сетку**.





## Задание материалов

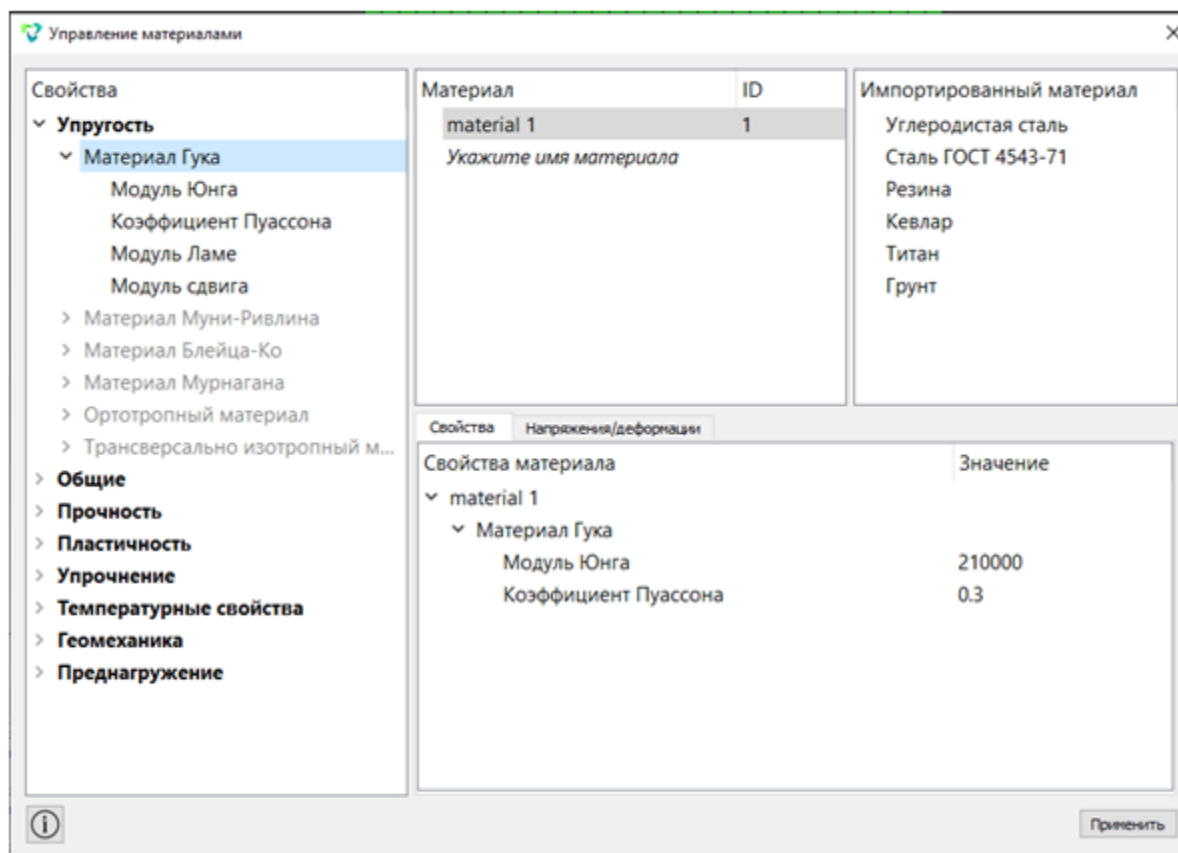
На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**).



Создайте два материала.

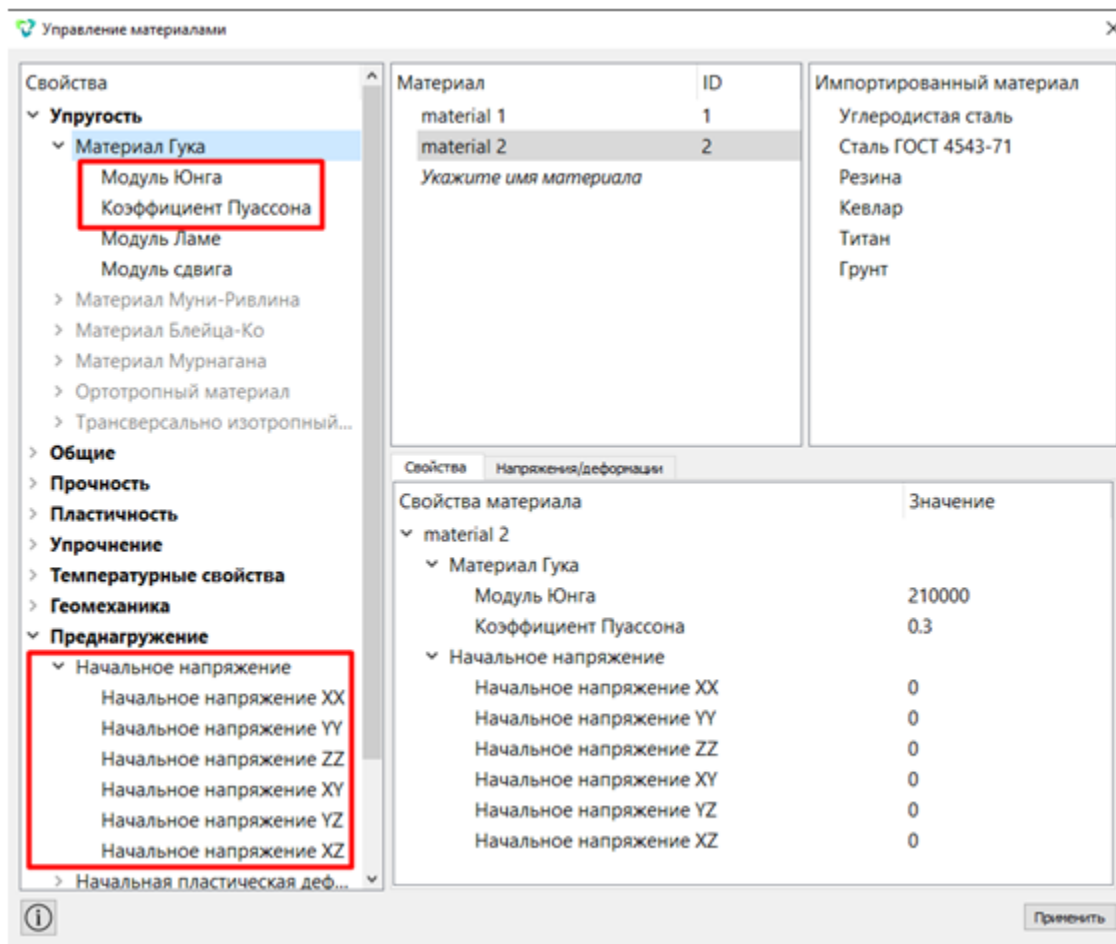
material 1:

- Модуль Юнга  $E = 210000$ ;
- Коэффициент Пуассона  $\nu = 0.3$ .



material 2:

- Модуль Юнга  $E = 210000$ ;
- Коэффициент Пуассона  $\nu = 0.3$ .



Нажмите **Применить**.

### **Задание свойств блока**

1. Создайте блок одного типа материала.

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

Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Список сущностей: Поверхность;
- ID объекта(ов): 3.

Нажмите **Применить**.

2. Создайте второй блок.

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

Задайте следующие параметры:

- ID блока: 2;
- Список сущностей: Поверхность;
- ID объекта(ов): 2.

Нажмите **Применить**.

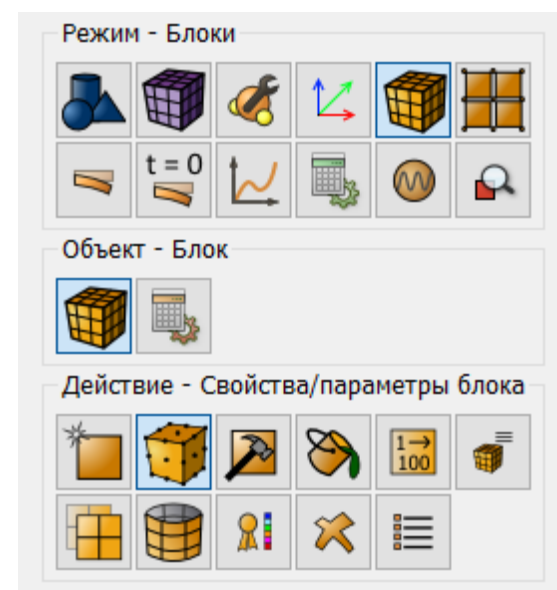
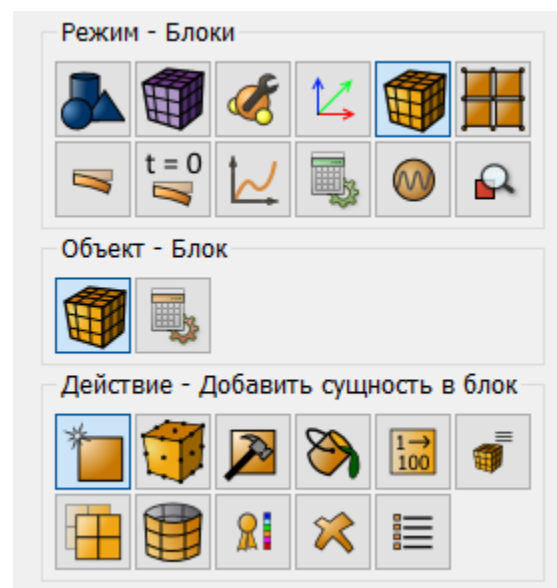
3. Задайте параметры для блоков 1 и 2.

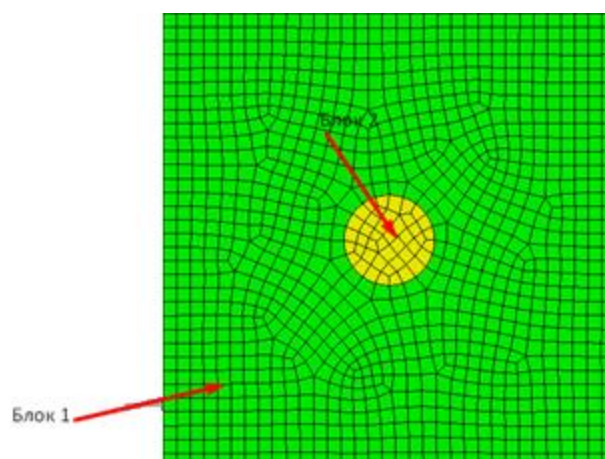
На панели команд выберите модуль задания свойств материала (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Свойства/параметры блока**).

Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): all;
- Материал: materill 1;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Плоскость;
- Порядок: 2.

Нажмите **Применить**.





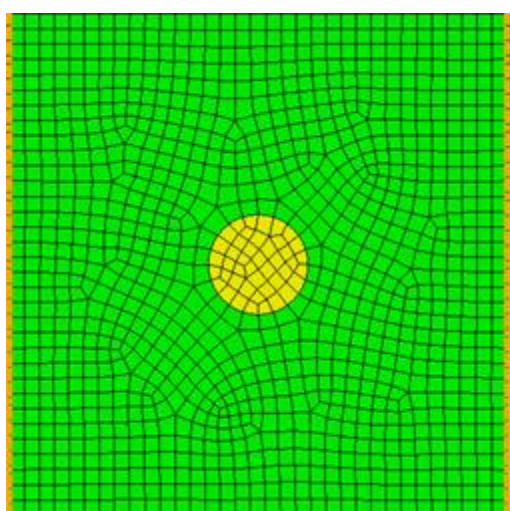
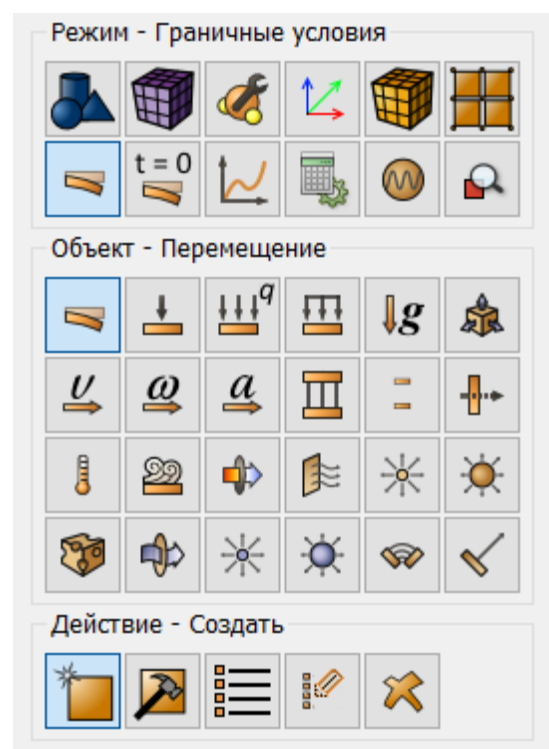
### Задание граничных условий

1. Закрепите правую и левую стороны из условия симметрии по оси X. На панели команд выберите Режим — **Граничные условия**, Объект — **Перемещение**, Действие — **Создать**.

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объектов: 2 4;
- Степени свободы: X;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

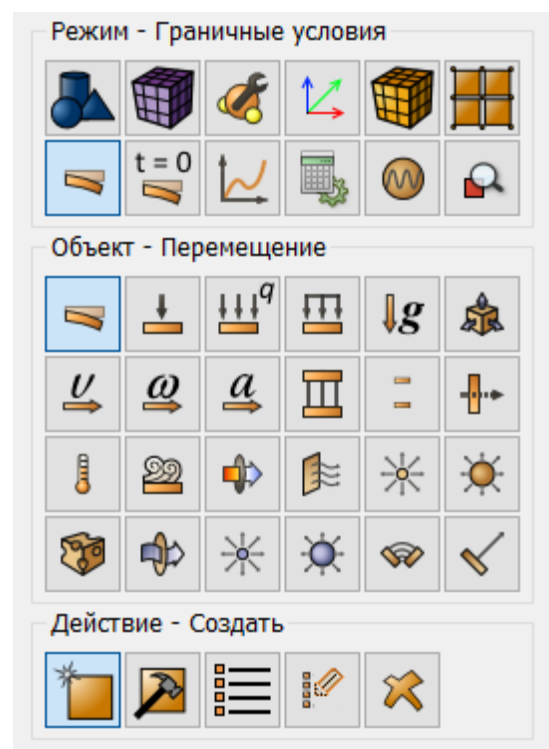
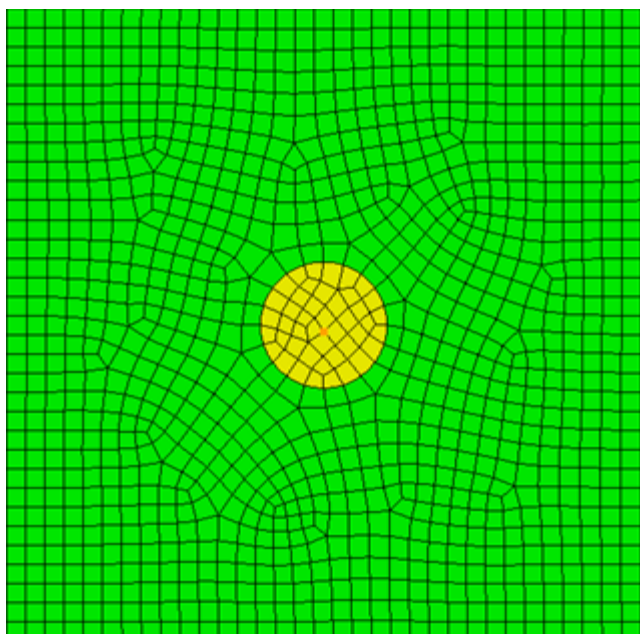


2. Закрепите некоторый узел в центре пластины по всем степеням свободы. На панели команд выберите Режим — **Граничные условия**, Объект — **Перемещение**, Действие — **Создать**.

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объектов: 3 5;
- Степени свободы: Все;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.



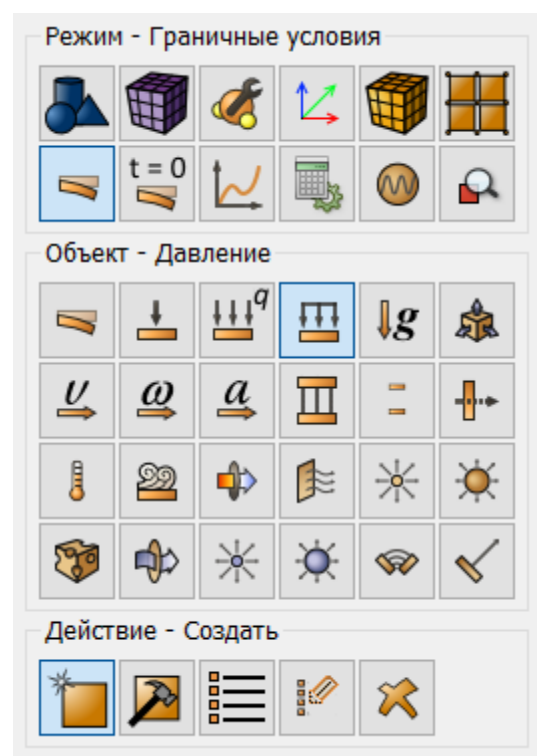
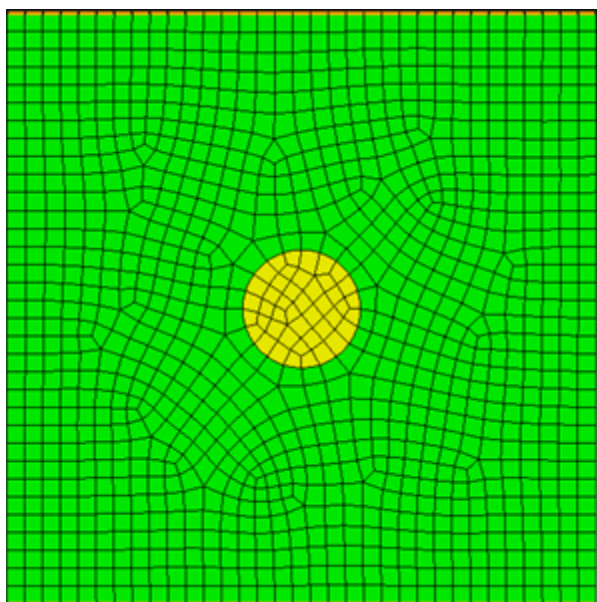
3. Задайте давление - 100 МПа (растягивающее) на верхней и нижней гранях.

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

Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объекта(ов): 1 3;
- Значение: 100.

Нажмите **Применить**.



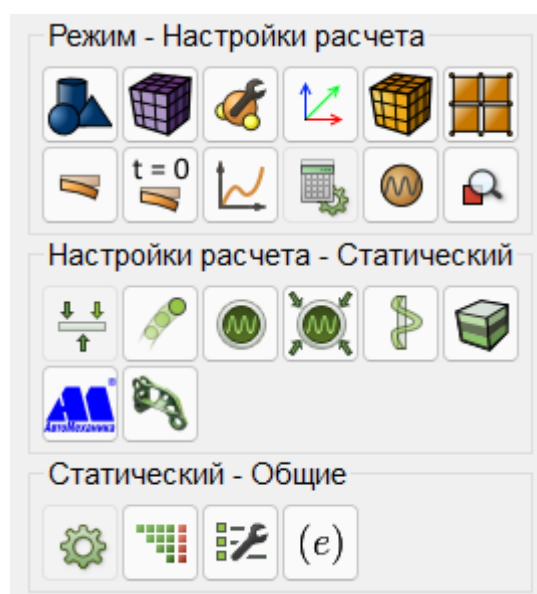
### Запуск расчёта

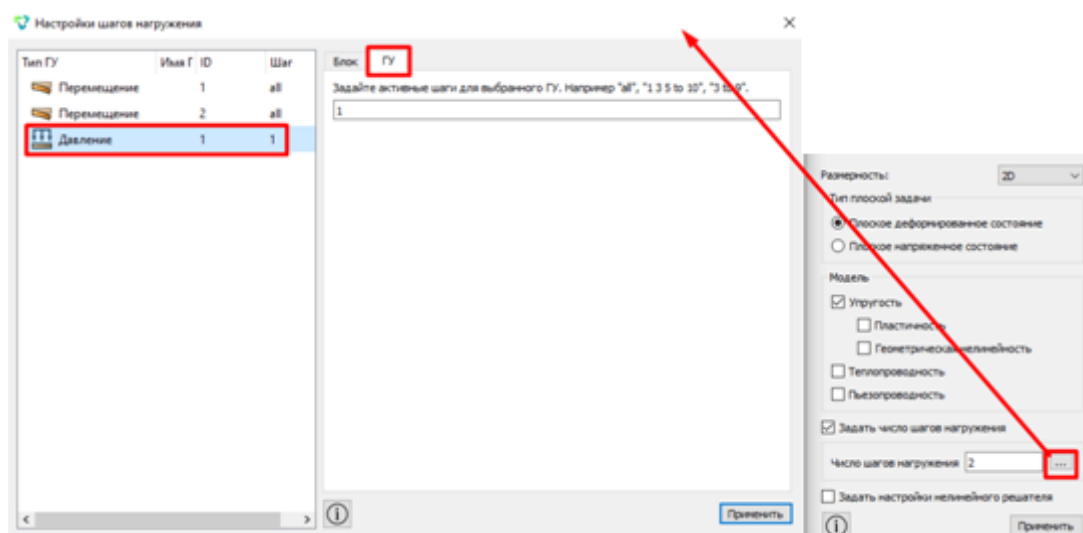
1. На панели команд выберите модуль настроек расчёта (Режим — **Настройки расчёта**, Настройки расчёта — **Статический**, Статический — **Общие**).

Выберите:

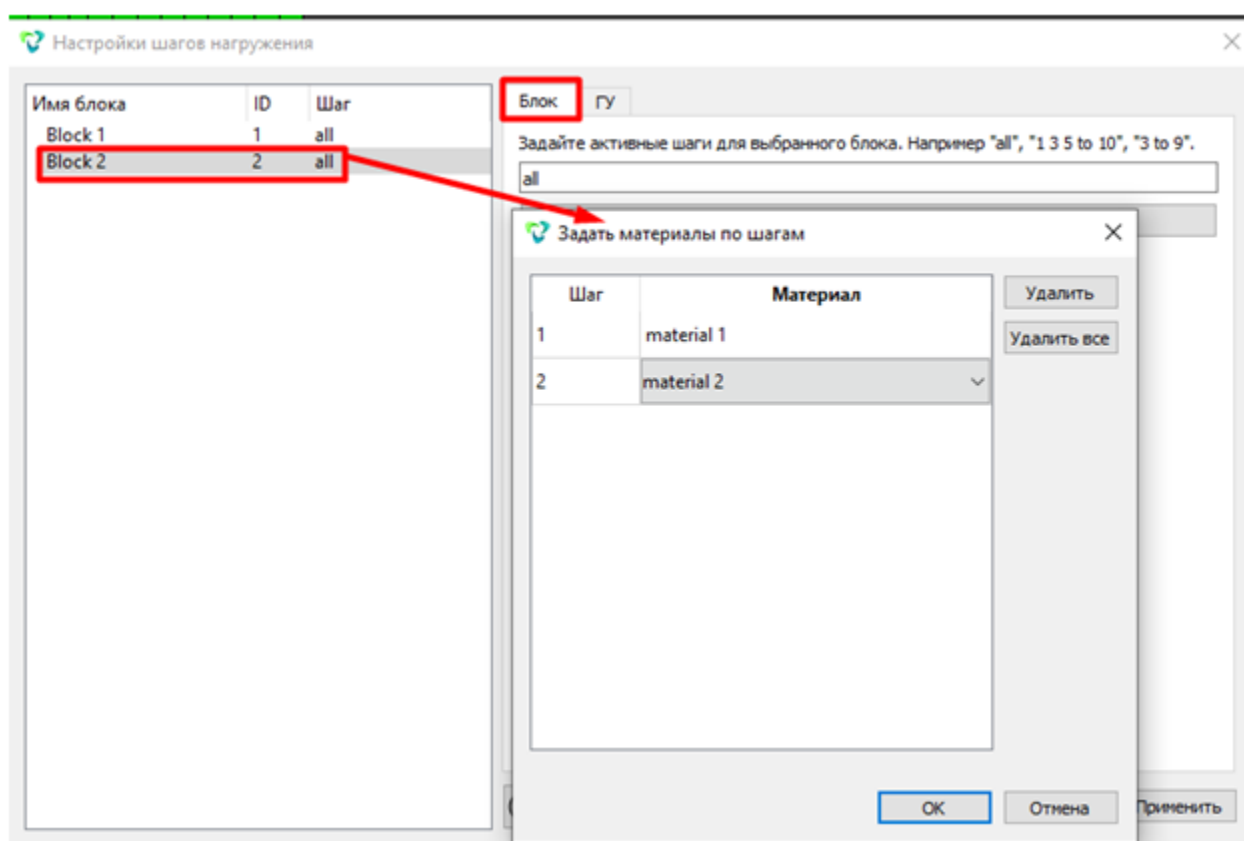
- Размерность: 2D;
- Тип плоской задачи: плоское деформированное состояние;
- Модель: Упругость;
- Число шагов нагружения: 2.

2. Укажите для давления число шагов нагружения 1.





3. Поменяйте на втором шаге материал на material 2.



Нажмите **Применить**.

Нажмите **Начать расчет**.

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

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

## Анализ результатов

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

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



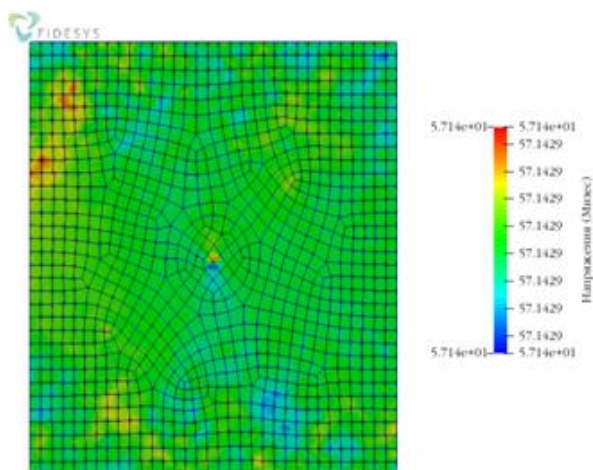
2. Отобразите поле Напряжений на поверхности с ребрами.

В появившемся окне **FidesysViewer** на панели инструментов установите следующие параметры:

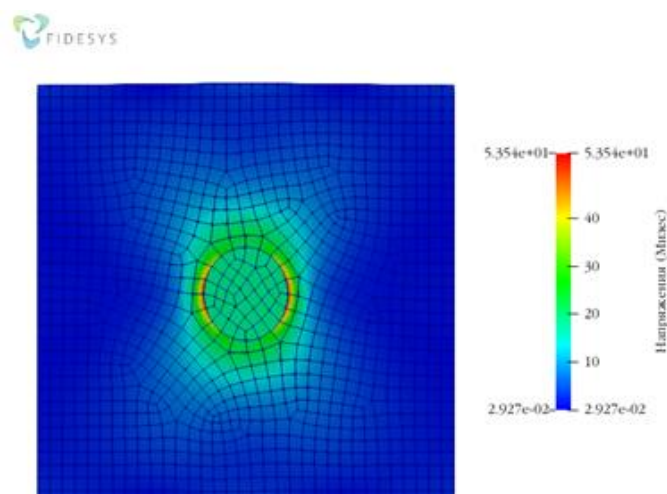
- Тип отображения: **Поверхность с ребрами**;
- Поле отображения: **Перемещения**;
- Компонента отображения: **Напряжения**.

На модели отобразится поле распределения напряжения.

Шаг 1:



Шаг 2:

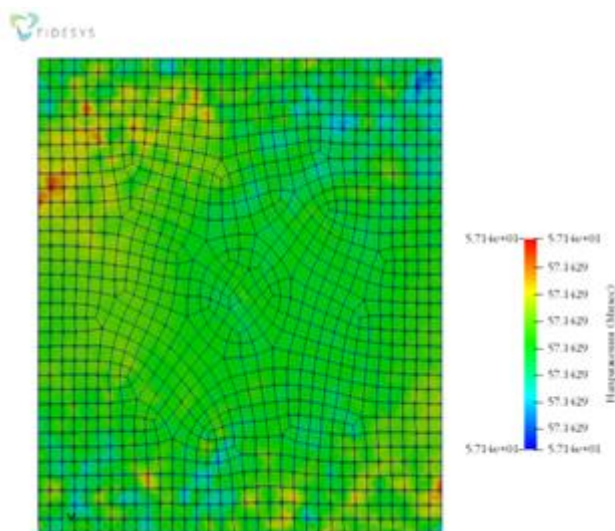




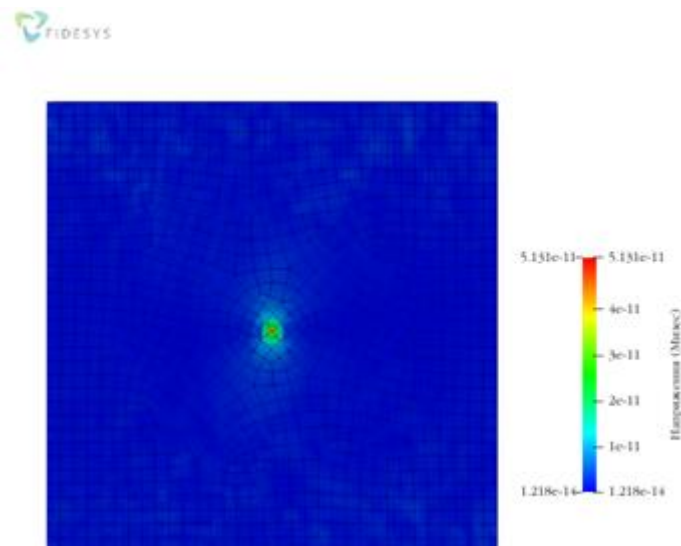
На последнем шаге решения для деформированного вида пластинка вернулась в исходное состояние, а вырез остался эллиптическим.

Для сравнения приведено решение без нулевых начальных напряжений для второго материала:

Шаг 1:



Шаг 2:



### ***Использование консольного интерфейса***

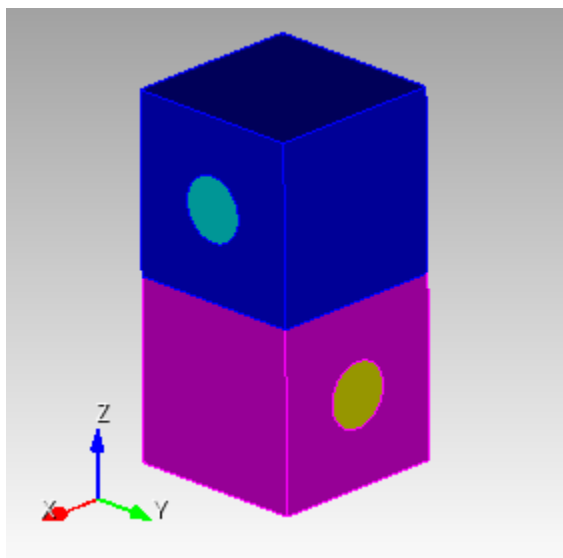
Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса.



