



Руководство пользователя



Программа ввода данных

Рассмотрены вопросы создания моделей в ПК «Универсальный механизм». Обсуждаются особенности описания различных компонент: графических объектов, тел, шарниров и силовых элементов различных типов

Оглавление

3. ПРОГРАММА ВВОДА ДАННЫХ	3-7
3.1. ПРОГРАММА ВВОДА ДАННЫХ: ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ.....	3-7
3.2. НАСТРОЙКИ ПРОГРАММЫ ВВОДА	3-9
3.2.1. Общие настройки программы ввода	3-9
3.2.2. Настройка процесса компиляции	3-11
3.2.3. Настройка путей к внешним подсистемам	3-13
3.2.4. Настройка путей к библиотекам пользователя	3-14
3.2.5. Настройка пути к CADlook	3-15
3.2.6. Управление библиотеками компонент	3-16
3.2.7. Создание отчета об ошибке	3-17
3.3. КОМАНДЫ ГЛАВНОГО МЕНЮ И ПАНЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ.....	3-18
3.3.1. Файл	3-18
3.3.2. Правка	3-20
3.3.3. Объект	3-21
3.3.4. Добавить	3-22
3.3.5. Инструменты	3-23
3.3.6. Помощь	3-24
3.3.7. Панель инструментов	3-24
3.4. КОНСТРУКТОР ОБЪЕКТА.....	3-25
3.4.1. Основные элементы конструктора	3-25
3.4.1.1. Дерево элементов объекта	3-27
3.4.1.2. Анимационное окно конструктора.....	3-29
3.4.1.2.1. Визуализация элементов объекта.....	3-29
3.4.1.2.2. Режимы анимационного окна.....	3-30
3.4.1.2.3. Оси координат, контекстное меню	3-31
3.4.1.2.4. Панель инструментов анимационного окна.....	3-33
3.4.1.2.5. Дополнительные возможности перемещения объекта с помощью мыши	3-34
3.4.2. Инспектор данных и особенности описания элементов объекта	3-35
3.4.2.1. Общие параметры и настройки объекта	3-35
3.4.2.1.1. Вкладка «Объект»	3-35
3.4.2.1.2. Вкладка «Настройки».....	3-37
3.4.2.1.3. Вкладка «Датчики/ЛСК»	3-38
3.4.2.1.4. Вкладка «Переменные».....	3-39
3.4.2.1.5. Вкладка «Кривые».....	3-40
3.4.2.1.6. Вкладка «Атрибуты».....	3-41
3.4.2.2. Вкладки списков однотипных элементов	3-42
3.4.2.3. Вспомогательные вкладки инспектора	3-43
3.4.2.3.1. Внешние связи	3-43
3.4.2.3.2. Индексы.....	3-44
3.4.2.3.3. Протокол	3-45
3.4.2.3.4. Координаты	3-46
3.4.2.4. Типы данных	3-48
3.4.2.4.1. Численные константы	3-48
3.4.2.4.2. Идентификаторы	3-48
3.4.2.4.3. Стандартные функции и константы.....	3-50
3.4.2.4.4. Функция инерционных параметров bodyinertia.....	3-51
3.4.2.4.5. Постоянные символьные выражения.....	3-52
3.4.2.4.6. Выражение – явная функция	3-52
3.4.2.4.6.1. Функция времени	3-53
3.4.2.4.6.2. Функции описания скалярных сил и моментов типа Выражение	3-53
3.4.2.4.6.3. Функции описания кривых.....	3-54
3.4.2.4.6.4. Функции задания параметрического графического элемента.....	3-54
3.4.2.4.6.5. Задание Z –поверхностей контактных взаимодействий	3-54
3.4.2.4.6.6. Функции описания профильного графического элемента	3-54
3.4.2.4.7. Кинематические функции.....	3-55

3.4.2.4.7.1. Функция coordinate.....	3-56
3.4.2.4.7.2. Функции dm, dx, dy, dz	3-56
3.4.2.4.7.3. Функции vm, vx, vy, vz, vt	3-58
3.4.2.4.7.4. Функции ax, ay, az	3-59
3.4.2.4.7.5. Функция angle.....	3-61
3.4.2.4.7.6. Функции yaw, pitch, roll (самолетные углы)	3-62
3.4.2.4.7.7. Функции psi, theta, phi (углы Эйлера)	3-63
3.4.2.4.7.8. Функции wm, wx, wy, wz.....	3-63
3.4.2.4.7.9. Функция incang.....	3-64
3.4.2.4.7.10. Функции accm, accx, accy, accz	3-64
3.4.2.4.7.11. Функции wdtm, wdtx, wdy, wdz	3-65
3.4.2.4.8. Список переменных	3-67
3.4.2.4.9. Функция Integral и дифференциальные уравнения пользователя	3-68
3.4.2.4.10. Внешние функции	3-70
3.4.2.4.11. Задание функций времени с помощью текстовых файлов	3-73
3.4.2.4.12. Расписания как способ задания функций времени.....	3-75
3.4.2.4.13. Редактор выражений	3-76
3.4.3. Список идентификаторов	3-78
3.4.3.1. Окно списка идентификаторов.....	3-78
3.4.3.2. Управление идентификаторами	3-78
3.4.3.3. Закладки идентификаторов.....	3-79
3.4.3.4. Режим обновления объекта после модификации идентификаторов	3-80
3.4.3.5. Команды контекстного меню списка идентификаторов	3-80
3.4.3.6. Добавление новых идентификаторов через поля ввода данных	3-82
3.4.3.7. Переход к идентификатору из поля данных.....	3-83
3.4.3.8. Чтение и запись идентификаторов	3-84
3.4.4. Редактор плоских кривых.....	3-86
3.4.4.1. Режимы редактора кривых.....	3-86
3.4.4.2. Панель инструментов	3-86
3.4.4.3. Добавление, позиционирование и удаление отдельных точек на кривой	3-86
3.4.4.4. Выделение, копирование, удаление и перемещение фрагментов и кривых.....	3-87
3.4.4.5. Замыкание кривой	3-88
3.4.4.6. Сглаживание.....	3-89
3.4.4.7. Использование буфера обмена для создания кривой	3-89
3.4.5. Использование клавиш быстрого доступа.....	3-90
3.4.5.1. Конструктор	3-90
3.4.5.2. Инспектор.....	3-90
3.4.5.3. Анимационное окно	3-90
3.4.5.4. Страница инспектора со списком.....	3-90
3.5. ВВОД ДАННЫХ	3-92
3.5.1. Порядок ввода данных.....	3-92
3.5.2. Методы добавления элементов к модели	3-93
3.5.2.1. Прямое создание отдельного элемента.....	3-93
3.5.2.2. Добавление отдельного типизированного элемента с помощью команды основного меню ...	3-93
3.5.2.3. Добавление элементов с помощью визуальных компонент	3-94
3.5.2.4. Добавление отдельного типизированного элемента с помощью дерева элементов.....	3-94
3.5.2.5. Вставка элемента из другой модели с помощью буфера обмена	3-94
3.5.2.6. Вставка элемента из другой модели с помощью файла	3-95
3.5.2.7. Слияние моделей	3-95
3.5.3. Ввод подсистем	3-96
3.5.3.1. Создание подсистемы.....	3-97
3.5.3.2. Преобразование модели в подсистему.....	3-98
3.5.3.3. Настройка связей с подсистемами. Использование внешних элементов	3-99
3.5.3.3.1. Внешние элементы. Автоопределение	3-99
3.5.3.3.2. Назначение внешним элементам второго тела	3-100
3.5.3.3.3. Использование фиктивного тела вместо внешних элементов	3-102
3.5.4. Стандартный интерфейс задания положения локальной системы координат	3-105
3.5.5. Назначение графического образа элементу объекта.....	3-108
3.5.6. Назначение графического образа силовым элементам и шарниру в виде невесомого стержня ...	3-109
3.5.7. Ввод кривых	3-111
3.5.7.1. Создание новой кривой	3-112
3.5.7.2. Задание кривой аналитическим выражением.....	3-115

3.5.7.3. Задание кривой набором точек в плоскости (точки 2D)	3-116
3.5.7.4. Задание кривой набором точек в пространстве (B-сплайн 3D)	3-118
3.5.8. Ввод графических объектов	3-122
3.5.8.1. Списки графических объектов и графических элементов	3-122
3.5.8.2. Ввод графических элементов (ГЭ)	3-124
3.5.8.2.1. Полиэдр	3-125
3.5.8.2.2. Эллипс	3-126
3.5.8.2.3. Параллелепипед	3-127
3.5.8.2.4. Винтовая линия	3-128
3.5.8.2.5. Эллипсоид	3-129
3.5.8.2.6. Конус	3-130
3.5.8.2.7. Параметрический	3-131
3.5.8.2.8. Профильный	3-136
3.5.8.2.9. Z-поверхность	3-140
3.5.8.2.10. Пружина	3-142
3.5.8.2.11. Звено	3-143
3.5.8.2.12. Пластина	3-144
3.5.8.2.13. Графический элемент типа «Ссылка на ГО»	3-144
3.5.8.2.14. Графический элемент ASC, импортированный из CAD программы	3-146
3.5.8.3. Раскраска ГЭ	3-149
3.5.8.4. Положение и ориентация ГЭ	3-150
3.5.8.5. Инерционные характеристики материала ГЭ	3-151
3.5.8.6. Редактор кривых	3-152
3.5.8.7. Добавление текстур к модели	3-154
3.5.9. Ввод тел	3-156
3.5.9.1. Графический образ тела	3-156
3.5.9.1.1. Назначение графического образа телу	3-156
3.5.9.1.2. Режимы анимационного окна и изображение тела	3-156
3.5.9.1.3. Управление изображением тела	3-158
3.5.9.1.3.1. Режим невидимости	3-158
3.5.9.1.3.2. Проволочный режим	3-159
3.5.9.1.4. Переназначение графического образа тела в программе моделирования	3-160
3.5.9.2. Инерционные параметры	3-162
3.5.9.3. Внутренний (скрытый) шарнир тела	3-165
3.5.9.4. Вкладка «Положение» тела	3-167
3.5.9.5. Быстрый доступ к элементам, связанным с телом	3-167
3.5.9.6. Точки связи	3-168
3.5.9.6.1. Добавление обычных точек связи	3-169
3.5.9.6.2. Добавление ориентированных точек связи	3-171
3.5.9.6.3. Добавление векторов к телам	3-174
3.5.9.7. Тело «Ground»	3-176
3.5.9.8. 3D контакт	3-177
3.5.10. Ввод шарниров	3-181
3.5.10.1. Визуализация шарниров	3-181
3.5.10.2. Вес шарнира	3-181
3.5.10.3. Преобразование типа шарнира	3-182
3.5.10.4. Статус шарнира	3-182
3.5.10.4.1. Шарнир в дереве и разрезанный шарнир. Замыкание разрезанных шарниров	3-182
3.5.10.4.2. Удаленный шарнир	3-185
3.5.10.4.3. Шарнир-фиксация	3-186
3.5.10.4.4. Шарнир с отрицательным направлением	3-186
3.5.10.5. Ввод вращательного и поступательного шарниров	3-188
3.5.10.6. Ввод шарнира с шестью степенями свободы	3-191
3.5.10.7. Ввод обобщенного шарнира	3-193
3.5.10.7.1. Элементарное преобразование t_c	3-194
3.5.10.7.2. Элементарное преобразование r_c	3-194
3.5.10.7.3. Элементарные преобразования t_v , r_v	3-195
3.5.10.7.4. Элементарные преобразования t_t , r_t	3-196
3.5.10.8. Ввод кватернионного шарнира	3-197
3.5.10.9. Ввод шарнира в виде невесомого стержня	3-198
3.5.10.10. Ввод сопряжений	3-199
3.5.10.11. Ввод шарнира равных угловых скоростей	3-201
3.5.11. Общие черты ввода параметров шарниров и силовых элементов	3-202

3.5.11.1. Назначение элементу пары тел.....	3-202
3.5.11.2. Выбор типа элемента.....	3-203
3.5.11.3. Назначение точек присоединения и локальных систем координат	3-203
3.5.11.4. Визуальное назначение тел, точек присоединения и локальных систем координат	3-203
3.5.11.5. Автоопределение	3-204
3.5.11.6. Преобразование координат	3-204
3.5.12. Ввод силовых элементов	3-206
3.5.12.1. Ввод силы тяжести	3-206
3.5.12.2. Описание скалярных сил.....	3-207
3.5.12.2.1. Линейный силовой элемент.....	3-208
3.5.12.2.2. Фрикционный и упруго-фрикционный элементы	3-209
3.5.12.2.3. Упруго-фрикционный элемент 2.....	3-210
3.5.12.2.4. Упруго-вязкий элемент	3-211
3.5.12.2.5. Нелинейный упруго-вязкий элемент	3-212
3.5.12.2.6. Поточечное (числа) задание силы.....	3-214
3.5.12.2.6.1. Зависимость силы от x, v, t	3-215
3.5.12.2.6.2. Задание индикаторных диаграмм	3-218
3.5.12.2.7. Поточечное (выражения) задание силы.....	3-219
3.5.12.2.8. Внешняя функция.....	3-221
3.5.12.2.9. Выражение	3-222
3.5.12.2.10. Список характеристик.....	3-223
3.5.12.2.11. Рессора Фанчера	3-223
3.5.12.2.12. Гистерезис	3-225
3.5.12.2.13. Удар	3-228
3.5.12.2.14. Храповой механизм.....	3-229
3.5.12.2.15. Библиотека DLL	3-230
3.5.12.2.16. Ввод списка сил	3-231
3.5.12.3. Ввод биполярных силовых элементов	3-232
3.5.12.4. Ввод скалярного момента	3-233
3.5.12.5. Ввод обобщенных линейных силовых элементов	3-235
3.5.12.5.1. Общая информация	3-235
3.5.12.5.2. Особенности задания упругого элемента.....	3-236
3.5.12.5.3. Задание билинейного силового элемента.....	3-238
3.5.12.6. Ввод контактных силовых элементов.....	3-239
3.5.12.6.1. Коэффициент трения при контактном взаимодействии	3-240
3.5.12.6.2. Контактный силовой элемент типа Точки-Плоскость	3-241
3.5.12.6.2.1. Задание геометрии контакта	3-241
3.5.12.6.2.2. Близкий контакт	3-243
3.5.12.6.2.3. Односторонний и двухсторонний (удерживающий) контакт	3-243
3.5.12.6.2.4. Задание границ контактной области на плоскости	3-244
3.5.12.6.2.5. Запирающий контакт	3-245
3.5.12.6.3. Контакт точка-кривая.....	3-246
3.5.12.6.4. Контакт окружность – цилиндр с криволинейной осью	3-247
3.5.12.6.5. Контактный силовой элемент типа Сфера-Плоскость	3-249
3.5.12.6.6. Контактный силовой элемент типа Окружность-Плоскость.....	3-250
3.5.12.6.7. Контактный силовой элемент типа Сфера-Сфера	3-251
3.5.12.6.8. Контактные силовые элементы типов Точки / Сфера / Окружность – Z-поверхность ..	3-252
3.5.12.7. T-силы.....	3-254
3.5.12.7.1. Задание силы и момента с помощью выражений	3-254
3.5.12.7.2. Задание силы – функции времени с помощью файла	3-255
3.5.12.8. Ввод специальных сил.....	3-256
3.5.12.8.1. Ввод зубчатого зацепления.....	3-256
3.5.12.8.2. Цепная передача	3-258
3.5.12.8.3. Комбинированное трение	3-260
3.5.12.8.3.1. Создание элемента	3-260
3.5.12.8.3.2. Выбор пары тел и задание точек прикрепления.....	3-261
3.5.12.8.3.3. Задание оси элемента.....	3-261
3.5.12.8.3.4. Задание графического образа.....	3-261
3.5.12.8.3.5. Задание модели осевой силы.....	3-262
3.5.12.8.3.6. Параметры силы трения	3-263
3.5.12.8.3.7. Выбор режима работы элемента	3-264
3.5.12.8.4. Кулачок.....	3-267
3.5.12.8.5. Пружина	3-269

3.5.12.8.6. Зубчатая рейка	3-271
3.5.12.8.7. Сайлент-блок	3-273
3.5.12.8.7.1. Задание параметров линейного и поточечного сайлент-блока	3-274
3.5.12.8.7.2. Задание параметров обобщенного сайлент-блока.....	3-276
3.5.12.8.8. Пневматические рессоры.....	3-277
3.6. РАБОТА С ВИЗУАЛЬНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ	3-278
3.6.1. Основные понятия	3-278
3.6.2. Список компонент	3-280
3.6.3. Режим автоматического позиционирования и режим пользователя визуального добавления компонент	3-280
3.6.4. Использование стандартной библиотеки визуальных компонент.....	3-281
3.6.4.1. Визуальное добавление биполярных силовых элементов	3-282
3.6.5. Создание библиотек визуальных компонент.....	3-286
3.6.5.1. Мастер компонент	3-286
3.6.5.2. Графический образ кнопки	3-287
3.7. СОХРАНЕНИЕ ОБЪЕКТА	3-288
3.8. СИНТЕЗ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ	3-289
3.8.1. Численно-итерационный метод.....	3-290
3.8.2. Символьный метод	3-290
3.8.3. Компиляция уравнений движения.....	3-291
3.9. ИМПОРТ ДАННЫХ ИЗ CAD ФОРМАТОВ	3-293
3.9.1. UM CAD формат usf.....	3-293
3.9.2. Формат umd описания модели, импортированной из CAD	3-293
3.9.3. Доработка моделей после конвертации из CAD	3-294
3.9.4. Чтение файлов формата 3ds	3-295

3. Программа ввода данных

3.1. Программа ввода данных: общая информация

Программа описания объекта (**UM Input**) предназначена для создания, корректировки моделей UM, а также для возможного синтеза уравнений движения в символьной форме и их компиляции.

Основными элементами программы являются (рис. 3.1)

- основное меню команд, п. 3.3. "Команды главного меню и панель управления", с. 3-18;
- панель инструментов с кнопками, дублирующими наиболее часто используемые команды основного меню;
- набор закладок с типовыми элементами (компонентами) для визуального конструирования простых объектов (см. п. 3.6. "Работа с визуальными компонентами", с. 3-278);
- конструктор объектов – средство ввода и корректировки параметров моделируемых объектов, п. 3.4. "Конструктор объекта", с. 3-25.

Программа является многозадачной, то есть позволяет одновременно открывать несколько конструкторов с разными объектами. *Активным* является объект, окно конструктора которого расположено поверх конструкторов остальных объектов.

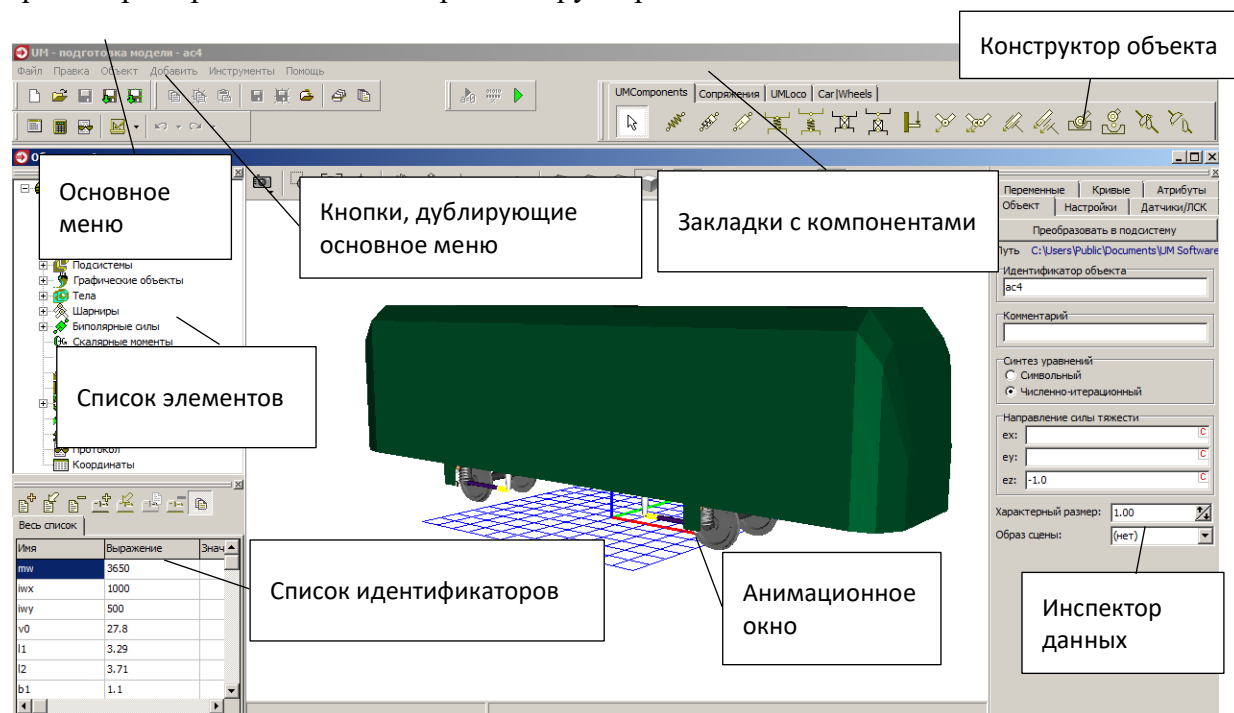


Рис. 3.1. Общий вид программы ввода UM Input

Для выбора активного объекта из списка открытых моделей используется Список окон, рис. 3.2. Для вызова списка окон используется команда меню Инструменты | Список окон или сочетание клавиш Alt+0.

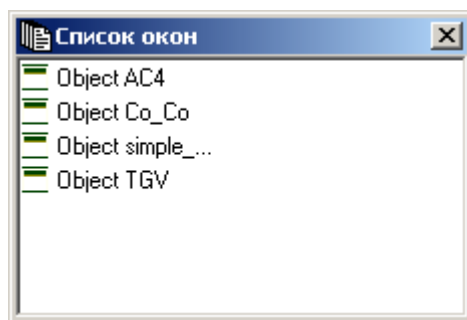


Рис. 3.2. Список окон, в том числе открытых объектов

3.2. Настройки программы ввода

Для изменения настроек программы ввода:

- Запустите программу ввода данных **UM Input**.
- Вызовите окно настройки параметров программы (пункт основного меню **Инструменты | Настройки**).

При выходе по кнопке **Принять** данные, введенные на закладках окна, заносятся в реестр локального компьютера.

3.2.1. Общие настройки программы ввода

Закладка **Общие** (рис. 3.3) содержит следующие настройки:

- **Нулевая масса тела является ошибкой ввода**

Если данная настройка включена, то моделирование объекта становится невозможным до тех пор, пока всем телам не будет установлена ненулевая масса (п. 3.5.9.1.4. "Переназначение графического образа тела в программе моделирования", с. 3-160). Соответствующее сообщение об ошибке посылается в протокол (п. 3.8. "Синтез уравнений движения", с. 3-289). Если настройка выключена, то в протокол посылается предупреждение. В обычном состоянии настройка выключена (при моделировании динамики рельсовых экипажей опция игнорируется) и может быть полезна только для начинающих пользователей, чтобы избежать ошибок, связанных с вырождением матрицы масс объекта в процессе моделирования динамики.

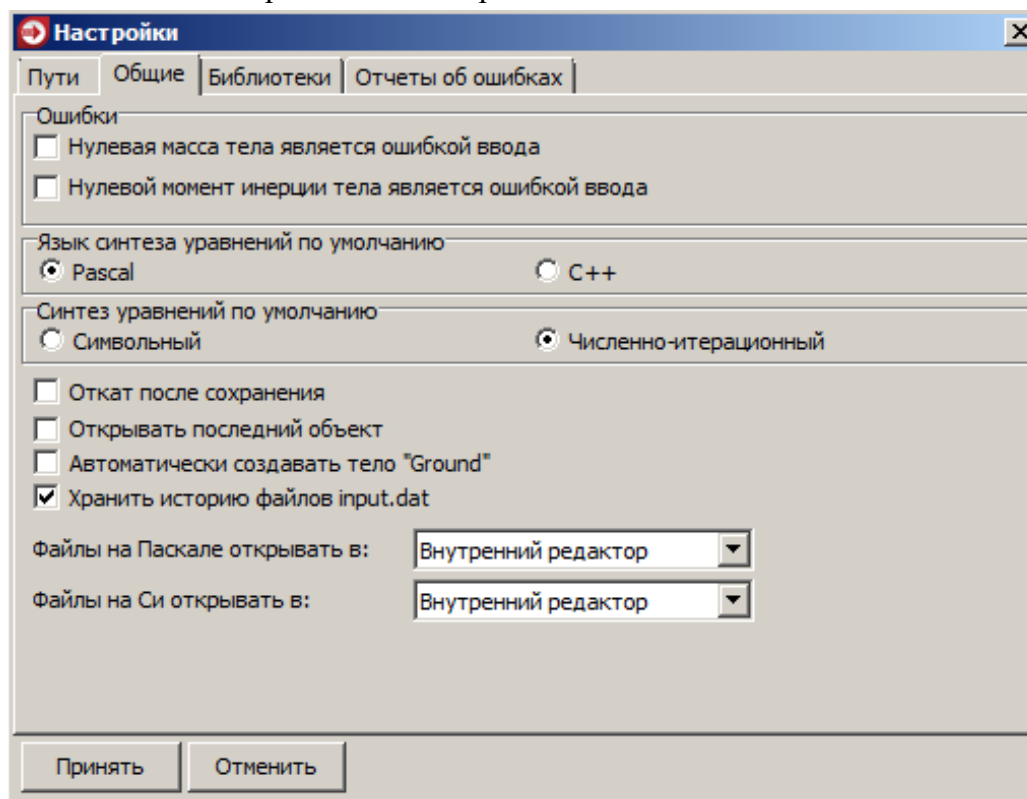


Рис. 3.3. Параметры общих настроек UM

- **Нулевой момент инерции тела является ошибкой ввода**

Если данная настройка включена, то моделирование объекта становится невозможным до тех пор, пока всем телам не будет установлена ненулевые моменты инерции (п. 3.5.9.1.4. "*Переназначение графического образа тела в программе моделирования*", с. 3-160). Соответствующее сообщение об ошибке посылается в протокол (п. 3.8. "*Синтез уравнений движения*", с. 3-289) Если настройка выключена, то в протокол посылается предупреждение. (см. также комментарии к предыдущей настройке).