Запустите файл `zeroing_stress.jou`, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

## Определение эффективных механических характеристик для ортогонально армированного композита

Рассматривается задача на определение эффективных механических характеристик для ортогонально армированного композита. Ортогонально армированным называется композит, в котором на одно волокно, направленное вдоль оси Y, приходится k волокон, направленных вдоль оси X.



### Введение констант

1. Введите константу длины.

В командную строку введите константу длины, равную 16.

После введения команды `#{length = 16.0}` нажмите **Enter**.

```
Командная строка
Fidesys> #{length = 16.0}
WARNING: Aprepro: User-defined Variable 'length' redefined (interactive_input, line 115)
Fidesys> |
```

Команды | Ошибки | История

2. Введите константу ширины.

В командную строку введите константу ширины, равную 16.

После введения команды `#{pitch = 16.0}` нажмите **Enter**.

```
Командная строка
Fidesys> #{length = 16.0}
WARNING: Aprepro: User-defined Variable 'length' redefined (interactive_input, line 115)

Fidesys> #{pitch = 16.0}
WARNING: Aprepro: User-defined Variable 'pitch' redefined (interactive_input, line 116)

Fidesys>
```

Команды | Ошибки | История

3. Введите константу высоты.

В командную строку введите константу высоты, равную 16.

После введения команды `#{thick = 16.0}` нажмите **Enter**.

```
Командная строка
Fidesys> #{length = 16.0}
WARNING: Aprepro: User-defined Variable 'length' redefined (interactive_input, line 115)

Fidesys> #{pitch = 16.0}
WARNING: Aprepro: User-defined Variable 'pitch' redefined (interactive_input, line 116)

Fidesys> #{thick = 16.0}
WARNING: Aprepro: User-defined Variable 'thick' redefined (interactive_input, line 117)

Fidesys>
```

Команды | Ошибки | История

4. Введите константу нити.

В командную строку введите константу нити, равную 10.

После введения команды `#{length = 16.0}` нажмите **Enter**.

```
Командная строка
Fidesys> #{pitch = 16.0}
WARNING: Aprepro: User-defined Variable 'pitch' redefined (interactive_input, line 201)

Fidesys> #{thick = 16.0} # thickness
WARNING: Aprepro: User-defined Variable 'thick' redefined (interactive_input, line 202)

Fidesys> #{conc = 10} # cord concentration, percents
WARNING: Aprepro: User-defined Variable 'conc' redefined (interactive_input, line 203)

Fidesys>
```

Команды | Ошибки | История

5. Введите команду, вычисляющую константу радиуса нити.

В командную строку введите константу радиуса нити.

После введения команды `#{rad = sqrt( 0.01 * pitch * thick * conc / 3.1415926)}` нажмите **Enter**.

```
Командная строка
Fidesys> #{thick = 16.0} # thickness
WARNING: Aprepro: User-defined Variable 'thick' redefined (interactive_input, line 202)

Fidesys> #{conc = 10} # cord concentration, percents
WARNING: Aprepro: User-defined Variable 'conc' redefined (interactive_input, line 203)

Fidesys> #{rad = sqrt(0.01 * pitch * thick * conc / 3.1415926 )}
WARNING: Aprepro: User-defined Variable 'rad' redefined (interactive_input, line 204)

Fidesys> |
Команды Ошибки История
```

6. Введите величину размера сетки.

В командную строку введите величину размера сетки равную 3.

После введения команды `#{size = 3.0}` нажмите **Enter**.

```
Командная строка
Fidesys> #{conc = 10} # cord concentration, percents
WARNING: Aprepro: User-defined Variable 'conc' redefined (interactive_input, line 203)

Fidesys> #{rad = sqrt(0.01 * pitch * thick * conc / 3.1415926 )}
WARNING: Aprepro: User-defined Variable 'rad' redefined (interactive_input, line 204)

Fidesys> #{size = 3.0}
WARNING: Aprepro: User-defined Variable 'size' redefined (interactive_input, line 205)

Fidesys>
Команды Ошибки История
```

## Построение геометрии для первого слоя

1. Создайте параллелепипед.

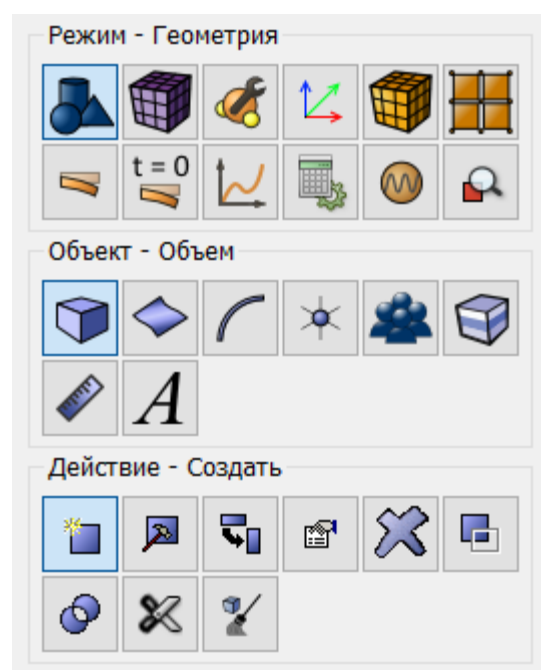
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объём**, Действие — **Создать**).

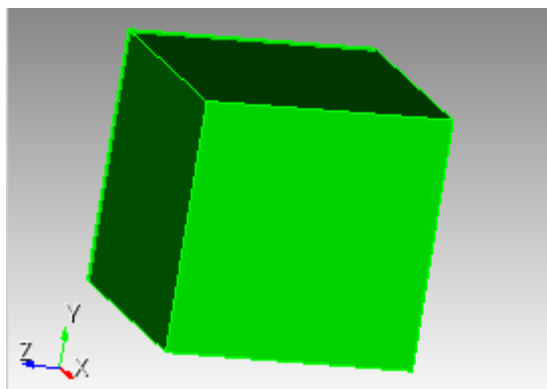
Из списка геометрических примитивов выберите **Параллелепипед**.

Задайте следующие параметры:

- X (ширина): `{length}`;
- Y (высота): `{pitch}`;
- Z (глубина): `{thick}`;

Нажмите **Применить**.





## 2. Создайте цилиндр.

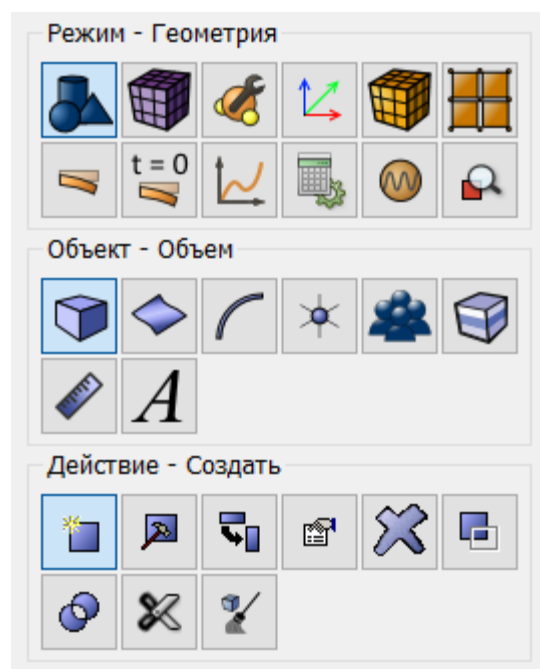
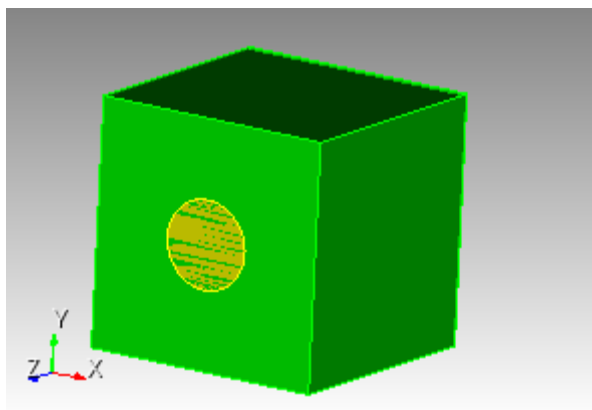
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объём**, Действие — **Создать**).

Из списка геометрических примитивов выберите **Цилиндр**.

Задайте следующие параметры:

- Высота: {length};
- Круговой;
- Радиус: {rad};

Нажмите **Применить**.



## 3. Поверните цилиндр.

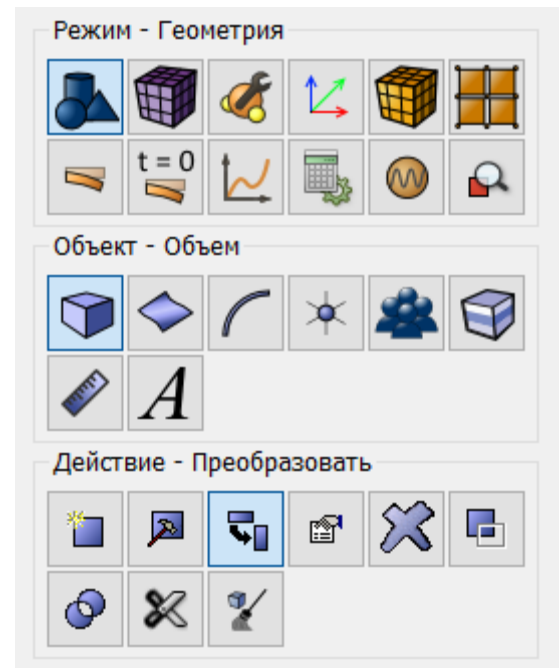
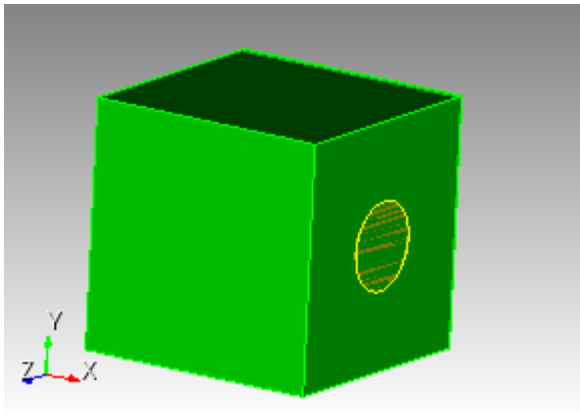
На панели команд выберите модуль преобразования объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объём**, Действие — **Преобразовать**).

Из списка геометрических примитивов выберите **Повернуть**.

Задайте следующие параметры:

- Объем: 2;
- Угол: 90;
- Ось: Y;

Нажмите **Применить**.



4. Вычтите объем цилиндра.

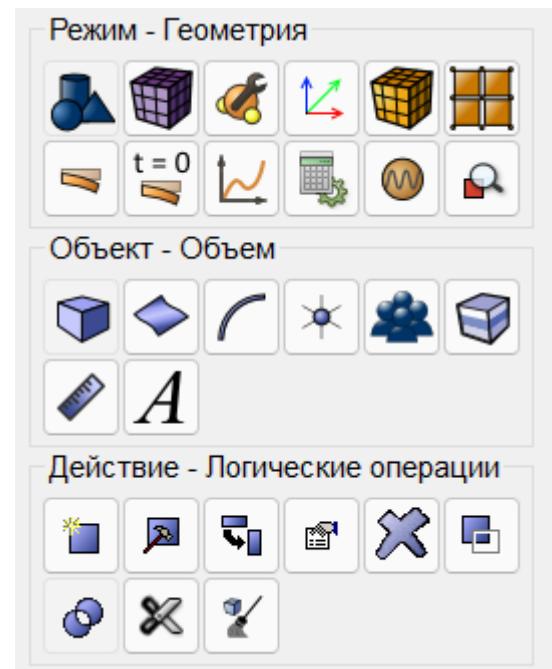
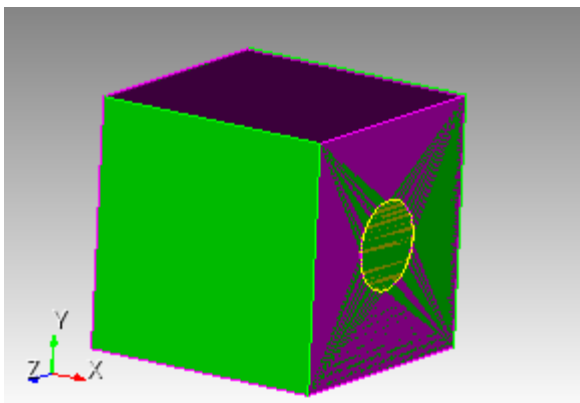
На панели команд выберите модуль логических операций объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объём**, Действие — **Логические операции**).

Из списка геометрических примитивов выберите **Вычесть**.

Задайте следующие параметры:

- ID объёма(ов): 1;
- ID объёма(ов): 2;

Нажмите **Применить**.



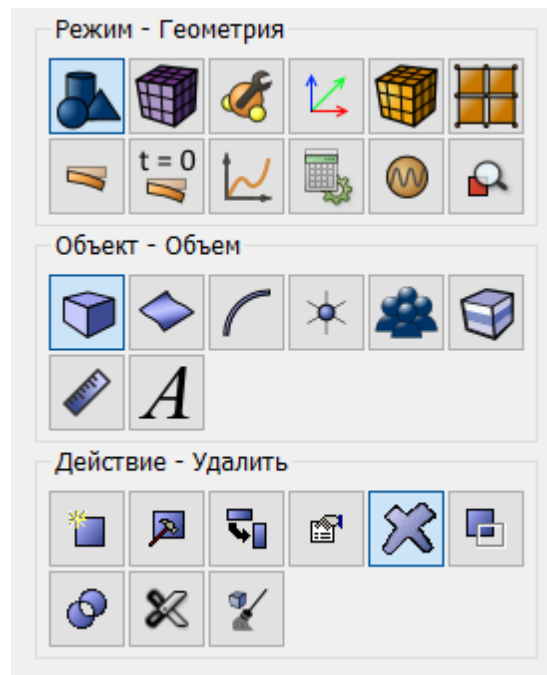
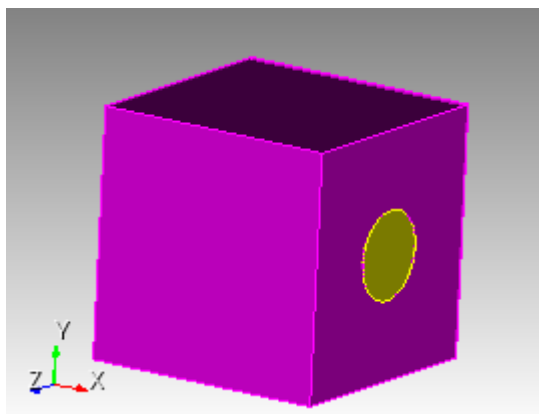
5. Удалите объем.

На панели команд выберите модуль удалить (Режим — Геометрия, Объект — Объём, Действие — Удалить).

Задайте следующие параметры:

- ID объёма(ов): 1;

Нажмите **Применить**.



### *Построение геометрии для второго слоя*

1. Переместите создавшуюся модель.

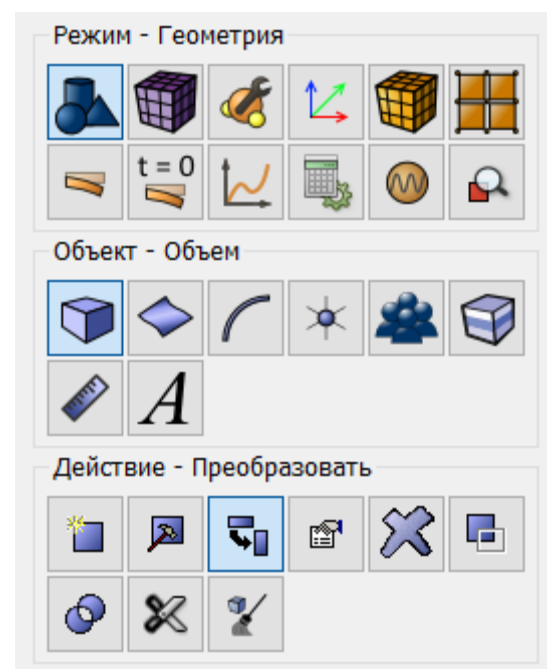
На панели команд выберите модуль преобразования объёмной геометрии (Режим — Геометрия, Объект — Объём, Действие — Преобразовать).

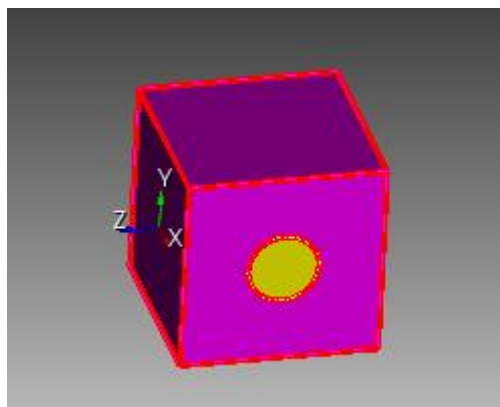
Из выпадающего списка выберите **Переместить**.

Задайте следующие параметры:

- ID объёма(ов): all;
- Включая сращенные;
- Расстояние по Z:  $\{-thick/2.0\}$ ;

Нажмите **Применить**.





2. Переместите создавшуюся модель, используя копирования изначальной геометрии.

Введите в командной строке команду, которая переместит геометрию при этом оставляя первоначальную модель на своем месте

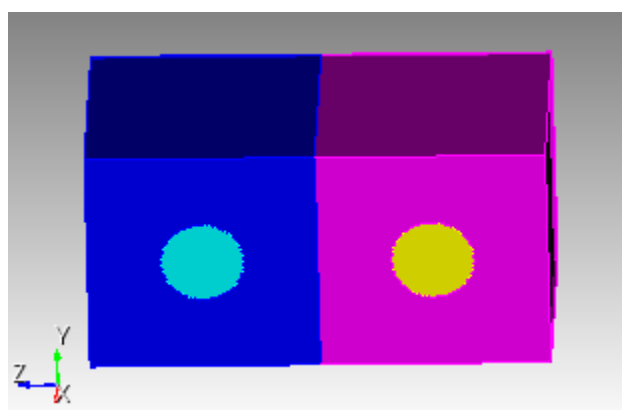
Введите `volume all move z {thick} copy`.

```
Командная строка
Fidesys> # second layer
Fidesys> move volume all z {-thick/2.0} include_merged
Moved Body 2: x 0.000000e+00 y 0.000000e+00 z -8.000000e+00
Moved Body 3: x 0.000000e+00 y 0.000000e+00 z -8.000000e+00

Fidesys> volume all move z {thick} copy
Successfully copied 2 Volume(s).

Fidesys>
```

Нажмите **Enter**.



3. Поверните объемы 2 и 3 на 90°.

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

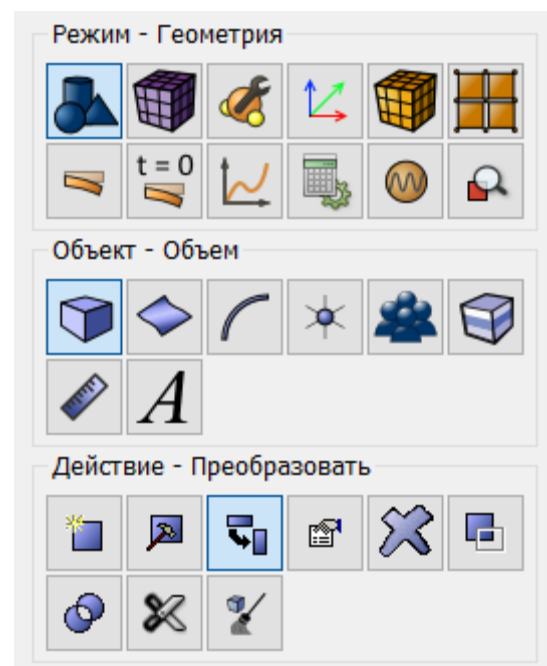
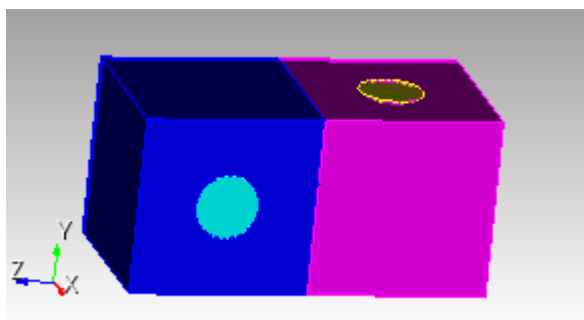


Из списка геометрических примитивов выберите **Повернуть**.

Задайте следующие параметры:

- Объем: 2 3;
- Включая сращенные;
- Угол: 90;
- Ось: Z;

Нажмите **Применить**.



4. Отпечатайте и срастите геометрические объемы.

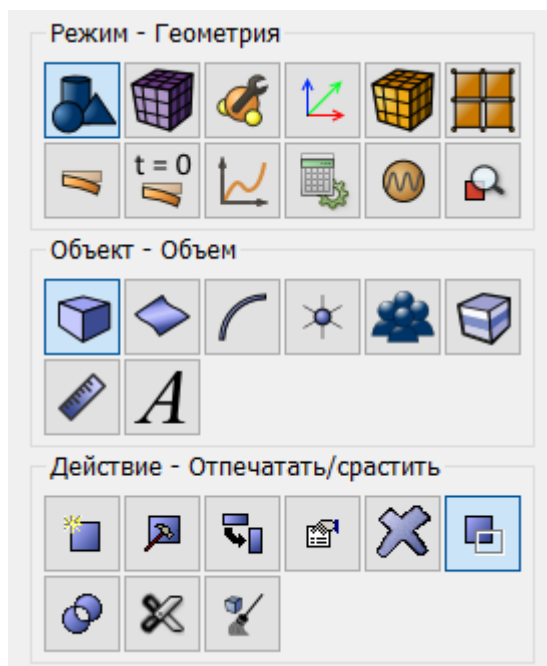
На панели команд выберите модуль логических операций объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объём**, Действие — **Отпечатать/Срастить**).

Из выпадающего списка выберите **отпечатать и срастить**.

Задайте следующие параметры:

- ID объёма(ов): all;

Нажмите **Применить**.



## Построение сетки

1. Создайте тетраэдральную сетку для всей модели. На панели команд выберите (Режим — Сетка, Объект — Объемная, Действие — Построение сетки).

Из выпадающего списка выберите **Тетраэдральная**.

Введите объем all. Нажмите **Задать размер**.

2. Создайте сетку. На панели команд выберите (Режим — Сетка, Объект — Объемная, Действие — Интервалы).

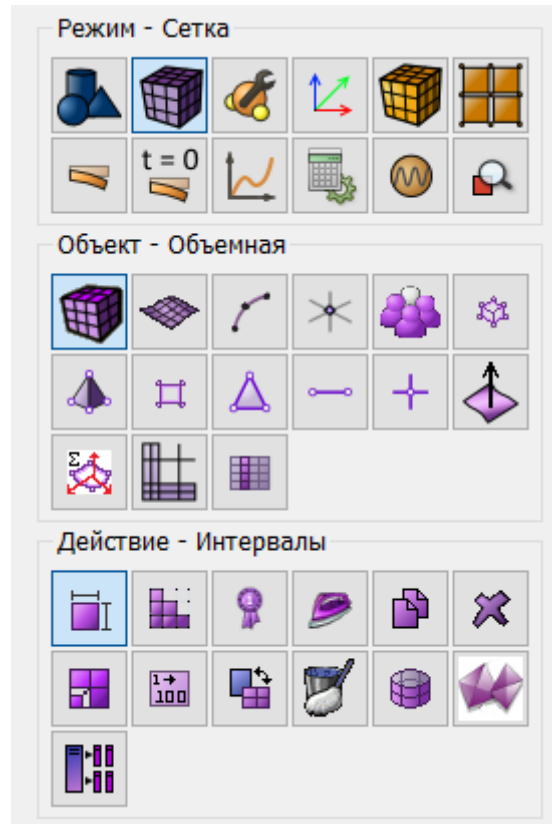
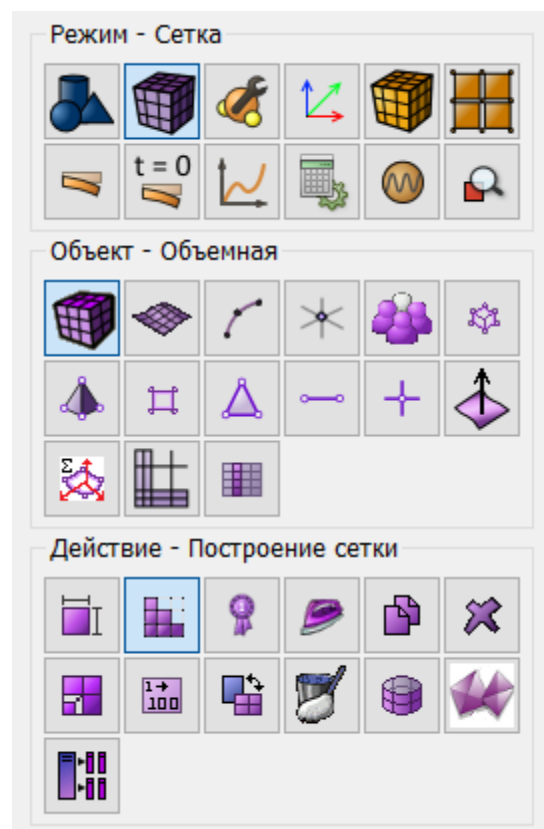
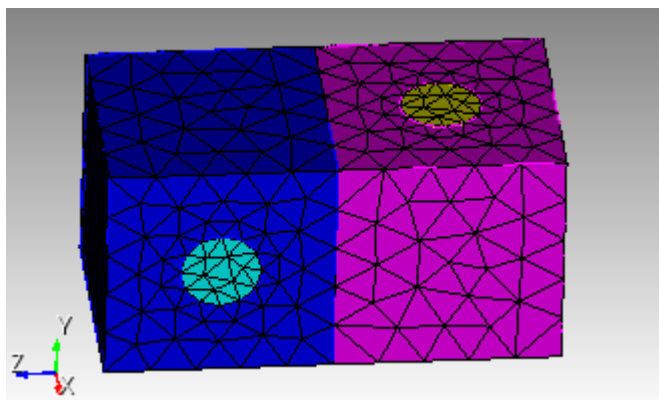
Из выпадающего списка выберите **Задать размер**.

Введите параметры:

- Выбор объемов: all;
- Примерный размер: {size};

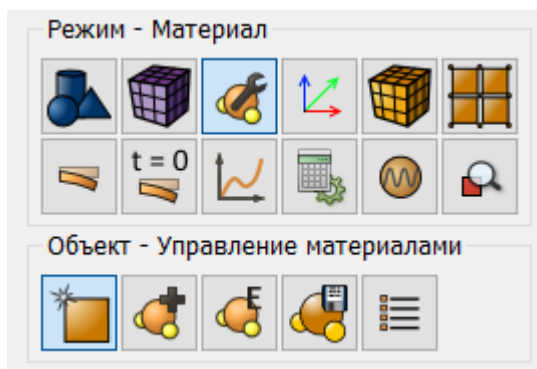
Нажмите **Применить**.

Нажмите **Построить сетку**.



## Задание материала и свойств блоков

1. Задайте материал. На панели команд выберите (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**).



В колонке "Материал" введите имя материала для нити **fiber**.

Нажмите **Применить**.

В колонке "Свойства материала" выберите созданный материал, после чего перетащите к нему нужные свойства из левой колонки.

Перетащите свойства и укажите их значение:

- Модуль Юнга: 1;
- Коэффициент Пуассона: 0.25;
- коэффициент теплопроводности: 10;

В колонке "Материал" введите имя материала для матрицы **matrix**.

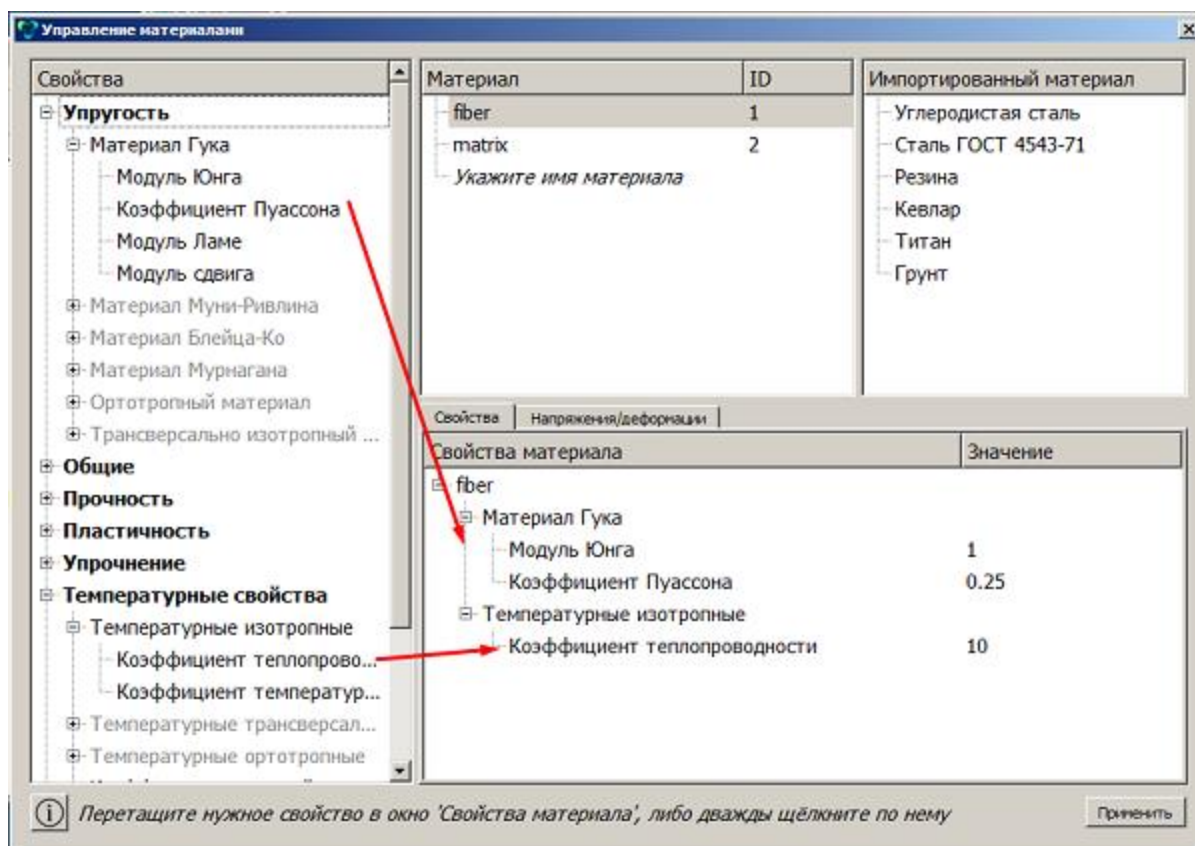
Нажмите **Применить**.