- **Язык синтеза уравнений по умолчанию**

Настройка учитывается, если для текущего объекта установлен синтез уравнений в символьной форме, п. 3.8. "*Синтез уравнений движения*", с. 3-289. Здесь выбирается язык программирования, на котором синтезируются уравнения движения, и, соответственно, выполняется программирование в среде УМ (см. [Главу 5](#)). Выбор зависит от наличия соответствующего компилятора (см. п. 3.8.2. "*Символьный метод*", с. 3-290).

- **Синтез уравнений движения по умолчанию**

При создании нового объекта устанавливается тип синтезатора уравнений:

Символьный – при создании нового объекта уравнения генерируются в файлах на выбранном языке;

Численно-итерационный – уравнения генерируются непосредственно при численном моделировании движения на каждом шаге интегрирования.

Для конкретного объекта может быть выбран свой метод синтеза уравнений, п. 3.4.2.1.1. "*Вкладка «Объект»*", с. 3-35.

- **Откат после сохранения**

Если опция отключена, то список последних изменений удаляется после выполнения операции сохранения данных.

- **Открывать последний объект**

В случае включенной настройки при запуске программы ввода данных автоматически открывается последний активный объект предыдущей сессии.

- **Автоматически создавать тело «Ground»**

При включенной опции в каждом вновь создаваемом объекте автоматически генерируется тело Ground, жестко связанное с СК0, п. 3.5.9.7. "*Тело «Ground»*", с. 3-176.

- **Файлы на Паскале открывать в...**

Позволяет выбрать пользователю программу редактор для программирования в среде на языке Паскаль. Настройка учитывается, если для текущего объекта установлен синтез уравнений в символьной форме, п. 3.8. "*Синтез уравнений движения*", с. 3-289.

- **Файлы на Си открывать в...**

Позволяет выбрать пользователю программу редактор для программирования в среде на языке Си. Настройка учитывается, если для текущего объекта установлен синтез уравнений в символьной форме, п. 3.8. "*Синтез уравнений движения*", с. 3-289.

3.2.2. Настройка процесса компиляции

Настройка учитывается, только если для текущего объекта пользователем установлен **синтез уравнений в символьной форме**, п. 3.8. *"Синтез уравнений движения"*, с. 3-289. В данном случае на базе файлов уравнений движения должна быть создана динамическая библиотека (UMTask64.dll) в результате компиляции уравнений с использованием внешнего компилятора. Для этого перед первой компиляцией уравнений движения после инсталляции UM следует настроить пути к файлам, необходимым для компиляции.

В зависимости от используемого языка синтеза уравнений движения настройте пути к компилятору и библиотечным файлам.

Delphi

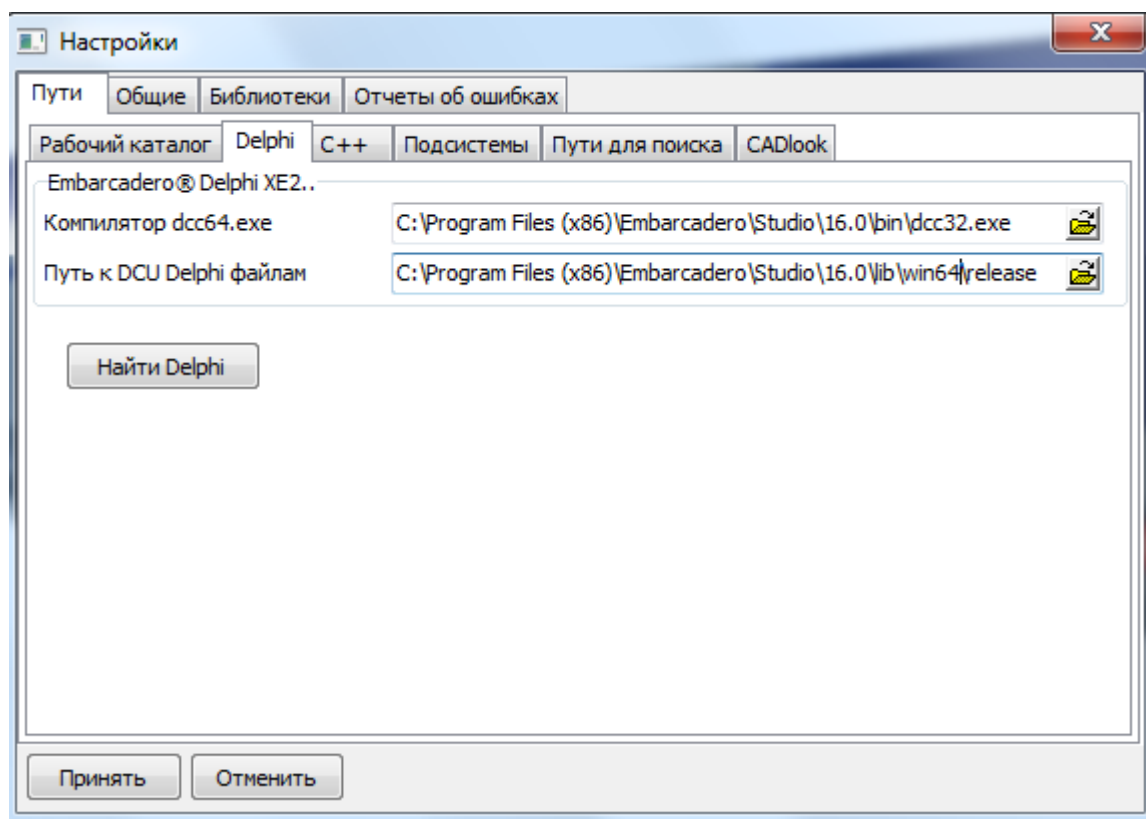



Рис. 3.4. Диалоговое окно настроек программы ввода

Если на данном компьютере установлен Embarcadero Delphi XE2 и выше, то для настроек путей достаточно щелкнуть по кнопке **Найти Delphi** (рис. 3.4). Если нет, но в локальной сети имеется компьютер с установленным Delphi, то пути следует установить “вручную”, для чего с использованием кнопок  в правых частях полей, указывающих пути, найдите:

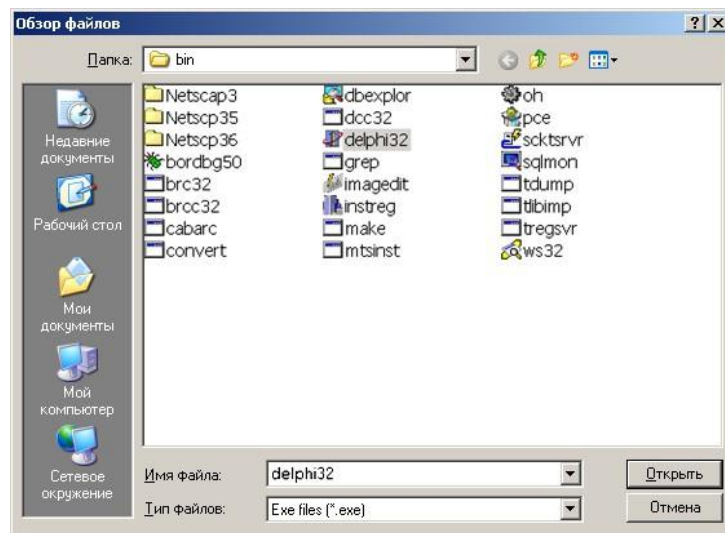


Рис. 3.5. Стандартное окно выбора файлов

- файл компилятора командной строки Delphi: dcc64.exe (рис. 3.5);

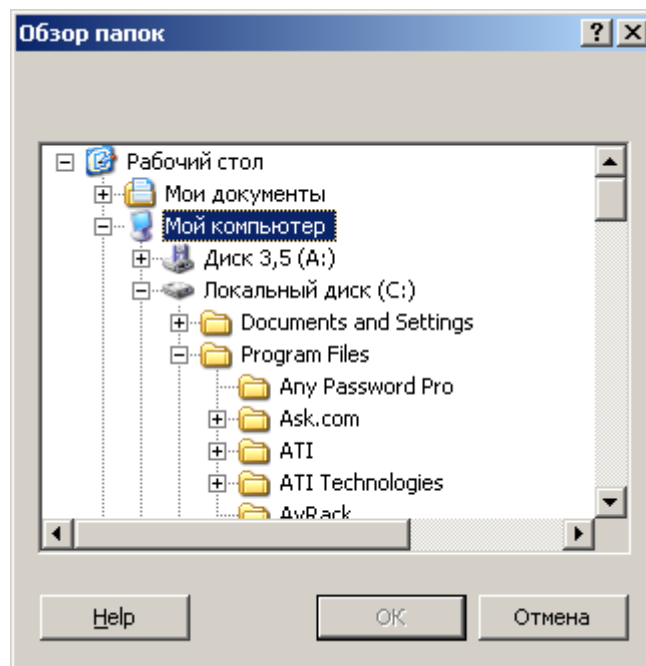


Рис. 3.6. Стандартное окно выбора папки

- каталог, содержащий библиотечные файлы Delphi (dcsu-файлы, рис. 3.6).

3.2.3. Настройка путей к внешним подсистемам

Пути к внешним подсистемам используются, только если версия UM включает модуль *UM Subsystems*. Список путей вносится на вкладку **Пути | Подсистемы** (рис. 3.7), запоминается в реестре компьютера и используется для поиска DLL и других файлов внешних подсистем, п. 3.5.3. "*Ввод подсистем*", с. 3-96.

Замечание. Следует выбрать путь к каталогу, содержащему модель – внешнюю подсистему, то есть не следует включать в путь **имя самой подсистемы**.

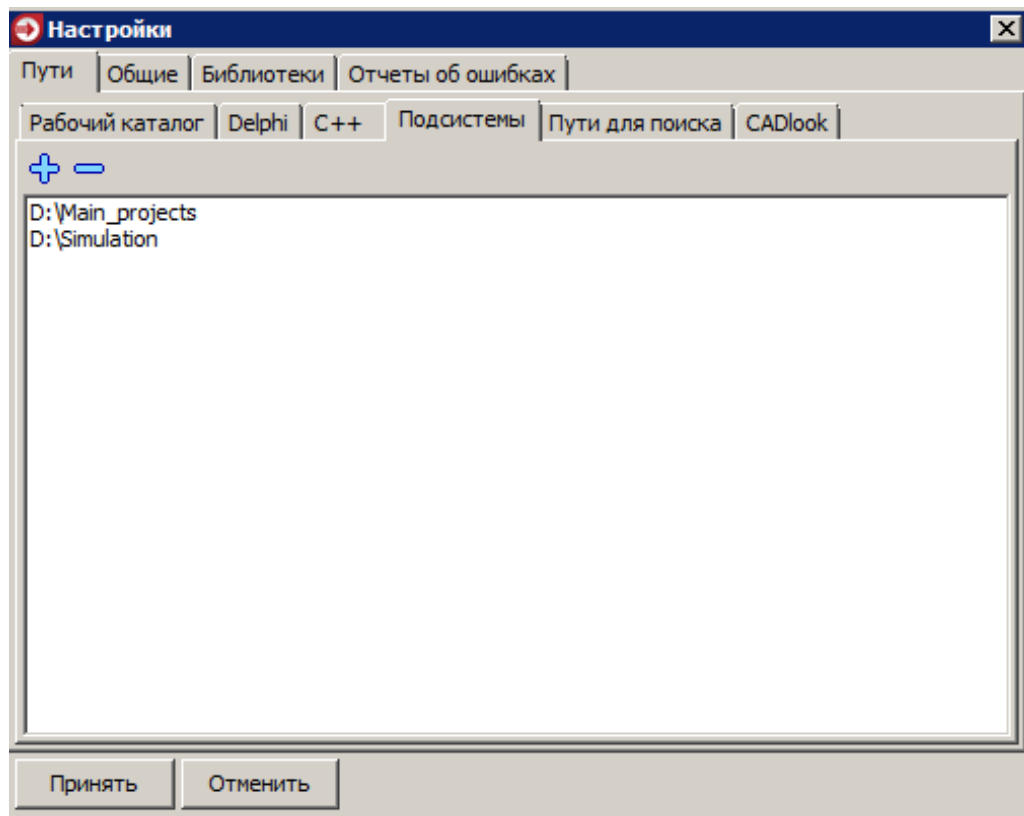




Рис. 3.7. Список путей к внешним подсистемам

3.2.4. Настройка путей к библиотекам пользователя

При программировании в среде UM пользователь может использовать собственный программный код, написанный на языках Object Pascal. Если эти файлы находятся в подкаталогах *Pascal* или *C* объекта, то компилятор автоматически найдет их. В противном случае следует указать пути к этим файлам, используя закладку **Пути для поиска** (рис. 3.8), используя кнопку  и появившееся стандартное окно **Обзор папок** (рис. 3.6). Для удаления выделенного пути используйте кнопку .

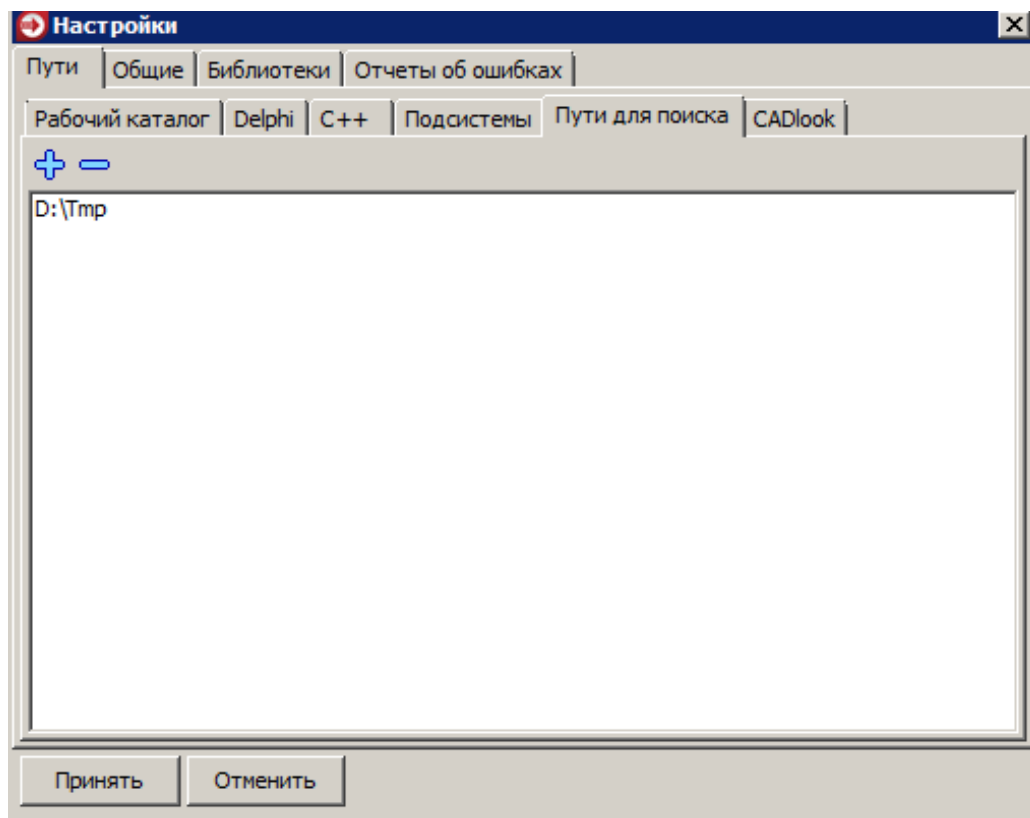


Рис. 3.8. Список путей к файлам пользователя

3.2.5. Настройка пути к CADlook

При конвертации данных из CAD программ в UM возможно использование промежуточного коммерческого конвертера CAD форматов CADLook для преобразования файлов форматов STEP (как AP203, так и AP214), IGES, X_T (Parasolid), SAT, см. [Главу 9](#).

Во вкладке **CADlook** (рис. 3.9. Путь к файлу CADlook.exe рис. 3.9) указывается путь до файла CADlook.exe.

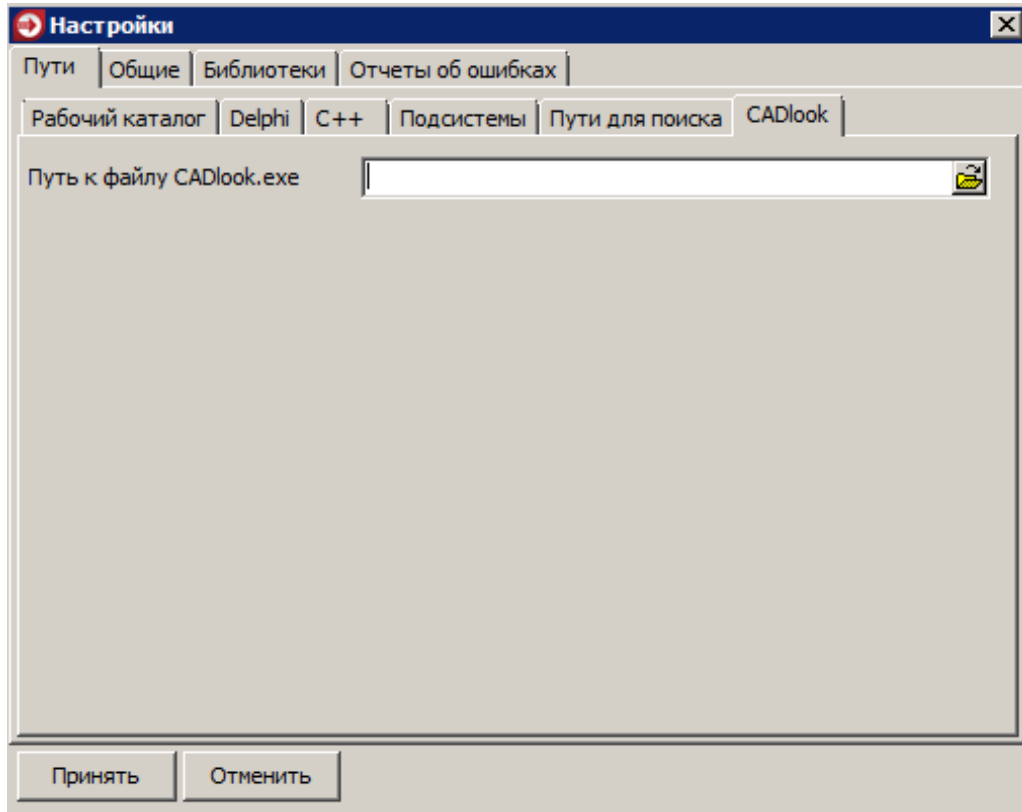




Рис. 3.9. Путь к файлу CADlook.exe

3.2.6. Управление библиотеками компонент

Используйте вкладку **Библиотеки** (рис. 3.10) для добавления или удаления файлов библиотек компонент (см. п. 3.6. "Работа с визуальными компонентами", с. 3-278). Для добавления новой библиотеки щелкните по кнопке  и выберите нужный файл с использованием стандартного окна **Обзор файлов** (рис. 3.5). Для удаления выделенной библиотеки используйте кнопку .

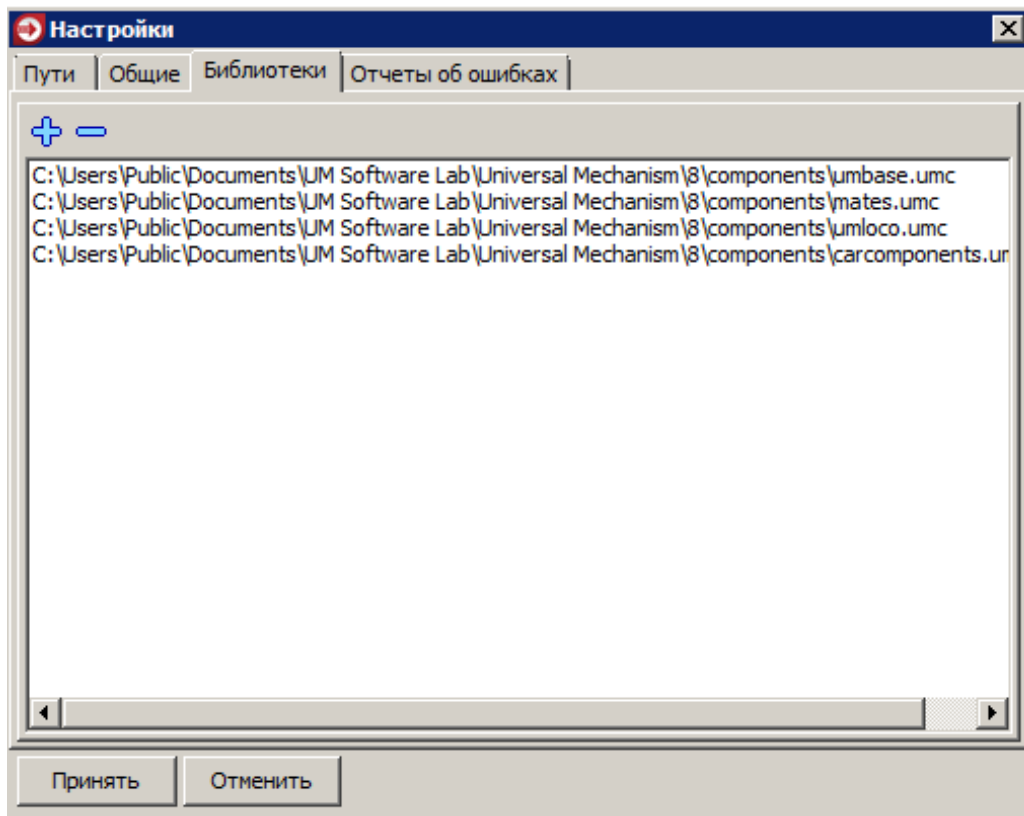


Рис. 3.10. Список библиотек компонент

3.2.7. Создание отчета об ошибке

Используйте вкладку **Отчеты об ошибках** для настроек файлов отчетов об ошибках (Рис. 3.11).

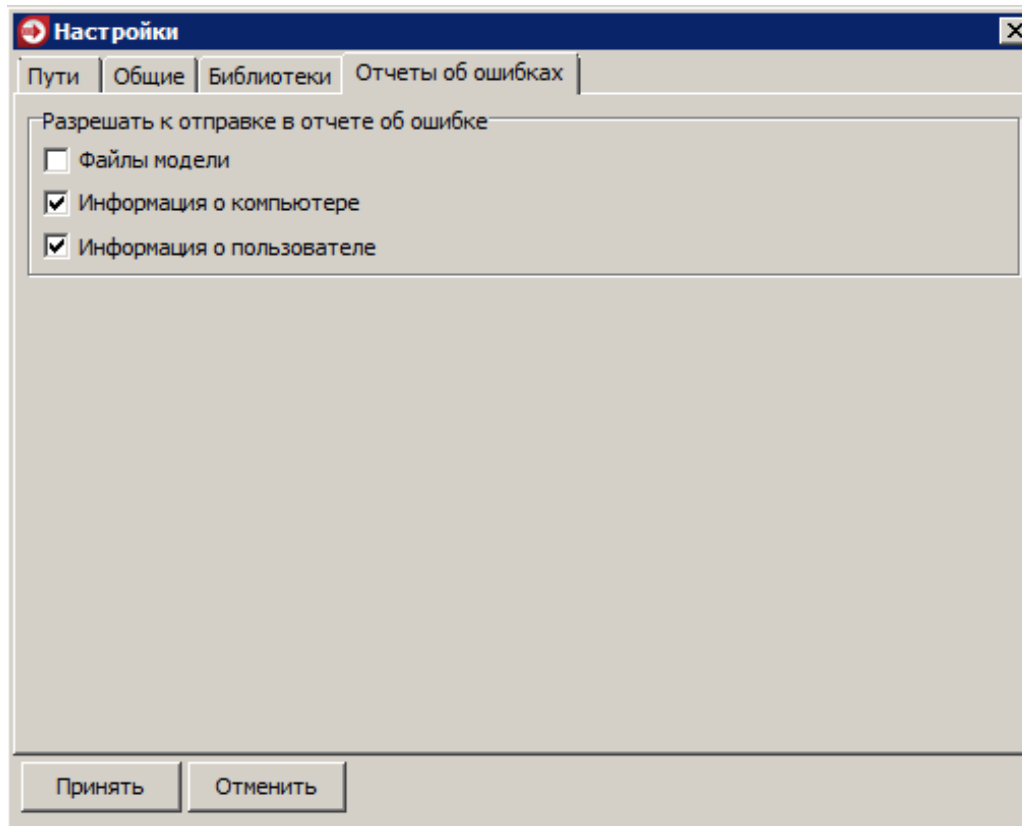



Рис. 3.11. Создание отчета об ошибках

3.3. Команды главного меню и панель управления

3.3.1. Файл

- **Новый объект** (Ctrl+N) – открывает конструктор нового объекта с именем по умолчанию **UmObj0**.
- **Открыть объект** (Ctrl+O) – вызывает окно выбора объекта (рис. 3.12), с помощью которого следует выбрать каталог с ранее созданным объектом. Окно отображает дерево объектов в выбранном каталоге для просмотра объектов. Для установки пути по умолчанию к этому каталогу используйте кнопку  в правой части поля *Сканировать папку* для выбора каталога и затем появившуюся кнопку *Сохранить в настройке*.

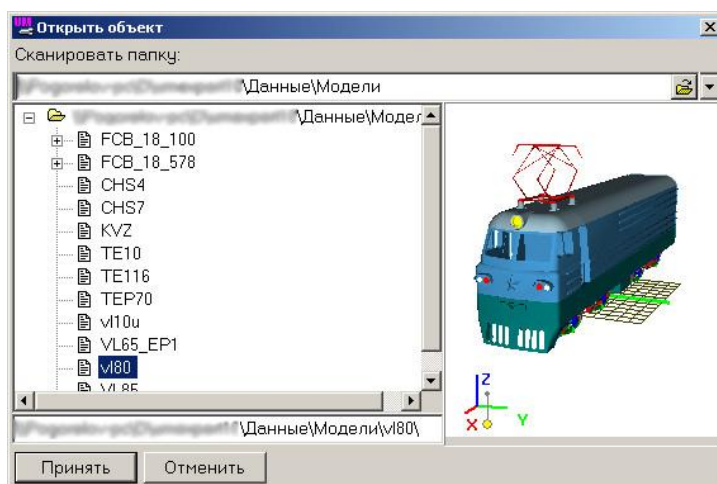


Рис. 3.12. Окно выбора модели

Для обновления дерева объектов в окне *Открыть объект* используйте F5 или всплывающее меню. Верхнее поле окна используется для выбора текущего каталога просмотра объектов.

- **Открыть *.umd** – открыть файл объекта, импортированного из CAD и сохраненного в промежуточном формате umd, см. п. 3.9.2. "*Формат umd описания модели, импортированной из CAD*", с. 3-293.
- **Импорт из MSC.ADAMS** – чтение файлов ADAMS *.cmd и *.adm и конвертация их в формат UM, п. **Ошибка! Источник ссылки не найден.. "Ошибка! Источник ссылки не найден."**, с. **Ошибка! Закладка не определена..**
- **Открыть заново** – позволяет открыть один из списка последних объектов.
- **Сохранить** (Ctrl+S) – сохранить активный объект. Команда выполняется, если активный объект был создан и не сохранялся или был изменен после открытия.
- **Сохранить как...** – сохраняет объект под новым именем. При выполнении команды появляется окно (рис. 3.13).

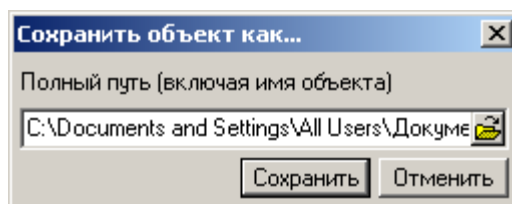



Рис. 3.13. Окно задания имени объекта и пути к каталогу модели

Объект сохраняется в каталоге, полный путь к которому указывается в редактируемой строке окна. Используйте кнопку  в правой части строки для вызова стандартного окна выбора существующего каталога (рис. 3.6). При необходимости *создается цепочка каталогов* на указанном пути к заданному каталогу. После записи имя *объекта автоматически* изменяется на имя каталога, в котором сохраняется объект.

Замечание. Начиная с УМ 6 имя объекта (соответственно, последнего каталога) может содержать любые символы.

- **Сохранить как компоненту** – сохранение всей модели в формате УМ в файл с любым именем и расширением с целью включения в список компонент (п. 3.6.5. "Создание библиотек визуальных компонент", с. 3-286), либо слияния с другой моделью с помощью команды **Правка | Прочитать из файла**, п. 3.5.2.7. "Слияние моделей", с. 3-95.
- **Выйти** (Alt+X) – закрывает программу описания объекта.

3.3.2. Правка

Набор инструментов **Правка**, реализованный в УМ, позволяет эффективно работать с элементами, как ранее созданными в рамках текущей задачи, так и принадлежащими другим задачам.

- **Копировать в буфер обмена** – записывает параметры выделенного элемента в буфер обмена.
- **В буфер как компоненту** – записывает в буфер параметры выделенного элемента и связанного с ним графического образа. Если элементу не назначен графический образ, опция недоступна.
- **Копировать в файл...** – записывает параметры выделенного элемента в файл. Имя файла задаётся в стандартном интерфейсе, рис. 3.14.

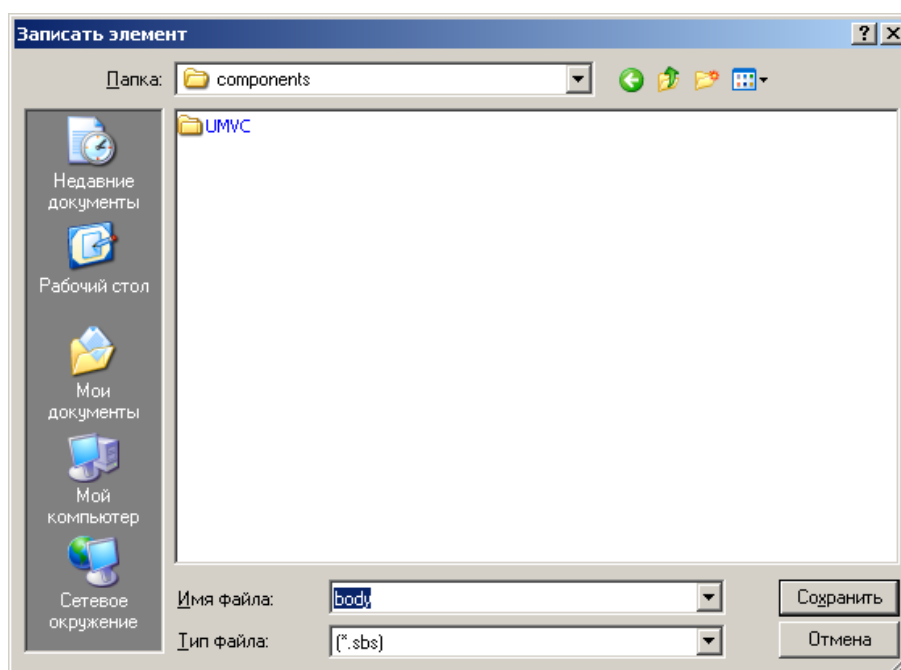



Рис. 3.14. Стандартное окно записи файла

- **Сохранить как компоненту...** – сохраняет в файл параметры выделенного тела и связанного с ним графического образа.
- **Вставить** – вставка элемента/компоненты из буфера.
- **Прочитать из файла** – добавляет в объект все элементы, содержащиеся в файле. При совпадении имён элементов, к именам добавляемых элементов добавляется индекс. Допустим, что активный объект содержит тело с именем Body. При загрузке из файла объекта, также содержащего некоторое тело Body, оно будет переименовано в Body1.
- **Отменить изменение, Вернуть изменение** – команды системы отката последних изменений.

3.3.3. Объект

- **Проверить данные (F7)** – проверка полноты описания активного объекта.
- **Синтезировать уравнения (F8, кнопка )**. Команда используется только для синтеза уравнений движения в символьной форме, см. п. 3.4.2.1.1. "Вкладка «Объект»", с. 3-35, п. 3.8. "Синтез уравнений движения", с. 3-289. Требуется внешний компилятор. При выполнении команды модифицированный объект автоматически сохраняется, удаляется старая динамическая библиотека (*Umtask64.DLL*) объекта, проверяется полнота его описания и при положительном результате проверки вызывается окно синтезатора уравнений движения *активного* объекта. Опционально компилируются уравнения, рис. 3.15.

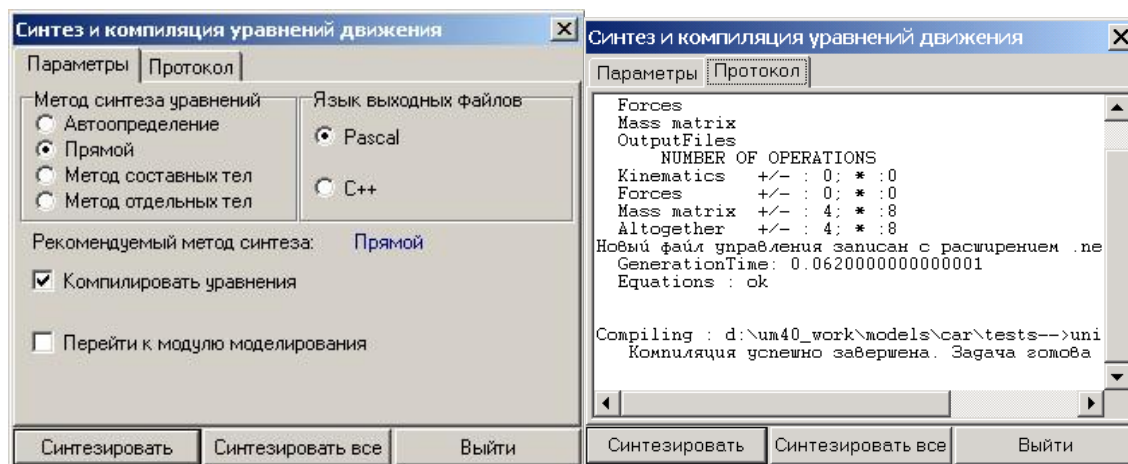



Рис. 3.15. Настройки синтезатора уравнения а), б)

- **Компилировать уравнения (Ctrl+F9, кнопка )** Команда используется только при синтезе уравнений движения в символьной форме, см. п. 3.4.2.1.1. "Вкладка «Объект»", с. 3-35, п. 3.8. "Синтез уравнений движения", с. 3-289. Проверяет факт синтеза уравнений движения *активного объекта* после внесения последнего изменения и компилирует их, создавая динамическую библиотеку задачи.
- **Моделирование (Ctrl+M)**. Проверяет корректность модели. Если для активного объекта назначен синтез уравнений в символьной форме, то проверяет наличие динамической библиотеки уравнений. При отсутствии ошибок запускает программу *моделирования* с автоматическим открытием объекта. Если активный объект отсутствует (нет открытых конструкторов объектов), запускает программу моделирования без активного объекта.

3.3.4. Добавить

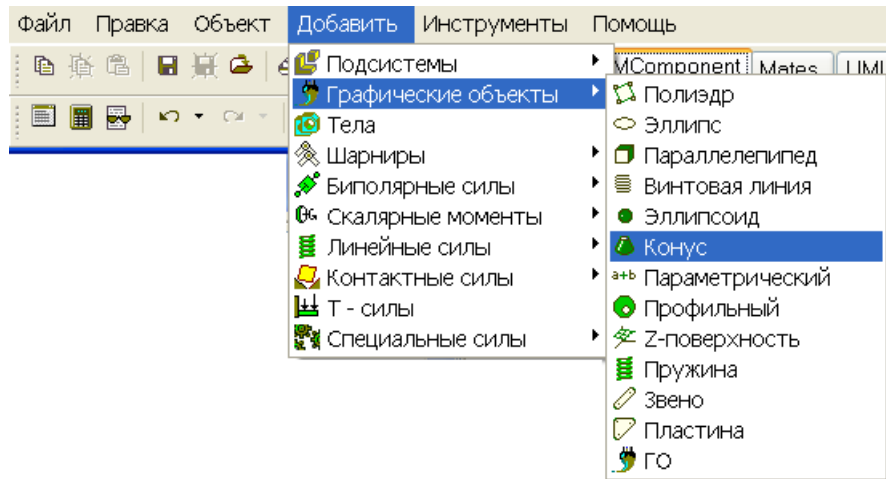


Рис. 3.16. Пример добавления графического объекта – цилиндра

Позволяет добавить к объекту новый элемент с указанием его типа (рис. 3.16), т.е. выполняется две операции: создание нового элемента и назначение его типа. Аналогичная операция доступна из списка (дерева) элементов модели, п. 3.5.2.4. *"Добавление отдельного типизированного элемента с помощью дерева элементов"*, с. 3-94.

3.3.5. Инструменты

- **Редактор (Ctrl+E)** – вызывает встроенный текстовый редактор.
- **Калькулятор выражений** – вызывает встроенный символьный калькулятор (см. п. 5.2.4.2).
- **Инспектор (F12)** – помещает инспектор данных активного объекта поверх всех окон (при условии, что инспектор был закрыт).
- **Список элементов (F11)** – помещает список элементов активного объекта поверх всех окон (при условии, что список снят с конструктора в отдельное окно или закрыт).
- **Идентификаторы (Alt+I)** помещает список идентификаторов активного объекта поверх всех окон (при условии, что список снят с конструктора в отдельное окно или закрыт).
- **Список окон (Alt+O)** – вызывает окно со списком всех открытых окон и позволяет разместить одно из них поверх остальных.
- **Файл управления (Alt+C)** – размещает файл управления активного объекта в редакторе, указанном пользователем (рис. 3.3).
- **Файл элементов** – вызывает текстовый редактор и выводит в него файл с полными списками элементов активного объекта (телами, шарнирами и так далее).
- **Импорт из CAD** – конвертация данных из CAD программ либо чтение файлов форматов ucf, 3ds, stl, vrml, п. 3.9. *"Импорт данных из CAD форматов"*, с. 3-293.
- **Преобразование координат (Alt+T)** открывает окно, позволяющее пересчитывать координаты точек в разные системы координат (см. п. 3.5.11.4. *"Визуальное назначение тел, точек присоединения и локальных систем координат"*, с. 3-203).
- **Мастер компонент** – инструмент для редактирования библиотек УМ компонент (см. п. 3.6.3. *"Режим автоматического позиционирования и режим пользователя визуального добавления компонент"*, с. 3-280).
- **Список компонент** – вызывает диалог со списком подгруженных УМ компонент. Дублирует закладки с компонентами (см. п. 3.6.2. *"Список компонент"*, с. 3-280).
- **ГО для кнопки** – инструмент для создания файла bmp малого размера на базе анимационного окна; может использоваться при добавлении УМ компоненты к списку, п. 3.6.5.2. *"Графический образ кнопки"*, с. 3-287.
- **Настройки** – вызывает окно с настройками программы описания объекта (пути к внешним компиляторам, внешним подсистемам, программным модулям пользователя и так далее (см. п. 3.2. *"Настройки программы ввода"*, с. 3-9).

Специальные инструменты (при наличии в конфигурации УМ соответствующего модуля).

- **Импорт профиля колеса из CAD** – конвертация в УМ профиля железнодорожного колеса, созданного в CAD программе; требует модуля УМ Лосо; подробнее о конвертации см. [Главу 8](#), п. *Импорт профилей колес из САПР*.

- **Создание модели поезда** – автоматический генератор состава поезда с упрощенными одномерными моделями вагонов; требует модуля UM Train; подробнее о генераторе см. [Главу 15](#), п. *Создание модели поезда*.
- **Мастер упругих подсистем** – инструмент подготовки данных упругих подсистем; требует модуля UM FEM; подробнее см. [Главу 11](#), п. *Мастер упругих подсистем*.

3.3.6. Помощь

- **О контекстной справке...** – документация по организации контекстной справочной системе UM, см. файл [UM Context Help.pdf](#).
- **Начинаем работать** – список команд вызова справки обучающих уроков для разных модулях UM: UM Base, UM Loco, UM Experiments, UM Automotive и т.д.
- **Руководство пользователя** – список команд вызова pdf файлов руководства пользователя UM.
- **О программе...** – сведения о версии и разработчиках UM.

3.3.7. Панель инструментов

Кнопки на панели инструментов дублируют некоторые наиболее часто используемые поля главного меню (рис. 3.17).

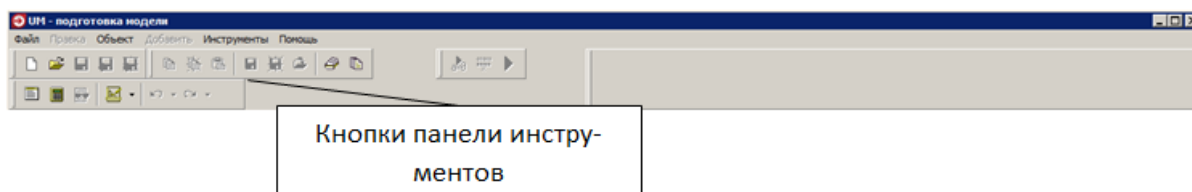


Рис. 3.17. Кнопки панели инструментов, дублирующие команды главного меню

3.4. Конструктор объекта

3.4.1. Основные элементы конструктора

Конструктор объекта предоставляет возможность описывать объект (систему тел) в виде набора стандартных элементов: тел, шарниров, силовых элементов. Перечислим основные элементы конструктора.

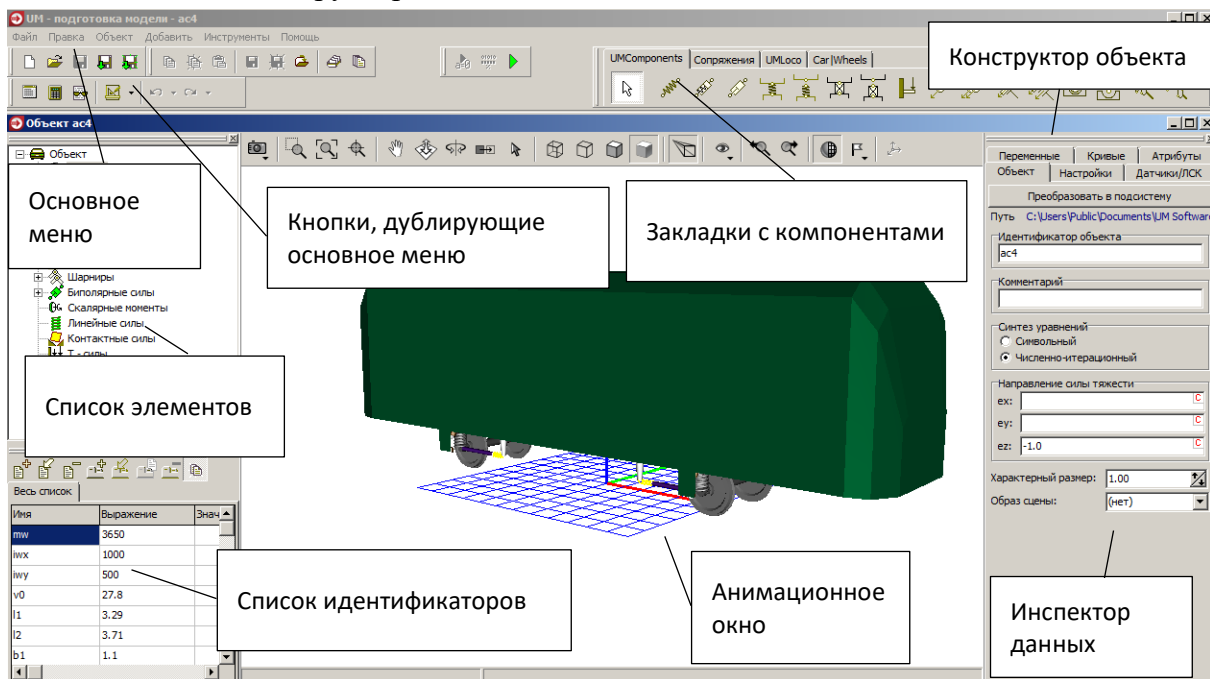


Рис. 3.18. Основные элементы программы ввода

- **Инспектор данных** используется для ввода, модификации и отображения параметров элементов объекта и другой информации об объекте (см. п. 3.4.2. "Инспектор данных и особенности описания элементов объекта", с. 3-35).
- **Анимационное окно** отображает объект и его отдельные элементы и используется для визуального доступа к элементам модели, а также для визуального конструирования объектов (см. п. 3.4.1.2. "Анимационное окно конструктора", с. 3-29).
- **Список (дерево) элементов** отображает список всех элементов модели и предоставляет возможность доступа к параметрам отдельных элементов в инспекторе (см. п. 3.4.1.1. "Дерево элементов объекта", с. 3-27).
- **Список идентификаторов** используется для создания и модификации списка идентификаторов объекта, являющихся основой полной параметризации UM моделей (см. п. 3.4.2.4.2. "Идентификаторы", с. 3-48).
- **Закладки с компонентами** также можно отнести к элементам конструктора, потому что они позволяют добавить к модели некоторые простые стандартные тела, шарниры и силовые элементы (закладки используются на стадии обучения или в учебном процессе для быстрой сборки простейших механизмов и механических систем (см. п. 3.6. "Работа с визуальными компонентами", с. 3-278).

Для дерева элементов, идентификаторов и для инспектора используется технология *drag-and-dock*, то есть их можно снять с окна конструктора с помощью мыши и разместить в отдельных окнах.

В случаях, когда список или инспектор расположены в отдельных окнах, используются клавиши F11, F12, Alt+I для того, чтобы при необходимости поместить их над окном конструктора активного объекта. Так же несложно присоединить их опять к конструктору, перенося соответствующее окно к левому (для дерева элементов и списка идентификаторов) или правому (для инспектора) краю конструктора.

Вынесение элементов конструктора в отдельные окна используется для увеличения размеров анимационного окна при описании параметров сложных объектов.

3.4.1.1. Дерево элементов объекта

Объект – механическая система или система тел – состоит из отдельных типовых элементов, доступ к параметрам которых происходит с помощью дерева элементов и инспектора, горячих ключей (3.4.3. "Список идентификаторов", с. 3-78) или визуально щелчком мыши на образе или его иконке (3.4.1.2. "Анимационное окно конструктора", с. 3-29).

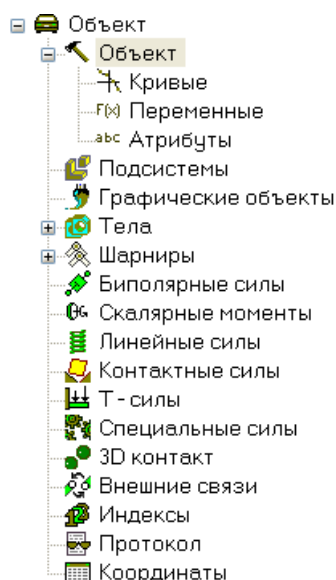


Рис. 3.19. Дерево элементов объекта

После щелчка на пункте дерева элементов (рис. 3.19) в инспекторе данных отображаются параметры текущего элемента. Дерево элементов содержит следующие пункты (рис. 3.19):

- **Объект** – настройки работы с объектом, его тип, силы тяжести, цвет фона и т.п.; создание списка кривых, переменных и датчиков (п. 3.4.2.1. "Общие параметры и настройки объекта", с. 3-35).
- **Подсистемы** – список подсистем (колесные пары, подвески автомобилей, гусеничные движители, включение ранее созданных пользователем объектов в виде подсистем и т.д.), только для версии УМ, поддерживающей метод подсистем (см. п. 3.5.3. "Ввод подсистем", с. 3-96).
- **Графические объекты** – список образов, используемых для визуализации сцены, тел, силовых элементов (см. п. 3.5.8.2. "Ввод графических элементов (ГЭ)", с. 3-124).
- **Тела** – список тел и их параметров (массы, моменты инерции, координаты центров масс и т.д., см. п. 3.5.9. "Ввод тел", с. 3-156).
- **Шарниры** – задание шарниров (поступательных, вращательных и т.д.) и степеней свободы тел (см. п. 3.5.10. "Ввод шарниров", с. 3-181).
- **Биполярные силы** – список биполярных сил, то есть сил, действующих вдоль оси элемента, соединяющего пару точек (см. п. 3.5.12.1. "Ввод силы тяжести", с. 3-206). Используются для моделирования амортизаторов, гасителей, поводков и т.п.

- **Скалярные моменты** – список моментов, действующих при повороте одного тела относительно другого вокруг некоторой оси (п. 3.5.12.4. *"Ввод скалярного момента"*, с. 3-233).
- **Линейные силы** – список обобщенных линейных силовых элементов, задаваемых матрицами жесткости или диссипации (см. п. 3.5.12.4. *"Ввод скалярного момента"*, с. 3-233). Используются для создания моделей пружин, сопротивления среды и так далее.
- **Контактные силы** – список силовых элементов, моделирующих контактное взаимодействие тел (см. п. 3.5.12.6. *"Ввод контактных силовых элементов"*, с. 3-239).
- **T-силы** – список сил и моментов, проекции которых могут зависеть от времени или кинематических функций (см. п. 3.5.12.7. *"T-силы"*, с. 3-254).
- **Специальные силы** – модели специальных силовых взаимодействий (зубчатые зацепления, кулачки, комбинированное трение, пружина, сайлент-блок и т.д., см. п. 3.5.12.8. *"Ввод специальных сил"*, с. 3-256).
- **3D Contact** – настройки параметров трехмерного контакта, зарезервировано для будущего использования. Подробнее об использовании трехмерного контакта см. п. 3.5.9.8. *"3D контакт"*, с. 3-177.
- **Внешние связи** – инструмент назначения точек прикрепления для внешних шарниров и силовых элементов, используется только в версии UM, поддерживающей метод подсистем (см. п. 3.5.3.2. *"Преобразование модели в подсистему"*, с. 3-98).
- **Индексы** – отображает внутреннюю индексацию элементов и координат объекта, полезную при программировании в среде (см. п. 3.4.5. *"Использование клавиши быстрого доступа"*, с. 3-90).
- **Протокол** – содержит информацию о полноте описания объекта, а также список ошибок и предупреждений (см. п. 3.8. *"Синтез уравнений движения"*, с. 3-289).
- **Координаты** – список текущих значений координат модели с возможностью их изменения (см. п. 3.4.2.3.4. *"Координаты"*, с. 3-46).

3.4.1.2. Анимационное окно конструктора

3.4.1.2.1. Визуализация элементов объекта

В анимационном окне отображается либо весь объект, либо отдельный его элемент в зависимости от *режима отображения* (см. п. 3.4.1.2.2. "Режимы анимационного окна", с. 3-30). Для изображения элементов используются

- графические образы (ГО), создаваемые пользователем для тел, биполярных (п. 3.5.12.1. "Ввод силы тяжести", с. 3-206), обобщенных линейных силовых элементов (п. 3.5.12.5. "Ввод обобщенных линейных силовых элементов", с. 3-235), специальных силовых элементов типа пружина и сайлент-блок (п. 3.5.12.8. "Ввод специальных сил", с. 3-256), шарнира в виде невесомого стержня;

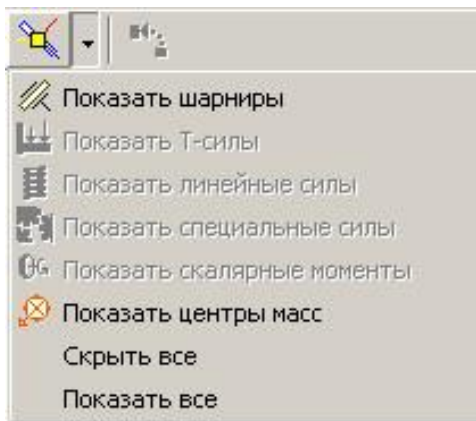



Рис. 3.20 Список команд визуализации элементов

- иконки – для силовых элементов типа Т-сила (п. 3.5.12.7. "Т-силы", с. 3-254), центров масс, для идентификации внешних элементов (см. рис. 3.20);
- точки, векторы, локальные СК (ориентированные точки связи точек связи).

Каждый из перечисленных типов изображений, за исключением векторов, элементов имеет активные области, используемые для визуального выбора элемента в окне с помощью мыши.

- ГО – активным является весь образ;
- Иконка текстового вида – активной является малая окрестность левого нижнего угла, в которую указывает стрелка, например, для иконки обобщенной линейной силы:



- Значок – набор примитивных обозначений разрешенных степеней свободы. Используется только вместе с шарнирами. Значки изображаются только с включенным **Полный объект** ().