В колонке "Свойства материала" выберите созданный материал, после чего перетащите к нему нужные свойства из левой колонки.

Перетащите свойства и укажите их значение:

- Модуль Юнга: 1;
- Коэффициент Пуассона: 0.25;
- коэффициент теплопроводности: 2;

Нажмите **Применить**.

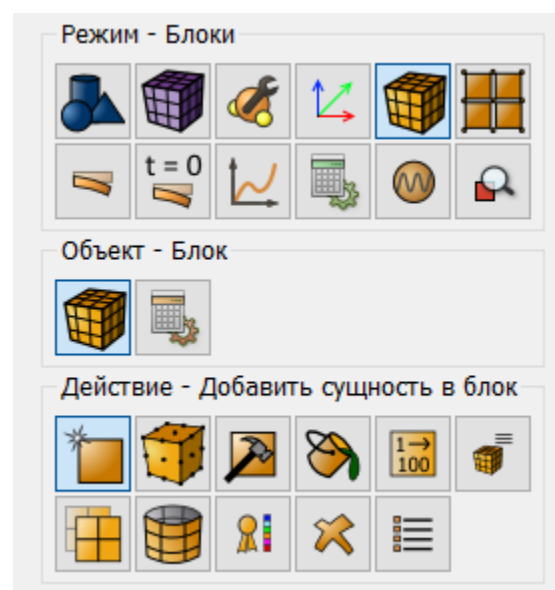


2. Создайте первый блок для двух цилиндров. На панели команд выберите (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**).

В списке сущностей выберите **Объем**. Введите ID объекта(ов): 2 4. Нажмите **Применить**.

3. Создайте второй блок для двух параллелепипедов. На панели команд выберите (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**).

В списке сущностей выберите **Объем**. Введите ID объекта(ов): 3 5. Нажмите **Применить**.



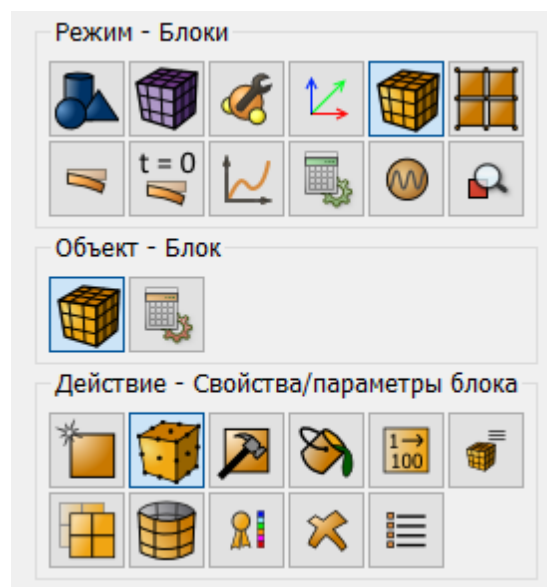
4. Задайте параметры для первого блока.

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

Задайте следующие параметры:

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

Нажмите **Применить**.



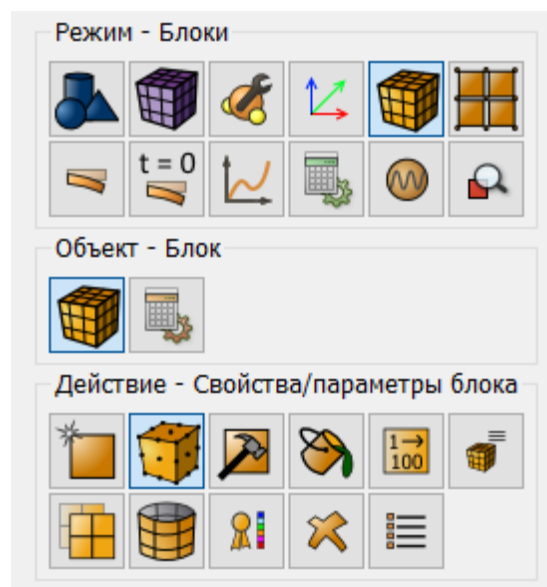
5. Задайте параметры для второго блока.

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

Задайте следующие параметры:

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

Нажмите **Применить**.



## Запуск на расчет

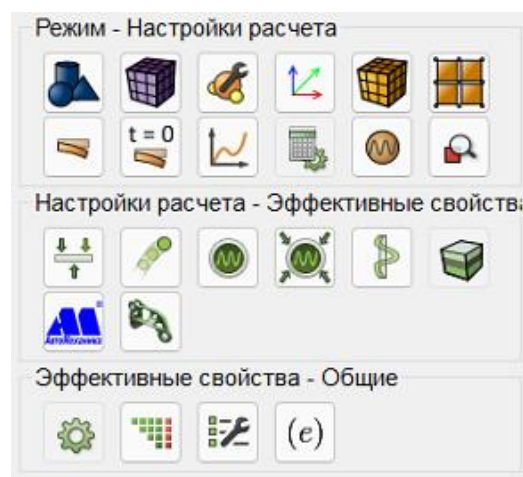
1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите (Режим — **Настройки расчета**, Настройки расчета — **Эффективные свойства**, Эффективные свойства — **Общие**).

Выберите:

- Размерность: 3D;
- Тип ГУ: Непериодические;
- Модель: Упругость;

На Панели команд нажмите **Применить**, а затем **Начать расчет**.



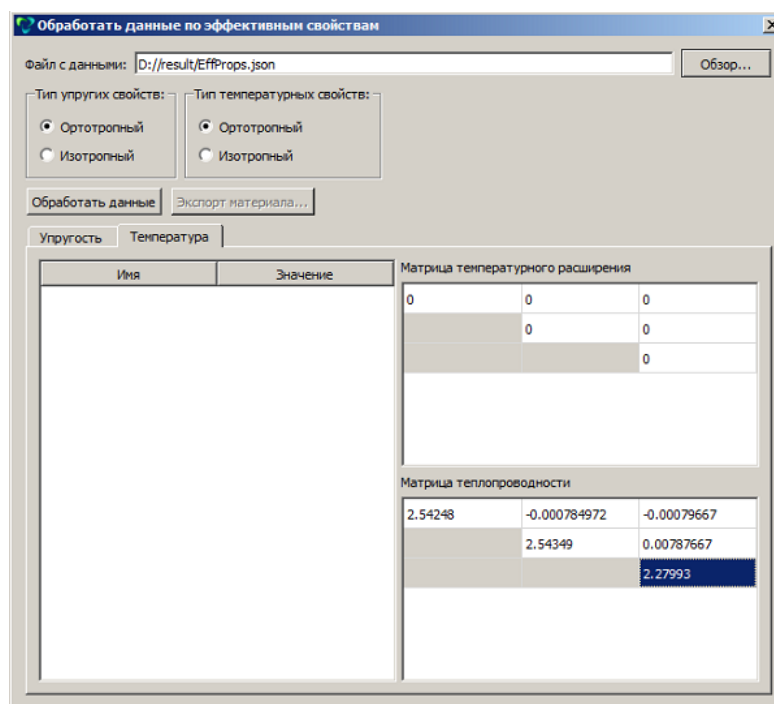
2. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат.

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

## Анализ результатов

1. Файл с результатами открывается автоматически в окне "Обработать данные по эффективным свойствам".

Нужные результаты показаны по диагонали:



## Использование консольного интерфейса

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно

выполнить с использованием консольного интерфейса.



Запустите файл *orthogonal\_rein\_composite.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

## Статический расчет крыла самолета Bombardier learjet 35

Learjet 35 (LJ35) — реактивный административный самолёт производства компании Learjet бизнес-класса (версии Learjet 35 и Learjet 36) и военно-транспортный самолёт ВВС США C-21A.

Самолёт оснащён двумя турбовентиляторными двигателями Garrett TFE731. Кабина самолёта может вмещать 6-8 пассажиров. В версии Learjet 36 самолёт имеет сокращённый пассажирский салон для размещения в хвостовой части фюзеляжа дополнительных топливных баков.

Двигатели установлены в гондолах по бокам хвостовой части фюзеляжа. Крылья комплектуются одно-щелевыми закрылками. Крыльевые топливные баки размещены в законцовках крыла, что отличает дизайн самолета от других летательных аппаратов.

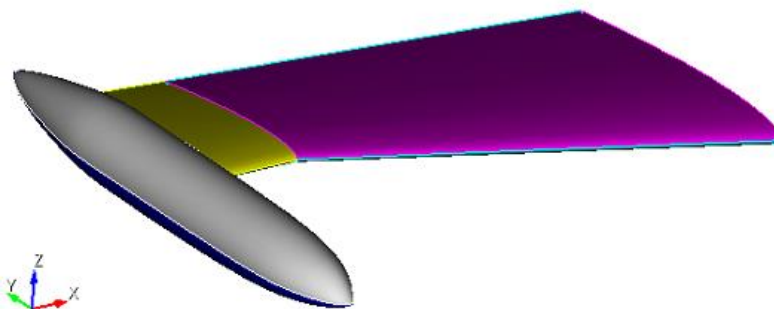
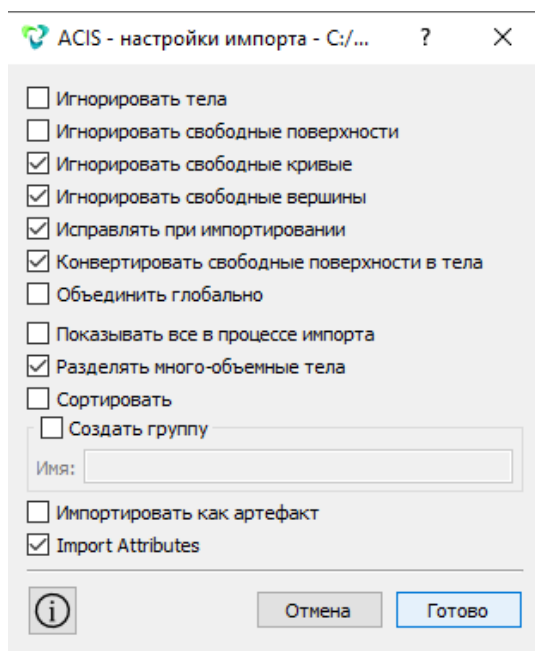
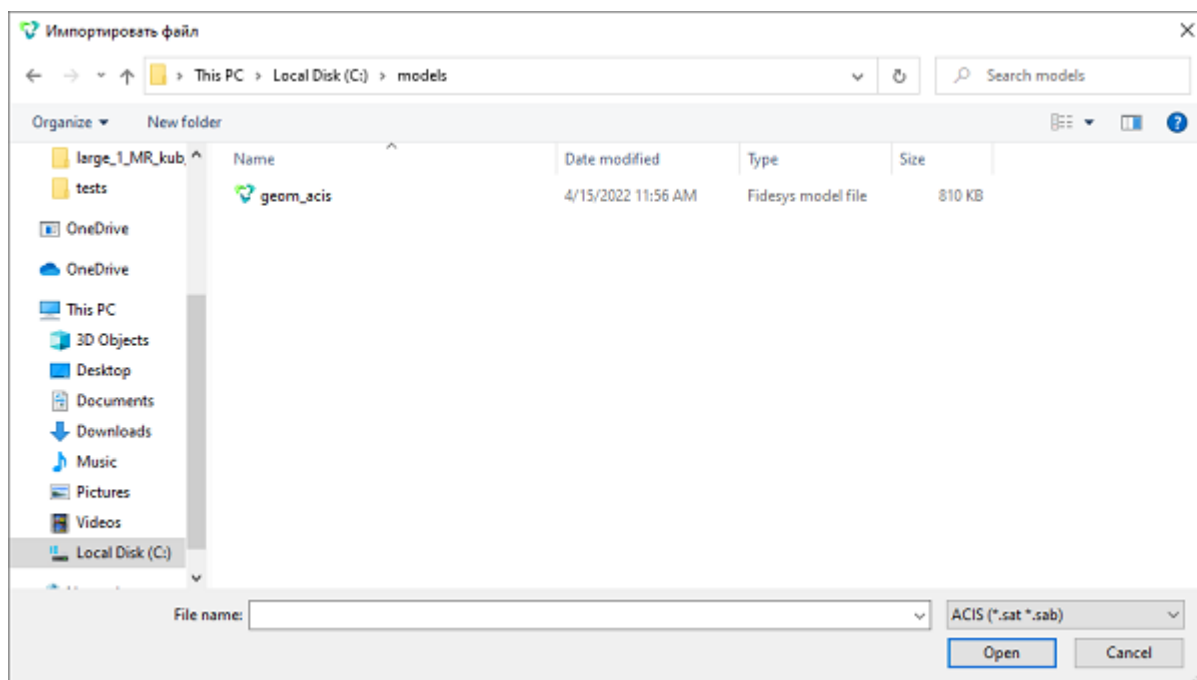
Статический расчет ламинатных оболочек. Рассматривается задача на примере расчета крыла самолета вместе с топливным баком.



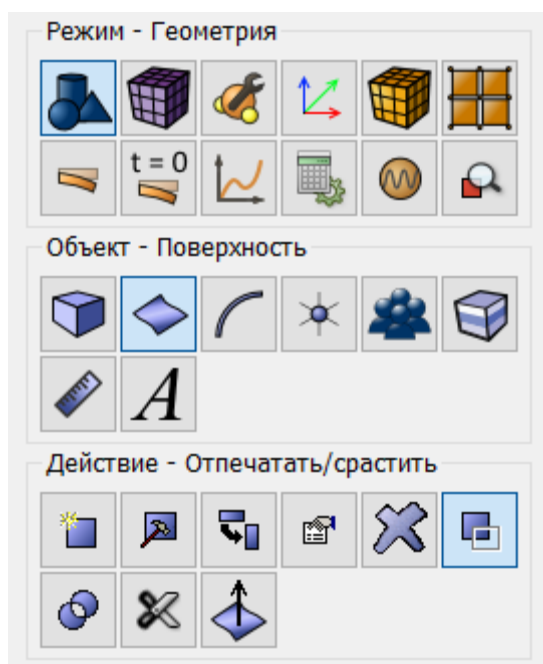
### Загрузка модели

1. Скачайте модель: Скачать [geom\\_acis.sat](#). (выложена в папке models в архиве со скриптами)
2. Импортируйте модель. В верхней строке выберите (Меню — **Файл** — **Импорт**). Укажите путь до файла geom\_acis.sat. В появившемся окне задайте настройки импорта:
  - Игнорировать свободные кривые;
  - Игнорировать свободные вершины;
  - Исправлять при импортировании;
  - Конвертировать свободные поверхности в тела;
  - Разделять много-объемные тела.





3.Срастите поверхности. На панели команд выберите (Режим — **Геометрия**, Объект – **Поверхность**, Действие – **Отпечатать/срастить**).

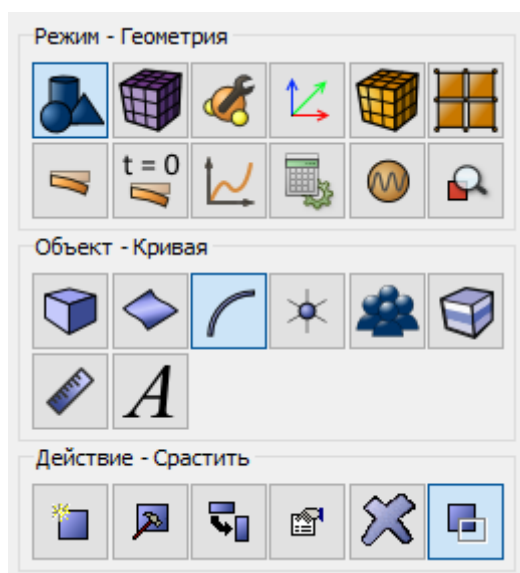


Из выплывающего списка выберите: **Срастить**. Задайте следующие параметры:

- ID поверхности(ей): all.

Нажмите **Применить**.

4.Срастите кривые. На панели команд выберите (Режим — **Геометрия**, Объект – **Кривая**, Действие – **Срастить**).



Из выплывающего списка выберите: **Срастить**. Задайте следующие параметры:

- ID кривой(ых): all.

Нажмите **Применить**.

## Построение сетки

1.Создайте автоматическую генерацию на поверхности нерегулярной сетки из четырехугольников. В командной строке введите: **surface all scheme pave**.

```
Командная строка
Constructed 6 Volumes: 1 to 6
WARNING: 28 invalid names were found during import.

Fidesys> merge surface all
Consolidated 0 pair of surfaces

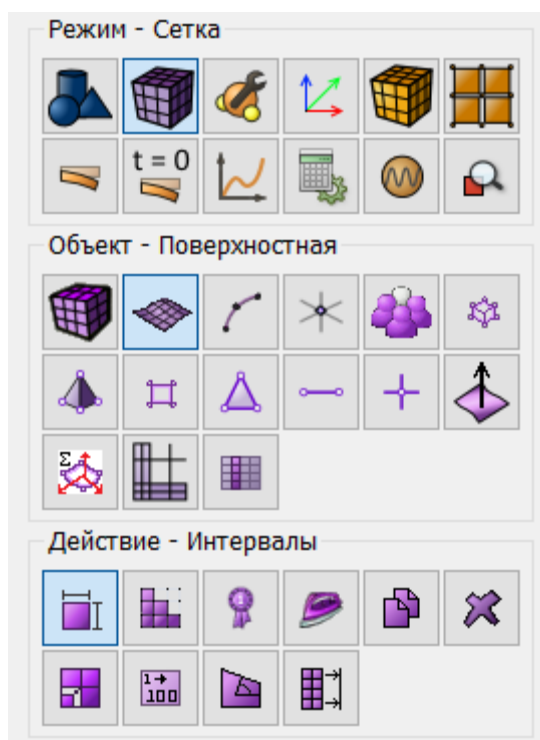
Fidesys> merge curve all
Consolidated 10 pairs of curves

Fidesys> surface all scheme pave

Fidesys>
```

Python / Команды / Ошибки / История

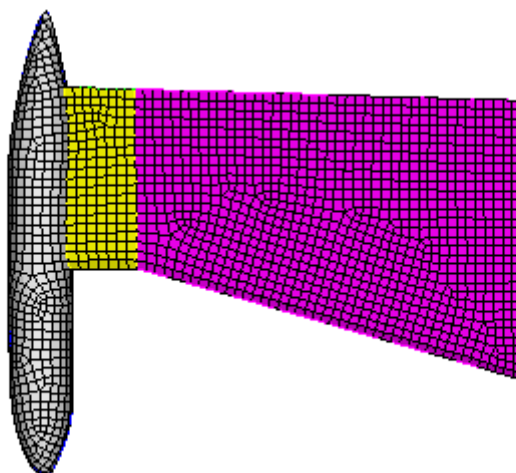
2.Создайте сетку для всей модели. На панели команд выберите (Режим — **Сетка**, Объект – **Поверхностная**, Действие – **Интервалы**).



Из выплывающего списка выберите: Автоматический размер

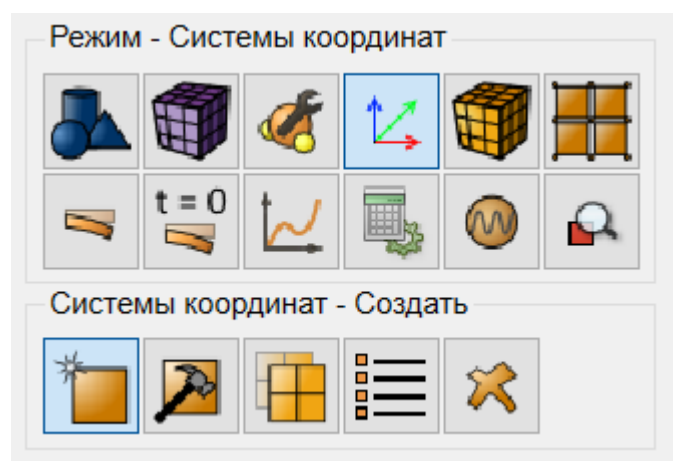
- Выбор поверхностей: all;
- Переместите ползунок авторазмера на 1

Нажмите **Применить, Построить сетку**.



### Задание координатной системы

1. Задайте новую координатную систему. На панели команд выберите (Режим — Системы координат, Системы координат — Создать).

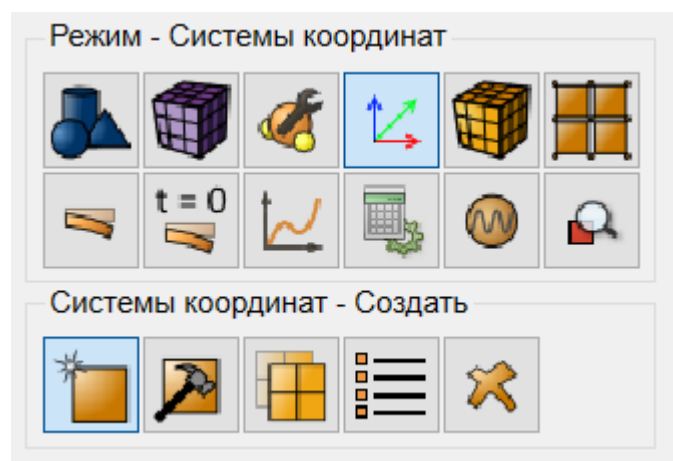


Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Тип: Декартова;
- Сущность начала координат: Вершина;
- ID объекта: 12;
- Сущность направления 1: Вершина;
- ID объекта: 1;
- Сущность направления 2: Вершина;
- ID объекта: 11;

Нажмите **Применить**.

2. Задайте еще одну координатную систему. На панели команд выберите (Режим — Системы координат, Системы координат — Создать).

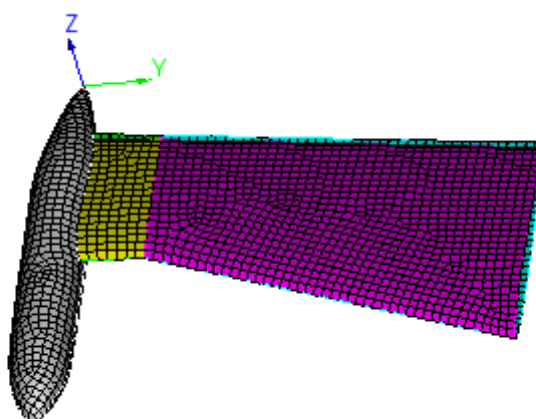
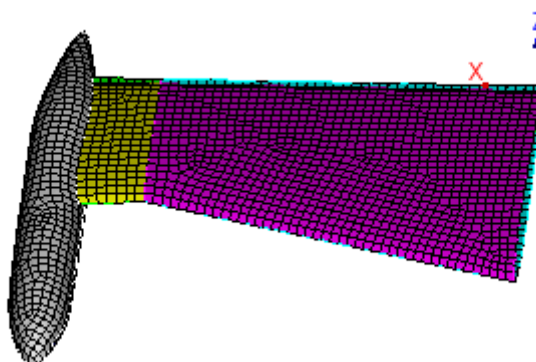
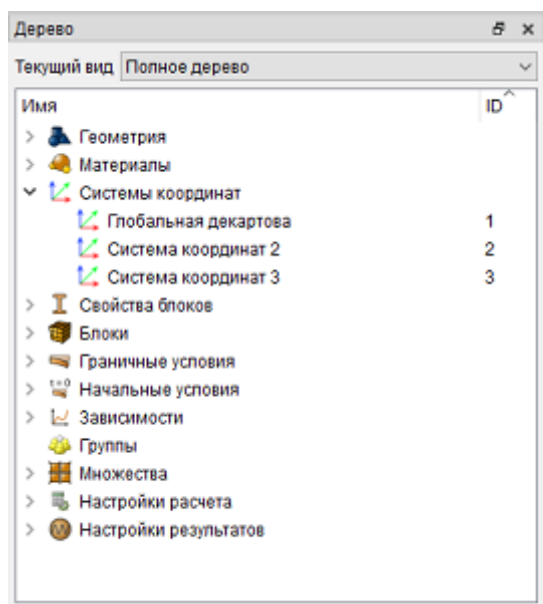


Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Тип: Декартова;
- Сущность начала координат: Вершина;
- ID объекта: 18;
- Сущность направления 1: Вершина;
- ID объекта: 17;
- Сущность направления 2: Вершина;
- ID объекта: 1;

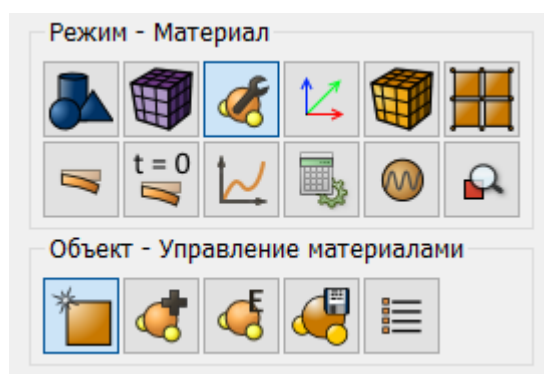
Нажмите **Применить**.

Выберите в дереве объектов **Системы координат**. После чего проверьте что у вас 3 системы координат. Нажмите на каждую и посмотрите где они находятся.

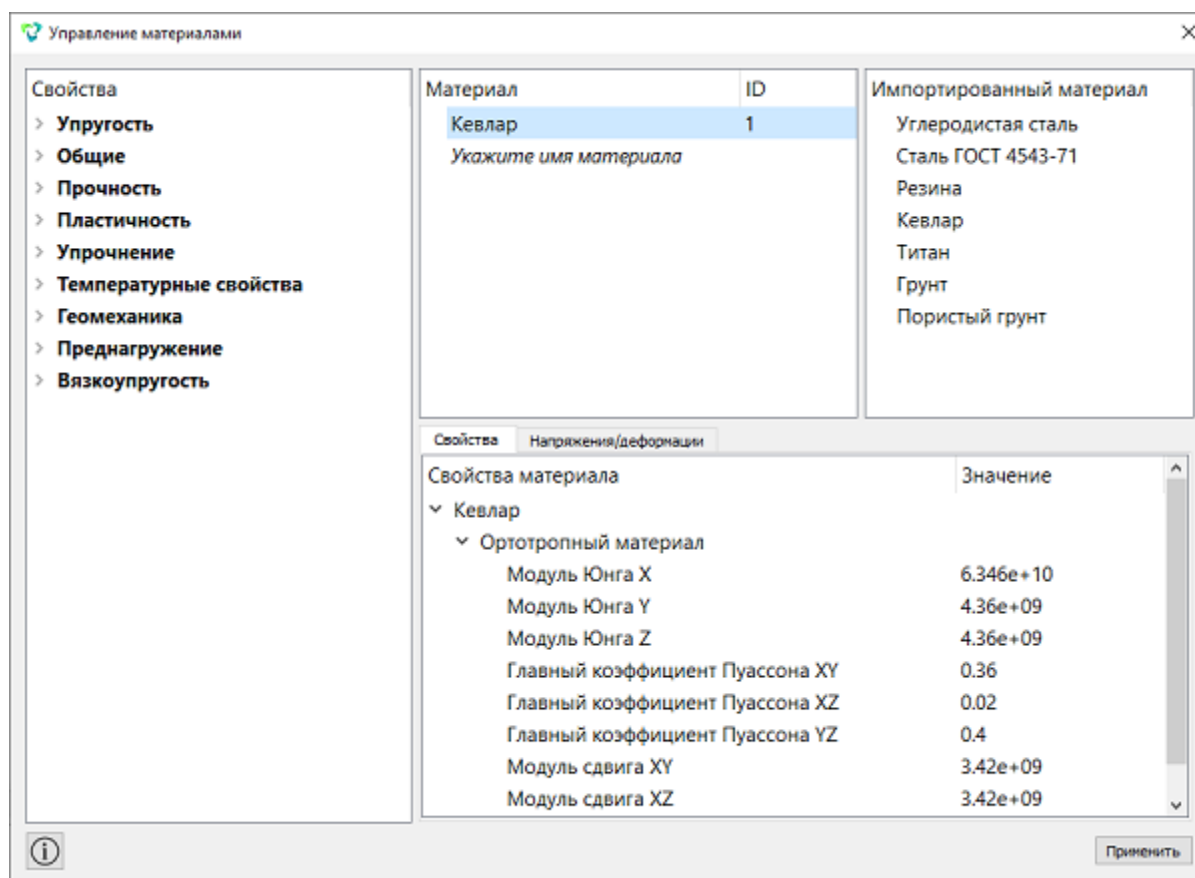


### ***Задание материала и свойств блоков***

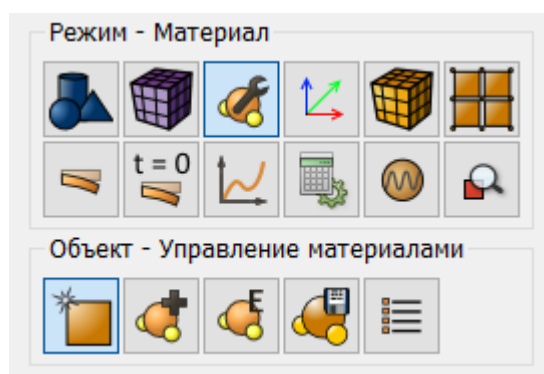
1. Задайте материал. На панели команд выберите (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**).