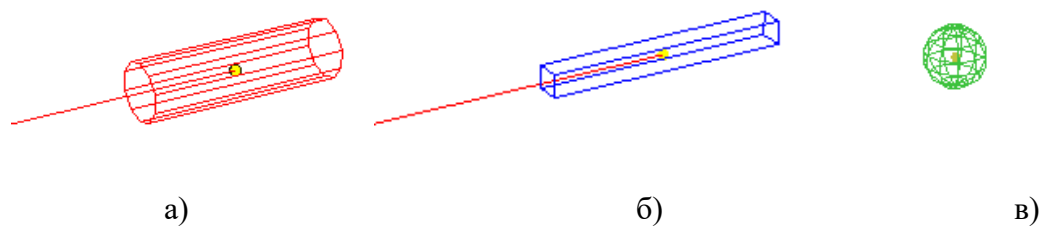



Рис. 3.21. Обозначения степеней свободы в шарнире:

а) вращательная; б) поступательная; в) три вращательные (сферический шарнир)

- Точка – активной является малая окрестность точки.

3.4.1.2.2. Режимы анимационного окна

Анимационное окно имеет два *режима визуального отображения объекта*, переключение которых осуществляется с помощью кнопки  в верхней части окна или с помощью команды контекстного меню **Режим | Объект/Элемент**.

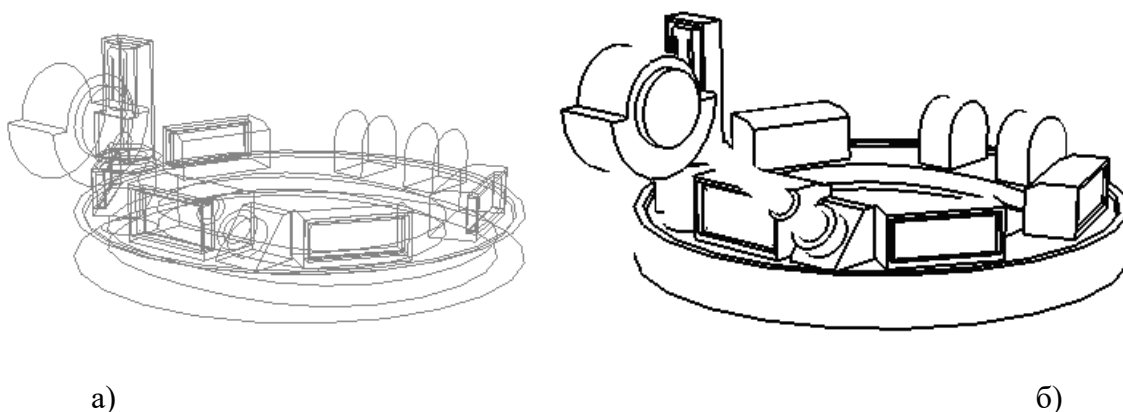
- **Режим отображения полного объекта**

В данном режиме щелчок мышью на активной области образа основного элемента объекта (тела, шарнира, силового элемента, см. 3.4.1.2.1. "Визуализация элементов объекта", с. 3-29) вызывает переход в инспекторе к окну задания параметров элемента.

- **Режим отображения отдельного элемента**

Отображается отдельный элемент объекта: ГО, тело, шарнир или силовой элемент вместе с соединяемыми шарниром или взаимодействующими телами. Для некоторых типов элементов используется очувствление точек и иконок.

Переключения графических режимов



а)

б)

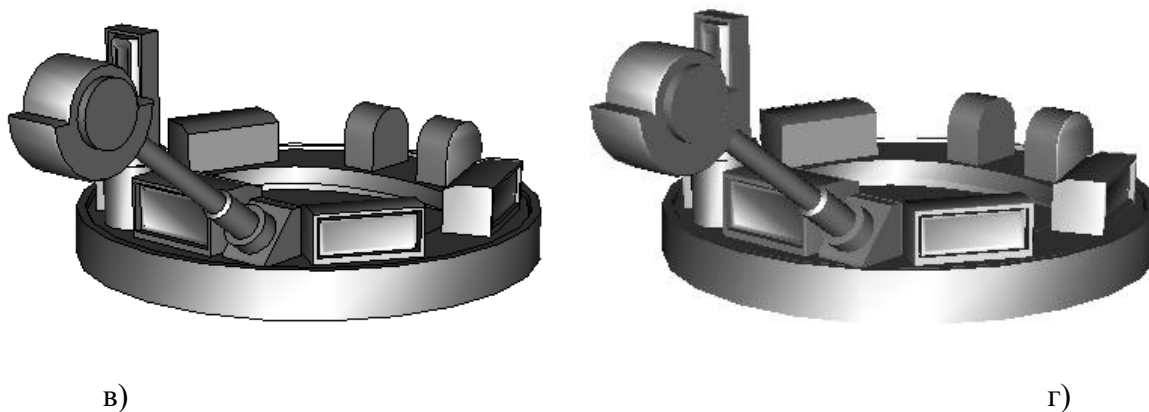







Рис. 3.22 Различные режимы изображения объекта

-  – проволочная графика, рис. 3.22а
-  – контур, рис. 3.22б
-  – поверхности с контуром, рис. 3.22в
-  – поверхности без контура, рис. 3.22г

Режим перспективы включается/выключается с помощью пункта **Перспектива** *контекстного меню* или кнопки .

Параметры перспективы изменяются с помощью пункта **Параметры окна** *контекстного меню*.

3.4.1.2.3. Оси координат, контекстное меню

В окне всегда изображена базовая система координат (СК0), относительно которой задаются координаты элементов объекта, связанных с базой. Для идентификации осей координат используется цветовой принцип (RGB):

- ось X – красная (Red);
- ось Y – зеленая (Green);
- ось Z – голубая (Blue).

С одной из координатных плоскостей связывается координатная сетка, положение, шаг и размер которой могут быть изменены с помощью пункта **Параметры окна** *контекстного меню*.

Для вызова всплывающего меню (рис. 3.23) стандартным образом используется правая кнопка мыши.

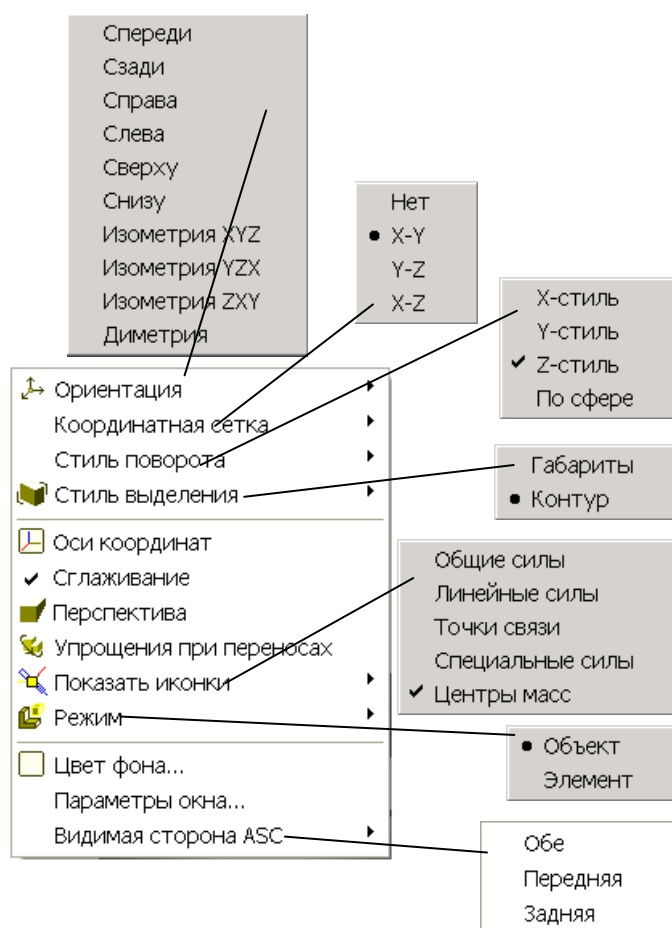


Рис. 3.23. Всплывающее меню анимационного окна

Пункты меню:


- **Ориентация** – выбор одного из стандартных положений изображения;
- **Координатная сетка** – выбор одного из набора стандартных положений координатной сетки в координатных плоскостях;
- **Стиль поворота** – выбор метода обработки поведения мыши в режиме поворота: **Z-стиль** используется по умолчанию (из UM 3.0), **По сфере** – стиль, используемый обычно в CAD системах.
- **Стиль выделения** – тип графического отображения активного элемента объекта (либо габаритной рамкой, либо отрисовкой жирных контурных линий);
- **Оси координат** – управление видимостью осей координат базы;
- **Сглаживание** – управление режимом сглаживания при отображении объекта;
- **Перспектива** – управление режимом перспективы при отображении объекта;
- **Контурный режим** – используя этот режим, получается контрастное черно-белое изображение, удобное для печати.
- **Показать иконки** – используется для отображения в анимационном окне иконок шарниров, сил общего типа и обобщенных линейных силовых элементов (только в режиме отображения полного объекта);


См. также стандартные ключи быстрого доступа (см. п. 3.4.5.3. "Анимационное окно", с. 3-90).

3.4.1.2.5. Дополнительные возможности перемещения объекта с помощью мыши



Включение режимов операций по перемещению объекта в анимационном окне с помощью кнопок на панели инструментов описано в п. 3.4.1.2.4. "Панель инструментов анимационного окна", с. 3-33. Здесь мы рассмотрим дополнительные возможности, в том числе связанные с использованием клавиатуры.

Повороты:

- если курсор имеет вид , то для поворота следует нажать левую кнопку мыши и, не отпуская, перемещать ее по окну;
- если курсор показывает на определенный объект, например тело, то для поворота в соответствии с предыдущим пунктом надо нажать на среднюю кнопку мыши (колесо) вместо левой клавиши.

Перемещения: нажать на клавиатуре *Ctrl* и не отпускать. Если курсор имеет вид , то для перемещения объекта следует нажать левую кнопку мыши и, не отпуская, двигать ее по окну. Если же курсор показывает на определенный объект, например тело, то для перемещения надо нажать на среднюю кнопку мыши (колесо) вместо левой клавиши.

Увеличение, уменьшение:

- поворот колеса мыши вперед/назад;
- нажать на клавиатуре *Shift* и не отпускать; если курсор имеет вид , то для изменения следует нажать левую кнопку мыши и, не отпуская, двигать ее курсор по окну вверх или вниз;
- нажать на клавиатуре *Shift+Alt*. Сдвинуть курсор мыши в окне, курсор примет вид ; навести курсор на нужную точку модели и однократно нажать левую (приблизить) или правую (удалить) кнопку мыши.

3.4.2. Инспектор данных и особенности описания элементов объекта

3.4.2.1. Общие параметры и настройки объекта

На множестве вкладок **Объект** конструктора можно установить некоторые общие свойства, присущие только данному объекту создать список переменных, кривых, датчиков и т.д.

3.4.2.1.1. Вкладка «Объект»

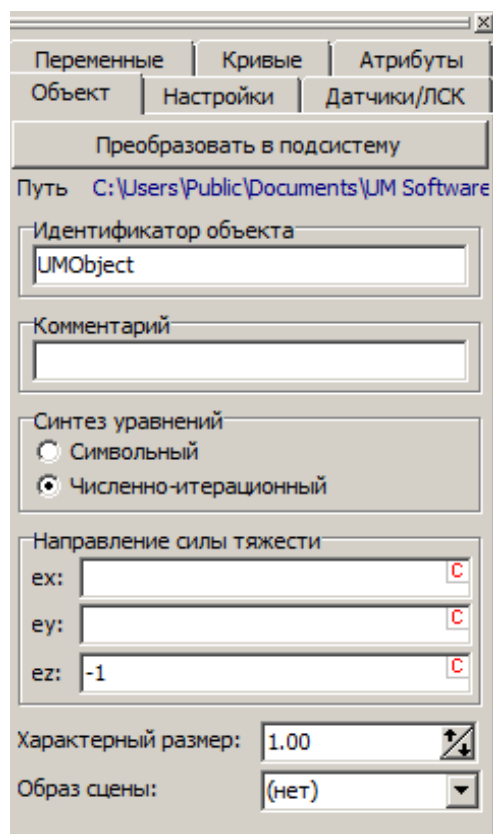


Рис. 3.25. Вкладки «Объект»

Вкладка **Объект** инспектора позволяет установить следующие параметры, рис. 3.25.

- Кнопка **Преобразовать в подсистему** преобразует данный объект в собственную включенную подсистему и используется при создании объекта в виде дерева включенных подсистем, а также для создания компонент, в частности, подсистем подвесок модуля UM Tracked Vehicle. После выполнения операции объект содержит единственную подсистему, тождественную объекту до выполнения операции. Все остальные элементы удаляются.
- Строка **Путь** содержит полный путь к каталогу модели.
- **Идентификатор объекта** используется только при синтезе уравнений в символьной форме и включается в имена файлов уравнений движения и в наименования стандартных структур в этих файлах. До UM 6.0 в качестве идентификатора использова-

лось имя объекта, поэтому вводились строгие ограничения на синтаксис имени. С введением понятия идентификатора объекта ограничения на имя сняты.

- Группа **Синтез уравнений движения** позволяет выбрать либо символьный, либо численно-итерационный методы синтеза уравнений, см. п. 3.8. "*Синтез уравнений движения*", с. 3-289.
- **Направление силы тяжести** задается единичным вектором, определяющим направление вектора сил тяжести в базовой системе координат; проекции вектора могут задаваться постоянными символьными выражениями или идентификаторами (см. п. 3.4.2.4.4. "*Функция инерционных параметров bodyinertia*", с. 3-51). Для отключения силы тяжести следует задать нулевой вектор. Если вектор имеет не единичную длину, то ускорение свободного падения пропорционально увеличивается или уменьшается в долях от g .
- **Характерный размер** позволяет уменьшить/увеличить размеры изображения в анимационном окне "по умолчанию" при открытии объекта в конструкторе или в программе моделирования объекта. На величину характерного размера настраиваются, например, размеры векторов при моделировании динамики объекта или значки шарниров.
- **Образ сцены** – выбор графического объекта, соответствующего неподвижным элементам объекта и окружающей среде.
- Опция **Рассчитать ребра для ASC** видна только в том случае, когда модель включает графические элементы типа ASC, конвертированные из CAD программы, причем при конвертации не переданы ребра поверхностей. Включение опции производит автоматический расчет ребер и улучшает отображение контуров поверхностей при выделении объекта и при проволочном изображении, см. п. 3.5.8.2.14. "*Винтовая линия*", с. 3-128.

3.4.2.1.2. Вкладка «Настройки»

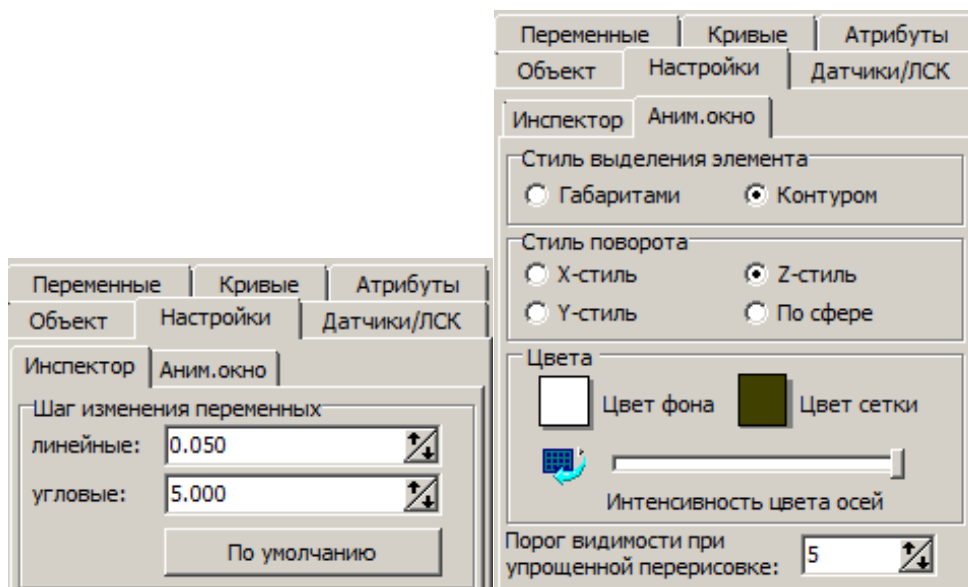


Рис. 3.26. Вкладки настроек инспектора и анимационного окна

Вкладка **Настройки** | **Инспектор** позволяет установить величину шага стандартного изменения угловых и линейных переменных в полях ввода численных значений с использованием интерфейса (угловые переменные в программе ввода задаются в градусах), рис. 3.26, слева.

Вкладка **Настройки** | **Анимационной** окно позволяет установить (рис. 3.26, справа)

- стиль выделения активного элемента в анимационном окне Габаритами/Контуром, рис. 3.27
- стиль поворота камеры в окне с помощью мыши
- цвет фона и сетки в анимационном окне. Для изменения цвета щелкните мышкой на соответствующем цветовом квадрате и выберите нужный цвет;
- порог видимости при упрощенной перерисовке в процентах.

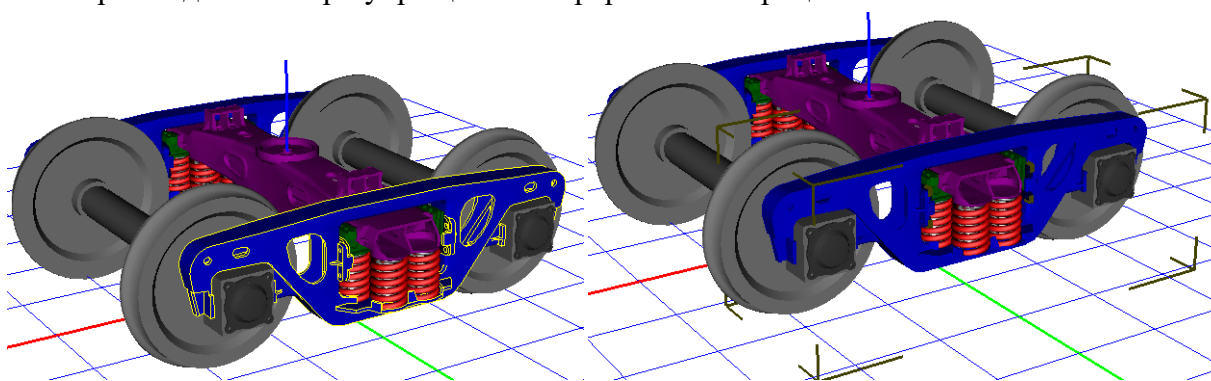


Рис. 3.27. Выделение элемента контуром (слева) и габаритами (справа)

3.4.2.1.3. Вкладка «Датчики/ЛСК»

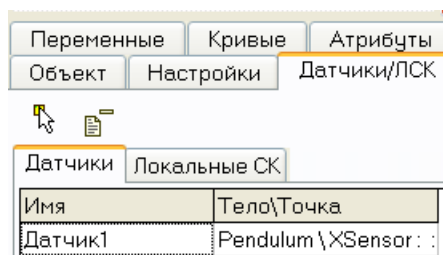



Рис. 3.28. Вкладки создания списка датчиков

На вкладке **Сенсоры/ЛСК** | **Сенсоры** пользователь может создать список датчиков, рис. 3.28. Вкладка **Сенсоры/ЛСК** | **Локальные СК** зарезервирована для будущего применения и в текущей версии не используется.

Сенсор – это точка с параметризованными координатами, фиксированная относительно СК одного из тел. При моделировании динамики объекта пользователь может построить графики кинематических характеристик тела, связанных с датчиком: координаты, скорость и ускорение этой точки.

Преимуществом использования датчика по сравнению с обычными кинематическими переменными, создаваемыми с помощью мастера переменных, является возможность параметризации координат точки, см. [Главу 4](#), п. Мастер переменных | Датчики.

Для создания датчика следует

- предварительно создать точки связи для нужных тел, п. 3.5.9.6. "Точки связи", с. 3-168;
- щелкнуть на кнопке , при этом в анимационном окне появятся все точки связи, рис. 3.29;

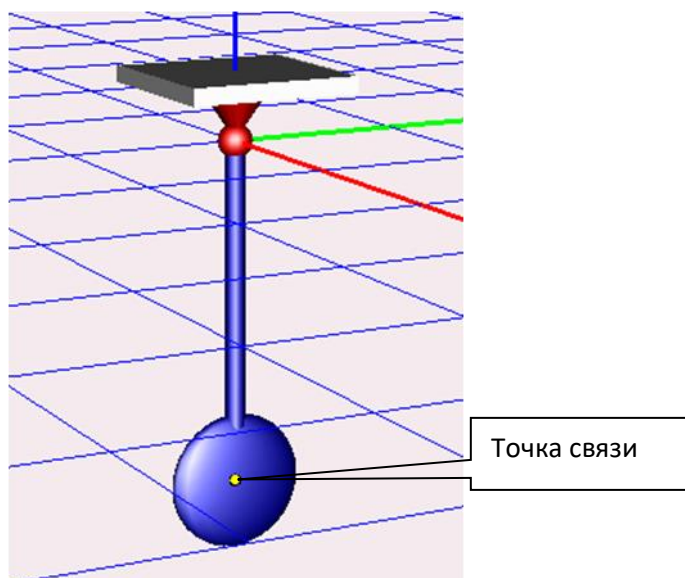


Рис. 3.29. Отображение точки связи в анимационном окне

- выбрать мышкой нужную точку для добавления в список;
- при необходимости переименовать датчик.

Замечание. Создание параметризованных кинематических переменных возможно также с помощью элементов *списка переменных*, п. 3.4.2.4.8. "*Список переменных*", с. 3-67.

Модель: [{Данные УМ}\SAMPLES\LIBRARY\Pendulum](#)

3.4.2.1.4. Вкладка «Переменные»

Тип	Имя	выражение
var	v1	coordinate("jPendulum", 1, 1)
dy/dt=va	x1	integral(v1)
dy/dt=f(t)	t2	integral(t)

Рис. 3.30. Пример списка переменных

Вкладка **Переменные** (рис. 3.30) используется для создания списка переменных, значительно повышающего возможности описания нестандартных силовых взаимодействий и переменных, рассчитываемых в процессе моделирования, п. 3.4.2.4.8. "*Список переменных*", с. 3-67.

3.4.2.1.5. Вкладка «Кривые»

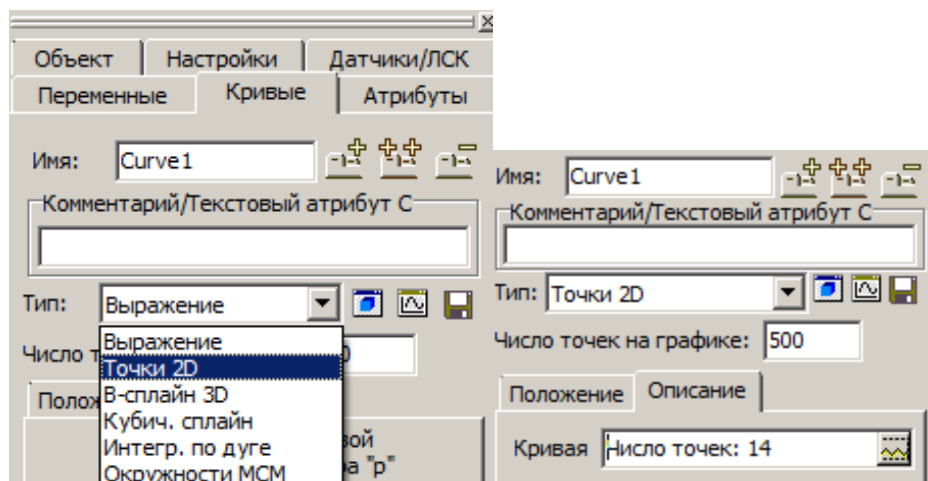


Рис. 3.31. Пример задания кривой набором точек в плоскости

Вкладка **Кривые** (рис. 3.31) применяется для создания набора кривых для использования в модели контактного взаимодействия типа Точка-Кривая, п. 3.5.12.6.3. "Контакт точка-кривая", с. 3-246. Методика создания кривых описана в п. 3.5.7. "Ввод кривых", с. 3-111.

3.4.2.1.6. Вкладка «Атрибуты»

Тело	Атрибут C	Атрибут T
Local hull	localhull	
Idler	Idler	idler
Tension crank	Tension cran	idler
Track link1	TrackLink	track
Track link2	TrackLink	track
Track link3	TrackLink	track
Track link4	TrackLink	track
Track link5	TrackLink	track
Track link6	TrackLink	track
Track link7	TrackLink	track
Track link8	TrackLink	track
Track link9	TrackLink	track
Track link10	TrackLink	track
Track link11	TrackLink	track
Track link12	TrackLink	track
Track link13	TrackLink	track

Рис. 3.32. Пример использования атрибутов в модели гусеничного движителя

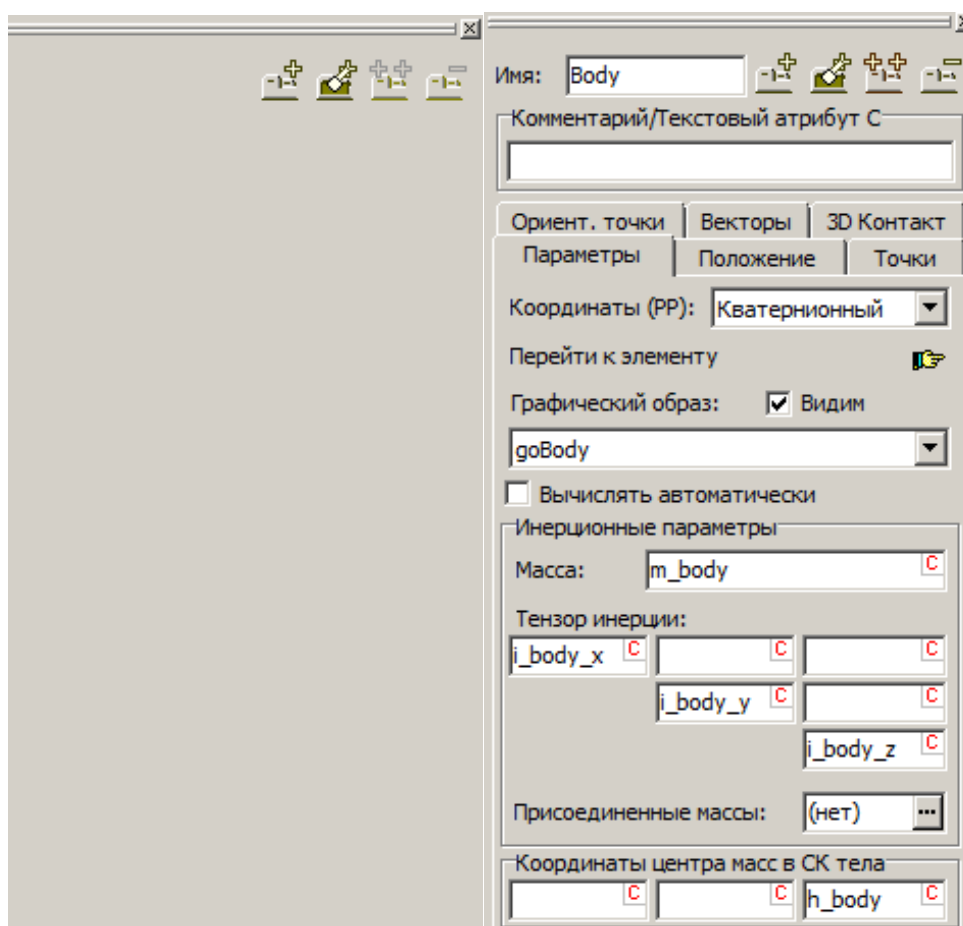
Вкладка **Атрибуты** (рис. 3.32) используется для внутренней идентификации элементов модели гусеничного экипажа в модуле UM Tracked Vehicle, [Глава 18](#).

3.4.2.2. Вкладки списков однотипных элементов

Моделируемый объект представляется набором элементов, подавляющее большинство которых сгруппировано в *списки*. Доступ к списку осуществляется через дерево элементов, п. 3.4.1.1. "*Дерево элементов объекта*", с. 3-27. Каждый список содержит элементы одного типа, например, списки тел, шарниров, биполярных силовых элементов и так далее. Каждому элементу списка назначается имя, являющееся произвольным набором символов. Имя элемента является основой его идентификации и должно быть *уникальным в пределах одного списка*, то есть нельзя называть два элемента одного списка, например, два тела, одинаковыми именами. Вместе с тем, элементы разных списков могут иметь одинаковые имена (например, тело и назначаемый ему шарнир или графический образ).

Доступ к параметрам отдельного элемента списка в инспекторе осуществляется с помощью дерева элементов модели, п. 3.4.1.1. "*Дерево элементов объекта*", с. 3-27.

Для работы со списками с помощью инспектора используются стандартные интерфейсные возможности.



а)

б)

Рис. 3.33. Пример списка тел

На рис. 3.33а представлено отображение пустого списка в инспекторе, на рис. 3.33б – список, содержащий описание одного из элементов списка тел.

В верхней части вкладки размещены: поле ввода имени элемента и три кнопки: создать новый элемент и добавить к списку; создать точную копию текущего элемента и добавить к списку; удалить текущий элемент списка.

См. также п. 3.4.5.4. "Страница инспектора со списком", с. 3-90.

Замечание. После задания имени элемента в соответствующем поле нажмите клавишу **Enter** для ввода данных, в противном случае изменения могут быть потеряны.

3.4.2.3. Вспомогательные вкладки инспектора

3.4.2.3.1. Внешние связи

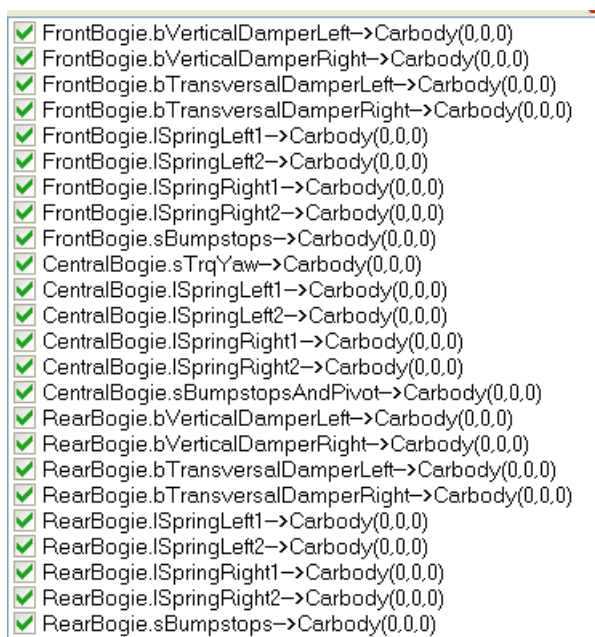


Рис. 3.34. Пример списка внешних связей

Вкладка содержит список внешних элементов объекта, входящих в подсистемы, рис. 3.34. Используется для назначения вторых тел и координат точек внешним шарнирам и силовым элементом, п. 3.5.3.3. "Настройка связей с подсистемами. Использование внешних элементов", с. 3-99.

3.4.2.3.2. Индексы

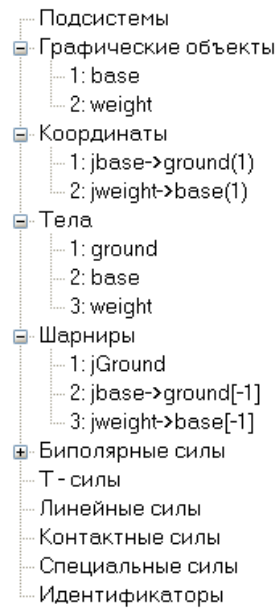


Рис. 3.35. Пример индексов элементов

Вкладка содержит полные списки всех элементов модели, включая подсистемы. Индексы элементов могут быть использованы при программировании в среде УМ, [Глава 5](#). Прямая ссылка на элемент по индексу при программировании является устаревшей методикой. Рекомендуется определять индекс динамически по имени элемента.

3.4.2.3.3. Протокол

Протокол отображает анализ корректности и полноты описания объекта.

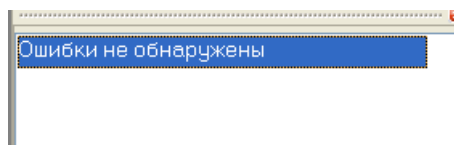


Рис. 3.36. Модель не содержит ошибок ввода

Модель считается готовой для моделирования, если не обнаружены ошибки, рис. 3.36. Предупреждения не влияют на статус готовности объекта, но могут привести к ошибкам при моделировании.

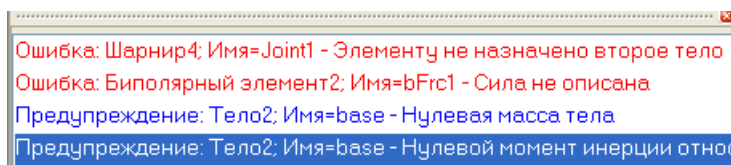
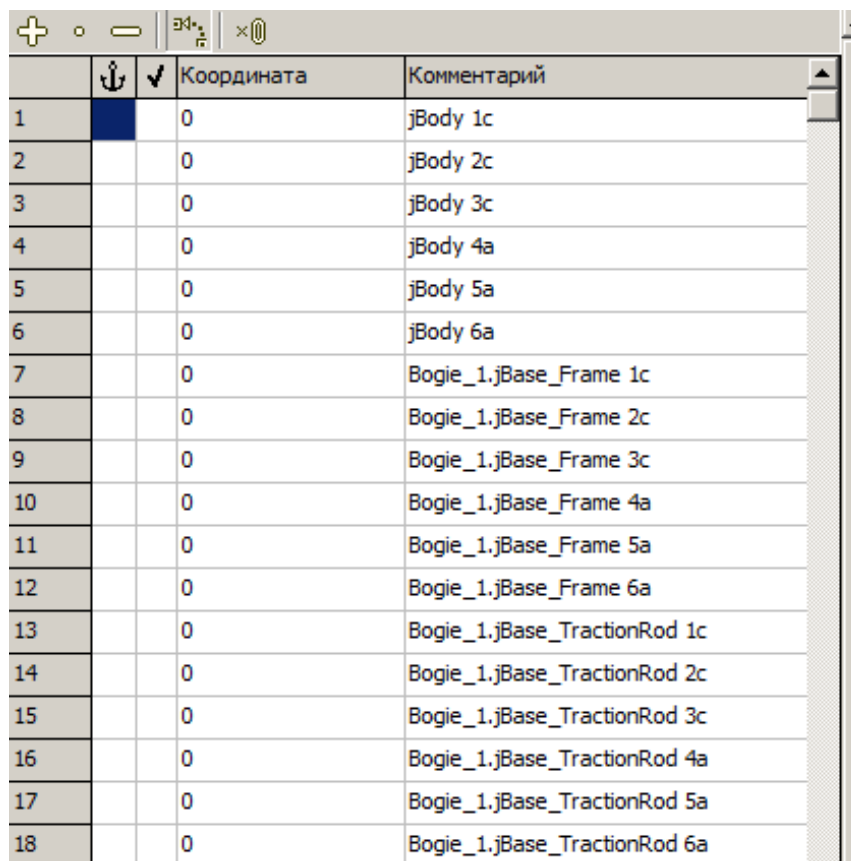


Рис. 3.37. Модель содержит ошибки ввода и предупреждения

При наличии ошибок (рис. 3.37) моделирование невозможно. Щелчком на строке сообщения об ошибке или предупреждении можно перейти к описанию соответствующего элемента.

3.4.2.3.4. Координаты




		<input checked="" type="checkbox"/>	Координата	Комментарий
1		<input checked="" type="checkbox"/>	0	jBody 1c
2		<input type="checkbox"/>	0	jBody 2c
3		<input type="checkbox"/>	0	jBody 3c
4		<input type="checkbox"/>	0	jBody 4a
5		<input type="checkbox"/>	0	jBody 5a
6		<input type="checkbox"/>	0	jBody 6a
7		<input type="checkbox"/>	0	Bogie_1.jBase_Frame 1c
8		<input type="checkbox"/>	0	Bogie_1.jBase_Frame 2c
9		<input type="checkbox"/>	0	Bogie_1.jBase_Frame 3c
10		<input type="checkbox"/>	0	Bogie_1.jBase_Frame 4a
11		<input type="checkbox"/>	0	Bogie_1.jBase_Frame 5a
12		<input type="checkbox"/>	0	Bogie_1.jBase_Frame 6a
13		<input type="checkbox"/>	0	Bogie_1.jBase_TractionRod 1c
14		<input type="checkbox"/>	0	Bogie_1.jBase_TractionRod 2c
15		<input type="checkbox"/>	0	Bogie_1.jBase_TractionRod 3c
16		<input type="checkbox"/>	0	Bogie_1.jBase_TractionRod 4a
17		<input type="checkbox"/>	0	Bogie_1.jBase_TractionRod 5a
18		<input type="checkbox"/>	0	Bogie_1.jBase_TractionRod 6a

Рис. 3.38. Пример списка координат

Вкладка **Координаты** используется для изменения значений координат и, соответственно, положений тел модели, рис. 3.38. Вкладка содержит все шарнирные координаты модели, включая подсистемы.

Методика изменения координат в аналогичном интерфейсе подробно рассмотрена в [Главе 4](#), п. *Выбор и автоматическое вычисление начальных условий*.

При активном списке координат в инспекторе пользователю доступна функция визуального изменения положения тел в анимационном окне с помощью мыши, рис. 3.39. Для выполнения операции следует

- навести курсор мыши на нужное тело до изменения вида курсора на ;
- нажать левую кнопку мыши и перемещать курсор в нужном направлении.

Замечание. Обычно данная операция визуального перемещения тел применяется только для простых моделей с небольшим числом тел. Не рекомендуется использовать операцию в моделях рельсовых экипажей, автомобилей, гусеничных машин.

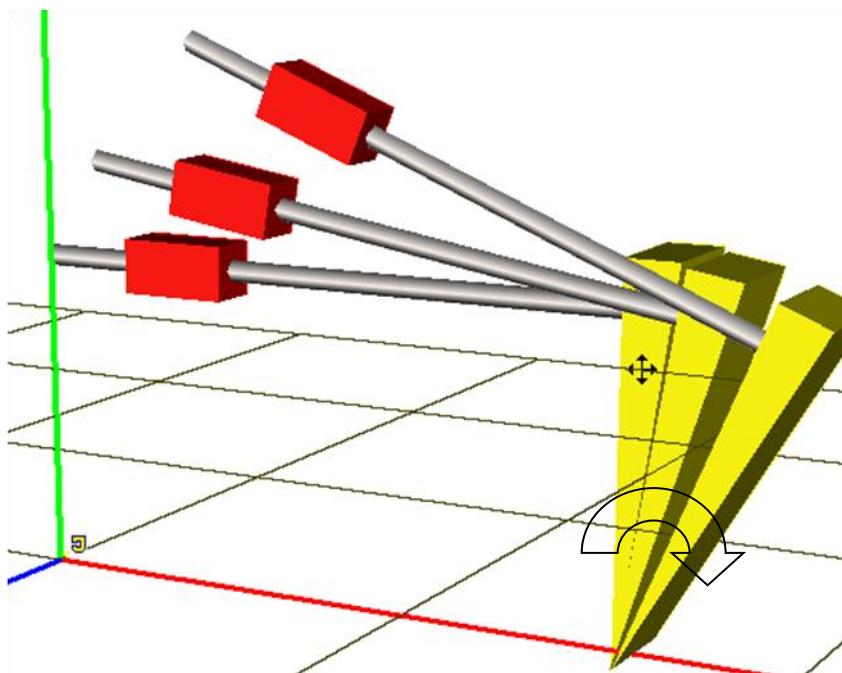


Рис. 3.39. Пример перемещения тела с помощью мыши

3.4.2.4. Типы данных

Описание каждого элемента объекта предполагает ввод информации через поля инспектора. Для ввода данных также используется редактор выражений, п. 3.4.2.4.13. *"Редактор выражений"*, с. 3-76.

В УМ используются несколько стандартных типов данных, знание которых необходимо для корректной работы с программой и для полного использования ее возможностей.

Особенностью описания объектов в УМ является *параметризация данных*, то есть использование выражений, содержащих не только численные константы, но идентификаторы, арифметические операции, некоторые функции. Рассмотрим основные типы данных, реализованные в УМ.

3.4.2.4.1. Численные константы

УМ использует стандартные формы записи числа с плавающей точкой, причем *в качестве десятичного разделителя применяется точка*. При запуске программы автоматически проверяется текущий десятичный разделитель и при необходимости устанавливается точка.

Примеры: 1.23, 0.256e-3

3.4.2.4.2. Идентификаторы

Идентификатором является набор символов, включающий буквы латинского алфавита, цифры и символ “_”.

Идентификатор не может начинаться с цифры и символа “_” – подчеркивание.

Идентификаторы, начинающиеся с символа подчеркивание, зарезервированы для внутреннего представления идентификаторов в уравнениях движения, синтезируемых программой.

Запрещено использовать зарезервированные идентификаторы языков программирования Pascal и C.

Программа автоматически проверяет синтаксис выражений, введенных пользователем. Если использован новый идентификатор, то программа автоматически добавляет его к *списку идентификаторов* объекта (см. 3.4.3. *"Список идентификаторов"*, с. 3-78).

Примеры корректно заданных идентификаторов:

mass_1 length_of_rod cdiss cstiff

Примеры ошибок:

2mass – начинается с цифры;

_length – начинается с подчеркивания;

mass% – запрещенный символ %;

do, as, while – зарезервированные идентификаторы языка Паскаль.

Имеются два типа идентификаторов:

- идентификатор – число;
- идентификатор – выражение.

Для идентификаторов первого типа их численные значения могут быть изменены в программе моделирования объекта. Идентификатор второго типа представляется произвольным выражением, в которое входят

- численные константы;
- идентификаторы первого и второго типа;
- стандартные функции (см. п. 3.4.2.4.3. "*Стандартные функции и константы*", с. 3-50).

Выражения для идентификаторов назначаются в *списке идентификаторов* (см. п. 3.4.3. "*Список идентификаторов*", с. 3-78). С использованием идентификаторов – выражений можно программировать цепочки вычислений.

Замечание. В выражении могут быть использованы только идентификаторы, расположенные в списке выше данного идентификатора.

Аналогичный принцип использует встроенный калькулятор (пункт меню **Инструменты | Калькулятор выражений**).

3.4.2.4.3. Стандартные функции и константы

При задании данных некоторых типов (явные функции, переменные, идентификаторы-выражения) могут быть использованы следующие **стандартные функции**:

- \sin, \cos – тригонометрические функции, аргумент задается в радианах;
- $\arcsin, \arccos, \arctan$ – обратные тригонометрические функции (рад);
- $\arctan2(x, y)$ – определяет значение угла α , $\tan \alpha = \frac{x}{y}$ в радианах в интервале от $-\pi$ до π ; квадрант, которому принадлежит угол, определяется по знакам аргументов x, y так же, как если бы $x = \sin \alpha$, $y = \cos \alpha$;
- \exp – натуральная экспонента;
- \ln – натуральный логарифм;
- abs – абсолютное значение числа;
- $\text{sign} - \text{sign}(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x = 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases}$
- \wedge – операция возведения в степень, запись a^b соответствует a^b , разрешается возведение отрицательных чисел только в целую степень;
- sqrt – квадратный корень;
- sqr – возведение в квадрат;
- $\text{heavi}(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases}$
- $\text{if}(c, v1, v2, v3) = \begin{cases} v1, & c < 0 \\ v2, & c = 0 \\ v3, & c > 0 \end{cases}$

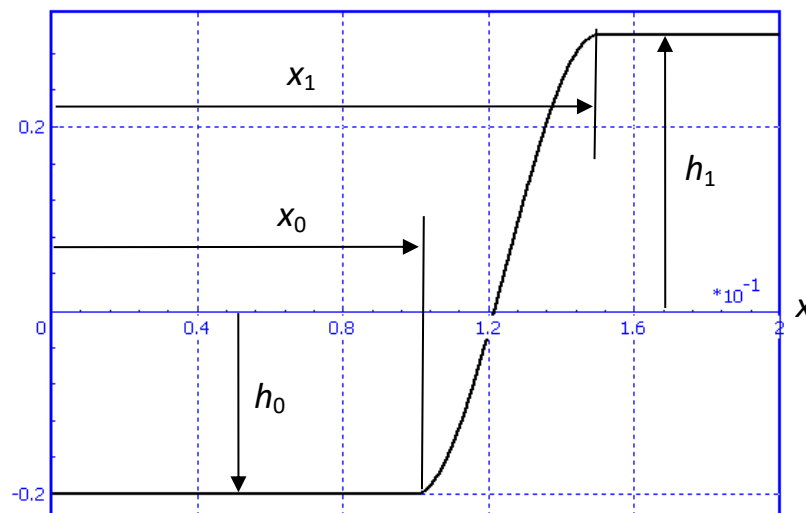


Рис. 3.40 Функция Step

$$\text{step}(x, x_0, h_0, x_1, h_1) = \begin{cases} h_0, & x < x_0 \\ h_0 + (h_1 - h_0)d^2(3 - 2d), & d = \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} \\ h_1, & x > x_1 \end{cases}$$

Как правило, функция `Step` используется для плавного, но быстрого перехода функции от одного значения к другому. Пример функции `step(t, 0.1, -0.2, 0.15, 0.3)` приведен на рис. 3.40.

- К стандартным можно отнести также функцию `bodyinertia`, позволяющую получить и включить в любое выражение численные значения инерционных параметров тел, см. подробнее п. 3.4.2.4.4. "*Функция инерционных параметров `bodyinertia`*", с. 3-51.

Стандартными константами являются

`pi` : число $\pi = 3.1415926536 \dots$

`e` : число $e = 2.7182818285$

`rtod`: множитель перевода радиан в градусы, например, `arctan(1)*rtod=45`;

`dtor`: множитель перевода градусы в радианы, например, `90*dtor=pi/2`;

`itom = 0.0254`: множитель переводит дюймы в метры (Inch TO Meter);

`mtoi = 1/itom`: множитель переводит метры в дюймы (Meter TO Inch);

`pton = 453.6/1000*9.81`: множитель переводит фунты силы в ньютоны (Pound-force TO N);

`ntop = 1/pton`: множитель переводит ньютоны в фунты силы (N TO Pound-force).

Список стандартных функций доступен, в том числе, с использованием редактора выражений, п. 3.4.2.4.13. "*Редактор выражений*", с. 3-76.

3.4.2.4.4. Функция инерционных параметров `bodyinertia`

Данная стандартная функция позволяет получить и включить в любое выражение численные значения инерционных параметров тел, в том числе в выражениях для идентификаторов (п. 3.4.3. "*Список идентификаторов*", с. 3-78), при описании параметров силовых элементов, при создании переменных (п. 3.4.2.4.8. "*Список переменных*", с. 3-67). Синтаксис функции:

`bodyinertia(_inertia_name , _body_name)`

Здесь

`_inertia_name` – стандартное обозначение инерционного параметра тела, которое может принимать одно из следующих значений (не следует путать это обозначение с идентификаторами, входящими в список идентификаторов!):

`m` – масса тела;

`ix` – момент инерции относительно оси X;

`iy` – момент инерции относительно оси Y;

`iz` – момент инерции относительно оси Z;

`ixy, ixz, iyz` – центробежные моменты инерции;

`sx, sy, sz` – координаты центра масс в СК тела.

Возвращаемые функцией значения в точности соответствуют инерционным параметрам, задаваемым для тела, см. п. 3.5.9.2. "*Инерционные параметры*", с. 3-162.

`_body_name` – имя тела.

Функцию рекомендуется использовать в случае, когда инерционные параметры тел рассчитываются автоматически по графическому образу тела.

При написании вызова функции можно использовать инструмент создания выражений, п. 3.4.2.4.13. "Редактор выражений", с. 3-76.

Пример:

```
sqr(2*pi*f)*bodyinertia(m , "bogiel.body1" )
```

В данное выражение входит масса тела с именем bogiel.body1.

```
bodyinertia(ix , "body" )
```

Функция возвращает момент инерции тела с именем bogiel.body1.

Пример использования в моделях:

[{Путь к UM}\Samples\Library\BodyInertia_test](#)

В данной модели показано использование функции bodyinertia в списке идентификаторов, выражении для биполярной силы и в списке переменных.

3.4.2.4.5. Постоянные символьные выражения

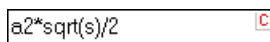
Постоянное символьное выражение является выражением, содержащим

- идентификаторы;
- численные константы;
- операции сложения, вычитания, деления, умножения и возведения в степень.
- стандартные функции (см. п. 3.4.2.4.3. "Стандартные функции и константы", с. 3-50, п. 3.4.2.4.4. "Функция инерционных параметров bodyinertia", с. 3-51).

Не допускается использование идентификатора t (время). Пример корректной записи постоянного символьного выражения:

```
sqrt(2)*b1+sqrt(a1+a2)/2
```

Постоянные символьные выражения используются для описания большинства параметров объекта, принимающих постоянные значения (инерционных параметров, координаты точек прикрепления силовых элементов и их параметры – коэффициенты жесткости и диссипации, элементы описания графических объектов, шарниров и так далее). Соответствующее поле ввода имеет следующий стандартный интерфейс:



```
a2*sqrt(s)/2
```

характерной особенностью которого является буква 'с' в верхнем правом углу (constant). При щелчке левой кнопкой мыши на квадратике, содержащем эту букву и при двойном щелчке на поле ввода можно вызвать форму – инструмент создания выражений, п. 3.4.2.4.13. "Редактор выражений", с. 3-76.

3.4.2.4.6. Выражение – явная функция

Выражение данного типа использует

- численные константы;
- идентификаторы;

- стандартные функции;
- стандартные идентификаторы переменных (t , x , v , $p1$, $p2$, p – в зависимости от типа выражения);
- элементы списка переменных, п. 3.4.2.4.8. "Список переменных", с. 3-67.

При двойном щелчке на поле ввода, а также с использованием контекстного меню можно вызвать форму – инструмент создания выражений, содержащая список введенных идентификаторов, кнопки с допустимыми операциями и арифметический калькулятор, п. 3.4.2.4.13. "Редактор выражений", с. 3-76.

Рассмотрим типы явных функций.

3.4.2.4.6.1. Функция времени

Стандартным идентификатором является t – время. Используется при описании шарниров

- обобщенного типа, элементарные преобразования типов tt , rt (п. 3.5.10.7.4. "Элементарные преобразования tt , rt ", с. 3-196);
- вращательного и поступательного в случаях, когда координата является явной функцией времени (п. 3.5.10.4. "Статус шарнира", с. 3-182);
- проекции Т-силы, п. 3.5.12.7. "Т-силы", с. 3-254.

Для ввода выражения в инспекторе используется поле стандартного вида

t

Указанием на то, что в данное поле вводится функция времени, является буква 't' в правом верхнем углу.

3.4.2.4.6.2. Функции описания скалярных сил и моментов типа Выражение

Стандартными идентификаторами являются: t – время, x , v .

Используются при задании математических моделей сил в следующих случаях:

- при задании *биполярной силы*; x – длина элемента, v – производная от длины по времени, п. 3.5.12.3. "Ввод биполярных силовых элементов", с. 3-232;
- при задании скалярного момента; x – угол поворота, v – производная от угла по времени, п. 3.5.12.4. "Ввод скалярного момента", с. 3-233;
- при задании шарнирной силы и момента в *шарнире обобщенного типа* (элементарные преобразования rv , tv , тип силы – выражение), во *вращательном и поступательном шарнирах*; x – значение координаты, v – ее производная по времени;
- при описании осевой силы в случае специального силового элемента типа *комбинированное трение*, п. 3.5.12.8.3.5. "Задание модели осевой силы", с. 3-262;
- при описании модели сайлент-блока обобщенного типа, п. 3.5.12.8.7.2. "Задание параметров обобщенного сайлент-блока", с. 3-276.

Для ввода выражения в инспекторе используется поле стандартного вида, рис. 3.41.

$$-cstiff*(x-x0)-cdiss*v+f0*sin(om*t) | P$$

Рис. 3.41. Поле для ввода выражений описания силы

Указанием на то, что в данное поле вводится функция описания силы, является буква 'p' (Pascal) в правом верхнем углу.

3.4.2.4.6.3. Функции описания кривых

Стандартным идентификатором является переменная p , параметризующий кривую. Используется в следующих случаях:

- задание профиля или осевой линии профильного графического объекта с помощью выражений, п. 3.5.8.2.8. "Профильный", с. 3-136;
- задание пространственных кривых выражением, п. 3.5.7. "Ввод кривых", с. 3-111.