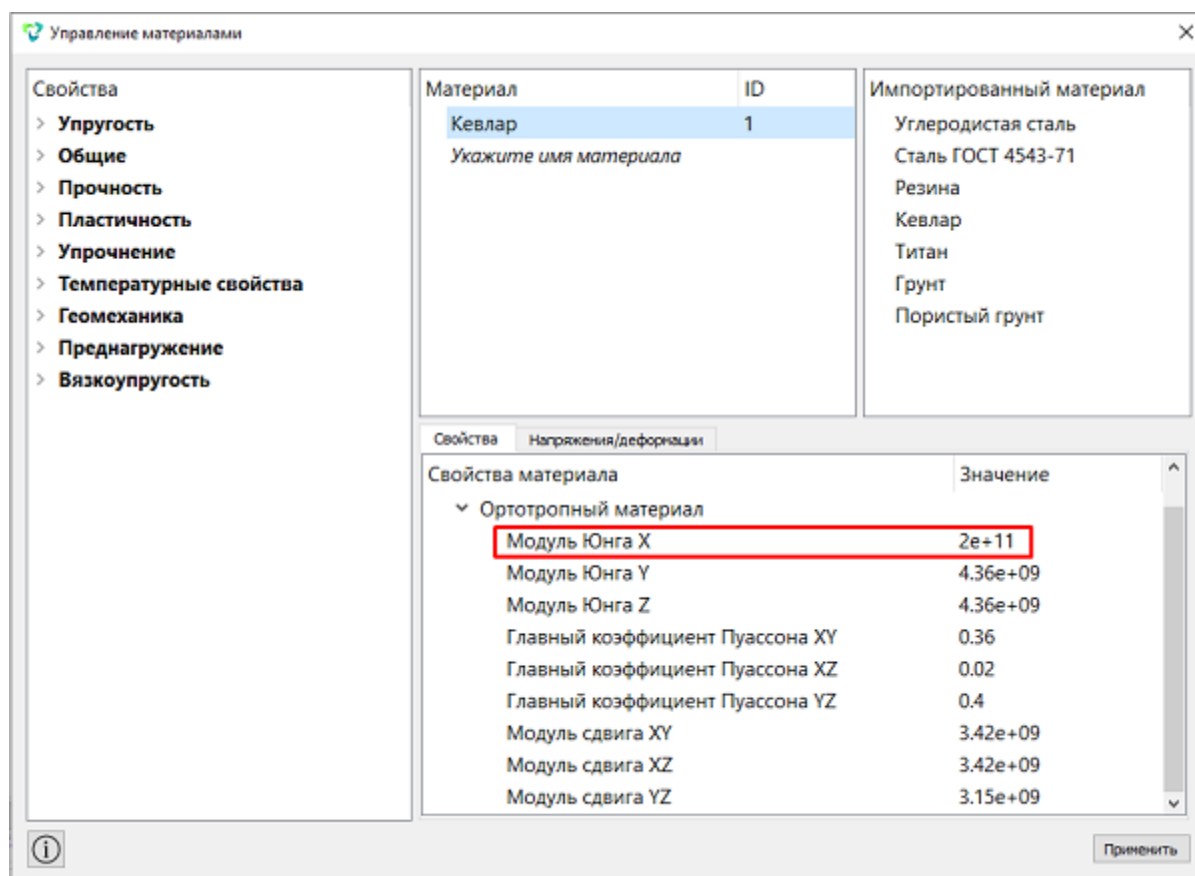
В колонке "Импортированный материал" дважды нажмите на **Кевлар**. Нажмите **Применить**.



2. Измените свойства материала. На панели команд выберите (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**).

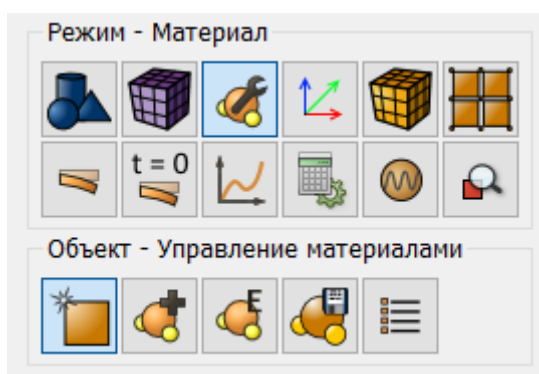


В колонке "Материал" нажмите на **Кевлар**. В колонке "Свойства материалов" поменяйте значение **Модуль Юнга X** =  $2e+11$  Нажмите **Применить**.

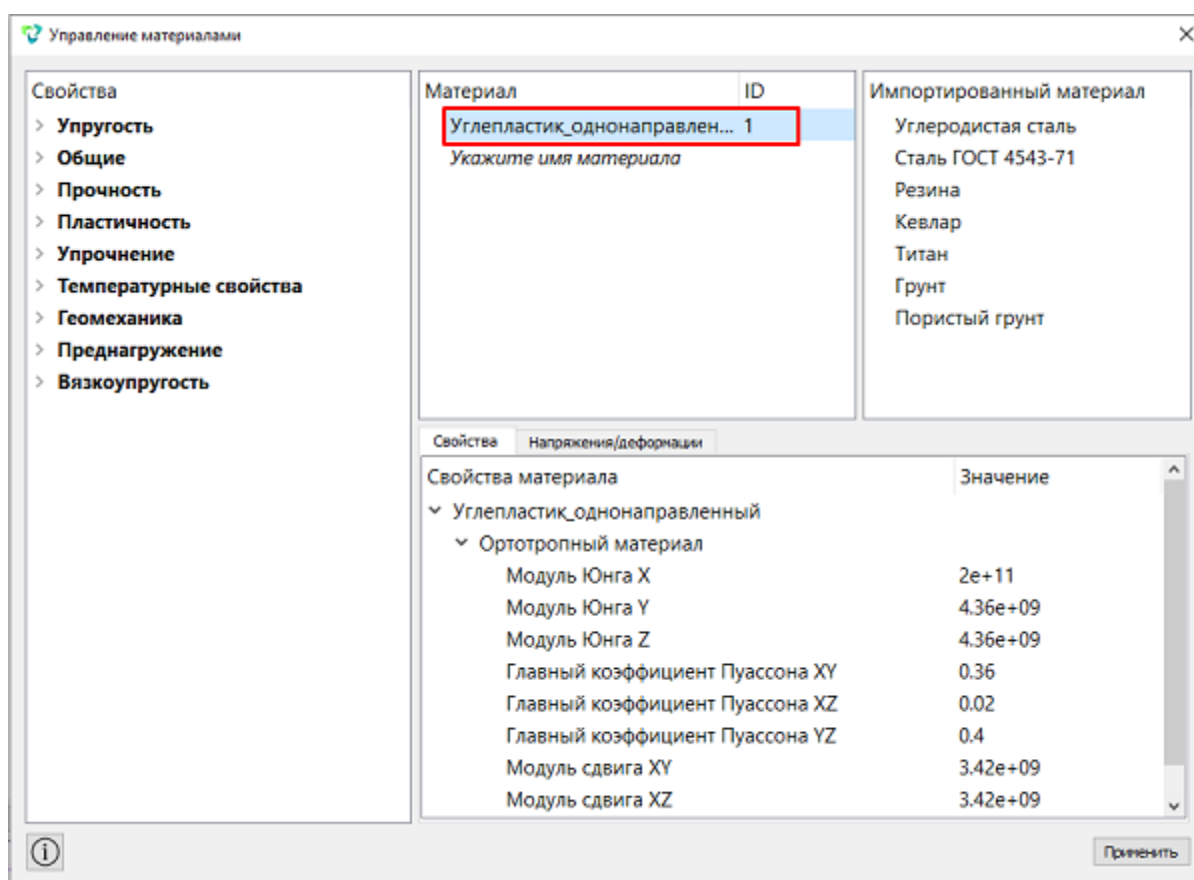


3. Измените название материала. На панели команд выберите (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**).

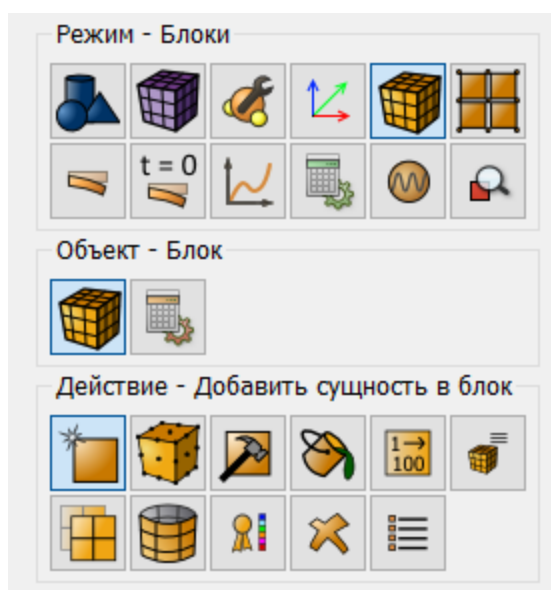




В колонке "Материал" дважды нажмите на **Кевлар**. Поменяйте название на **Углепластик\_однонаправленный**. Нажмите **Применить**.



4. Создайте блок для крыла. На панели команд выберите (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**).

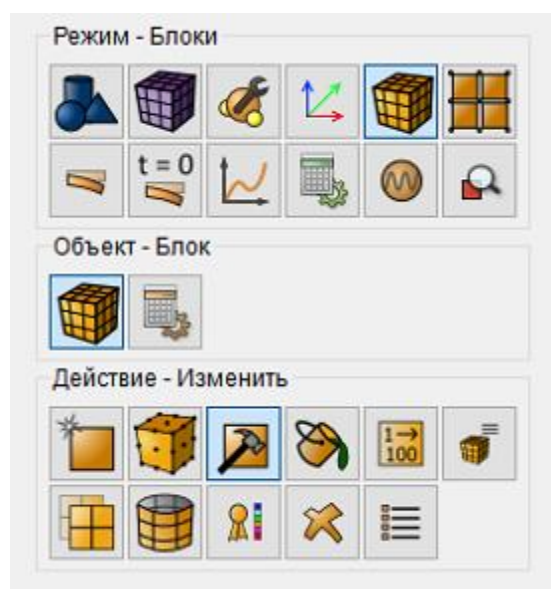


Задайте следующие параметры:

- Список сущностей: Поверхность;
- ID объекта(ов): all;

Нажмите **Применить**.

5. Удалите из блока поверхности, принадлежащие топливному баку самолета. На панели команд выберите (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Изменить**).

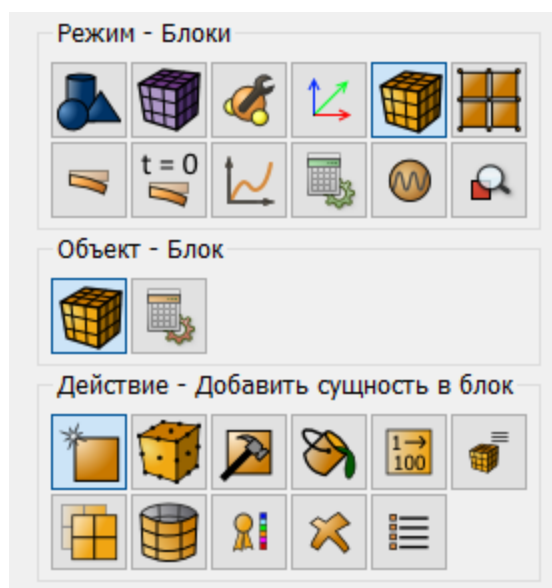


Задайте следующие параметры:

- ID блока: 1;
- Тип сущности для удаления: Поверхность;
- ID(s): 6 5;

Нажмите **Применить**.

6. Создайте блок для топливного бака. На панели команд выберите (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**).



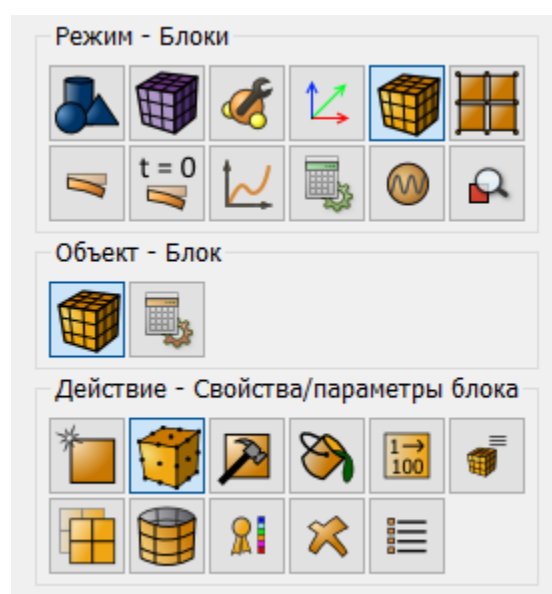
Задайте следующие параметры:

- Список сущностей: Поверхность;
- ID объекта(ов): 6 5;

Нажмите **Применить**.

7. Задайте параметры для первого 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: Углепластик\_однонаправленный;
- Система координат: Система координат 2;
- Категория: Оболочка;
- Порядок: 1.

Задайте свойства оболочки:

- Толщина: 0.002;
- Материал: Углепластик\_однонаправленный;
- Угол: -30;
- Система координат: Глобальная декартова;



Нажмите на кнопку **Добавить строку** и добавьте свойства для второго слоя. Задайте свойства оболочки:

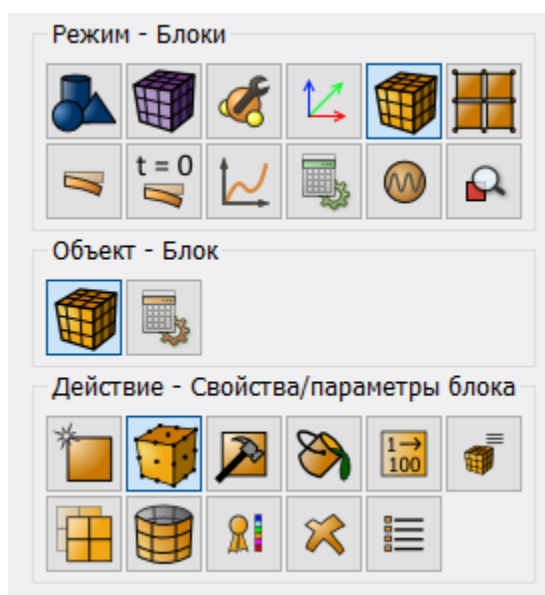
- Толщина: 0.002;
- Материал: Углепластик\_однонаправленный;
- Угол: 30;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Эксцентриситет: 0.5.

Нажмите **Применить**. После чего закройте свойства.

Нажмите **Применить**.

7. Задайте параметры для второго блока.

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



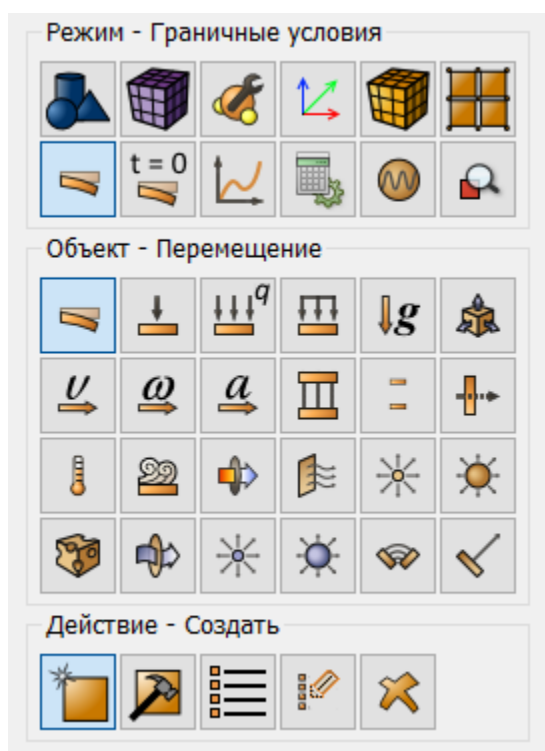
Задайте следующие параметры:

- ID блока(ов): 2;
- Материал: Углепластик\_однонаправленный;
- Система координат: Система координат 3;
- Категория: Оболочка;
- Порядок: 1.

### ***Задание граничных условий***

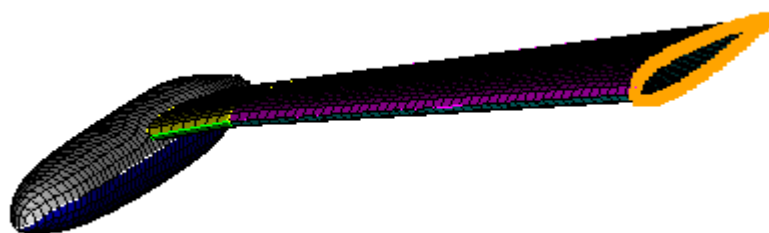
1. Так как крыло самолета прикреплено к его основной части, закрепите место разделения.

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



Задайте следующие параметры:

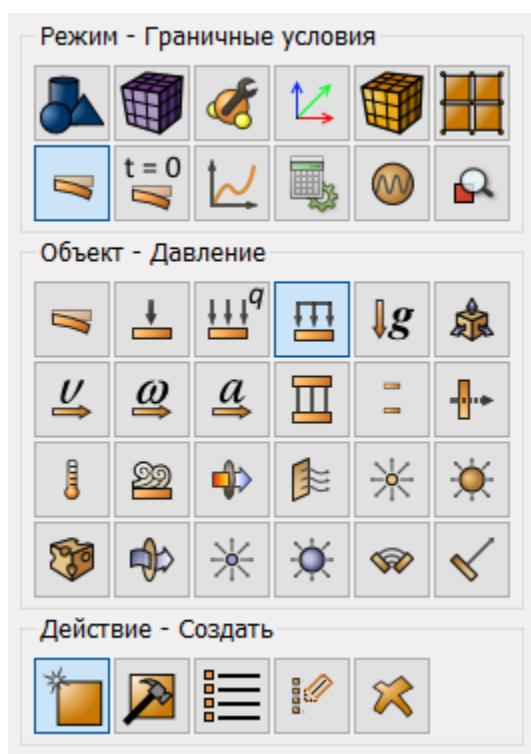
- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объектов: 11 15;
- Степени свободы: По X, По Y, По Z;
- Величина: 0.



Нажмите **Применить**.

2. Задайте давление для нижней части модели.

На панели команд выберите (Режим — **Граничные условия**, Объект — **Давление**, Действие — **Создать**).



Задайте следующие параметры:

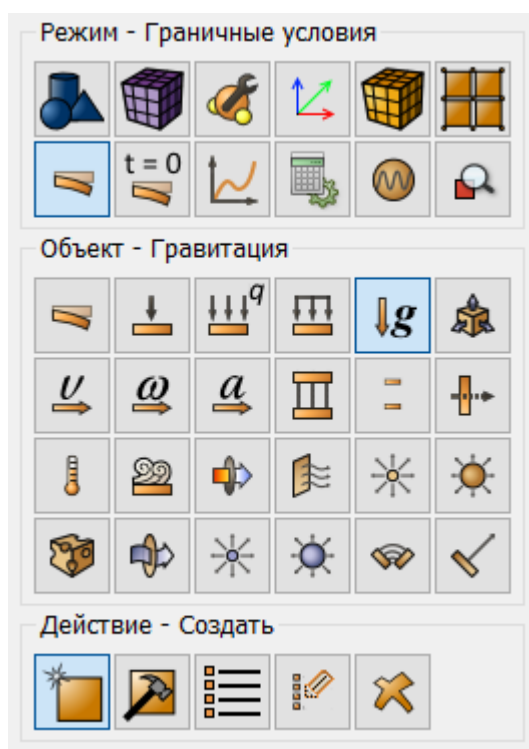
- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объекта(ов): 4 1 5;
- Значение:  $1e4$ ;



Нажмите **Применить**.

3. Задайте гравитационную силу.

На панели команд выберите (Режим — **Граничные условия**, Объект — **Гравитация**, Действие — **Создать**).



Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список сущностей: Глобально;
- Направление: Z: -9.81.

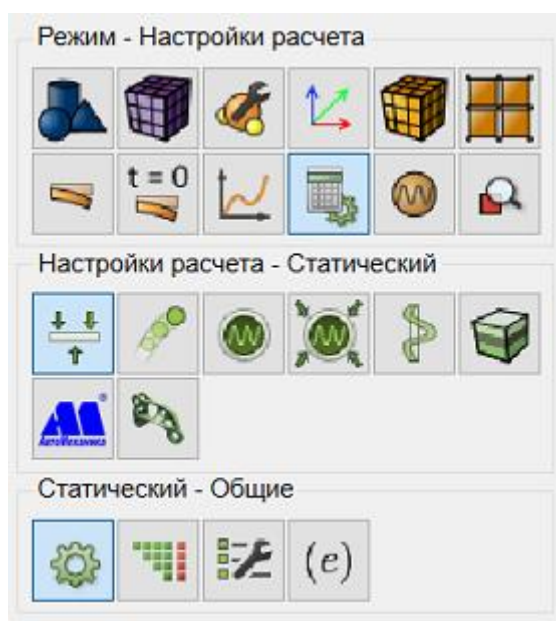
Нажмите **Применить**.

### ***Запуск на расчет***

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите (Режим — **Настройки расчета**, Настройки расчета — **Статический**, Статический — **Общие**).





Выберите:

- Размерность: 3D;
- Модель: Упругость;

На Панели команд нажмите **Применить**, а затем **Начать расчет**.

3. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат

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

#### Анализ результатов

1. Откройте файл с результатами.

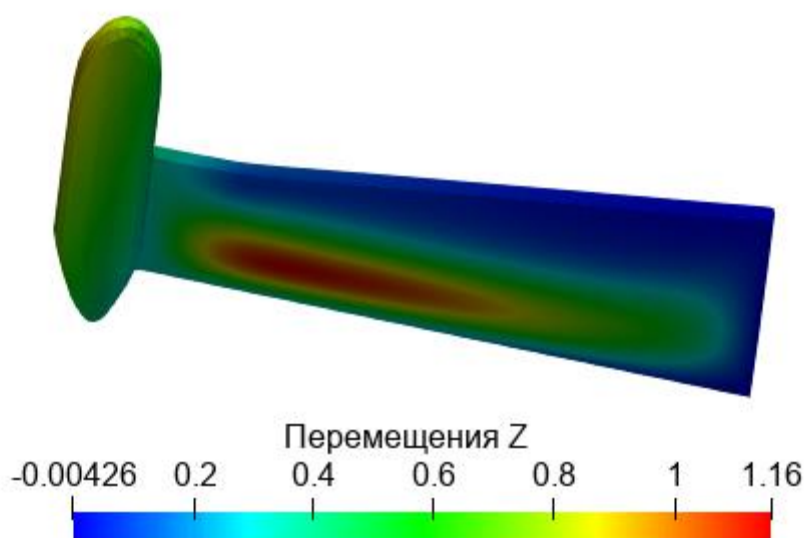
Это можно сделать тремя способами:

- 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 **FidesysViewer**, в котором вы сможете ознакомиться с результатами расчёта.

2. На верхней панели выберите данные результата расчета для отображения. Из первого выпадающего списка выберите **Перемещения**, из второго – **Z**.



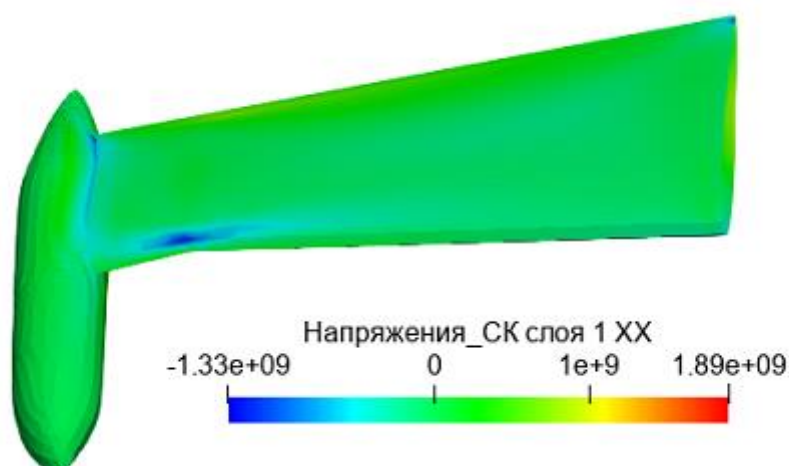
3. Примените фильтр "Системы координат" для того, чтобы отобразить результаты в системе координат каждого слоя. В верхней строке выберите (Меню — **Фильтры** — **Алфавитный указатель** — **Системы координат**).

В Свойствах выберите:

- Выбрать входной массив: Напряжения;
- Уберите галочки возле "Сферические координаты" и "Цилиндрические координаты"
- Поставьте галочку "Системы координат слоев"

Нажмите **Применить**.

Из первого выпадающего списка выберите **Напряжения\_СК слоя 1 XX**, из второго – **XX**.

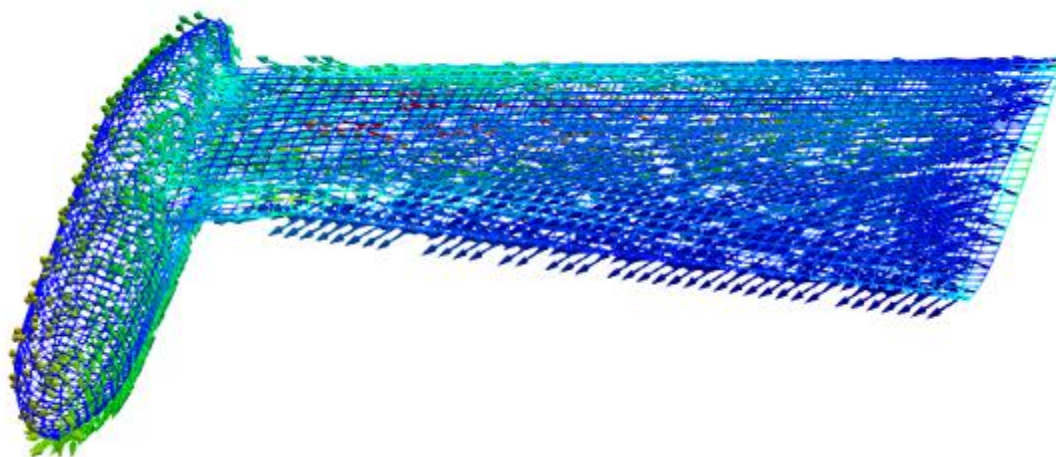


4. Проверьте направление отдельно каждого слоя оболочки. В верхней строке выберите (Меню — **Фильтры** — **Алфавитный указатель** — **Построить векторное поле**).

В Свойствах выберите:

- Тип поля: Стрелка;
- Ориентация → Массив направления: Вектор X локальной системы координат (слой оболочки 1)
- Масштаб → Массив направления: Вектор X локальной системы координат (слой оболочки 1)

Нажмите **Применить**.

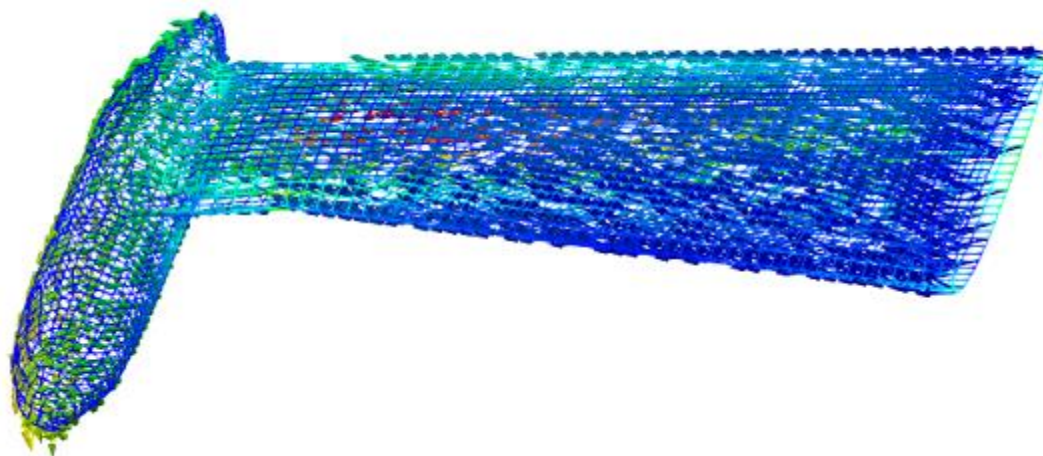


5. Проверьте направление отдельно каждого слоя оболочки. В верхней строке выберите (Меню — **Фильтры** — **Алфавитный указатель** — **Построить векторное поле**).

В Свойствах выберите:

- Тип поля: Стрелка;
- Ориентация → Массив направления: Вектор X локальной системы координат (слой оболочки 2)
- Масштаб → Массив направления: Вектор X локальной системы координат (слой оболочки 2)

Нажмите **Применить**.



### ***Использование консольного интерфейса***

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса.



Запустите файл *Bombardier\_learjet\_35.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

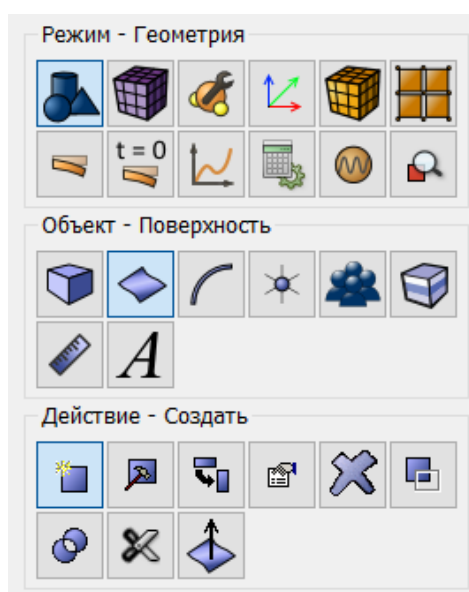
## Участок грунта с выработкой под действием давления

В данном примере рассматривается напряжённо-деформированное состояние пластины с отверстием, состоящей из трёх слоёв разных материалов. На верхнюю грань приложено постоянное на протяжении 12 шагов давление, на грань отверстия действует давление, заданное таблично. Расчет с учетом Ползучести (Друке-Прагер)

### Построение модели

1. Создайте прямоугольник.

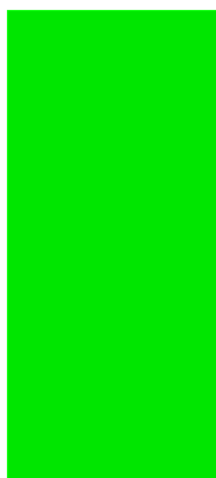
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие — **Создать**).