3.4.2.4.6.4. Функции задания параметрического графического элемента

Стандартными идентификаторами являются переменные $p1$, $p2$, параметризующие поверхности (п. 3.5.8.2.7. "Параметрический", с. 3-131).

3.4.2.4.6.5. Задание Z –поверхностей контактных взаимодействий

Задание поверхностей вида $z = f(x, y)$ в трехмерном пространстве используется при задании контактных силовых элементов типов *Точка – Z-поверхность*, *Окружность – Z-поверхность* *Сфера – Z-поверхность*.

Стандартными идентификаторами являются переменные $p1$ (координата x), $p2$ (координата y), параметризующие Z-поверхность. Для ввода выражения в инспекторе используется поле стандартного вида, представленное на рис. 3.41.

3.4.2.4.6.6. Функции описания профильного графического элемента

Стандартным идентификатором является переменная p , параметризующая профиль сечения и/или осевую линию, п. 3.5.8.2.8. "Профильный", с. 3-136. Для ввода выражения в инспекторе используется поле стандартного вида, представленное на рис. 3.41.

Двойным щелчком левой кнопкой мыши на поле пользователь вызывает редактор выражений, п. 3.4.2.4.13. "Редактор выражений", с. 3-76.

3.4.2.4.7. Кинематические функции

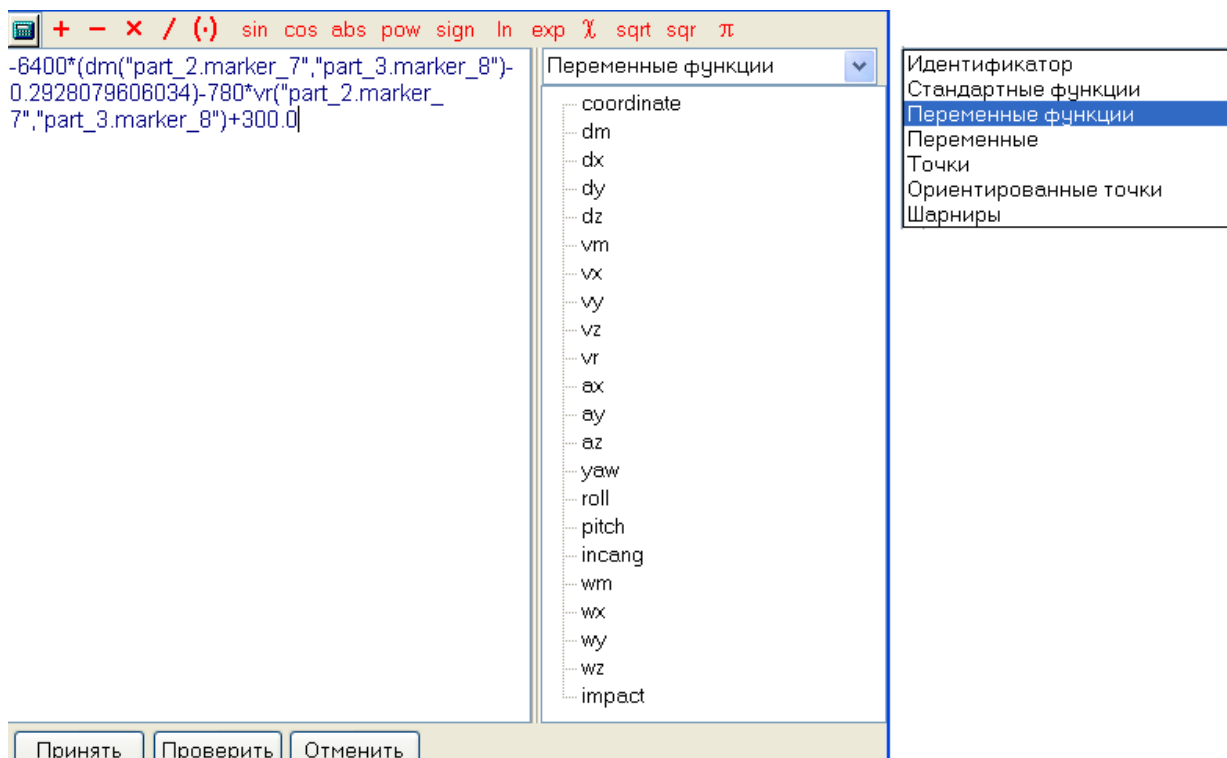


Рис. 3.42 Редактор выражений и список кинематических функций

При задании списка переменных (п. 3.4.2.4.8. "Список переменных", с. 3-67), а также некоторых типов сил пользователь может использовать кинематические функции, зависящие от относительного положения и движения тел, входящих в механическую систему.

Список силовых элементов, в которых допускается использование кинематических функций:

- скалярная сила типа Выражение, п. 3.5.12.2.9. "Выражение", с. 3-222 в задании силовых элементов
 - биполярные силы, п. 3.5.12.1. "Ввод силы тяжести", с. 3-206,
 - шарнирные силы, п. 3.5.10.7.3. "Элементарные преобразования tv , rv ", с. 3-195,
 - скалярный момент, п. 3.5.12.4. "Ввод скалярного момента", с. 3-233,
 - осевая сила в модели комбинированного трения, п. 3.5.12.8.3.5. "Задание модели осевой силы", с. 3-262,
 - компоненты силы и момента сайлент-блока обобщенного типа, п. 3.5.12.8.7.2. "Задание параметров обобщенного сайлент-блока", с. 3-276;
- компоненты Т-силы при задании с помощью выражения, п. 3.5.12.7. "Т-силы", с. 3-254.

Доступ к полному списку функций данного типа осуществляется с помощью редактора выражений, рис. 3.42, см. п. 3.4.2.4.13. "Редактор выражений", с. 3-76. После двойного щелчка на имени функции в списке к выражению в позиции курсора добавляется шаблон функции, в котором пользователь должен заменить аргументы. Пример шаблона:

`vx(_to_point , [_from_point] , [_SC_component] , [_SC_deriv]).`

В шаблонах для обозначения аргументов используются следующие стандартные текстовые обозначения:

_to_point – первая точка связи;

_from_point – вторая точка связи;

_SC_component – локальная система координат (СК), в которой определяются проекции вектора; задается ориентированной точкой связи;

_SC_deriv – локальная СК, относительно которой определяется производная от вектора по времени; задается ориентированной точкой связи;

_to_SC – первая локальная СК; задается ориентированной точкой связи;

_from_SC – вторая локальная СК; задается ориентированной точкой связи.

Необязательные аргументы указаны в шаблоне в квадратных скобках. Для того, чтобы пропустить необязательный аргумент, находящийся в списке **перед** задаваемым элементом, следует использовать пробел перед запятой. Пример (пропущен второй необязательный аргумент):

dy(“Тележка1.Рама.Точка 2”, , “Кузов.Локальная СК”)

3.4.2.4.7.1. Функция **coordinate**

Функция возвращает координату в шарнире или ее первую/вторую производную.

Шаблон функции

coordinate(*_joint* , *_index* , *_type*)

Текстовые обозначения в шаблоне:

_joint – имя шарнира;

_index – номер координаты в шарнире, начиная с 1;

_type – тип переменной (0 – координата, 1 – первая производная от координаты по времени, 2 – вторая производная от координаты по времени).

Примеры

coordinate(“jКузов”, 4 , 0)

Функция возвращает значение четвертой координаты шарнира *jКузов*.

coordinate(“Тележка1.jРама”, 2, 1)

Функция возвращает значение первой производной по времени от второй координаты в шарнире шарнир Тележка1.jРама.

3.4.2.4.7.2. Функции **dm**, **dx**, **dy**, **dz**

Функции данного типа определяют длину (*dm*) и проекции (*dx*, *dy*, *dz*) вектора \overline{BA} , соединяющего две фиксированные точки А, В пары тел, рис. 3.43. Проекции вектора задаются в СК, заданной ориентированной точкой связи С.

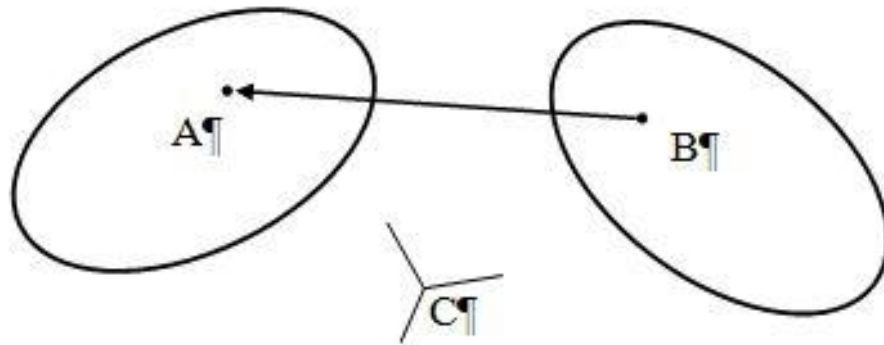


Рис. 3.43. Вектор, соединяющий фиксированные точки тел

Математическая модель

Вектор \overrightarrow{BA} определяется по формуле

$$\overrightarrow{BA} = r_A - r_B,$$

где r_A, r_B – радиус-векторы точек A, B относительно СК0

Шаблоны функций:

dm(*_to_point* , [*_from_point*])
 dx(*_to_point* , [*_from_point*] , [*_SC_component*])
 dy(*_to_point* , [*_from_point*] , [*_SC_component*])
 dz(*_to_point* , [*_from_point*] , [*_SC_component*])

Текстовые обозначения в шаблонах:

- _to_point*: имя точки связи A;
- _from_point*: имя точки связи B;
- _SC_component*: имя ориентированной точки связи C.

Имена точек связей включают длинные имена тел и, как правило, указываются в кавычках.

Если не указана точка B, то она совмещается с началом отсчета СК0.

Если не указано точка C, то проекция вектора определяется на соответствующую ось СК0.

Примеры.

dx("Кузов.Центр масс")

Функция определяет координату x относительно СК0 точки тела *Кузов*, заданной точкой связи с именем *Центр масс*.

dm("Кузов.Центр масс", "Тележка1.Рама.Точка 2")

Функция определяет расстояние между точкой с именем *Центр масс* тела *Кузов* и точкой *Точка 2* тела *Тележка1.Рама*.

dy("Тележка1.Рама.Точка 2", "Кузов.Центр масс", "Кузов.Локальная СК")

Функция определяет проекцию вектора на ось у локальной СК тела Кузов, заданной ориентированной точкой связи *Локальная СК*. Вектор соединяет точку *Центр масс* тела *Кузов* с точкой *Точка 2* тела *Тележка1.Рама*.

3.4.2.4.7.3. Функции *vm*, *vx*, *vy*, *vz*, *vr*

Функции данного типа определяют модуль (*vm*), проекции (*vx*, *vy*, *vz*) и биполярную (радиальную) составляющую разности скоростей точек А и В \mathbf{v}_{BA} пары тел, рис. 3.43. Проекции вектора задаются в СК, заданной ориентированной точкой связи С. Векторы скоростей точек вычисляются относительно локальной системы координат, задаваемой ориентированной точкой связи D (СКD, на рисунке не указана).

Математическая модель

Скорость \mathbf{v}_{BA} определяется по формуле

$$\mathbf{v}_{BA} = \mathbf{v}_A - \mathbf{v}_B.$$

где $\mathbf{v}_A, \mathbf{v}_B$ – скорости точек В, А относительно СКD. Результат не зависит от положения и ориентации точки связи D относительно соответствующего тела, а зависит только от того, какому телу принадлежит эта точка.

Биполярная (радиальная) скорость равна скорости изменения расстояния между точками А, В и вычисляется в соответствии с формулой

$$v_{BA,r} = (\mathbf{v}_A - \mathbf{v}_B) \cdot \mathbf{e}_{BA},$$

где \mathbf{e}_{BA} – единичный вектор в направлении от точки В к точке А. Результат не зависит от выбора СКD, поэтому скорости v_A, v_B рассчитываются относительно СК0.

Шаблоны функций:

`vm(_to_point , [_from_point], [_SC_deriv])`

`vx(_to_point , [_from_point] , [_SC_component] , [_SC_deriv])`

`vy(_to_point , [_from_point] , [_SC_component] , [_SC_deriv])`

`vz(_to_point , [_from_point] , [_SC_component] , [_SC_deriv])`

`vr(_to_point , [_from_point])`

Текстовые обозначения в шаблонах:

`_to_point`: имя точки связи А;

`_from_point`: имя точки связи В;

`_SC_component`: имя ориентированной точки связи С.

`_SC_deriv`: имя ориентированной точки связи D (СК, относительно которой определяются скорости).

Имена точек связей включают длинные имена тел и, как правило, указываются в кавычках.

Если не указана точка В, то она совмещается с началом отсчета СК0.

Если не указано точка С, то проекция вектора определяется на соответствующую ось СК0.

Если не указано точка D, то скорости определяются относительно СК0.

Примеры.

vu("Тележка1.Рама.Точка 2", "Кузов. Локальная СК", "Кузов. Локальная СК", "Кузов. Локальная СК")

Функция определяет проекцию скорости точки *Точка 2* тела *Тележка1.Рама* относительно тела *Кузов* на ось *y* локальной СК, связанной с телом *Кузов*. Другими словами, это скорости некоторой точки рамы относительно кузова в поперечном направлении.

vm("Кузов.Центр масс")

Модуль скорости точки *Центр масс* тела *Кузов* относительно СК0.

3.4.2.4.7.4. Функции ax, ay, az

Функции данного типа определяют угол поворота СКА вокруг одной из осей СКВ, рис. 3.44. Угол поворота вокруг одной из осей определяется корректно, если углы поворота вокруг двух других осей малы (менее 10°).

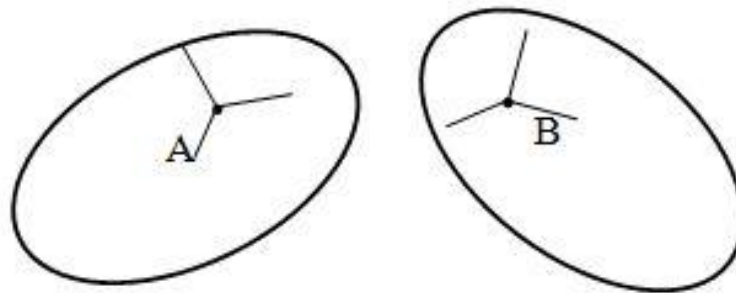


Рис. 3.44. К определению систем координат

Математическая модель

Углы повтора определяются по формулам

$$\begin{aligned} ax: \alpha &= \arctan2(-\mathbf{k}_A \cdot \mathbf{j}_B, \mathbf{k}_A \cdot \mathbf{k}_B), \\ ay: \beta &= \arctan2(-\mathbf{k}_A \cdot \mathbf{i}_B, \mathbf{k}_A \cdot \mathbf{k}_B), \\ az: \gamma &= \arctan2(\mathbf{i}_A \cdot \mathbf{j}_B, \mathbf{i}_A \cdot \mathbf{i}_B), \end{aligned}$$

где *i, j, k* – орты СКА и СКВ.

Шаблоны функций:

ax(*_to_SC* , [*_from_SC*])

ay(*_to_SC* , [*_from_SC*])

az(*_to_SC* , [*_from_SC*])

Текстовые обозначения в шаблонах:

_to_SC: имя ориентированной точки связи А;

_from_SC: имя ориентированной точки связи В.

Имена точек связей включают длинные имена тел и, как правило, указываются в кавычках.

Если не указана точка В, то определяются углы поворота СКА относительно СК0.

Пример.

az("Кузов.Локальная СК")

Функция определяет угол поворота тела Кузов относительно оси Z СК0.

3.4.2.4.7.5. Функция angle

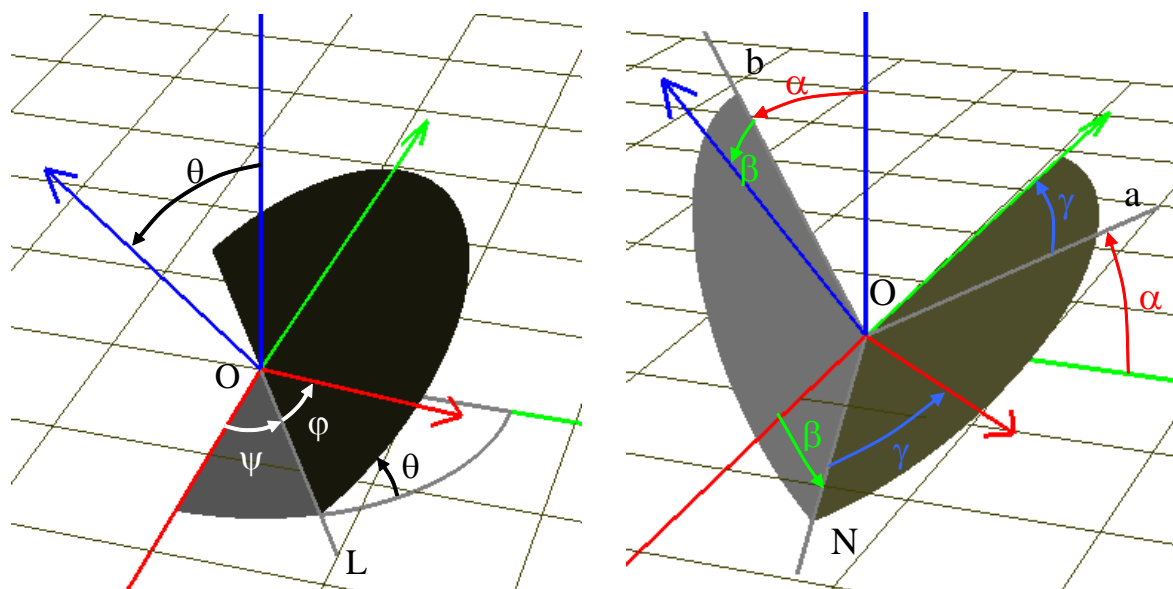


Рис. 3.45. Углы Эйлера (слева) и Кардано-Крылова (справа)

Функция возвращает один из трех углов ориентации СКА относительно СКВ, рис. 3.44. Понятие углов ориентации, вводимых посредством трех последовательных поворотах, вводятся в [Главе 2](#), п. Шарнир с шестью степенями свободы. Примером углов ориентации являются углы Эйлера (ψ, θ, ϕ), последовательность поворотов 3,1,3,

Таблица 1.

Типы углов ориентации

Значение _angle_type	Последовательность поворотов	Комментарий
0	(3,1,3)	Углы Эйлера (прецессии, нутации, собственного вращения)
1	(1,2,3)	Углы Кардано-Крылова
2	(1,3,2)	
3	(3,2,1)	Самолетные углы (рыскания, тангажа и крена – yaw, pitch, roll)
4	(3,1,2)	Углы ориентации колесной пары
5	(2,1,3)	
6	(2,3,1)	
7	(1,2,1)	
8	(1,3,1)	
9	(2,1,2)	
10	(2,3,2)	
11	(3,2,3)	

Шаблон функции:

angle(_to_SC, _angle_type, _index, [_from_SC])

Текстовые обозначения в шаблонах:

- _to_SC: имя ориентированной точки связи А;
- _angle_type: целое число, определяющее тип углов ориентации (последовательность поворотов) в соответствии с табл. 1;
- _index: номер угла поворота 1, 2 или 3;
- _from_SC: имя ориентированной точки связи В.

Имена точек связей включают длинные имена тел и, как правило, указываются в кавычках.

Если не указана точка В, то определяются углы поворота СКА относительно СК0.

Пример.

```
angle( "Кузов.Локальная СК", 3, 1)
```

Функция определяет угол ориентации тела Кузов относительно СК0; последовательность поворотов 3 (т.е. 3,2,1 – самолетные углы), возвращается первый угол (рыскания).

Примеры использования в моделях:

[{Данные УМ}\SAMPLES\LIBRARY\Variables and Kinematic functions\Yaw Pitch Roll](#)
[{Данные УМ}\SAMPLES\LIBRARY\Variables and Kinematic functions\Euler angles](#)

3.4.2.4.7.6. Функции yaw, pitch, roll (самолетные углы)

Частный случай углов ориентации, соответствующих последовательности поворотов (3,2,1) – самолетные углы, см. п. 3.4.2.4.7.5. "Функция angle", с. 3-61.

Шаблоны функций:

```
yaw( _to_SC, [_from_SC])  
pitch( _to_SC, [_from_SC])  
roll( _to_SC, [_from_SC])
```

Текстовые обозначения в шаблонах:

- _to_SC: имя ориентированной точки связи А, рис. 3.44;
- _from_SC: имя ориентированной точки связи В;

Если не указана точка В, то определяются углы поворота СКА относительно СК0.

Соответствие функции angle:

```
yaw( _to_SC, [_from_SC]) = angle( _to_SC, 3, 1, [_from_SC]);  
pitch( _to_SC, [_from_SC]) = angle( _to_SC, 3, 2, [_from_SC]);  
roll( _to_SC, [_from_SC]) = angle( _to_SC, 3, 3, [_from_SC]);
```

Пример использования в моделях:

[{Данные УМ}\SAMPLES\LIBRARY\Variables and Kinematic functions\Yaw Pitch Roll](#)

3.4.2.4.7.7. Функции psi, theta, phi (углы Эйлера)

Частный случай углов ориентации, соответствующих последовательности поворотов (3,1,3) – углы Эйлера, см. п. 3.4.2.4.7.5. "Функция angle", с. 3-61.

Шаблоны функций:

psi(_to_SC, [_from_SC])

theta(_to_SC, [_from_SC])

phi(_to_SC, [_from_SC])

Текстовые обозначения в шаблонах:

_to_SC: имя ориентированной точки связи А, рис. 3.44;

_from_SC: имя ориентированной точки связи В;

Если не указана точка В, то определяются углы поворота СКА относительно СК0.

Соответствие функции angle:

psi(_to_SC, [_from_SC]) = angle(_to_SC, 0, 1, [_from_SC]);

theta(_to_SC, [_from_SC]) = angle(_to_SC, 0, 2, [_from_SC]);

phi(_to_SC, [_from_SC]) = angle(_to_SC, 0, 3, [_from_SC]);

Пример использования в моделях:

[{Данные УМ}\SAMPLES\LIBRARY\Variables and Kinematic functions\Euler angles](#)

3.4.2.4.7.8. Функции wm, wx, wy, wz

Функции данного типа определяют модуль (wm) и проекции (wx, wy, wz) вектора ω_{BA} , равного разности угловых скоростей СКА и СКВ (угловая скорости СКА относительно СКВ), рис. 3.44. Проекции вектора вычисляются на оси СКС (на рисунке не указана).

Математическая модель

Вектор ω_{BA} определяются по формуле

$$\omega_{BA} = \omega_A - \omega_B$$

где ω_A, ω_B – угловые скорости СКА и СКВ.

Шаблоны функций:

wm(_to_SC , [_from_SC])

wx(_to_SC , [_from_SC] , [_SC_component])

wy(_to_SC , [_from_SC] , [_SC_component])

wz(_to_SC , [_from_SC] , [_SC_component])

Текстовые обозначения в шаблонах:

`_to_SC`: имя ориентированной точки связи А;
`_from_SC`: имя ориентированной точки связи В;
`_SC_component`: имя ориентированной точки связи С.

Имена точек связей включают длинные имена тел и, как правило, указываются в кавычках.

Если не указана точка В, то определяется угловая скорость СКА относительно СК0.

Если не указана точка С, то проекции угловой скорости определяются на оси СК0.

Пример.

`wx("Кузов.Локальная СК")`

Функция определяет угловую скорость тела *Кузов* относительно оси Х СК0.

`wz("Тележка1.Рама.Локальная СК", "Кузов.Локальная СК", "Кузов.Локальная СК")`

Функция определяет угловую скорость тела *Тележка1.Рама* относительно тела *Кузов* в проекции на ось Z тела *Кузов*.

3.4.2.4.7.9. Функция `incang`

Функция возвращает угол между двумя векторами \overline{BA} и \overline{BC} . Угол изменяется в пределах от 0 до π . Если один из векторов имеет нулевую длину, функция возвращает нулевой результат.

Математическая модель

$$\alpha = \arccos\left(\frac{\overline{BA} \cdot \overline{BC}}{|\overline{BA}| |\overline{BC}|}\right).$$

Шаблон функции:

`incang(_to_point1 , _from_point , _to_point2)`

Текстовые обозначения в шаблонах:

`_to_point1` : имя точки связи А;

`_from_point2` : имя точки связи В;

`_to_point2` : имя точки связи С;

Имена точек связей включают длинные имена тел и, как правило, указываются в кавычках.

3.4.2.4.7.10. Функции `асст`, `ассх`, `ассу`, `ассз`

Функции данного типа определяют модуль (`асст`) и проекции (`ассх`, `ассу`, `ассз`) вектора \mathbf{a}_{BA} , равного ускорению точки А относительно СКВ, рис. 3.44. Проекции вектора вычисляются на оси СКС (на рисунке не указана).

Математическая модель

Вектор \mathbf{a}_{BA} определяются по формуле

$$\mathbf{a}_{BA} = \mathbf{a}_A - \mathbf{a}_B - \boldsymbol{\varepsilon}_B \times (\mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A) - \boldsymbol{\omega}_B \times \boldsymbol{\omega}_B \times (\mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A) - 2\boldsymbol{\omega}_B \times \mathbf{v}_{BA}$$

где $\mathbf{a}_A, \mathbf{a}_B$ – ускорения точек А и В, $\boldsymbol{\omega}_B, \boldsymbol{\varepsilon}_B$ – угловая скорость и угловое ускорение СКВ, \mathbf{v}_{BA} – скорость точки А относительно СКВ.

Шаблоны функций:

accm(_to_point, [_from_point])
 accx(_to_point, [_from_point], [_SC_component])
 accy(_to_point, [_from_point], [_SC_component])
 accz(_to_point, [_from_point], [_SC_component])

Текстовые обозначения в шаблонах:

_to_point: имя точки связи А;
 _from_point: имя точки связи В;
 _SC_component: имя ориентированной точки связи С.

Точка В используется только для задания тела, которому она принадлежит, при этом СКВ совпадает с СК данного тела.

Имена точек связей включают длинные имена тел и, как правило, указываются в кавычках.

Если не указана точка В, то определяется ускорение точки А относительно СК0.

Если не указана точка С, то проекции определяются на оси СК0.

Замечание. Данная кинематическая функция не может входить в математические модели сил.