Из списка геометрических примитивов выберите **Прямоугольник**. Задайте параметры:

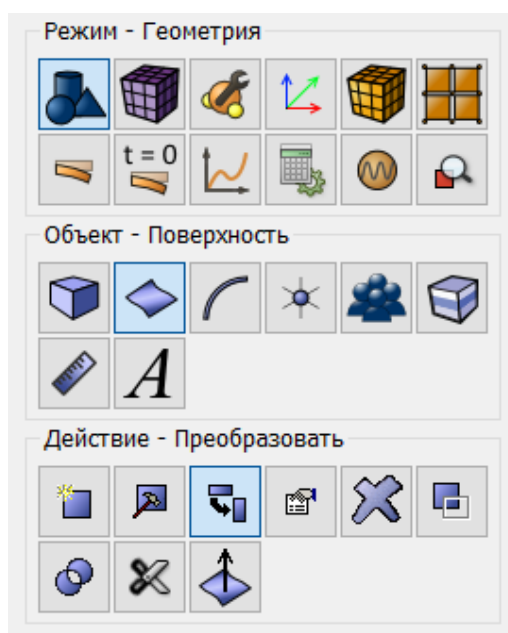
- Ширина: 243;
- Высота: 546;
- Z-плоскость.

Нажмите **Применить**.



2. Переместите созданный прямоугольник.

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



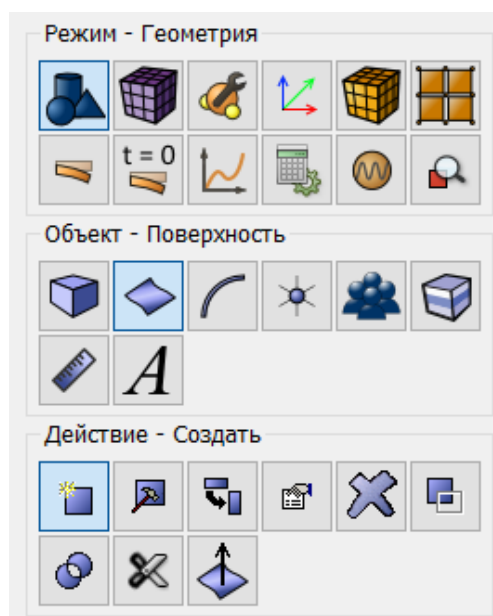
Из списка геометрических примитивов выберите **Переместить**. Задайте параметры:

- Поверхность ID(s): 1;
- Убрать флажок **Включая сращенные**;
- Выбрать метод: Расстояние;
- Расстояние по X: 121.5.

Нажмите **Применить**.

3. Создайте круг радиусом 70.

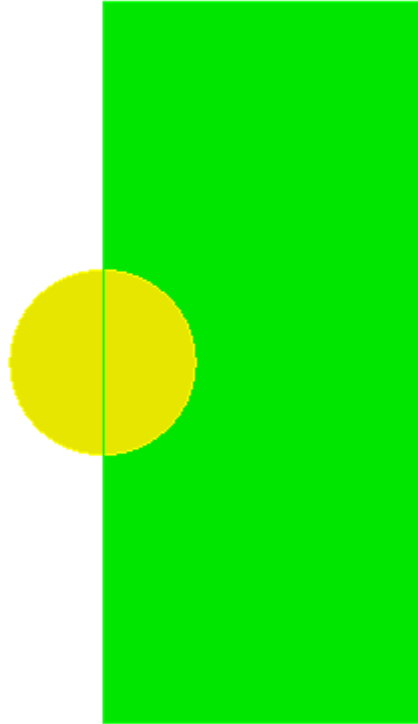
На панели команд выберите модуль построения объёмной геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие — **Создать**).



Из списка геометрических примитивов выберите **Круг**. Задайте параметры:

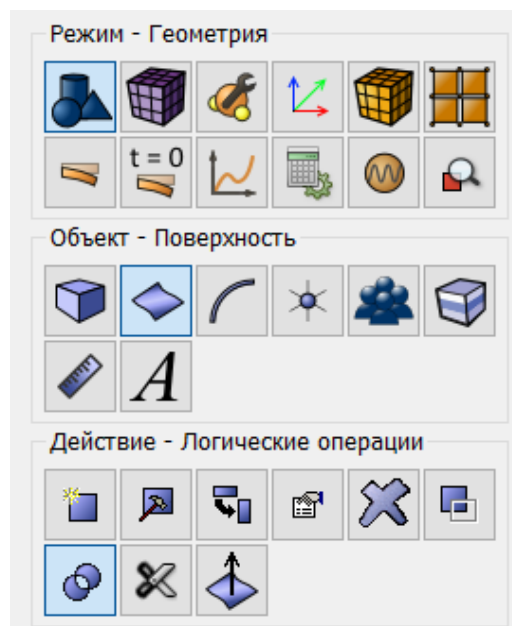
- Радиус: 70;
- Z-плоскость.

Нажмите **Применить**.



4. Вычтите из прямоугольника круг.

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



Из списка геометрических примитивов выберите **Вычесть**. Задайте параметры:

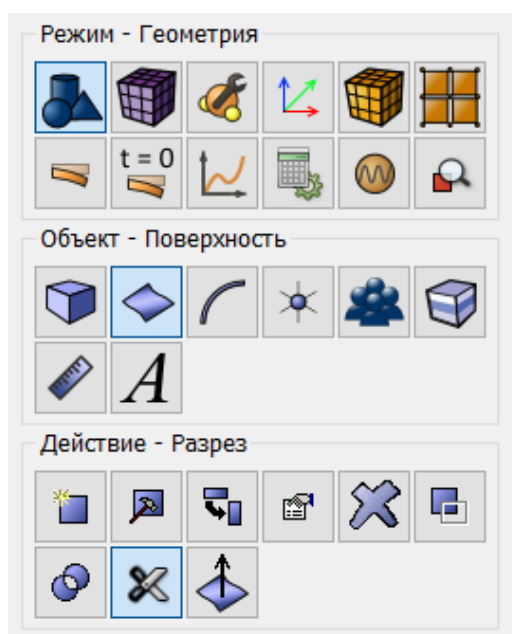
- ID поверхности(ей): 1;
- ID поверхности(ей): 2.

Нажмите **Применить**.



5. Разрежьте поверхность на несколько частей.

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



Из списка геометрических примитивов выберите **Координатная плоскость**. Задайте параметры:

- ID тел(a): 1;
- ZX;
- Значение смещения: 90.

Нажмите **Применить**.

Задайте следующие параметры:

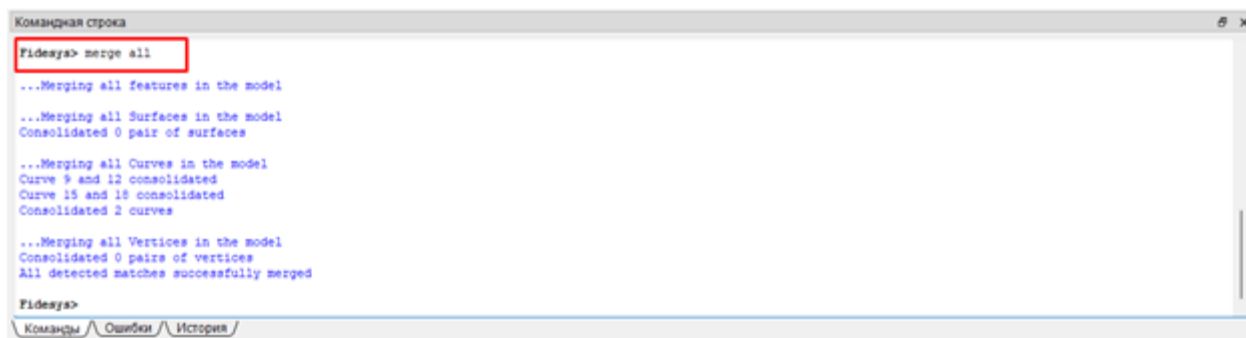


- ID тел(а): 1;
- ZX;
- Значение смещения: -80.

Нажмите **Применить**.

6. Срастите поверхности.

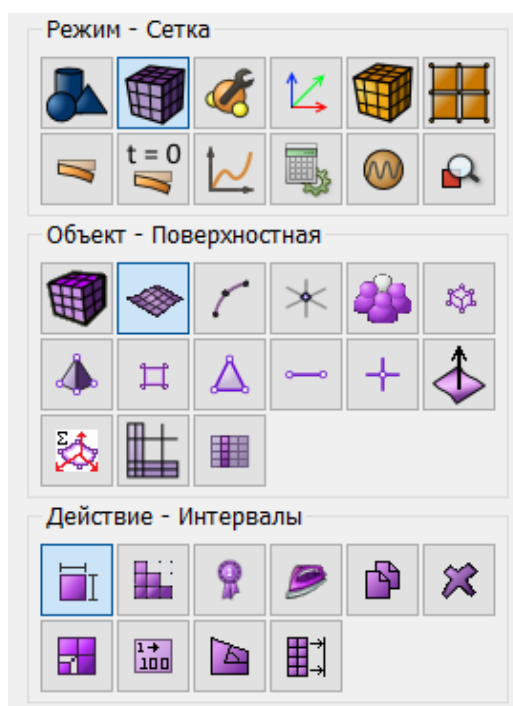
Введите в командную строку следующую команду:



## Построение сетки

1. Постройте конечно-элементную сетку.

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



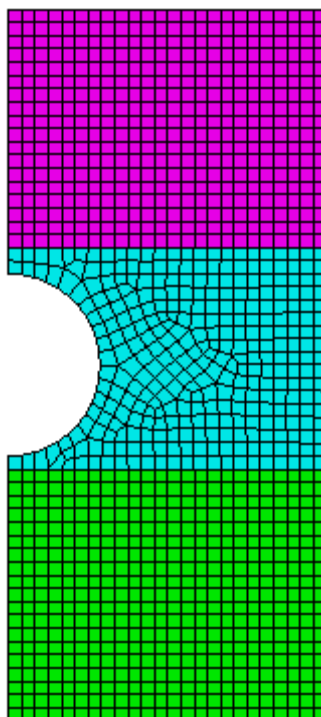
Укажите следующие параметры:

- Выберите: **Задать размер**;

- Выбор поверхностей: all;
- Примерный размер: 10.

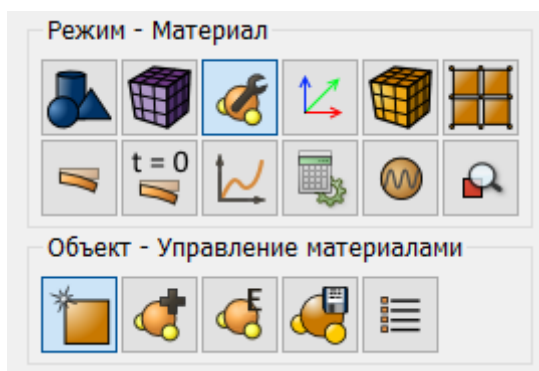
Нажмите **Применить**.

Нажмите **Построить сетку**.



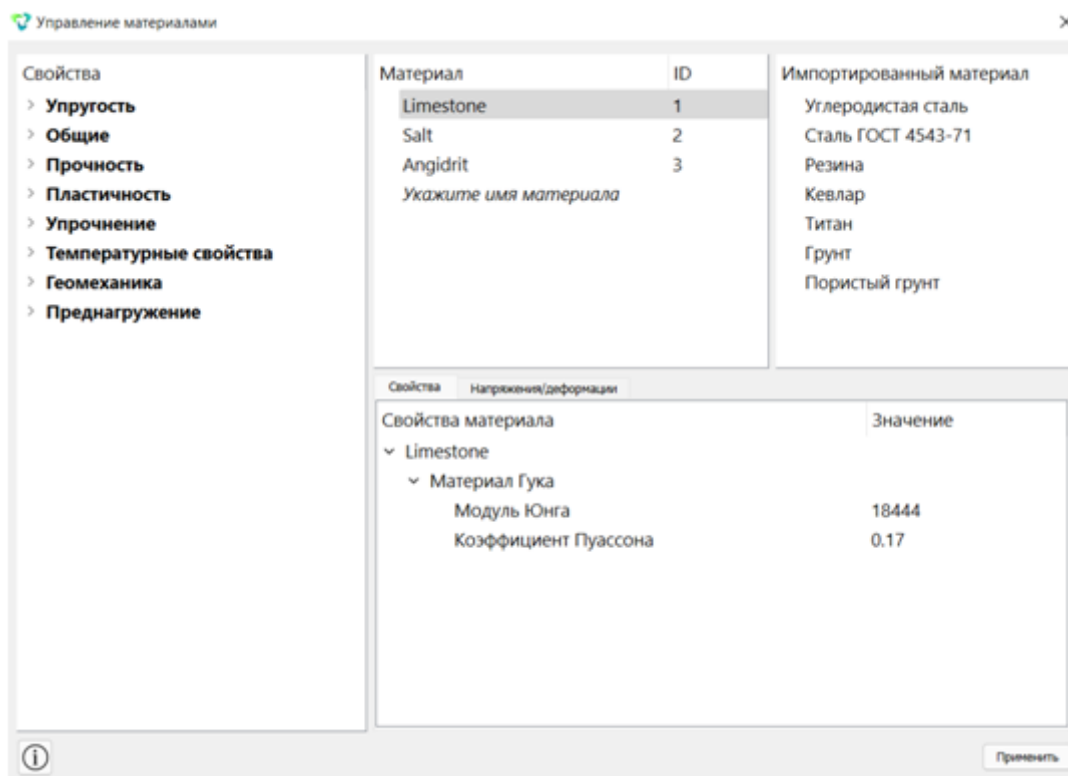
### Задание материалов

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



1. Материал Limestone:

- Модуль Юнга: 18444;
- Коэффициент Пуассона: 0.17.



## 2. Материал Salt:

- Модуль Юнга: 941;
- Коэффициент Пуассона: 0.3,
- Предел текучести:  $4e20$ ;
- Угол внутреннего трения: 0;
- Коэффициент A:  $2.28e-08$ ;
- Коэффициент N: 3.34;
- Коэффициент M: -0.823.

Управление материалами

Свойства	Материал	ID	Импортированный материал
> Упругость	Limestone	1	Углеродистая сталь
> Общие	Salt	2	Сталь ГОСТ 4543-71
> Прочность	Angidrit	3	Резина
> Пластичность	Укажите имя материала		Кевлар
> Упрочнение			Титан
> Температурные свойства			Грунт
> Геомеханика			Пористый грунт
> Преднапряжение			

Свойства	Напряжения/деформации	Значение
Свойства материала		
Salt		
Материал Гука		
Модуль Юнга		941
Коэффициент Пуассона		0.3
Критерий Друкера-Прагера (Ползучесть)		
Предел текучести		4e+20
Угол внутреннего трения		0
Коэффициент A		2.28e-08
Коэффициент N		3.34
Коэффициент M		-0.823

Выберите материал для задания свойств

Применить

### 3. Материал Angidrit:

- Модуль Юнга: 46511;
- Коэффициент Пуассона: 0.22.

Управление материалами

Свойства	Материал	ID	Импортированный материал
> Упругость	Limestone	1	Углеродистая сталь
> Общие	Salt	2	Сталь ГОСТ 4543-71
> Прочность	Angidrit	3	Резина
> Пластичность	Укажите имя материала		Кевлар
> Упрочнение			Титан
> Температурные свойства			Грунт
> Геомеханика			Пористый грунт
> Преднапряжение			

Свойства	Напряжения/деформации	Значение
Свойства материала		
Angidrit		
Материал Гука		
Модуль Юнга		46511
Коэффициент Пуассона		0.22

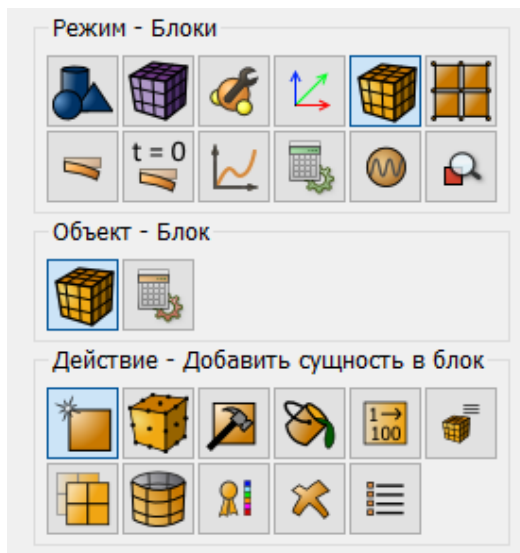
Выберите материал для задания свойств

Применить

## Задание свойств блока

1. Создайте 1 блок.

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): 5.

Нажмите **Применить**.

2. Создайте 2 блок.

Задайте следующие параметры:

- ID блока: 2;
- Список сущностей: Поверхность;
- ID объекта(ов): 6.

Нажмите **Применить**.

3. Создайте 3 блок.

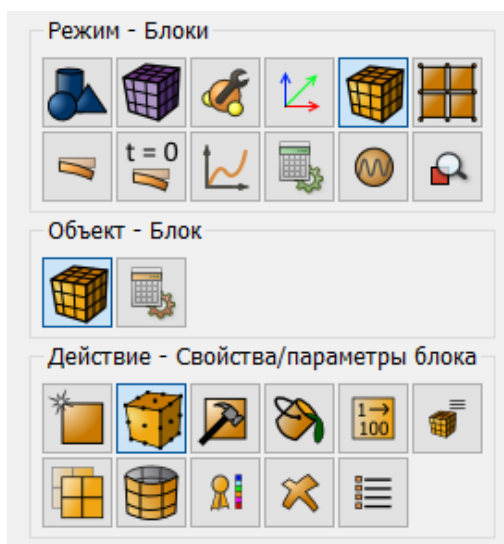
Задайте следующие параметры:

- ID блока: 3;
- Список сущностей: Поверхность;
- ID объекта(ов): 7.

Нажмите **Применить**.

4. 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: 1;
- Материал: Limestone;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Плоскость;
- Порядок: 1.

Нажмите **Применить**.

5. Задайте параметры для блока №2.

Задайте следующие параметры:

- ID блока: 2;
- Материал: Angidrit;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Плоскость;
- Порядок: 1.

Нажмите **Применить**.

6. Задайте параметры для блока №3.

Задайте следующие параметры:

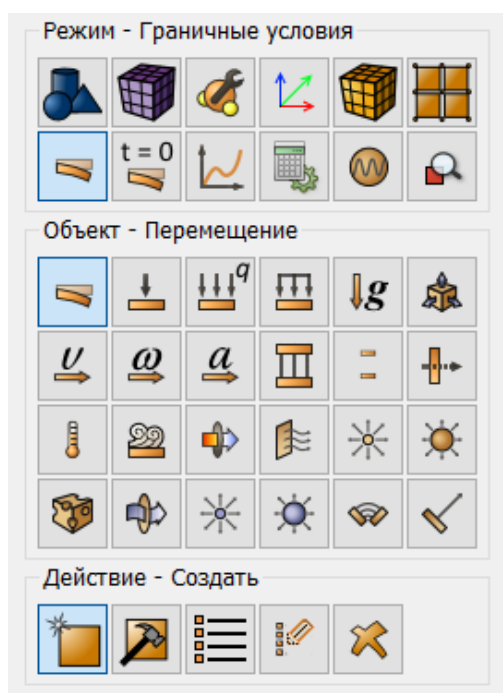
- ID блока: 3;
- Материал: Salt;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Категория: Плоскость;
- Порядок: 1.

Нажмите **Применить**.

## Задание граничных условий

1. Закрепите левую и правую стороны по X.

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



Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список сущностей: Кривая;
- ID объектов: 10 13 14 16 17 19 20;
- Степени свободы: По X;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

2. Закрепите нижнюю сторону по Y.

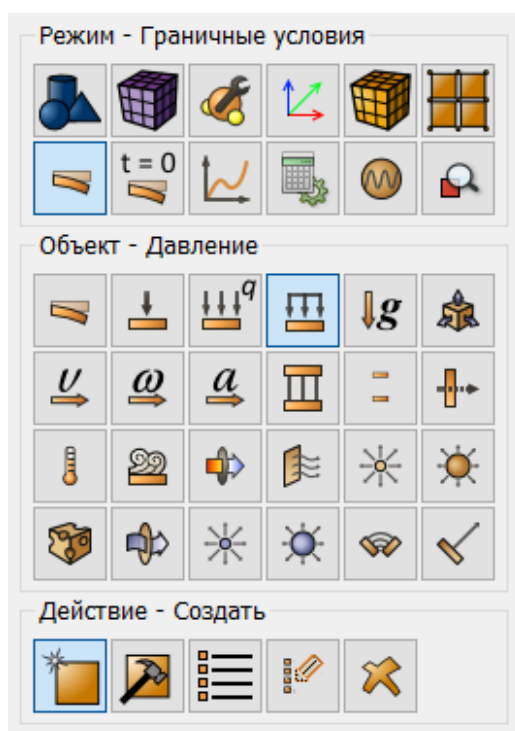
Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список сущностей: Кривая;
- ID объектов: 3;
- Степени свободы: По Y;
- Величина: 0.

Нажмите **Применить**.

3. Приложите давление на кривую 1.

На панели команд выберите (Режим — **Граничные условия**, Объект — **Давление**, Действие — **Создать**).



Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список сущностей: Кривая;
- ID объектов: 1;
- Сила: 15.042.

Нажмите **Применить**.

4. Приложите давление на кривую 6.

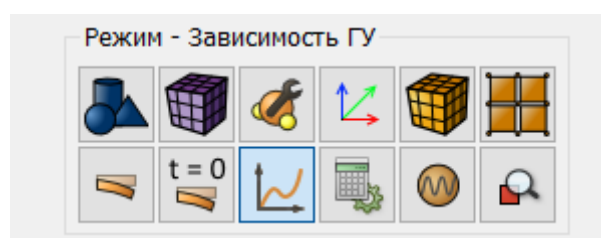
Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список сущностей: Кривая;
- ID объектов: 6;
- Сила: 1.

Нажмите **Применить**.

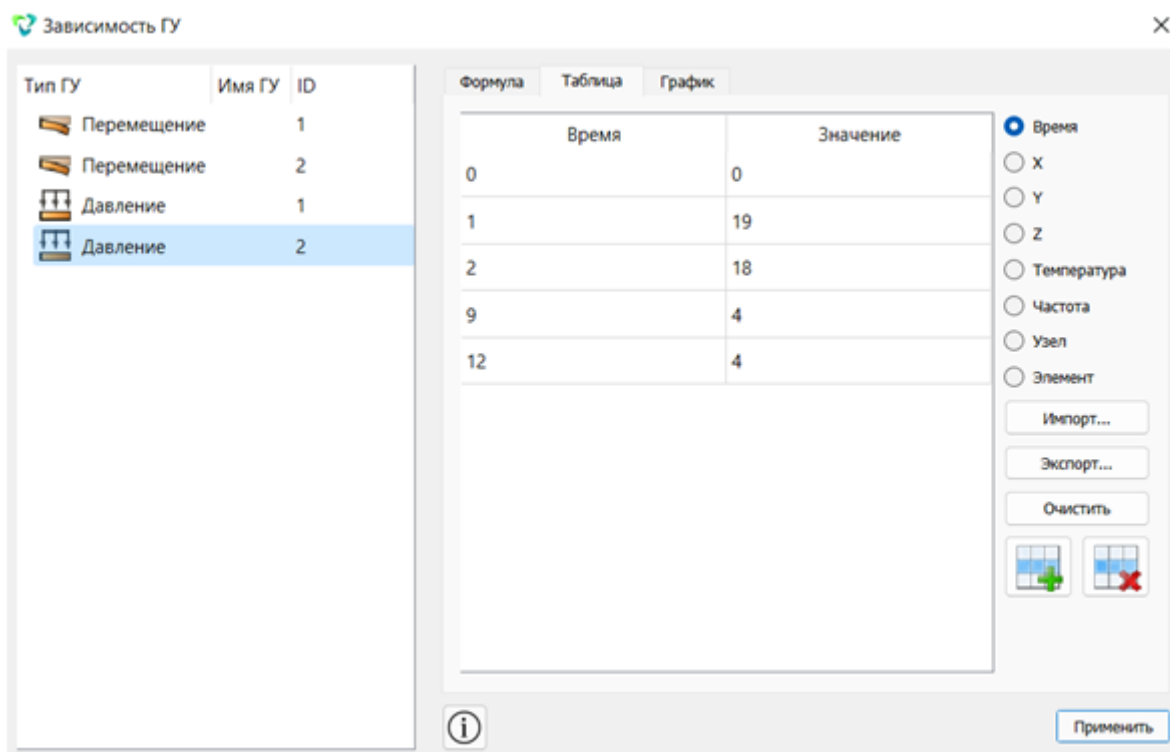
5. Задайте табличную зависимость для давления.

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





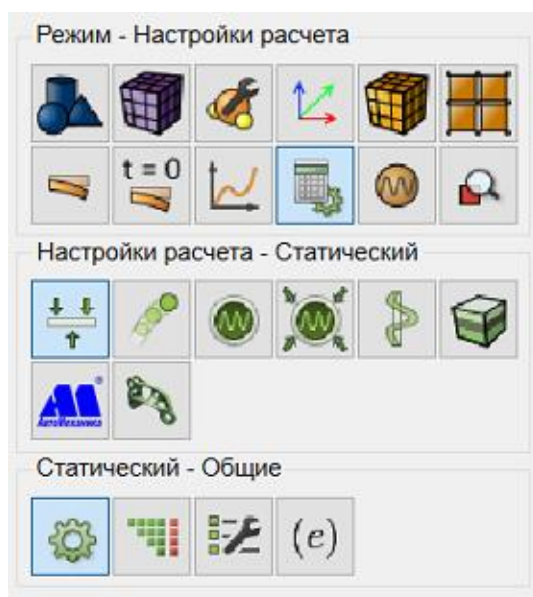
В окне **Зависимость ГУ** выберите Давление 2, перейдите во вкладку **Таблица** и заполните строки следующим образом:



Нажмите **Применить**.

### Запуск расчёта

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



Задайте следующие параметры расчета:

- Размерность: 2D;

- Модель: Упругость, Пластичность;
- Задать число шагов нагружения: 12;
- Задать настройки нелинейного решателя:
  - Мин. число подшагов нагружения: 10;
  - Макс. число подшагов нагружения: 100000;
  - Макс. число итераций: 50;
  - Точность: 1e-6;
  - Целевое число итерация: 3;
  - Убрать флажок с **Линейный поиск**.

Нажмите **Применить**.

Нажмите **Начать расчёт**.

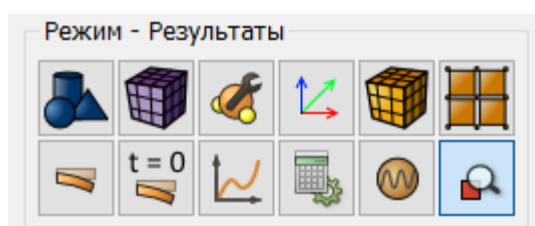
2. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат, и введите название файла.
3. В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: "Calculationfinishedsuccessfullyat "date" "time".

#### *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**).

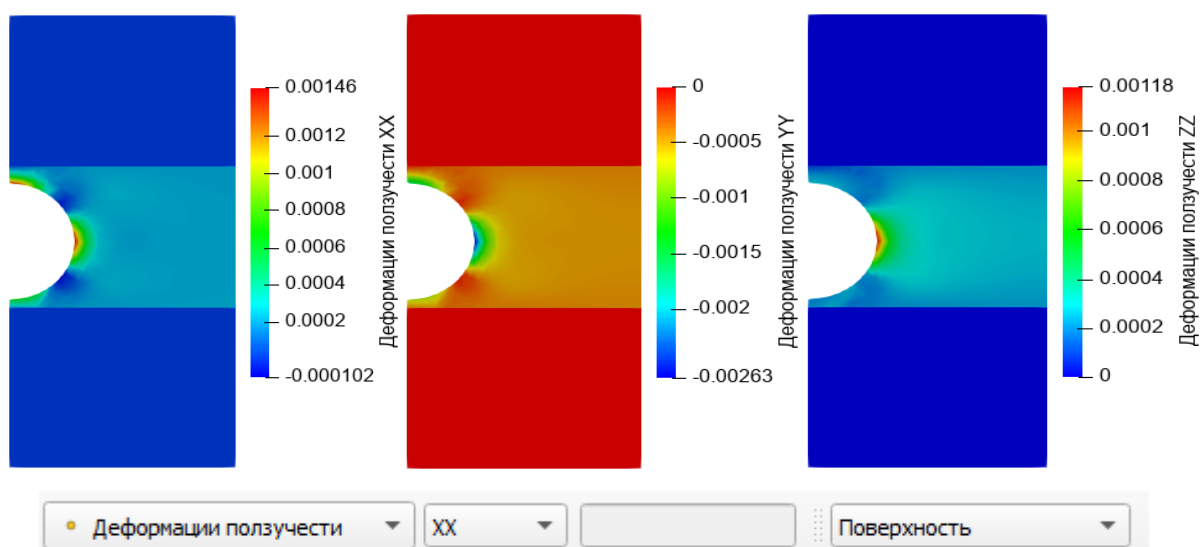


Появится окно **FidesysViewer**, в котором вы сможете ознакомиться с результатами расчёта.

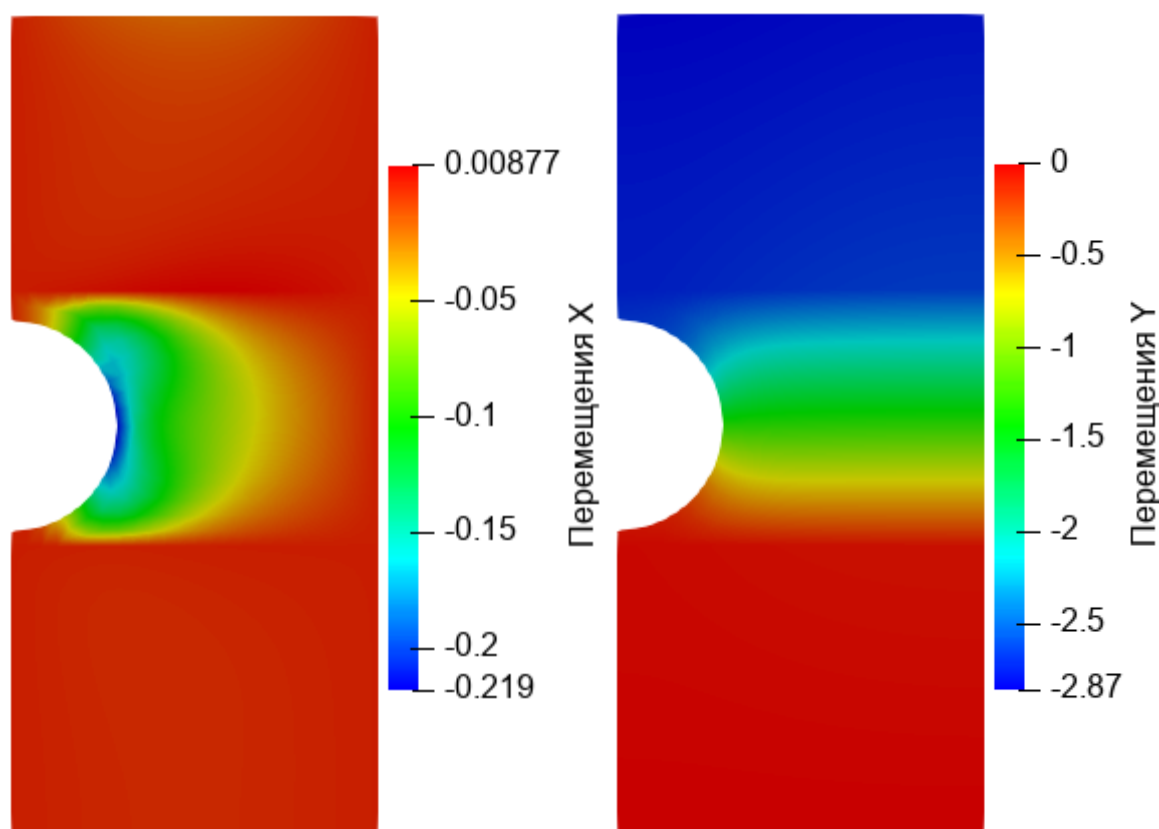
2. Отобразите деформации ползучести для модели.

В окне **FidesysViewer** на панели инструментов установите следующие параметры:

- Поле отображения: Деформации ползучести;
- Компонента отображения: **XX-ZZ**.



3. Отобразите перемещение на модели. Установите следующие параметры:



### *Использование консольного интерфейса*

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса.



Запустите файл *ground\_area.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

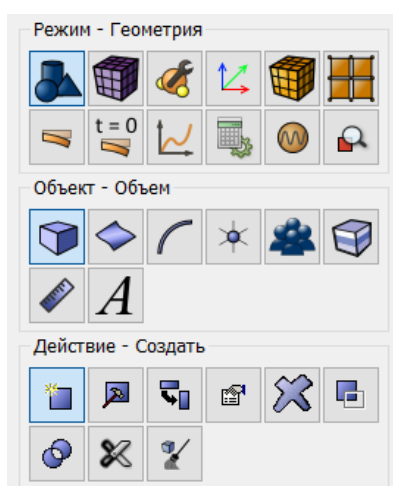
## Болтовой преднатяг в модели, связанной по касательной

Для реализации данного типа нагружения в CAE Fidesys используется такой тип контакта как "связанный по касательной", который допускает взаимопроникновение поверхностей контакта друг в друга, но не допускает их относительного поперечного смещения, чем сохраняется целостность тела болта.

### Построение геометрии

1.Создайте цилиндр.

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

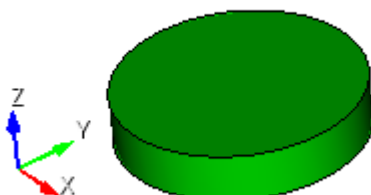


Из списка геометрических примитивов выберите **Цилиндр**.

Задайте следующие параметры :

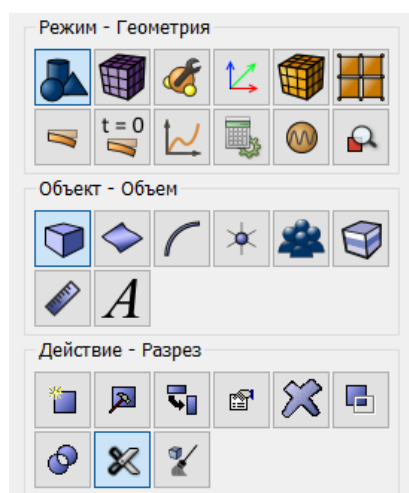
- Высота: 0.02;
- Круговой;
- Радиус: 0.05.

Нажмите **Применить**.



2.Разрежьте объем цилиндра на две части горизонтально.

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

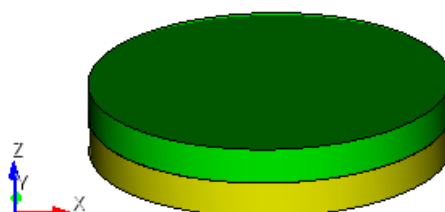


Из выпадающего списка выберите **Координатная плоскость**.

Задайте следующие параметры :

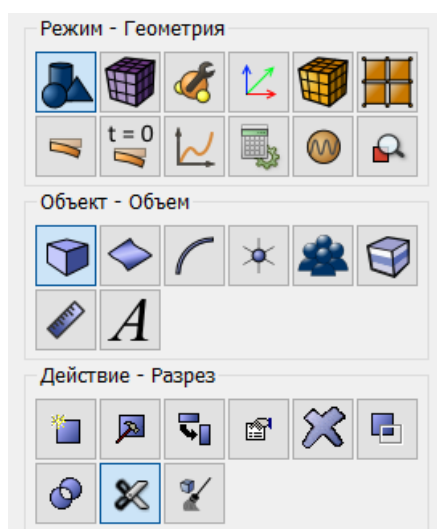
- ID Объем(ов): 1;
- XY;
- Значение смещения: 0.

Нажмите **Применить**.



3. Разрежьте объемы цилиндров на две части в плоскости  $x$ .

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

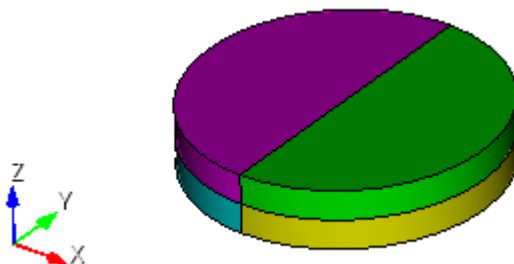


Из выпадающего списка выберите **Координатная плоскость**.

Задайте следующие параметры :

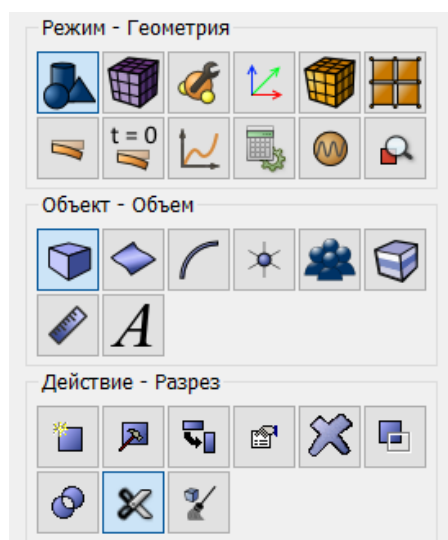
- ID Объем(ов): all;
- YZ;
- Значение смещения: 0.

Нажмите **Применить**.



4. Разрежьте полученные объемы на две части в плоскости  $u$ .

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



Из выплывающего списка выберите **Координатная плоскость**.

Задайте следующие параметры :

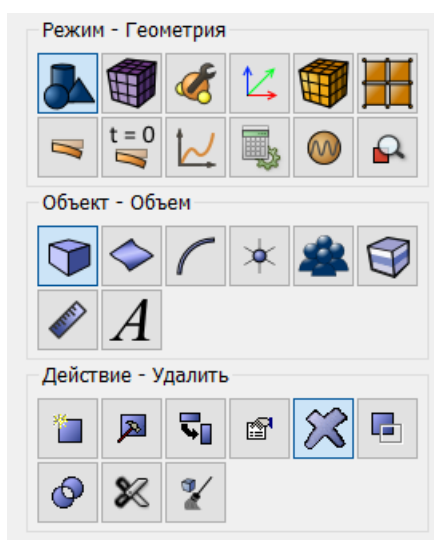
- ID Объем(ов): all;
- ZX;
- Значение смещения: 0.

Нажмите **Применить**.



5. Удалите объемы так, чтобы осталась четверть геометрии.

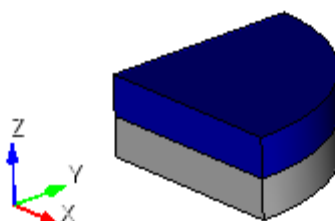
На панели команд выберите (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, Действие — **Удалить**).



Задайте следующие параметры :

- ID Объема(ов): 7 8 3 4 1 2.

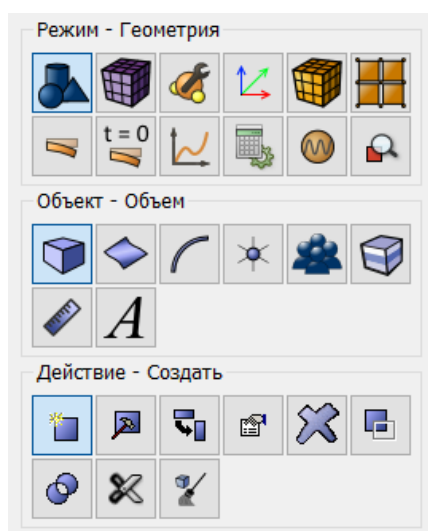
Нажмите **Применить**.



6. Создайте новый цилиндр.

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



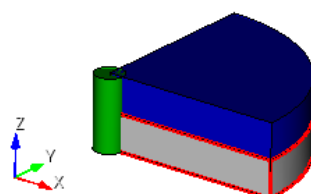


Из списка геометрических примитивов выберите **Цилиндр**.

Задайте следующие параметры :

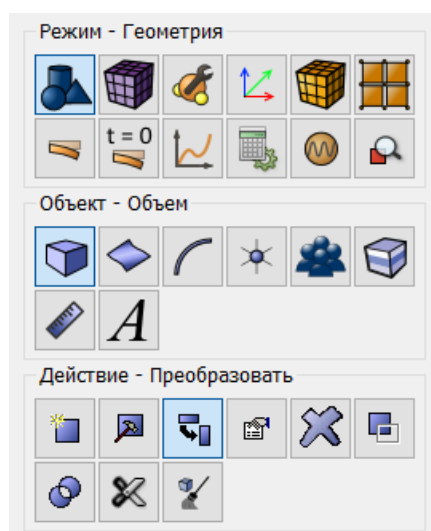
- Высота: 0.02;
- Круговой;
- Радиус: 0.004.

Нажмите **Применить**.



7. Переместите новый цилиндр.

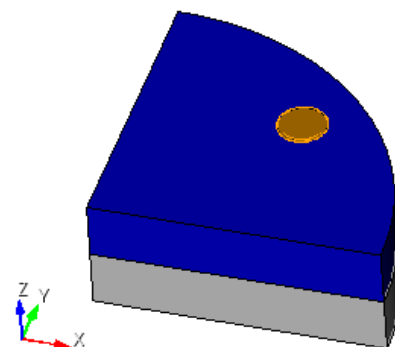
На панели команд выберите модуль построения геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, Действие — **Преобразовать**).



Из выплывающего списка выберите **Переместить**.

Задайте следующие параметры :

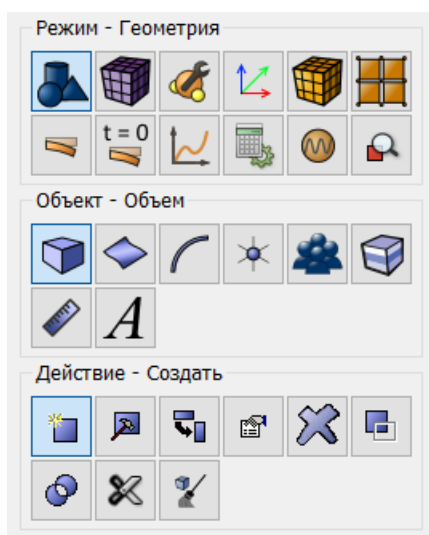
- Объем ID(s): 9;
- Поставьте галочку: Включая сращенные;
- Выберите метод: Расстояние;
- Расстояние по X: 0.028;
- Расстояние по Y: 0.028.



Нажмите **Применить**.

8. Скопируйте новый цилиндр.

На панели команд выберите (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, Действие — **Создать**).



Из выплывающего списка выберите **Копировать с изменениями**.

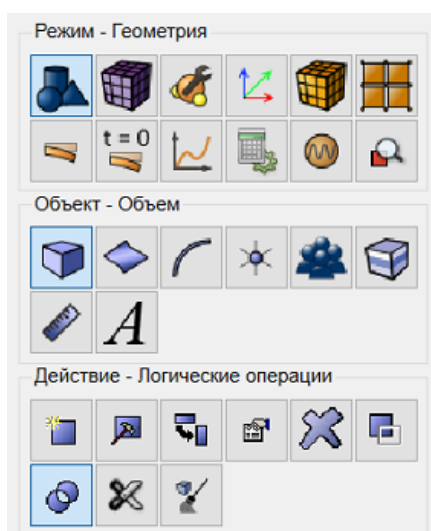
Задайте следующие параметры :

- ID Объем(ов): 9;
- Уберите галочку: Изменить скопированные объемы;
- Поставьте галочку: Копировать сетку.

Нажмите **Применить**.

9. Вычтите новый цилиндр из двух четвертинок.

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



Из выпадающего списка выберите **Вычсть**.

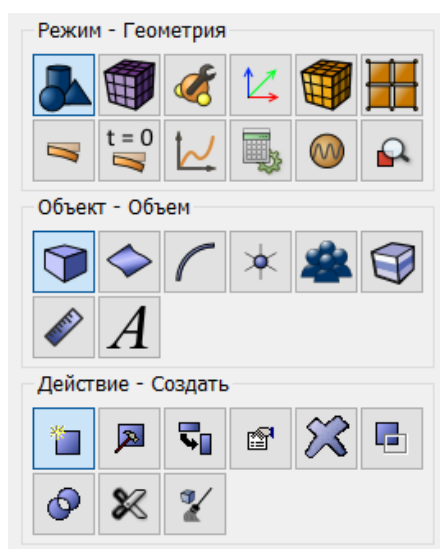
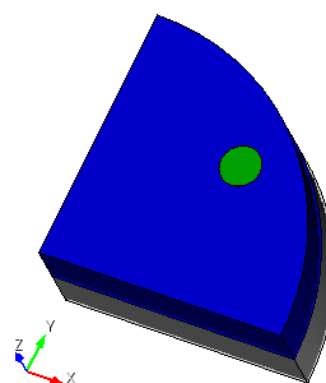
Задайте следующие параметры:

- ID Объем(ов): 6 5;
- ID Объем(ов): 10.

Нажмите **Применить**.

10.Создайте цилиндр.

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



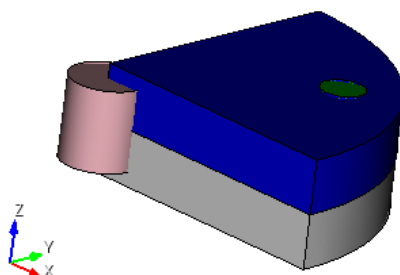
Из списка геометрических примитивов выберите **Цилиндр**.

Задайте следующие параметры :

- Высота: 0.015;
- Круговой;

- Радиус: 0.007.

Нажмите **Применить**.



11. Разрежьте объем цилиндра на две части в плоскости z.

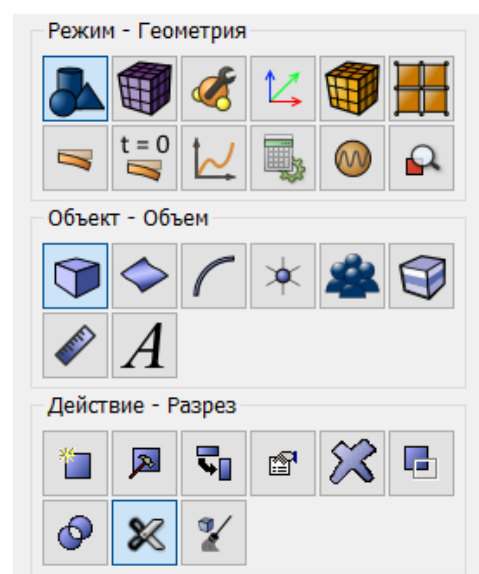
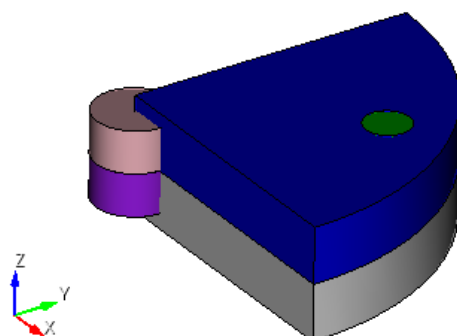
На панели команд выберите (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, Действие — **Разрез**).

Из выпадающего списка выберите **Координатная плоскость**.

Задайте следующие параметры :

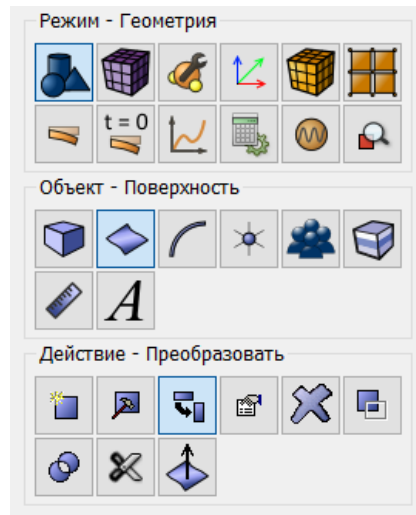
- ID Объем(ов): 1;
- XY;
- Значение смещения: 0.

Нажмите **Применить**.



12. Переместите верхнюю часть цилиндра.

На панели команд выберите модуль построения геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие — **Преобразовать**).

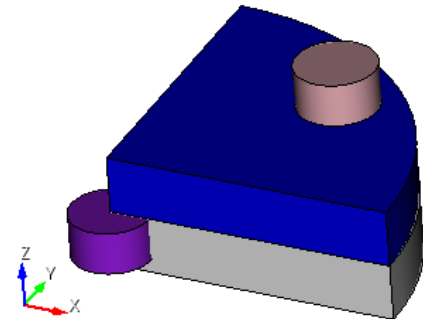


Из выпадающего списка выберите **Переместить**.

Задайте следующие параметры :

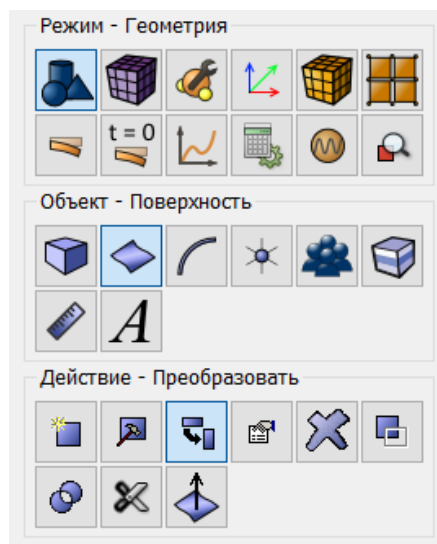
- Поверхность ID(s): 79;
- Поставьте галочку: Включая сращенные;
- Выберите метод: К объекту: Поверхность;
- ID поверхности: 66.

Нажмите **Применить**.



13. Переместите нижнюю часть цилиндра.

На панели команд выберите модуль построения геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Поверхность**, Действие — **Преобразовать**).



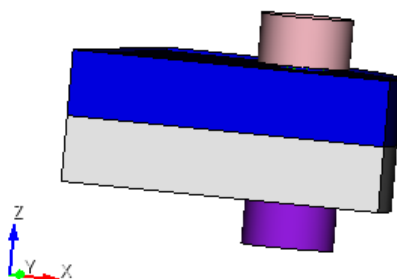
Из выпадающего списка выберите **Переместить**.

Задайте следующие параметры :

- Поверхность ID(s): 81;

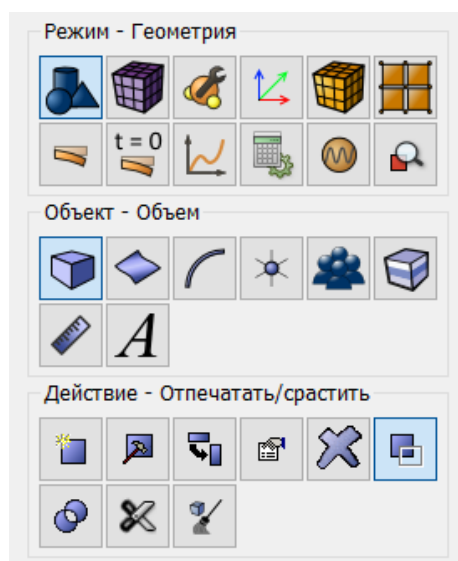
- Поставьте галочку: Включая сращенные;
- Выберите метод: К объекту: Поверхность;
- ID поверхности: 65.

Нажмите **Применить**.



14. Отпечатайте и срастите цилиндры.

На панели команд выберите модуль построения геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, Действие — **Отпечатать/срастить**).

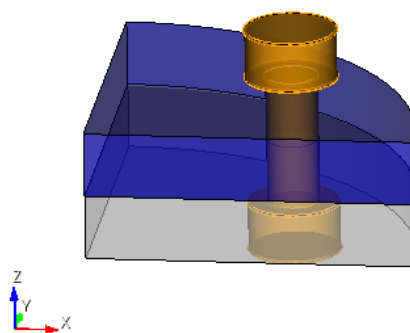


Из выпадающего списка выберите **Отпечатать и срастить**.

Задайте следующие параметры :

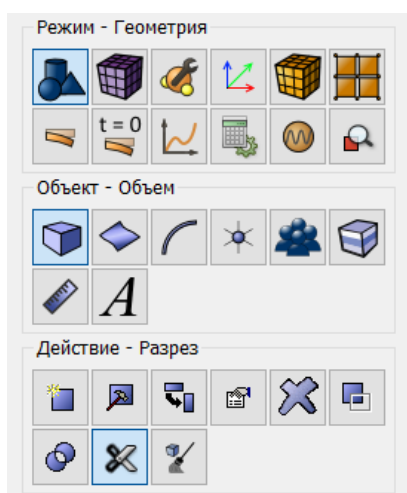
- ID объема(ов): 9 11 12.

Нажмите **Применить**.



15. Разрежьте объем внутреннего цилиндра на две части в плоскости z.

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



Из выпадающего списка выберите **Координатная плоскость**.

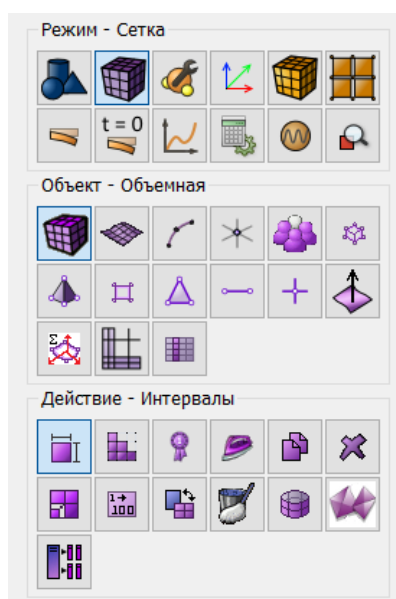
Задайте следующие параметры :

- ID Объем(ов): 9;
- XY;
- Значение смещения: 0.

Нажмите **Применить**.

### ***Построение сетки***

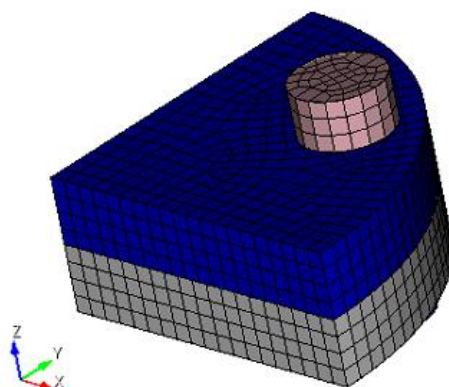
1. Создайте сетку на объемах. На панели команд выберите (Режим — **Сетка**, Объект — **Объемная**, Действие — **Интервалы**).



Из выпадающего списка выберите: Автоматический размер

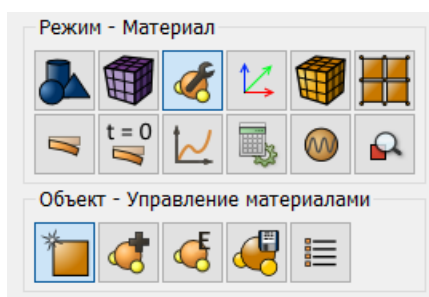
- Выбор поверхностей: all;
- Переместите ползунок авторазамера на 5

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



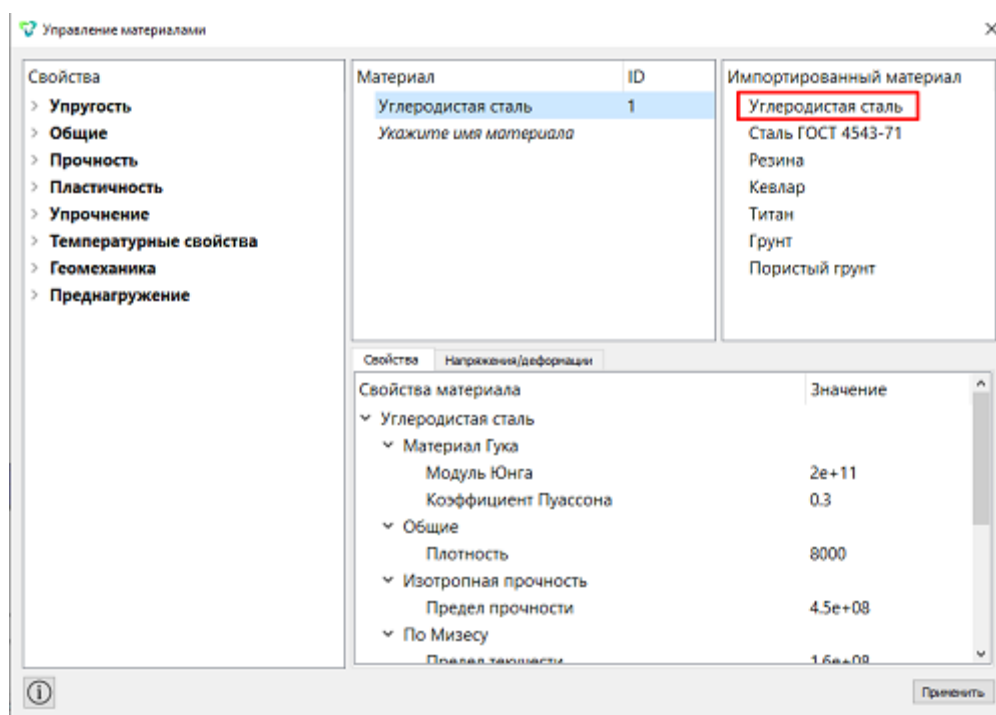
### ***Задание материала и свойств блоков***

1. Задайте материал. На панели команд выберите (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**).

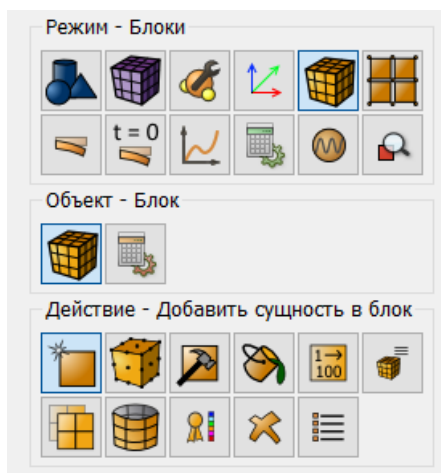


В колонке "Импортированный материал" дважды нажмите на **Углеродистая сталь**. Нажмите **Применить**.





2.Создайте блок для фланца. На панели команд выберите (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**).

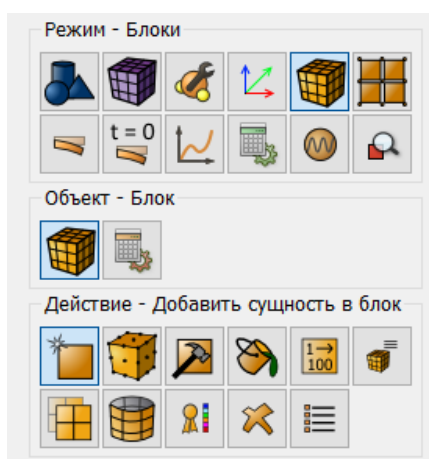


Задайте следующие параметры:

- Имя блока: Фланец;
- Список сущностей: Объем;
- ID объекта(ов): 6 5;

Нажмите **Применить**.

3.Создайте блок для болта. На панели команд выберите (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**).



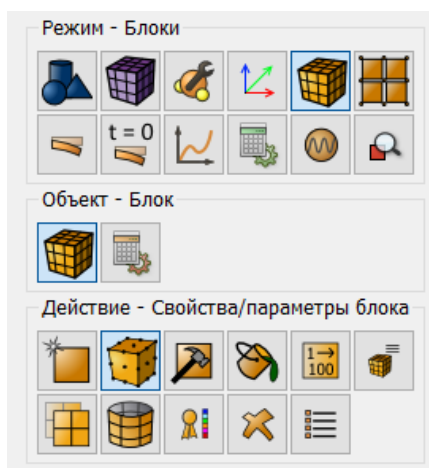
Задайте следующие параметры:

- Имя блока: Болт;
- Список сущностей: Объем;
- ID объекта(ов): 12 13 9 11;

Нажмите **Применить**.

4. Задайте параметры для блоков.

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



Задайте следующие параметры:

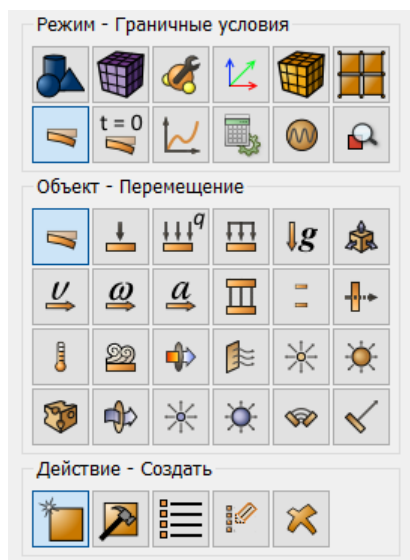
- ID блока(ов): all;
- Категория: Объемное тело;
- Материал: Углеродистая сталь;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Порядок: 1.

Нажмите **Применить**.

### Задание граничных условий

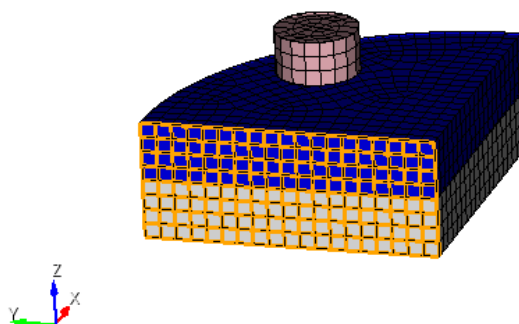
1. Задайте симметричные граничные условия для перемещений.