3.4.2.4.7.11. Функции wdtm, wdtx, wdy, wdtz

Функции данного типа определяют модуль (wdtm) и проекции (wdtx, wdy, wdtz) вектора $\boldsymbol{\varepsilon}_{BA}$, равного угловому ускорению тела А относительно тела В. Проекции вектора вычисляются на оси СКС.

Математическая модель

Вектор $\boldsymbol{\varepsilon}_{BA}$ определяются по формуле

$$\boldsymbol{\varepsilon}_{BA} = \boldsymbol{\varepsilon}_A - \boldsymbol{\varepsilon}_B - \boldsymbol{\omega}_B \times \boldsymbol{\omega}_A$$

где $\boldsymbol{\varepsilon}_A, \boldsymbol{\varepsilon}_B$ – угловые ускорения тел А и В, $\boldsymbol{\omega}_A, \boldsymbol{\omega}_B$ – угловые скорости тел.

Шаблоны функций:

wdtm(_to_SC, [_from_SC])
 wdtx(_to_SC, [_from_SC], [_SC_component])
 wdy(_to_SC, [_from_SC], [_SC_component])
 wdtz(_to_SC, [_from_SC], [_SC_component])

Текстовые обозначения в шаблонах:

_to_SC: имя ориентированной точки связи А;

_from_SC: имя ориентированной точки связи В;

_SC_component: имя ориентированной точки связи С.

Имена точек связей включают длинные имена тел и, как правило, указываются в кавычках.

Если не указана точка В, то определяется угловое ускорение тела А относительно СК0.

Если не указана точка С, то проекции определяются на оси СК0.

Замечание. Данная кинематическая функция не может входить в математические модели сил.

3.4.2.4.8. Список переменных

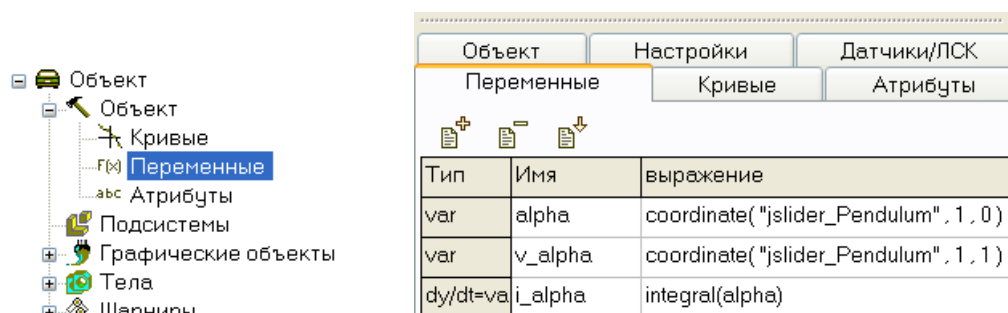


Рис. 3.46. Список переменных в инспекторе программы ввода

Список переменных – это эффективный инструмент описания пользователем нестандартных силовых взаимодействий, а также один из вариантов создания списка переменных, рассчитываемых в процессе моделирования динамического объекта.

Список переменных используется при конвертации моделей, разработанных в MSC.ADAMS в формат UM, п. **Ошибка! Источник ссылки не найден.** "**Ошибка! Источник ссылки не найден.**", с. **Ошибка! Закладка не определена.**

Для создания и модификации списка переменных используется вкладка **Объект | Переменные** инспектора в программе ввода, рис. 3.46. Для добавления и удаления переменных используются кнопки, позволяющие соответственно добавить переменную в конец списка; удалить выделенную переменную; вставить новую переменную перед выделенным элементом списка.



Переменная описывается в виде выражения, включающего

- числовые константы,
- идентификаторы из списка идентификаторов модели, п. 3.4.2.4.2. "*Идентификаторы*", с. 3-48, п. 3.4.3. "*Список идентификаторов*", с. 3-78.
- идентификатор времени t , аргументы скалярной силы x , v , параметр кривой p , параметры поверхности $p1$, $p2$;
- кинематические функции, п. 3.4.2.4.7. "*Кинематические функции*", с. 3-55;
- переменные, внесенные пользователем в список;
- арифметические операции и стандартные функции, п. 3.4.2.4.3. "*Стандартные функции и константы*", с. 3-50
- функция **Integral**, п. 3.4.2.4.9. "*Функция Integral и дифференциальные уравнения пользователя*", с. 3-68

Программа автоматически определяет тип результирующей переменной. Допустимые типы:

- функция времени;
- функции x , v , t для описания скалярных сил;
- кинематические функции;

- функция параметра p для задания кривой,
- функция параметров p_1, p_2 для задания поверхностей.

Переменные перечисленных типов могут использоваться при описании

- сил, список которых представлен в п. 3.4.2.4.7. *"Кинематические функции"*, с. 3-55;
- графических образов, п. 3.5.8.2.7. *"Параметрический"*, с. 3-131, п. 3.5.8.2.8. *"Профильный"*, с. 3-136;
- контактных поверхностей (Z-поверхности, п. 3.5.12.6.8. *"Контактные силовые элементы типов Точка / Сфера / Окружность – Z-поверхность"*, с. 3-252) и кривых (п. 3.5.12.6.3. *"Контакт точка-кривая"*, с. 3-246, п. 3.5.7. *"Ввод кривых"*, с. 3-111).

Замечание. Следует избегать заикливание переменных, то есть рекурсивных ссылок переменной на саму себя.

Примеры использования переменных:

- для описания управляющего воздействия в модели перевернутого маятника, см. модель [{Данные УМ}\SAMPLES\LIBRARY\Variables and Kinematic functions\ Inverted pendulum УМ](#);
- для построения графиков кинематических переменных при моделировании движения, см. модели
- [{Данные УМ}\SAMPLES\LIBRARY\Variables and Kinematic functions\Yaw Pitch Roll](#)
- [{Данные УМ}\SAMPLES\LIBRARY\Variables and Kinematic functions\Euler angles](#)

3.4.2.4.9. Функция **Integral** и дифференциальные уравнения пользователя

Функция **Integral** используется для задания пользователем дифференциальных уравнений вида

$$\frac{dy}{dt} = f(t, y, \dots).$$

Формат задания переменной в списке переменных (п. 3.4.2.4.8. *"Список переменных"*, с. 3-67):

[Имя], Integral(f(t,[Имя],...)).

Аргументами выражения в правой части дифференциального уравнения является время t , сама переменная, задаваемая именем, а также любая переменная списка, имеющая тип кинематической переменной или интеграла. Тем самым пользователь может добавить как отдельное дифференциальное уравнение, так и систему дифференциальных уравнений.

Добавленные дифференциальные уравнения интегрируются совместно с уравнениями движения модели. Для использования стандартных численных методов, уравнение первого порядка формально заменяется на уравнение второго порядка вида

$$\frac{d^2z}{dt^2} = f(t, y, \dots), y = \frac{dz}{dt}.$$

Начальные условия задаются стандартным образом, причем начальному значению переменной y соответствует значение скорости в таблице численных значений начальных условий.

Примеры.

1. Обыкновенное дифференциальное уравнение вида

$$\frac{dy}{dt} = -\alpha y$$

задается с помощью переменной V1 на рис. 3.47. В этом примере имя переменной V1, параметр α задан идентификатором alpha.

Тип	Имя	выражение
dy/dt=co	V1	integral(-alpha**V1)

Рис. 3.47. Задание переменной в виде решения дифференциального уравнения

2. Пример переменной, являющейся интегралом от угла поворота в шарнире, приведен на рис. 3.46, см. модель

[{Данные УМ}\SAMPLES\LIBRARY\Variables and Kinematic functions\Inverted pendulum UM.](#)

3. Упрощенная модель двигателя постоянного тока

Рассмотрим упрощенную линейную модель двигателя постоянного тока

$$L \frac{dI}{dt} = U - RI - C\omega,$$

$$M = CI$$

Здесь L , R – индуктивность и активное сопротивление обмотки, I – ток в якорной обмотке, U – приложенное напряжение, M – момент на валу двигателя, ω – угловая скорость вала двигателя, C – параметр, являющийся произведением магнитного потока возбуждения и конструктивной постоянной двигателя. Реализация модели в виде списка переменных представлена на рис. 3.48. Предполагается, что угловая скорость вала двигателя совпадает с угловой скоростью во вращательном шарнире jBody1. Момент рассчитывается переменной Torque и должен быть приложен к валу в виде шарнирного момента.

Тип	Имя	выражение
var	Omega	coordinate("jBody1", 1, 1)
dy/dt=va	Current	integral((U-R**Current"-C**Omega"/L)
const	Torque	C**Current"

Рис. 3.48. Простейшая модель двигателя постоянного тока

Замечание. Не допускается использование в дифференциальных уравнениях стандартных аргументов скалярной силы x, v . Вместо них следует применять соответствующие кинематические переменные, п. 3.4.2.4.7. "*Кинематические функции*", с. 3-55 (например, координату в шарнире и ее производную по времени).

3.4.2.4.10. Внешние функции

Использование *внешних функций* предполагает их программную реализацию с использованием *файла управления*, см. [Главу 5](#) руководства пользователя. Как правило, это функции, которые не могут быть описаны явным образом с использованием аппарата явных функций или кинематических переменных (см. п. 3.4.2.4.6. "*Выражение – явная функция*", с. 3-52, п. 3.4.2.4.7. "*Кинематические функции*", с. 3-55).

Использование внешних функций требует синтеза уравнений в символьной форме и использования внешнего компилятора. п. 3.8.2. "*Символьный метод*", с. 3-290.

Внешние функции имеют три типа, различающиеся по спискам аргументов.

- Функции времени (t) используются при задании зависимости шарнирной координаты от времени в случаях шарнира обобщенного типа (типы элементарных преобразований rt, tt), вращательного и поступательного шарнира в случаях, когда координата является явной функцией времени.
- Функции трех переменных (x, v, t) используются при задании скалярных сил типа «внешняя функция», п. 3.5.12.2.8. "*Внешняя функция*", с. 3-221.
 - при задании биполярной силы; x – длина элемента, v – производная от длины по времени, п. 3.5.12.3. "*Ввод биполярных силовых элементов*", с. 3-232;
 - при задании скалярного момента; x – угол поворота, v – производная от угла по времени, п. 3.5.12.4. "*Ввод скалярного момента*", с. 3-233;
 - при задании шарнирной силы и момента в шарнире обобщенного типа (элементарные преобразования gv, tv , тип силы – выражение), во вращательном и поступательном шарнирах; x – значение координаты, v – ее производная по времени;
 - при описании осевой силы в случае специального силового элемента типа комбинированное трение, п. 3.5.12.8.3.5. "*Задание модели осевой силы*", с. 3-262;
 - при описании модели сайлент-блока обобщенного типа, п. 3.5.12.8.7.2. "*Задание параметров обобщенного сайлент-блока*", с. 3-276.
- Функции двух переменных ($p1, p2$) используются при задании Z -поверхностей (поверхностей, задаваемых выражением типа $z = f(x, y)$) в случае одноименного графического элемента и при описании контактных сил соответствующих типов, п. 3.5.8.2.9. "*Z-поверхность*", с. 3-140, п. 3.5.12.6.8. "*Контактные силовые элементы типов Точка / Сфера / Окружность – Z-поверхность*", с. 3-252.

Для ввода внешней функции следует задать ее идентификатор в соответствующем поле инспектора без указания аргументов, например,

bforce1

Синтаксические правила для идентификатора функции совпадают с правилами, описанными в разделе 3.4.2.4.2. "Идентификаторы", с. 3-48.

Для каждой введенной внешней функции при синтезе уравнений в файле управления формируется *шаблон*, то есть создаются функция или процедура на языке Pascal или C, соответствующая данной внешней функции. При этом значение результата полагается равным нулю, и пользователь должен переработать программный код нужным ему образом, используя элементы программирования в среде УМ.

Рассмотрим шаблон *функции времени*. Пусть для внешней функции времени введен идентификатор *alpha*. При синтезе уравнений движения в файл управления СИ[Идентификатор Объекта].pas будет добавлена процедура

```
procedure alpha( _isubs : integer; _t : real; var _Value, _dValue, _ddValue :
real_ );
var _ : _platfVarPtr;
begin
  _ := _PzAll[SubIndx[_isubs]];
  _Value := 0;
  _dValue := 0;
  _ddValue := 0;
end;
```

Входными параметрами процедуры являются

- *_isubs* – глобальный номер подсистемы (только для метода подсистем, в противном случае параметр *_isubs* всегда равен единице);
- *_t* – текущее значение времени.

В процедуре должны быть рассчитаны *выходные параметры*:

- значение функции (параметр *_Value*), ее первая и вторая производные по времени (*_dValue*, *_ddValue*).

Ошибки при расчете производных приводят к неверным результатам моделирования!

Рассмотрим шаблон *функции трех переменных*. Пусть для внешней функции, соответствующей биполярной или шарнирной силе, введен идентификатор *bforce1*. При синтезе уравнений движения в файл управления СИ[Идентификатор Объекта] будет добавлена функция

```
function bforce1( _isubs : integer; _t, _x, v : real ) : real_;
var
  _ : _vehicleVarPtr;
begin
  _ := _PzAll[SubIndx[_isubs]];
  Result := 0;
end;
```

Входными параметрами процедуры являются

- *_isubs* – глобальный номер подсистемы (только для метода подсистем, в противном случае параметр *_isubs* всегда равен единице);
- *_t* – текущее значение времени;

- `_x`, `_v` (см. п. 3.4.2.4.4. "*Функция инерционных параметров `bodyinertia`*", с. 3-51) – текущие значения переменных x и v .

В функции пользователем должен быть написан программный код расчета силы и присвоен переменной `Result` (в шаблоне присваивается нулевое значение: `Result := 0`).

Замечания:

1. При использовании внешних функций следует использовать генерацию уравнений в символьной форме. В случае численно-итерационного синтеза уравнений использование внешних функций диагностируется как ошибка.
2. Функции одного типа, имеющие одинаковые идентификаторы, отождествляются в том смысле, что для них формируется одна процедура в файле управления. Запрещено вводить одинаковые идентификаторы для внешних функций разных типов.
3. Программа производит вызов внешних функций автоматически.
4. При добавлении или удалении внешних функций пользователь должен сам следить за корректностью содержимого старого файла управления.

Более подробные сведения можно найти в разделе руководства, посвященном программированию в среде УМ, [Глава 5](#) руководства пользователя.

3.4.2.4.11. Задание функций времени с помощью текстовых файлов

Здесь описывается возможность задания зависимостей угловых или поступательных координат от времени с помощью текстовых файлов. Зависимости такого типа могут быть результатами как натуральных, так и численных экспериментов. Координаты как заданные функции времени реализуются с помощью шарниров

- обобщенного типа, элементарные преобразования типов *tt*, *rt* (п. 3.5.10.7.4. "Элементарные преобразования *tt*, *rt*", с. 3-196);
- вращательного и поступательного в случаях, когда координата является явной функцией времени (п. 3.5.10.4. "Статус шарнира", с. 3-182).

Формат текстового файла

Текстовый файл описания функции времени должен содержать два столбца, разделенных пробелами. В первом столбце указываются моменты времени в секундах, начиная с нуля или близкого к нулю значения. Во втором столбце содержатся значения функции в метрах для поступательных координат и в радианах – для угловых.

Строки с комментариями должны начинаться с символа %.

Файл должен быть заранее создан и помещен в каталог модели, использующей его.

Если в процессе моделирования программа не обнаруживает файл, то устанавливает нулевую зависимость от времени.

Создание файлов с функциями времени в результате численного моделирования

Зависимости переменных от времени в графическом окне, получаемые в результате исследования модели в программе моделирования, можно записать в текстовый файл (см. [Главу 4](#), п. *Окно для построения графиков*). Формат файла будет совпадать с описанным выше, если в настройках программы моделирования установить символ % в качестве префикса для комментариев ([Глава 4](#), п. *Настройки программы моделирования*), и если в файл записана только одна переменная, причем по абсциссе должно быть отложено время. Если в качестве префикса используется символ, отличный от %, для совместимости следует удалить комментарий, автоматически генерируемый программой.

Пример фрагмента автоматически сгенерированного файла с зависимостью переменной от времени в совместимом формате:

```
%  
% 1 - time  
% 2 - dyWheelset4 [Lateral position of Wheelset4]  
%  
2.00000002337219E-7 2.82372854E-15  
1.03125004097819E-2 2.03257468E-6  
2.09375005215406E-2 7.46718570E-6  
3.21874991059303E-2 1.76279409E-5  
4.21875007450581E-2 3.07774899E-5
```

Интерфейс для выбора файла в программе ввода

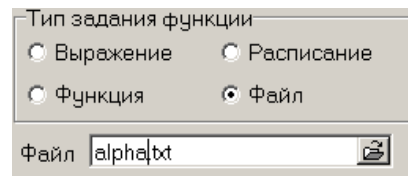



Рис. 3.49. Задание зависимости от времени с помощью файла

Для задания зависимости координаты от времени с помощью файла следует выбрать тип задания **Файл** и внести имя файла в соответствующее поле или найти файл, щелкнув на кнопке .

Замечание 1. При моделировании программа использует сплайновую интерполяцию для получения зависимости от времени в промежуточных точках и вычисления первой и второй производной по времени, необходимых при моделировании.

Замечание 2. Пользователь должен позаботиться о достаточной гладкости зависимости, получаемой в результате натурального эксперимента.

Замечание 3. После достижения момента времени, соответствующего концу задания функции с помощью файла, функция принимает постоянное значение, равное последнему значению в файле.

3.4.2.4.12. Расписания как способ задания функций времени

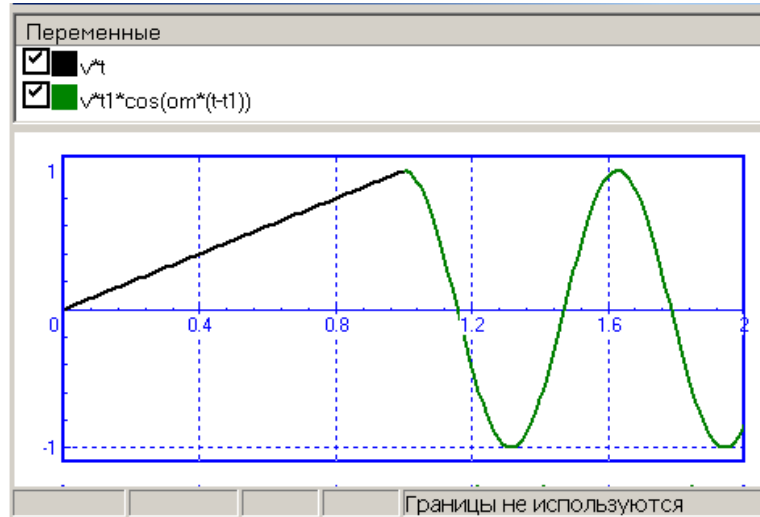


Рис. 3.50. Задание зависимости от времени с помощью расписания

Расписание как способ задания функций времени является обобщением задания функции с помощью выражения. Расписание используется, если зависимость задается разными аналитическими функциями на разных интервалах времени.

Например, зависимость, приведенная на рис. 3.49, задается следующим образом:

$$f(t) = \begin{cases} vt, t \in [0, t_1] \\ vt_1 \cos(\omega(t - t_1)), t \in [t_1, t_2] \end{cases}$$

Для ввода зависимостей такого типа используется стандартный интерфейс, рис. 3.51.

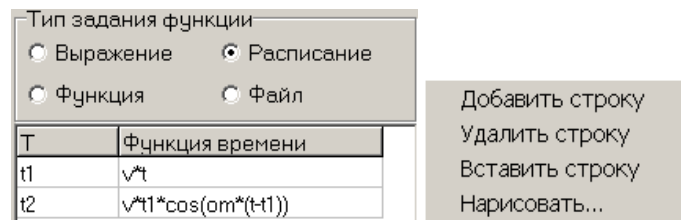


Рис. 3.51. Интерфейс задания расписания

Для добавления, удаления и вставки строки в таблицу расписания используются команды контекстного меню. Команда *Нарисовать* строит график введенной функциональной зависимости.

Число строк в таблице расписания не ограничено.

Моменты времени переключения можно задавать в виде выражение (в примере они заданы идентификаторами $t1$, $t2$).

Замечание 1. Пользователь должен следить за непрерывностью вводимых зависимостей в точках перехода от одной зависимости к другой

Замечание 2. После достижения момента времени, соответствующего концу задания с помощью расписания, функция принимает постоянное значение.

3.4.2.4.13. Редактор выражений

Для удобного ввода больших выражений используется специальный редактор. Для вызова редактора дважды щелкните левой кнопкой мыши на поле, в котором вносится информация. На рис. 3.52 показано поле ввода выражения для биполярной силы. Дважды щелкнув на поле, пользователь открывает редактор, изображенный справа.

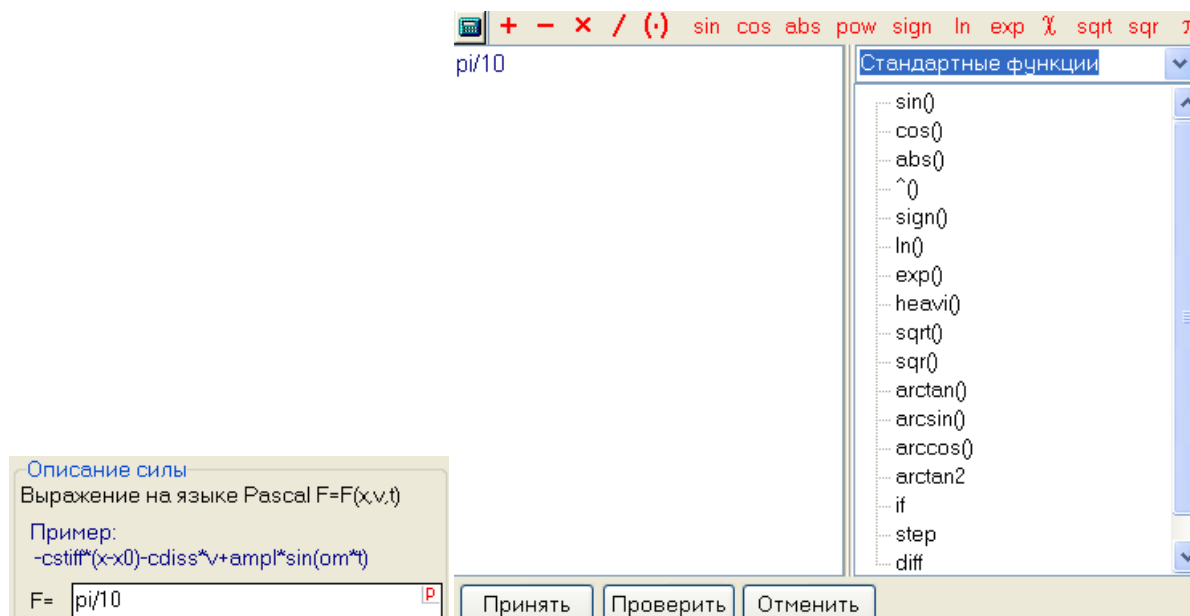


Рис. 3.52. Поле ввода данных (слева) и редактор выражений

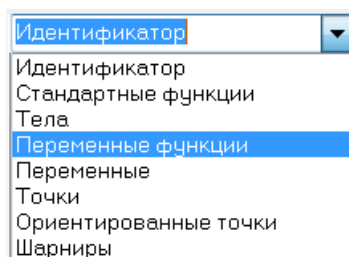


Рис. 3.53. Выбор типа данных или функций для отображения в редакторе

В зависимости от типа данных, которые вводит пользователь, редактор содержит доступ данным и функциям разного типа. В самом общем случае в правой части редактора отображаются списки следующих данных и функций:

Идентификатор

Список идентификаторов объекта (см. п. 3.4.3. "Список идентификаторов", с. 3-78).

Стандартные функции

Список стандартных функций (см. п. 3.4.2.4.3. "Стандартные функции и константы", с. 3-50, п. 3.4.2.4.4. "Функция инерционных параметров *bodyinertia*", с. 3-51).

Тела

Список имен тел модели. Используется в формировании функции инерционных параметров тел, п. 3.4.2.4.4. "Функция инерционных параметров *bodyinertia*", с. 3-51).

Переменные функции

Список кинематических функций (см. п. 3.4.2.4.7. "Кинематические функции", с. 3-55).

Переменные

Список переменных, созданных пользователем (п. 3.4.2.4.7.3. "Функции vt , vx , vy , vz , vr ", с. 3-58).

Точки

Список точек связи, включающий простые точки, векторы и ориентированные точки, введенные пользователем для тел объекта (п. 3.5.9.6. "Точки связи", с. 3-168).

Ориентированные точки

Список ориентированных точек связи, введенные пользователем для тел объекта (п. 3.5.9.6.2. "Добавление ориентированных точек связи", с. 3-171).

Шарниры

Список шарниров, п. 3.5.10. "Ввод шарниров", с. 3-181.

При двойном щелчке левой кнопки мыши на каком-либо элементе списка соответствующий элемент добавляется к выражению в текущем положении курсора.

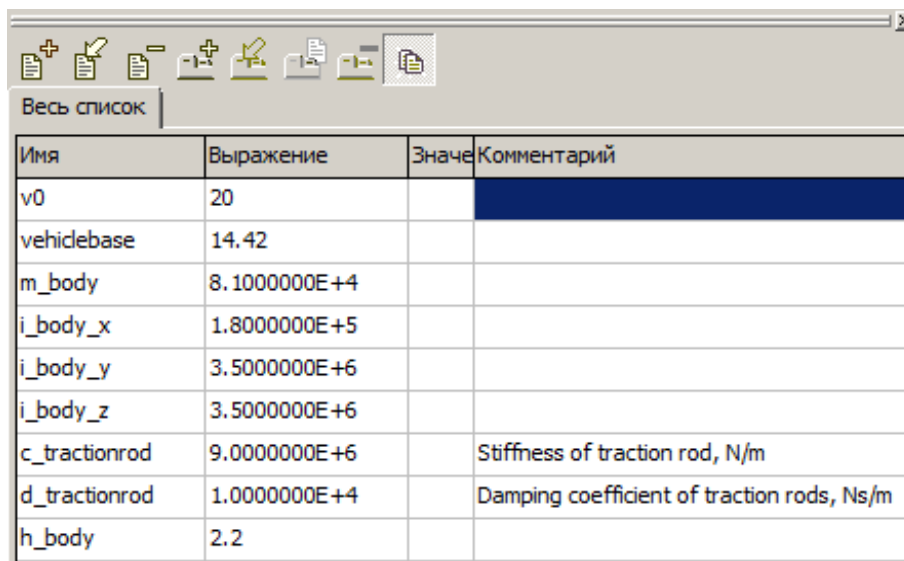
Замечание 1. Для элементов типов *Точки*, *Ориентированные точки* и *Шарниры* список содержит все элементы, включая те, которые описаны в подсистемах. Для элементов типов *Идентификатор* и *Переменные* список не включает элементы, описанные в подсистемах.