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



Задайте следующие параметры:

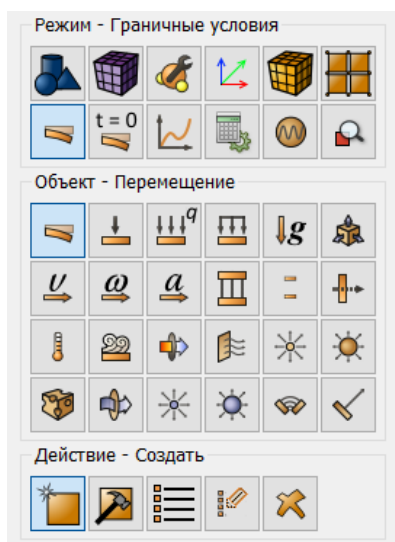
- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 31 41;
- Степени свободы: По X;
- Величина: 0.



Нажмите **Применить**.

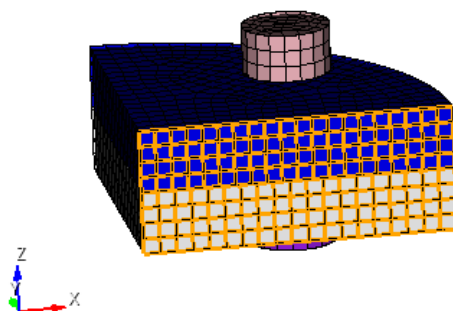
2. Задайте симметричные граничные условия для перемещений.

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



Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Поверхность;
- ID объектов: 39 29;
- Степени свободы: По Y;
- Величина: 0.



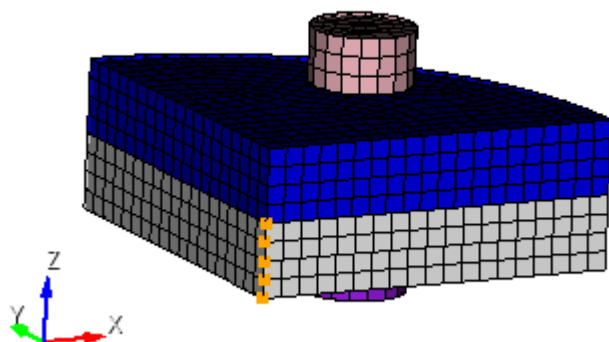
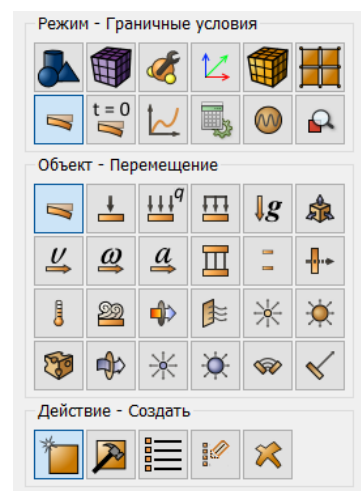
Нажмите **Применить**.

3. Ограничте перемещения на кривой в углу фланца.

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

Задайте следующие параметры:

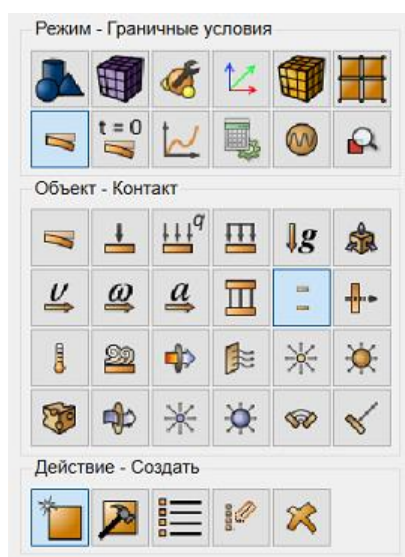
- Автоматическое присвоение ID;
- Список объектов: Кривая;
- ID объектов: 53;
- Степени свободы: Все;
- Величина: 0.



Нажмите **Применить**.

4. Задайте контакт связанный по нормали между поверхностями фланца.

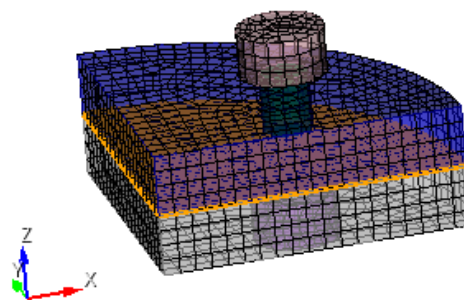
На панели команд выберите (Режим — **Граничные условия**, Объект — **Контакт**, Действие — **Создать**).



Из выпадающего списка выберите: Выбор главной и побочной сущности

Задайте следующие параметры:

- Главная сущность: Поверхность;
- ID объекта(ов): 72;
- Побочная сущность: Поверхность;
- ID объекта(ов): 74;
- Тип: Связанный по касательной;
- Преднатяг: 0.0;
- Точность: 0.0005;
- Метод: Автовыбор.



Нажмите **Применить**.

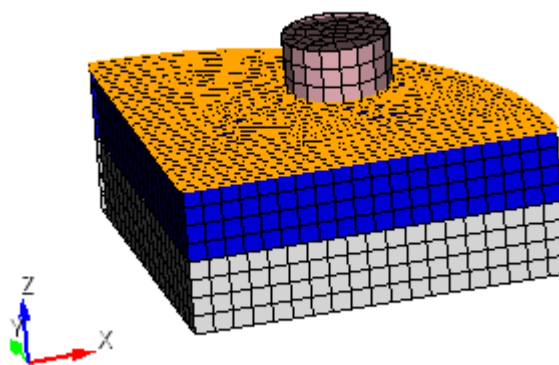
5. Задайте связанный контакт между поверхностями фланца.

На панели команд выберите (Режим — **Граничные условия**, Объект — **Контакт**, Действие — **Создать**).

Из выпадающего списка выберите: Выбор главной и побочной сущности

Задайте следующие параметры:

- Главная сущность: Поверхность;
- ID объекта(ов): 75;
- Побочная сущность: Поверхность;
- ID объекта(ов): 83;
- Тип: Связанный;
- Преднатяг: 0.0;
- Точность: 0.0005;
- Метод: Автовыбор.



Нажмите **Применить**.

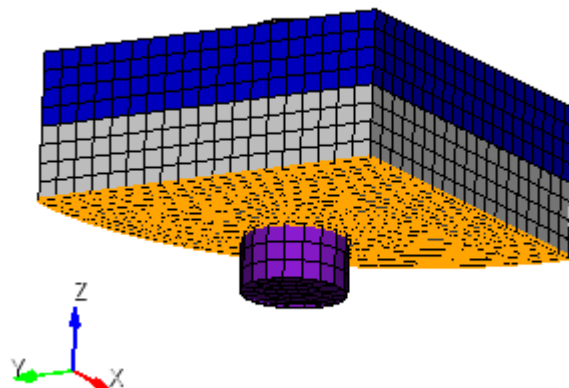
6. Задайте связанный контакт между поверхностями фланца.

На панели команд выберите (Режим — **Граничные условия**, Объект — **Контакт**, Действие — **Создать**).

Из выплывающего списка выберите: Выбор главной и побочной сущности

Задайте следующие параметры:

- Главная сущность: Поверхность;
- ID объекта(ов): 71;
- Побочная сущность: Поверхность;
- ID объекта(ов): 86;
- Тип: Связанный;
- Преднатяг: 0.0;
- Точность: 0.0005;
- Метод: Автовыбор.



Нажмите **Применить**.

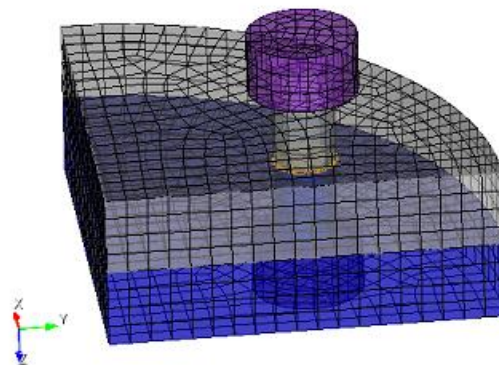
7. Задайте связанный по касательной контакт с преднатягом.

На панели команд выберите (Режим — **Граничные условия**, Объект — **Контакт**, Действие — **Создать**).

Из выплывающего списка выберите: Выбор главной и побочной сущности

Задайте следующие параметры:

- Главная сущность: Поверхность;
- ID объекта(ов): 89;
- Побочная сущность: Поверхность;
- ID объекта(ов): 87;
- Тип: Связанный по касательной;
- Преднатяг: 1000;
- Точность: 0.0005;
- Метод: Автовыбор.



Нажмите **Применить**.

## Запуск на расчет

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.

На панели команд выберите (Режим — **Настройки расчета**, Настройки расчета — **Статический**, Статический — **Общие**).

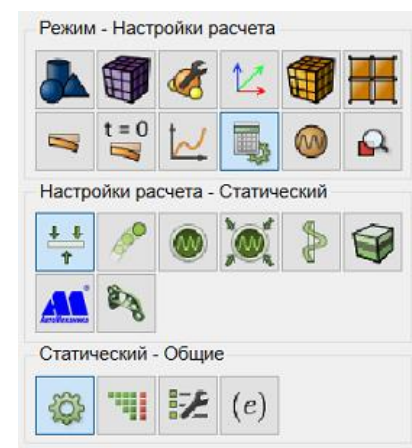
Выберите:

- Размерность: 3D;
- Модель: Упругость;

На Панели команд нажмите **Применить**, а затем **Начать расчет**.

2. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат

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

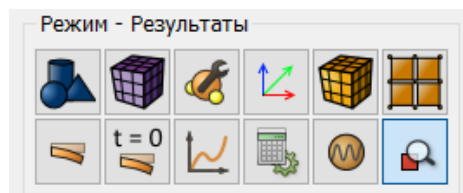


## Анализ результатов

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 **FidesysViewer**, в котором вы сможете ознакомиться с результатами расчёта.

2. Выключите отображение фланца для анализа данных болта. В верхней строке выберите (Меню — **Фильтры** — **Алфавитный указатель** — **Порог**).

В Свойствах выберите:

- Входной массив: ID блока;
- Минимум: 2;
- Максимум: 2;

Нажмите **Применить**.

3. Примените фильтр "Деформировать по вектору" для того, чтобы отобразить результаты в деформированном виде. В верхней строке выберите (Меню — **Фильтры** — **Алфавитный указатель** — **Деформировать по вектору**).

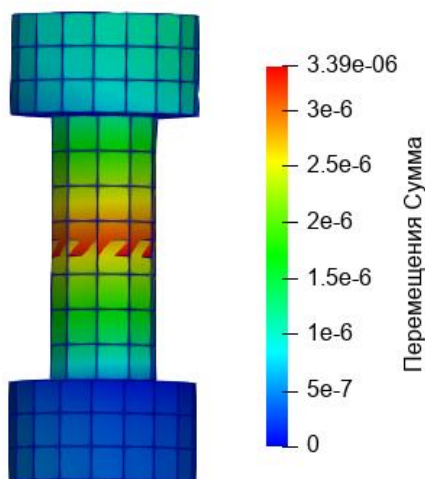


В Свойствах выберите:

- Выбрать входной массив: Перемещения;
- Перемещайте ползунок множителя масштаба;
- Представлено: Поверхность с ребрами

Нажмите **Применить**.

Из первого выпадающего списка выберите **Перемещения**, из второго – **Сумма**.



### **Использование консольного интерфейса**

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса.



Запустите файл *contact\_tangent\_bolt.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.

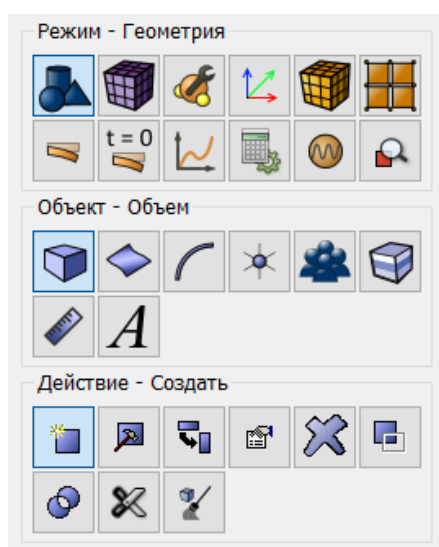
## Линеаризация напряжений вдоль линии приведения на примере соединения К-типа

Рассматривается механика процесса задания линии и построения графиков линеаризованных напряжений. При выборе линии приведения программа определяет компоненты напряжений вдоль этой линии и производит над этими компонентами дополнительно процедуру линеаризации - выделения мембранных, изгибных и нелинейных напряжений. По линеаризованным компонентам определяются суммы мембранных и изгибных.

### *Построение геометрии*

1. Создайте цилиндр.

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

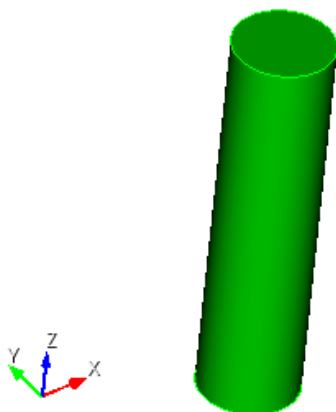


Из списка геометрических примитивов выберите **Цилиндр**.

Задайте следующие параметры:

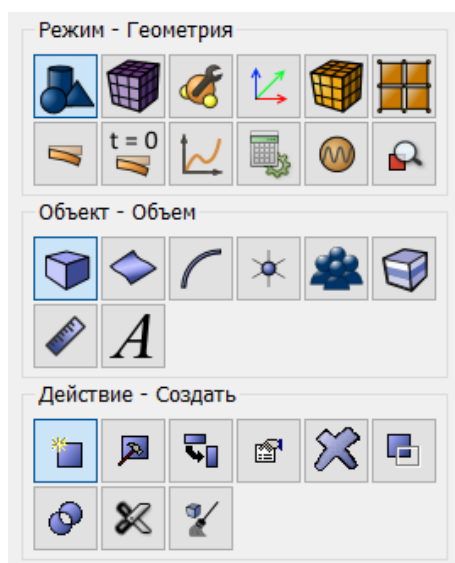
- Высота: 0.8;
- Круговой;
- Радиус: 0.1.

Нажмите **Применить**.



## 2. Создайте цилиндр.

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

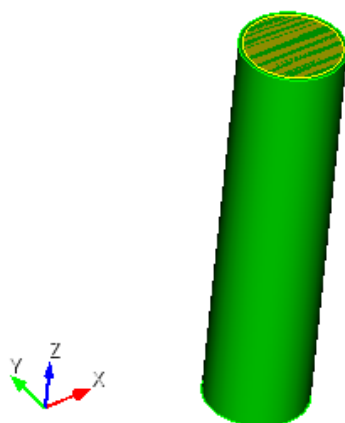


Из списка геометрических примитивов выберите **Цилиндр**.

Задайте следующие параметры:

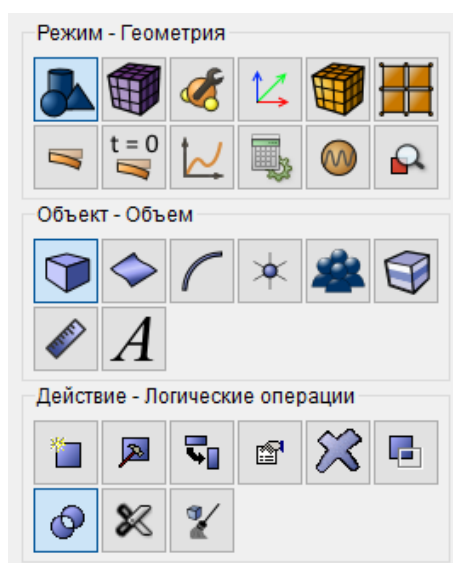
- Высота: 0.8;
- Круговой;
- Радиус: 0.092.

Нажмите **Применить**.



## 3. Вычтите цилиндр.

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

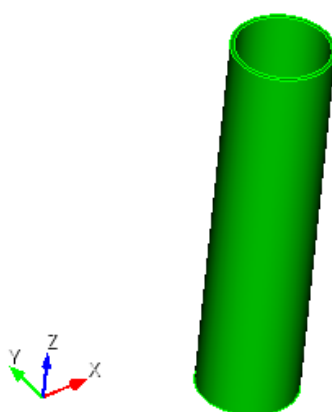


Из списка геометрических примитивов выберите **Вычесть**.

Задайте следующие параметры:

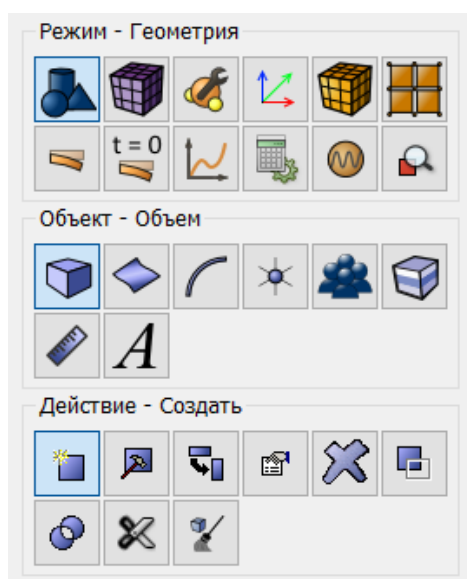
- ID объема(ов): 1;
- ID объема(ов): 2.

Нажмите **Применить**.



4. Создайте цилиндр.

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

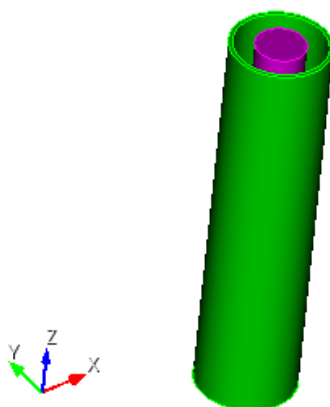


Из списка геометрических примитивов выберите **Цилиндр**.

Задайте следующие параметры:

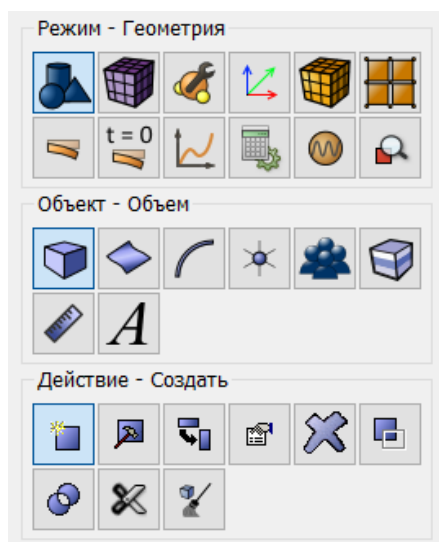
- Высота: 0.8;
- Круговой;
- Радиус: 0.05.

Нажмите **Применить**.



5. Создайте цилиндр.

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

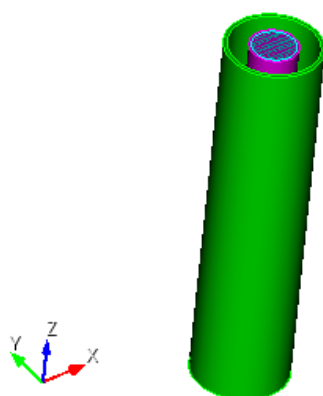


Из списка геометрических примитивов выберите **Цилиндр**.

Задайте следующие параметры:

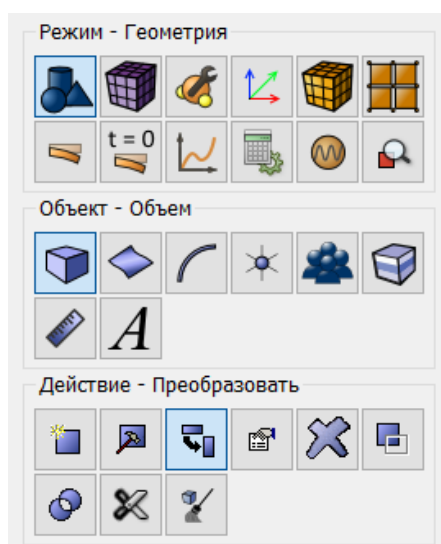
- Высота: 0.8;
- Круговой;
- Радиус: 0.045.

Нажмите **Применить**.



6. Поверните цилиндры.

На панели команд выберите геометрии (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, Действие — **Преобразовать**).

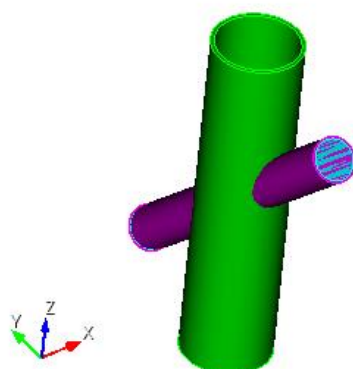


Из выпадающего списка выберите **Повернуть**.

Укажите необходимые параметры:

- Объем ID(s): 3 4;
- Включая сращенные;
- Ось X.

Нажмите **Применить**.



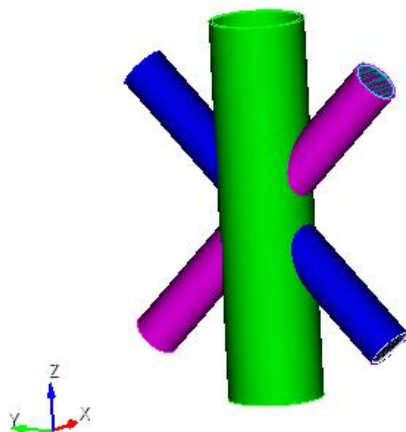
7. Скопируйте и отразите объемы.

В командной строке введите "Volume 3 4 copy reflect z". Команда reflect применяется при выборе (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, Действие — **Преобразовать**) из выпадающего списка Отражение. Но при добавлении команды copy объемы еще и копируются.

Нажмите **Enter**.

```
Командная строка
Fidesys> rotate Volume 3 4 angle 45 about X include_merged
Fidesys> Volume 3 4 copy reflect z
Successfully copied 2 Volume(s).
Fidesys>
```

Python / Команды / Ошибки / История



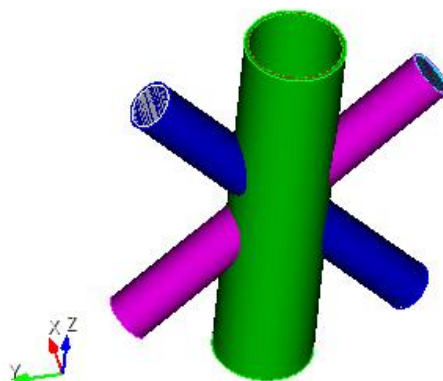
8. Скопируйте поверхности.

В командной строке введите "Surface 7 copy".

Нажмите **Enter**.

```
Командная строка
Fidesys> volume 3 4 copy reflect z
Successfully copied 2 Volume(s).
Fidesys> Surface 7 copy
Successfully copied 1 Surface(s).
Fidesys>
```

Python / Команды / Ошибки / История



9. Скопируйте поверхности.

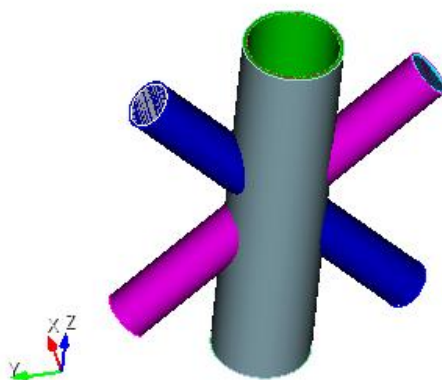
В командной строке введите "Surface 1 copy".

Нажмите **Enter**.

```
Командная строка
Fidesys> surface 7 copy
Successfully copied 1 Surface(s).
Fidesys> Surface 1 copy
Successfully copied 1 Surface(s).
Fidesys>
```

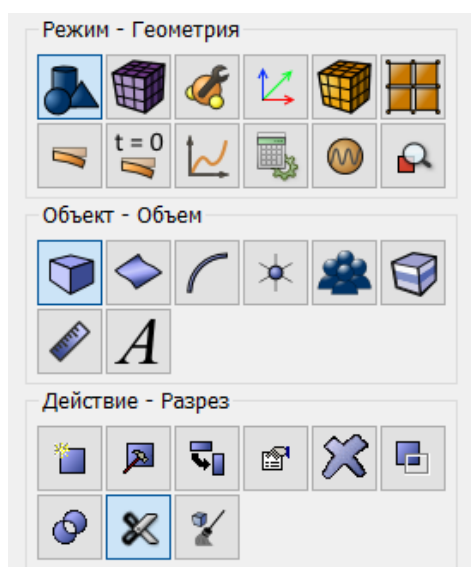
Python / Команды / Ошибки / История





10. Разрежьте объемы.

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

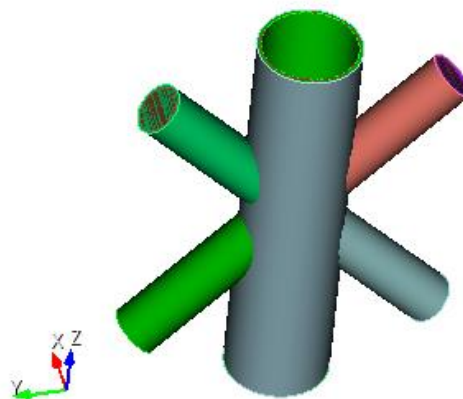


Из выпадающего списка **Лист**.

Укажите необходимые параметры:

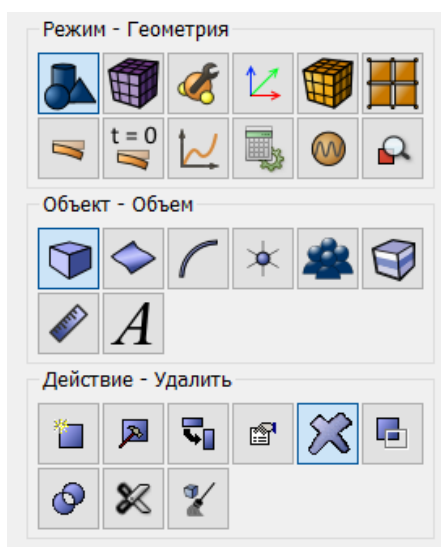
- ID объема(ов): 3 4 5 6;
- С телом (ID): 7.

Нажмите **Применить**.



## 11. Удалите объемы.

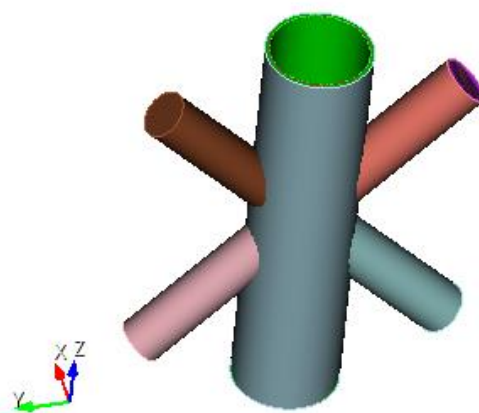
На панели команд выберите (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, Действие — **Удалить**).



Укажите необходимые параметры:

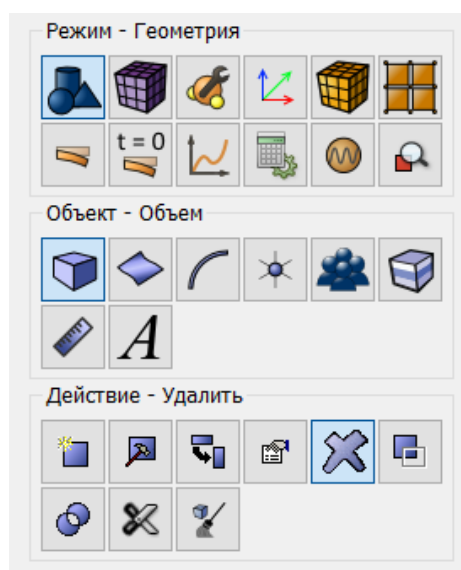
- ID объема(ов): 5 3 14 9.

Нажмите **Применить**.



## 12. Удалите объемы.

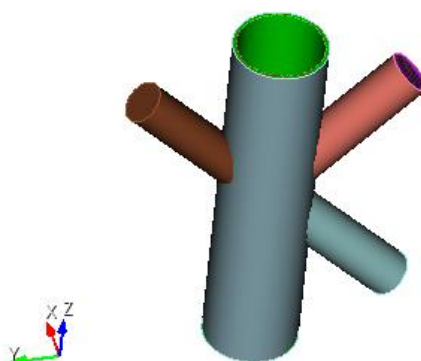
На панели команд выберите (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, Действие — **Удалить**).



Укажите необходимые параметры:

- ID объема(ов): 6 11.

Нажмите **Применить**.



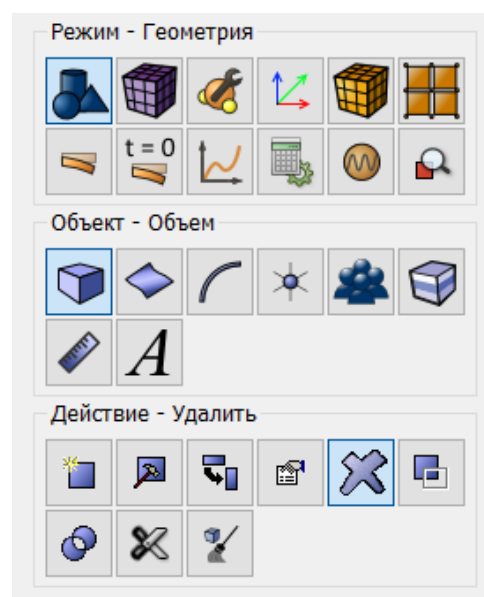
13. Удалите объемы.

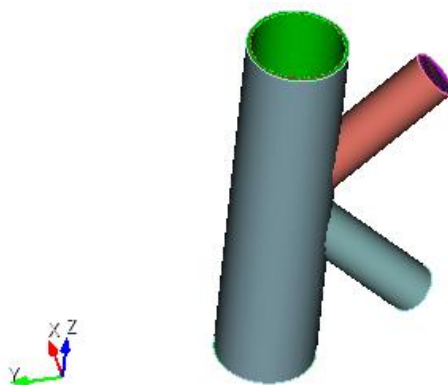
На панели команд выберите (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, Действие — **Удалить**).

Укажите необходимые параметры:

- ID объема(ов): 4 16.

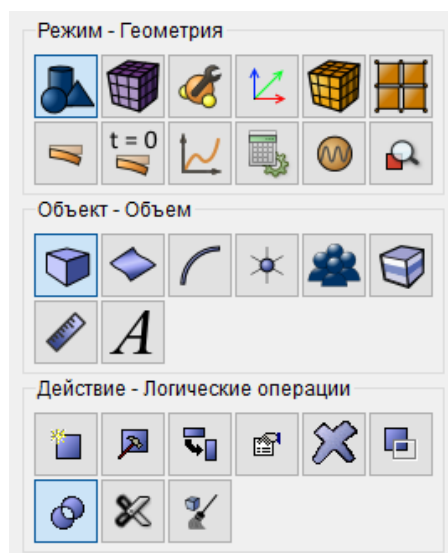
Нажмите **Применить**.





14. Вычтите цилиндр.

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

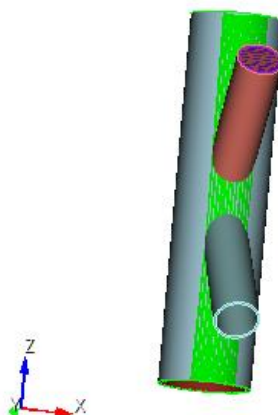


Из списка геометрических примитивов выберите **Вычесть**.

Задайте следующие параметры:

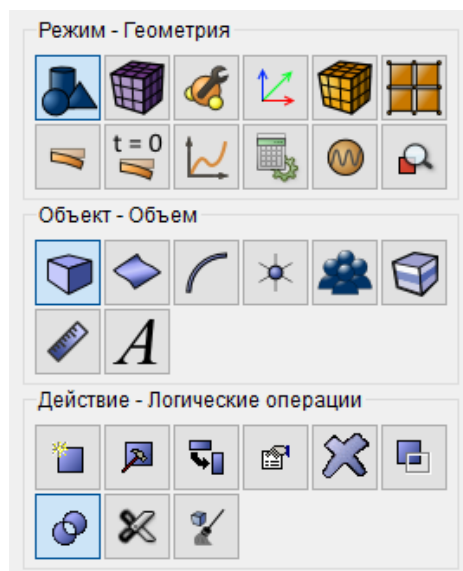
- ID объема(ов): 1 13;
- ID объема(ов): 15.

Нажмите **Применить**.



15. Вычтите цилиндр.

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

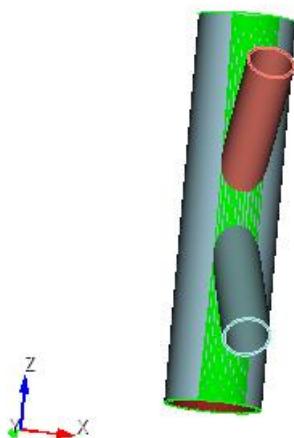


Из списка геометрических примитивов выберите **Вычесть**.

Задайте следующие параметры:

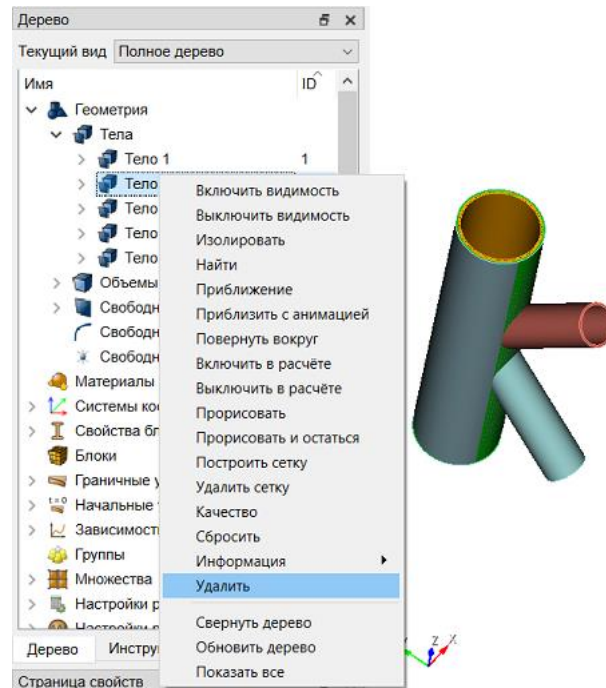
- ID объема(ов): 10 1;
- ID объема(ов): 12.

Нажмите **Применить**.



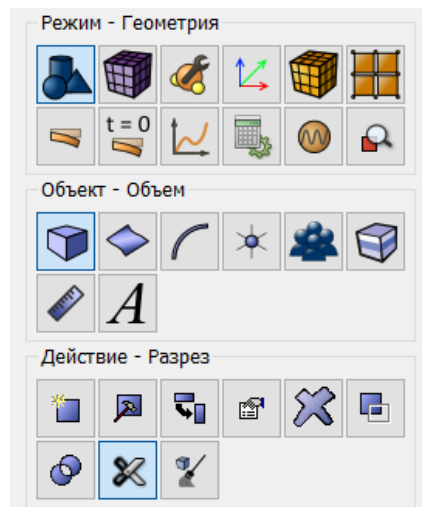
16. Удалите тело внутри цилиндра.

В дереве объектов выберите (**Геометрия** — **Тела** — **Тело 7**). Нажмите на него правой кнопкой мыши и выберите **Удалить**.



### 17. Разрежьте объемы.

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

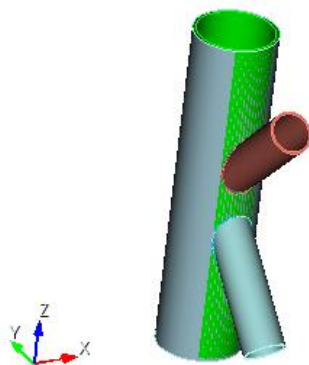


Из выпадающего списка выберите **Лист**.

Укажите необходимые параметры:

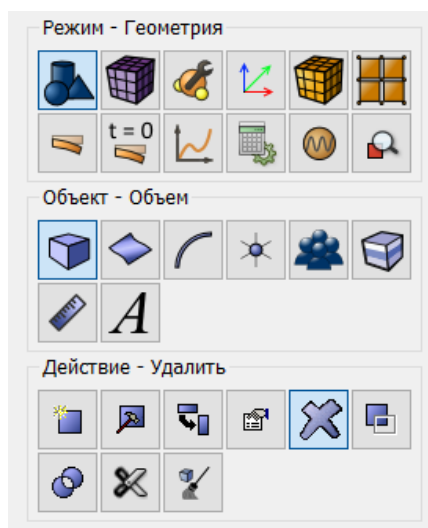
- ID объема(ов): 10 13;
- С телом (ID): 8.

Нажмите **Применить**.



18. Удалите объемы.

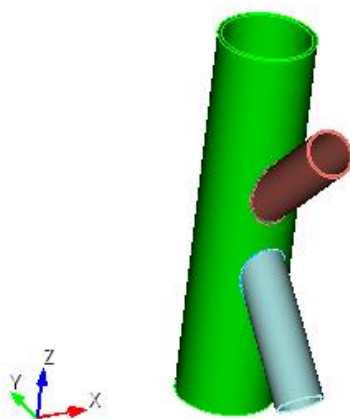
На панели команд выберите (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, Действие — **Удалить**).



Укажите необходимые параметры:

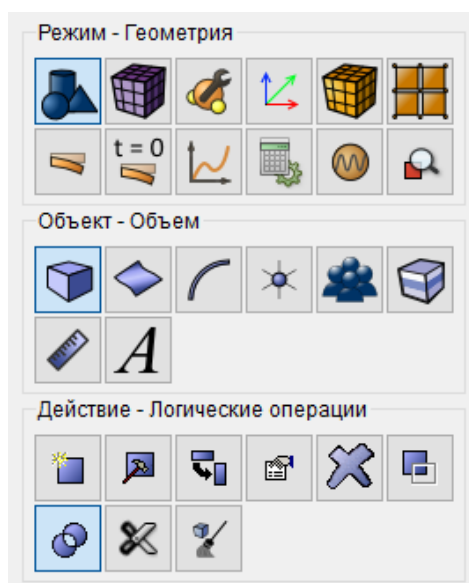
- ID объема(ов): 8.

Нажмите **Применить**.



### 19. Объедините объемы.

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

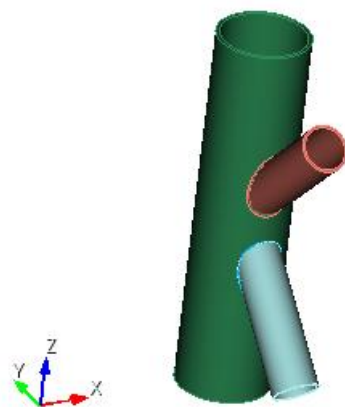


Из выпадающего списка выберите **Объединить**.

Укажите необходимые параметры:

- ID объема(ов): 17 1.

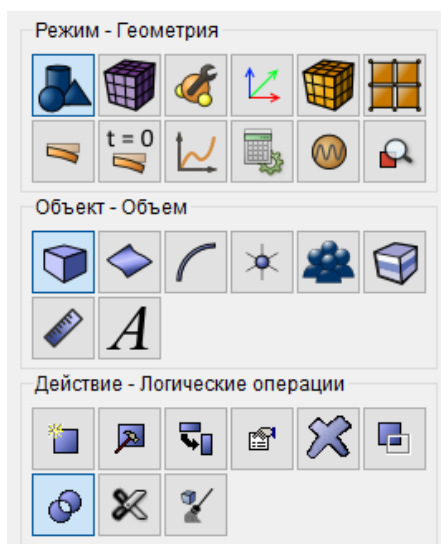
Нажмите **Применить**.



### 20. Объедините объемы.

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



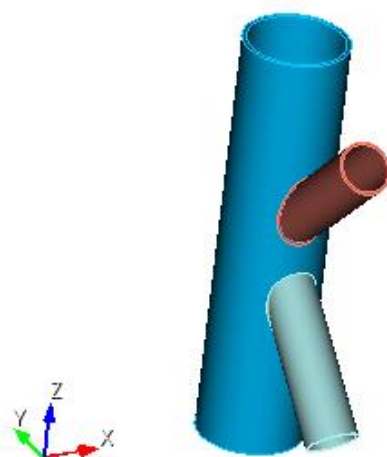


Из выпадающего списка выберите **Объединить**.

Укажите необходимые параметры:

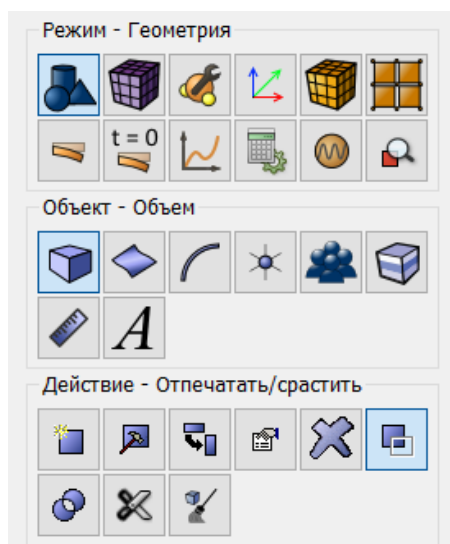
- ID объема(ов): 18 17.

Нажмите **Применить**.



21. Отпечатайте и срастите объемы.

На панели команд выберите (Режим — **Геометрия**, Объект — **Объем**, Действие — **Отпечатать/срастить**).



Из выпадающего списка выберите **Отпечатать и сростить**.

Укажите необходимые параметры:

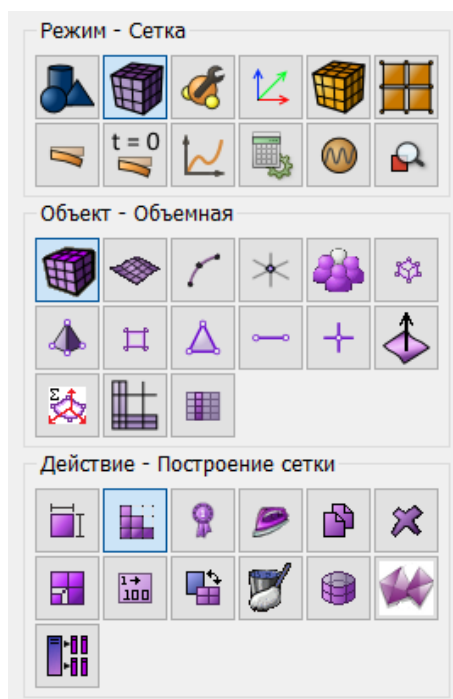
- ID объема(ов): all.

Нажмите **Применить**.

## ***Построение сетки***

1. Задайте параметры сетки.

На панели команд выберите (Режим — **Сетка**, Объект — **Объемная**, Действие — **Построение сетки**).



Из выпадающего списка выберите **Тетраэдральная**.

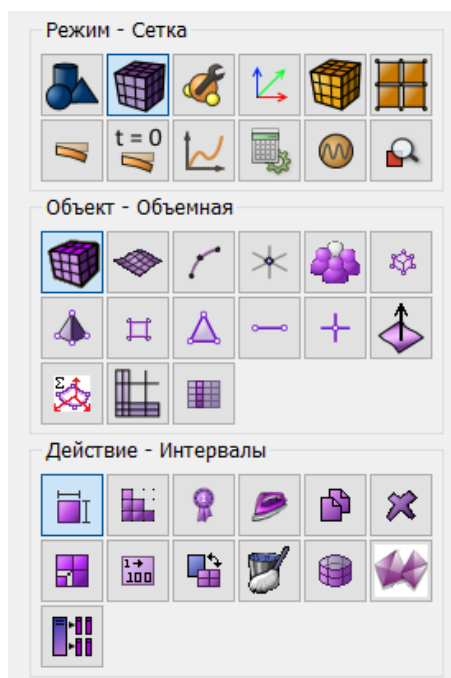
Укажите необходимые параметры:

- Выбор объемов: all.

Нажмите **Применить схему**.

2. Создайте сетку.

На панели команд выберите (Режим — **Сетка**, Объект — **Объемная**, Действие — **Интервалы**).

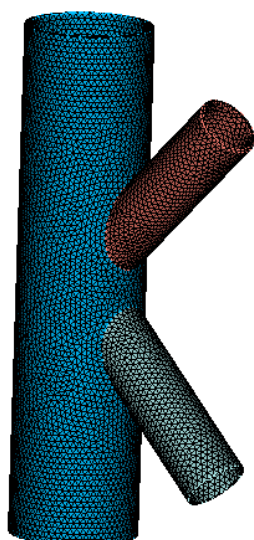


Из выпадающего списка выберите **Автоматический размер**.

Укажите необходимые параметры:

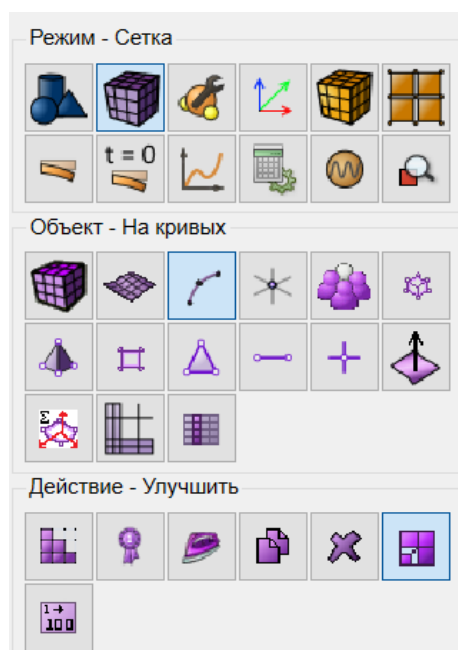
- Выбор объемов: all.
- Авторазмер: 4.

Нажмите **Задать размер**, **Построить сетку**.



### 3. Уточните сетку на кривой.

На панели команд выберите (Режим — **Сетка**, Объект — **На кривых**, Действие — **Улучшить**).

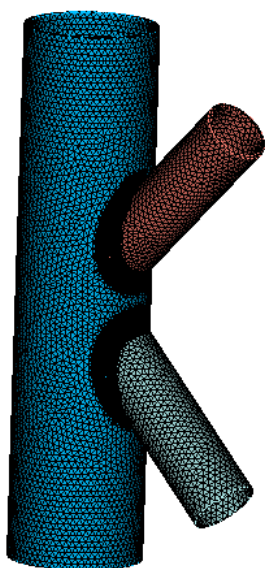


Из выпадающего списка выберите **Общее улучшение**.

Укажите необходимые параметры

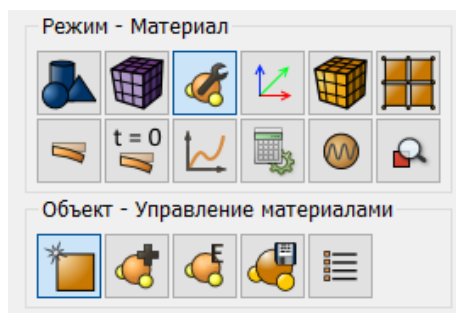
- ID кривой(ых): 47 43.
- Разделительные итерации: 2.
- Сгущение: 1.0.
- Глубина элемента: 3.

Нажмите **Применить**.



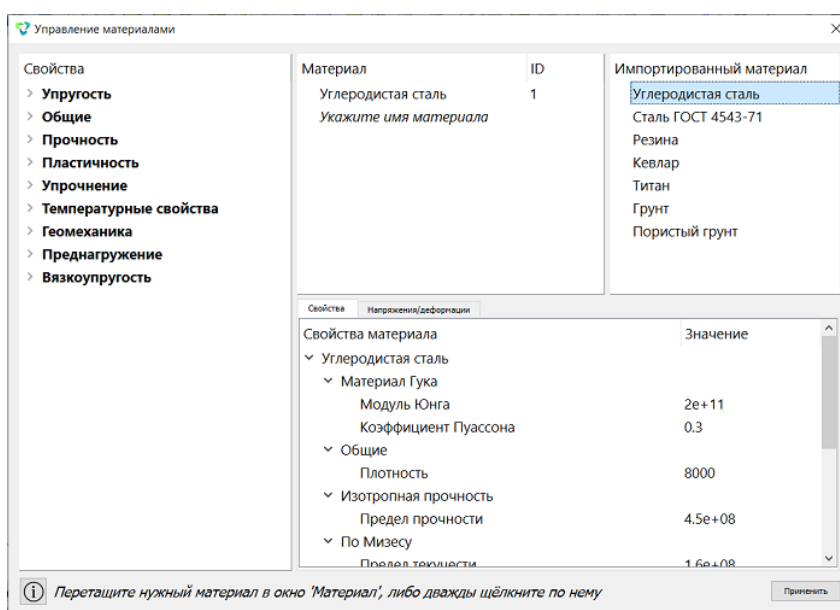
## Задание материала и свойств блоков

1. Задайте материал. На панели команд выберите (Режим — **Материал**, Объект — **Управление материалами**).

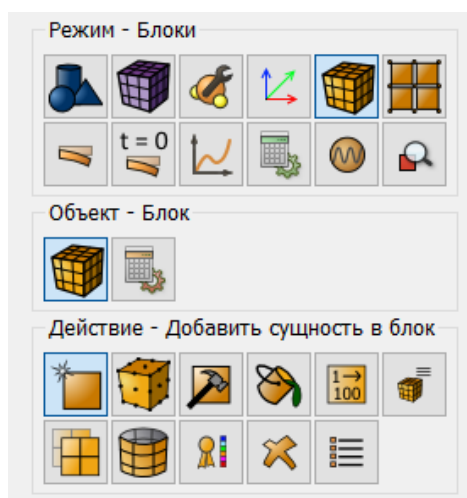


В колонке "Импортированный материал" дважды нажмите на **Углеродистая сталь**.

Нажмите **Применить**.



2. Создайте блок для модели. На панели команд выберите (Режим — **Блоки**, Объект — **Блок**, Действие — **Добавить сущность в блок**).



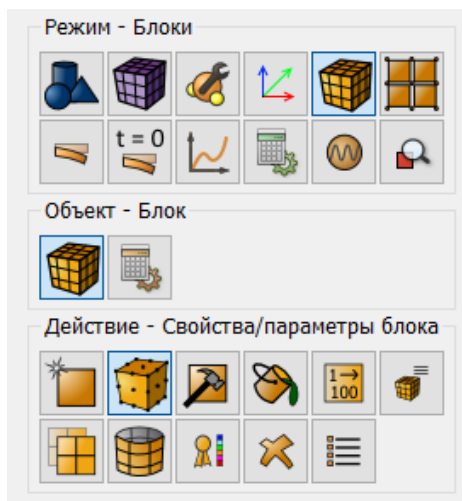
Задайте следующие параметры:

- Список сущностей: Объем;
- ID объекта(ов): all;

Нажмите **Применить**.

3. Задайте параметры для блока.

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



Задайте следующие параметры:

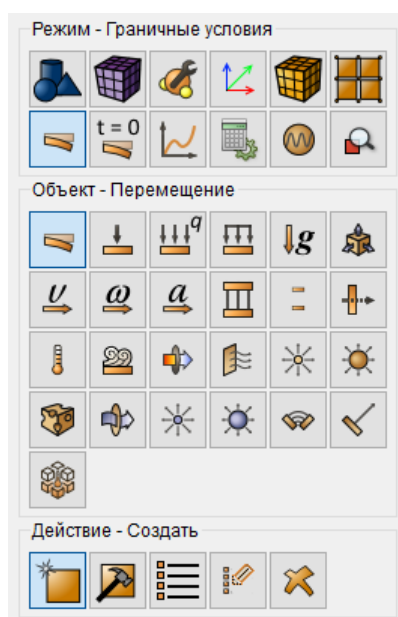
- ID блока(ов): 1;
- Категория: Объемное тело;
- Материал: material;
- Система координат: Глобальная декартова;
- Порядок: 1.

Нажмите **Применить**.

### ***Задание начальных и граничных условий***

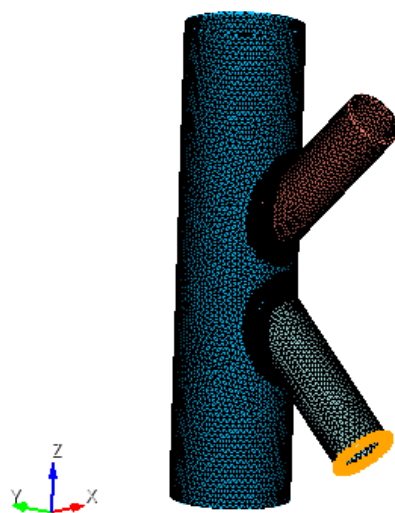
1. Закрепите модель в перемещениях.

На панели команд выберите (Режим — **Граничные условия**, Объект — **Перемещения**, Действие — **Создать**).



Задайте следующие параметры:

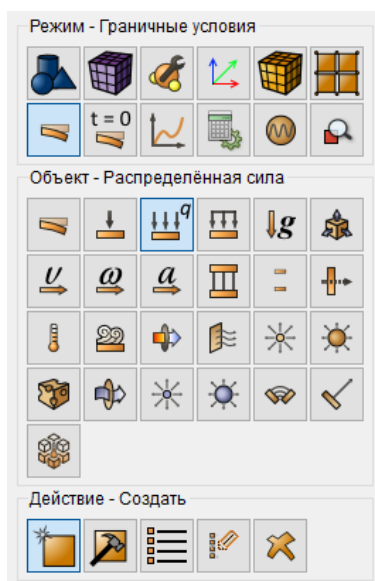
- Автоматическое присвоение ID;
- Список сущностей: Поверхность;
- ID объекта(ов): 57;
- Степени свободы: Все;
- Величина: 0.



Нажмите **Применить**.

2. Задайте распределенную силу.

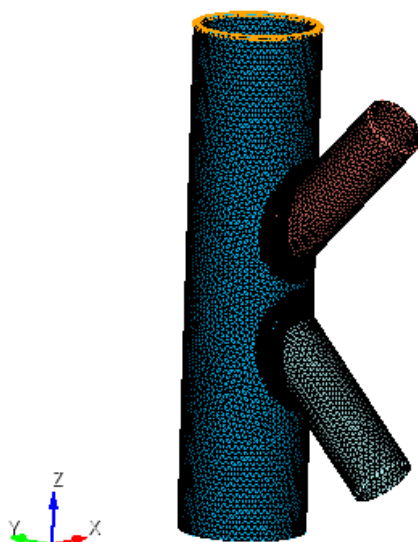
На панели команд выберите (Режим — **Граничные условия**, Объект — **Распределенная сила**, Действие — **Создать**).



Задайте следующие параметры:

- Автоматическое присвоение ID;
- Список сущностей: Поверхность;
- ID объектов: 9.
- Тип силы: Распределенная;
- Сила: 2000000;
- Вектор направления: X - 0, Y - 0, Z - 1.

Нажмите **Применить**.

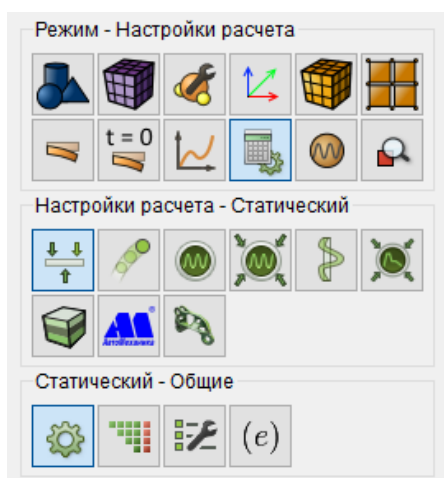


### *Запуск на расчет*

1. Задайте тип задачи, которую требуется решить.



На панели команд выберите (Режим — **Настройки расчета**, Настройки расчета — **Статический**, Статический — **Общие**).



Выберите:

- Размерность: 3D;
- Модель: Упругость.

На Панели команд нажмите **Применить**.

2. В появившемся окне выберите директорию, в которой будет сохранён результат

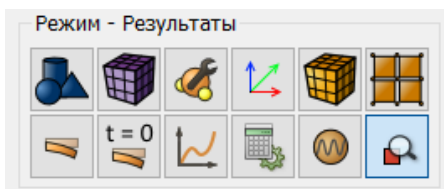
В случае успешно проведённого расчёта в консоли отобразится сообщение: “Calculation finished successfully at "date time"”.

## **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**).

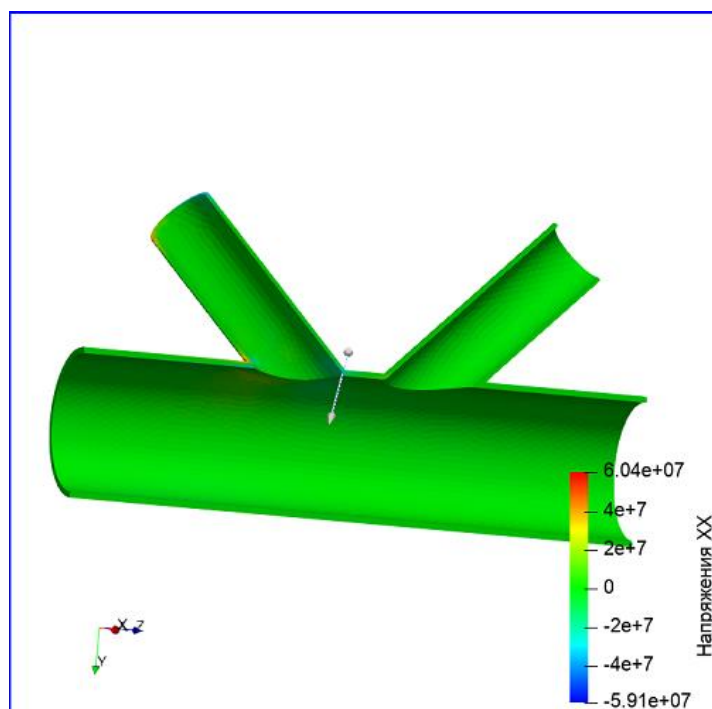


Появится окно **FidesysViewer**, в котором вы сможете ознакомиться с результатами расчёта.

2. Разделите модель на две части.

Примените фильтр "Срез". Для этого на панели команд выберите **Фильтры — Алфавитный указатель — Срез**.

В свойствах нажмите **Применить**.



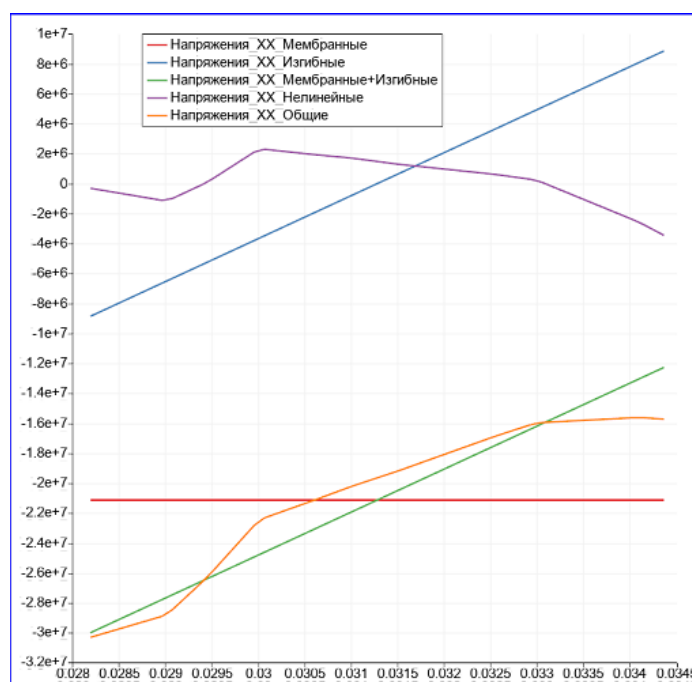
3. Отобразите график зависимости линеаризаций напряжения.

На панели команд выберите **Фильтры** — **Алфавитный указатель** — **Линеаризация напряжений/деформаций**. В свойствах введите параметры:

В свойствах введите необходимые параметры:

- Имя массива: Напряжения;
- Компонент массива для обработки: XX;
- Разрешение: 1000;
- Точка 1: -0.0188972 -0.122864 -0.0202038;
- Точка 2: 0.0328671 -0.0325662 -0.0561629.

Нажмите **Применить**.



### ***Использование консольного интерфейса***

Построение геометрии, генерацию сетки, задание граничных условий и материалов можно выполнить с использованием консольного интерфейса.



Запустите файл *linearization\_stress\_strain.jou*, выбрав на панели инструментов редактор журнала. В появившемся окне в главном меню выберите **Файл** → **Открыть** и откройте требуемый файл журнала.



## 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)