Замечание 2. Имена элементов, содержащие нестандартные символы (например, пробелы), должны вноситься в выражение в кавычках.

Кнопка **Проверить** используется для проверки синтаксиса выражений. С использованием кнопки **Отменить** редактор закрывается без обновления выражения.

3.4.3. Список идентификаторов

3.4.3.1. Окно списка идентификаторов



Имя	Выражение	Значение	Комментарий
v0	20		
vehiclebase	14.42		
m_body	8.1000000E+4		
i_body_x	1.8000000E+5		
i_body_y	3.5000000E+6		
i_body_z	3.5000000E+6		
c_tractionrod	9.0000000E+6		Stiffness of traction rod, N/m
d_tractionrod	1.0000000E+4		Damping coefficient of traction rods, Ns/m
h_body	2.2		

Рис. 3.54. Окно списка идентификаторов

Окно списка идентификаторов предназначено для управления структурой идентификаторов и для удобства доступа к ним.

3.4.3.2. Управление идентификаторами

Управление идентификаторами на текущей закладке осуществляется первыми тремя кнопками ряда:



Отметим некоторые команды управления.

Добавление нового идентификатора возможно с помощью кнопки на панели либо нажатием клавиши Insert.

Редактирование идентификатора возможно с помощью кнопки на панели либо нажатием клавиши Enter или двойным щелчком мыши на любом поле интересующего идентификатора.

При попытке *удаления идентификатора* создается список элементов, в которые входит идентификатор. Если этот список не пустой, то появляется соответствующее предупреждение, и пользователь может отменить удаление. После удаления идентификатор заменяется своим численным значением во всех элементах объекта, в которые он входит.

Переименование идентификаторов возможно в окне редактирования, Рис. 3.55. В результате переименования новое имя подставляется во все элементы модели, в которые входит данный идентификатор.

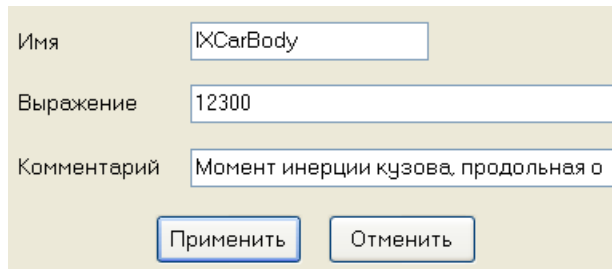


Рис. 3.55. Окно редактирования идентификатора

Изменение значений одноименных идентификаторов в подсистемах

Если имеются идентификаторы в подсистемах, имеющие то же самое имя, что и модифицируемый идентификатор, то при изменении его значения появляется окно со списком одноименных идентификаторов, с помощью которого можно назначить новое значение всем или некоторым идентификаторам в подсистемах, рис. 3.56. Будут обновлены значения только тех идентификаторов, которые помечены галочками. Так, в примере на рис. 3.56 всем идентификаторам, кроме последнего, будем присвоено новое значение 73000.

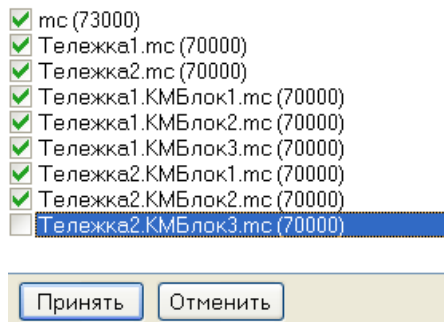


Рис. 3.56. Пример списка одноименных идентификаторов

См. также п. 3.4.3.5. Команды контекстного меню.

3.4.3.3. Закладки идентификаторов


Закладка – это поименованный набор идентификаторов. Они используются для логического разделения идентификаторов модели на группы. Например, по виду описания модели: геометрические данные, инерционные и т.д. или по принадлежности какому-либо объекту: параметры первого тела, второго и т.д.

Управление закладками осуществляется 4–7 кнопками ряда:



С помощью кнопок можно добавлять новые закладки, переименовывать, настраивать и удалять текущие закладки. Настройка текущей закладки позволяет переносить идентификаторы на текущую закладку и наоборот с помощью специального окна. В частности, перенос осуществляется двойным щелчком мыши на идентификаторе в этом окне.

3.4.3.4. Режим обновления объекта после модификации идентификаторов

Последняя кнопка в ряду  включает и выключает режим автоматического обновления элементов объекта после каждой модификации идентификаторов. Режим следует выключить, если обновление происходит слишком медленно.

3.4.3.5. Команды контекстного меню списка идентификаторов

Новый идентификатор...	Ins
Добавить из подсистемы...	
Вставить идентификатор...	Shift+Ins
Редактировать идентификатор...	
Удалить идентификатор	Del
Копировать значение в буфер	Ctrl+C
Копировать таблицу в буфер обмена	Ctrl+Ins
Показать элементы для идентификатора...	
Список неиспользуемых идентификаторов...	
<hr/>	
Новая закладка	
Переименовать закладку	
Настроить закладку...	
Удалить закладку	
<hr/>	
Удалить с закладки	
Обновить объект	

Рис. 3.57. Контекстное меню списка идентификаторов

Контекстное меню появляется после щелчка правой кнопкой мыши на списке идентификаторов, рис. 3.57. Меню содержит следующие команды.

Новый идентификатор – открывает окно редактирования идентификатора (рис. 3.55) и добавляет идентификатор к концу списка.

Добавить из подсистемы – при наличии в объекте подсистем открывает дерево идентификаторов, входящих в подсистемы (рис. 3.58) и позволяет добавить в текущий список идентификаторы из этого списка щелчками мыши на нужных идентификаторах. Используется для того, чтобы разместить в списке головного объекта идентификаторы подсистем, значения которых будут часто изменяться при моделировании. Тем самым ускоряется и упрощается процесс доступа к данным идентификаторам для модификации.

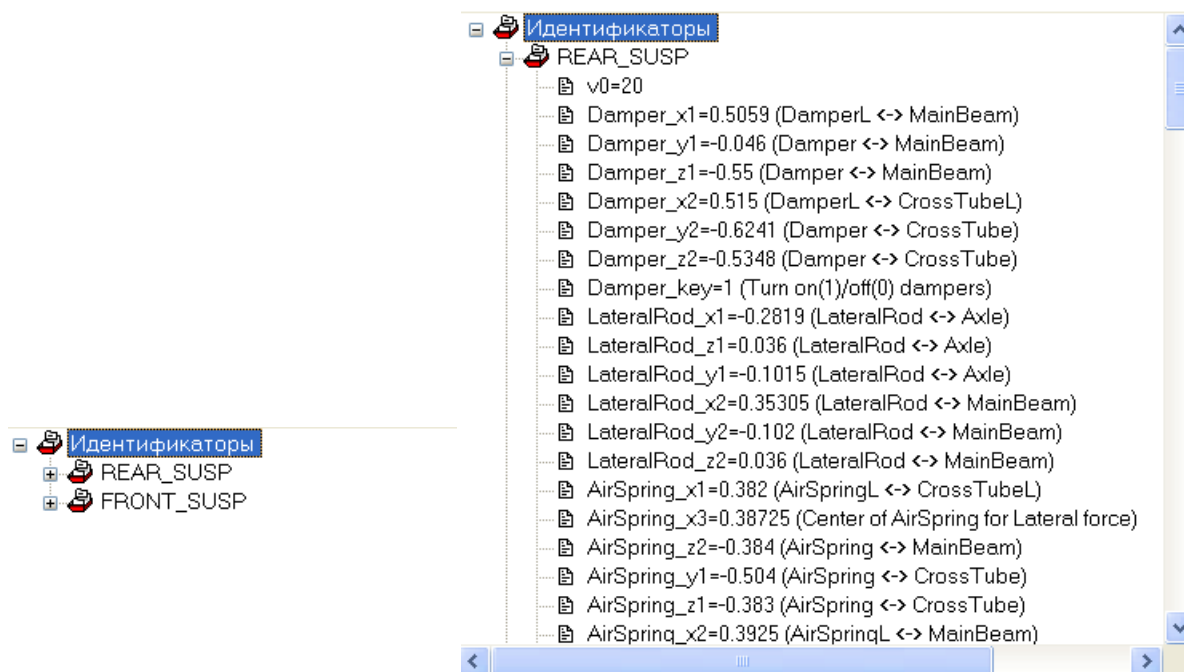


Рис. 3.58. Пример дерева идентификаторов подсистем

Вставить идентификатор – вставляет новый идентификатор в строке списка, соответствующей положению курсора мыши.

Редактировать идентификатор – вызывает окно редактирования идентификатора в положении курсора мыши, рис. 3.55.

Копировать значение в буфер – копирует численное значение идентификатора в положении курсора мыши в буфер обмена.

Копировать таблицу в буфер обмена – копирует текущую закладку в буфер обмена в виде текста. Команда часто используется при составлении отчетов и описании моделей.

Пример копии таблицы:

Имя ; Выражение ; Значение ; Комментарий
 m_bus ; ; 1.5000000E+4 ; Масса
 ixx_bus ; ; 1.0000000E+4 ; Момент инерции
 izz_bus ; ; 2.5000000E+5 ;

Показать элементы для идентификатора – открывает окно со списком элементов объекта, в которые входит идентификатор в положении курсора мыши, рис. 3.59. Щелчком мыши на элементе списка можно перейти к его описанию в инспекторе.

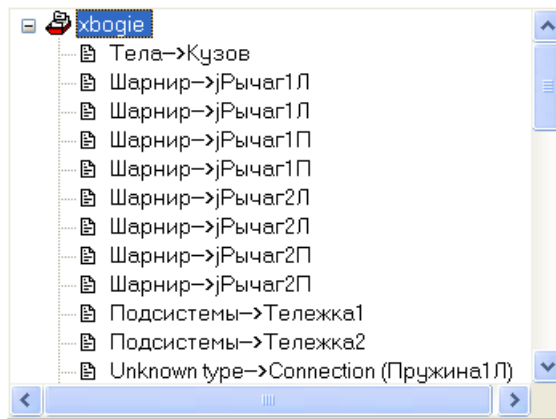


Рис. 3.59. Пример списка элементов для идентификатора

- **Список неиспользуемых идентификаторов** – открывает окно со списком идентификаторов, которые не используются ни в одном из элементов описания модели, рис. 3.60. В частности, этот список применяется в случае, когда надо удалить некоторые из неиспользуемых идентификаторов: для этого следует пометить удаляемые идентификаторы галочками и выйти их окна по кнопке **Удалить**.

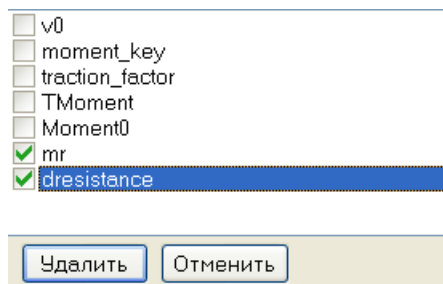


Рис. 3.60. Пример списка неиспользуемых идентификатора

- **Новая закладка, Переименовать закладку, Настроить закладку, Удалить закладку** – операции с закладками идентификаторов, п. 3.4.3.3. "Закладки идентификаторов", с. 3-79.
- **Удалить с закладки** – удаление с закладки идентификатора в положении курсора мыши.
- **Обновить** – обновление объекта, см. п. 3.4.3.4. "Режим обновления объекта после модификации идентификаторов", с. 3-80.

3.4.3.6. Добавление новых идентификаторов через поля ввода данных

Пользователь может ввести новые идентификаторы непосредственно в полях данных при описании любых параметров модели, например, инерционных параметров тел или силовых элементов, рис. 3.61.

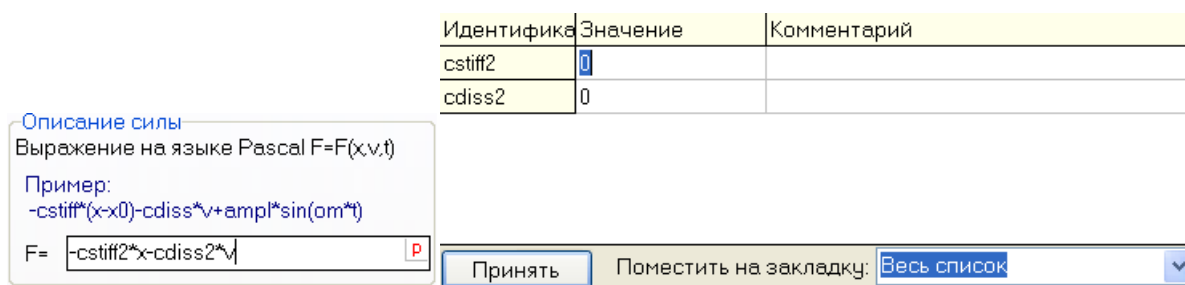


Рис. 3.61. Пример добавления новых идентификаторов при описании силы

При анализе выражения программа определяет список новых идентификаторов и предлагает пользователю инициировать их численные значения и добавить комментарии. При необходимости новые идентификаторы могут быть автоматически добавлены на одну из существующих или на новую закладку, п. 3.4.3.3. "Закладки идентификаторов", с. 3-79. Для этого надо выбрать закладку из списка «Поместить на закладку» или вписать имя новой закладки в это же поле.

3.4.3.7. Переход к идентификатору из поля данных

Для того, чтобы найти в списке идентификатор, используемый при описании данных, следует вызвать контекстное меню щелчком правой кнопки мыши на поле данных и выполнить команду Найти идентификатор, рис. 3.62. После выполнения команды соответствующий список идентификаторов будет выделен в списке.

Функция является полезной при большом числе идентификаторов в списке.

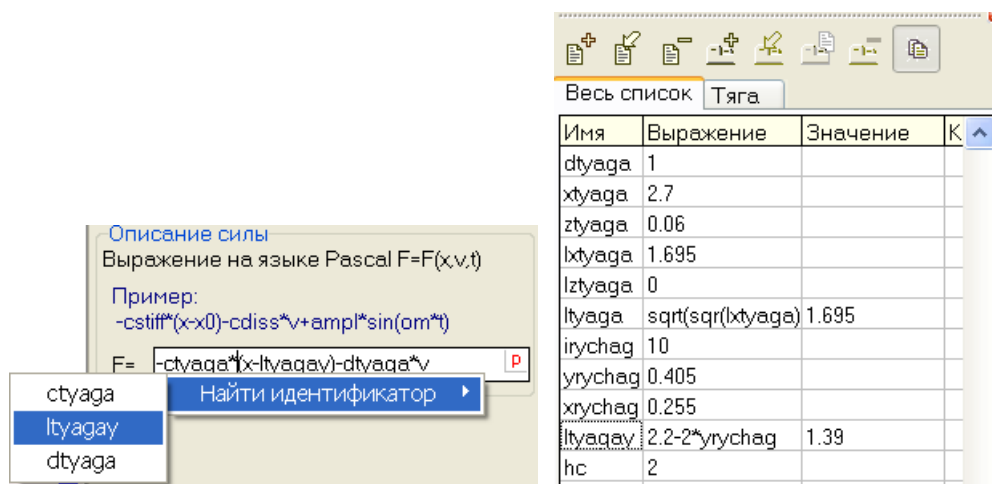


Рис. 3.62. Пример перехода к идентификатору в списке

3.4.3.8. Чтение и запись идентификаторов

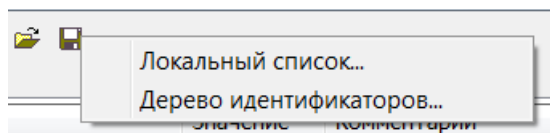
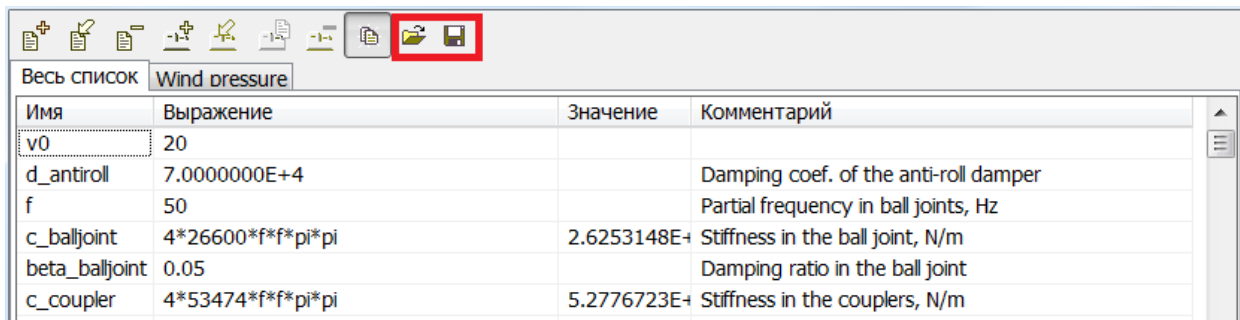


Рис. 3.63. Кнопки для записи и чтения файлов идентификаторов

Кнопки используются для чтения и сохранения файлов с идентификаторами.

Щелчком на кнопке пользователь сохраняет список идентификаторов в файл *.par. Если модель содержит подсистемы. Пользователь может выбрать, какой тип записи применить, рис. 3.63:

- **Локальный список:** сохраняется список идентификаторов головного объекта (без подсистем);
- **Дерево идентификаторов:** сохраняется полный список идентификаторов, включая подсистемамы.

Формат файлов *.par следующий:

```

par
v0 = 20
d_antiroll = 70000
f = 50
c_balljoint = 4*26600*f*f*pi*pi
beta_balljoint = 0.05
c_coupler = 4*53474*f*f*pi*pi
d_balljoint = 2*beta_balljoint*sqrt(c_balljoint*26600)
beta_coupler = 0.3
d_coupler = 2*beta_coupler*sqrt(c_coupler*53474)
zwind_motorcar = 2.255
zwind_trailer car = 1.94
windarea_motorcar = 79
windarea_trailer car = 55
windpressure = 500
Fw_motorcar = windarea_motorcar*windpressure
WindDirection = 1
Fw_trailer car = windarea_trailer car*windpressure
delta_ = 0.05
PowerCar1.v0 = 20
PowerCar1.BrakingForce = 0
PowerCar1.bogie1_x = 6.055
PowerCar1.bogie2_x = -7.945
PowerCar1.xc = -0.945
    
```

Важно, что файлы *.par могут быть прочитаны в программе UM Simulation для установления идентификатором значений из этих файлов.

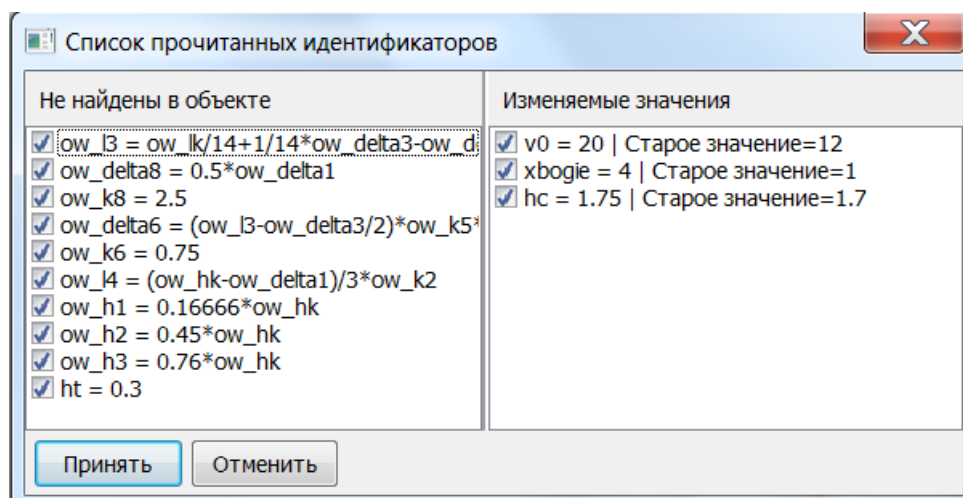



Рис. 3.64. Окно со списками идентификаторов из файла

Кнопка  используется для чтения списка идентификаторов из файла. Рассмотрим основные особенности процесса чтения.

- Читаются файлы типов *.par или *.txt. Формат файлов *.par рассмотрен выше, формат файлов с идентификаторами *.txt следующий:

```
a 1
b 12.1
c = a*b
```

Разница с форматом файла *.par состоит в том, что здесь можно опускать знак '=' между идентификатором и его *численным* значением. Если идентификатору назначается выражение, знак '=' необходим, как в случае 'c = a*b'.

- В процессе чтения выбранного файла программа создает два списка. Первый список содержит *новые* идентификаторы, которые не найдены в модели, рис. 3.64, слева. Второй список содержит идентификаторы, найденные в модели, значения которых не совпадают со значениями в файле, рис. 3.64, справа. Пользователь может выбрать, какие идентификаторы добавить и модифицировать.
- Идентификаторы из подсистем игнорируются, если досистемы с соответствующим именем не найдена в объекте. Например, идентификатор *PowerCar1.BrakingForce* будет проигнорирован, если подсистем с именем *PowerCar1* не найдена.

3.4.4. Редактор плоских кривых

Для ввода данных в графической форме используется встроенный Редактор кривых. Редактор позволяет построить кривую, функцию или набор кривых по набору точек, заданных пользователем. В данном разделе мы остановимся на основных правилах работы с окном. Дополнительная информация об использовании данного инструмента для создания трехмерных графических образов содержится в п. 3.5.8.6. "Редактор кривых", с. 3-152.

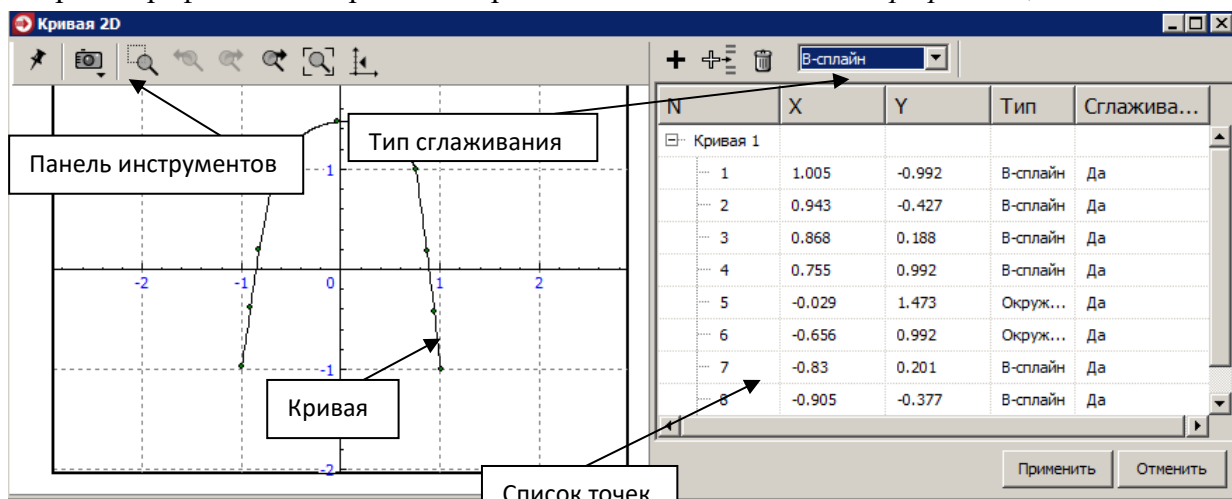


Рис. 3.65. Редактор кривых и его элементы

3.4.4.1. Режимы редактора кривых

Существует два режима редактора кривых в зависимости от решаемой задачи.

- Режим построения набора кривых
- Режим построения функциональных зависимостей

Второму режиму соответствует ряд ограничений и дополнительных возможностей:

- только одна кривая;
- упорядоченность точек по значению абсциссы;
- возможность построения графиков первой и второй производной, а также кривизны и сглаженной кривизны введенной функциональной зависимости.

3.4.4.2. Панель инструментов

Панель инструментов редактора кривых содержит кнопки, позволяющие управлять элементами кривой и изображением.





3.4.4.3. Добавление, позиционирование и удаление отдельных точек на кривой

Для **добавления** точки к кривой используются два способа.

- Двойной щелчок левой кнопкой мыши в положении добавляемой точки.

С помощью этого метода можно добавить точку как в начале, так и в конце незамкнутой кривой, так и внутри замкнутой или незамкнутой кривой. При добавлении точки в начале или конце рекомендуется первоначально выбрать ее положение вблизи крайней точки, а затем с помощью мыши переместить точку в нужное положение.

- Кнопка  над списком точек. Таким образом можно добавить точку только в конец списка, то есть добавить точку к концу кривой.
- Кнопка  над списком точек. Таким образом можно вставить точку в любом месте списка.


Координаты точек могут быть заданы общими постоянными символьными выражениями (см. п. 3.4.2.4.4. "*Функция инерционных параметров bodyinertia*", с. 3-51), то есть могут быть параметризованы.



Позиционирование точки означает перемещение ее в нужное положение. Для этого реализованы два способа.

- Задание координат с помощью списка.

Найдите в списке нужную точку (например, щелкнув правой кнопкой мыши на изображении точки) и задайте новые значения координат

- Перенос точки с помощью мыши.

Наиболее часто используемый способ приближенного позиционирования точек. Приблизьте курсор мыши к изображению точки, курсор должен измениться на . Нажмите левую кнопку мыши и, не отпуская кнопку, переместите точку в нужное положение.

Для **удаления** точки либо выделите ее в списке и используйте кнопку , либо подведите курсор мыши к изображению точки (курсор должен измениться на ) , вызовите всплывающее меню (щелчок правой кнопкой мыши) и выполните команду *Удалить*.

3.4.4.4. Выделение, копирование, удаление и перемещение фрагментов и кривых

Для **выделения кривой или ее части** выделите нужную прямоугольную область окна с помощью мыши (рис. 3.66). Также для выделения кривой или ее части можно использовать левую кнопку мыши одновременно удерживая клавишу **Ctrl**.

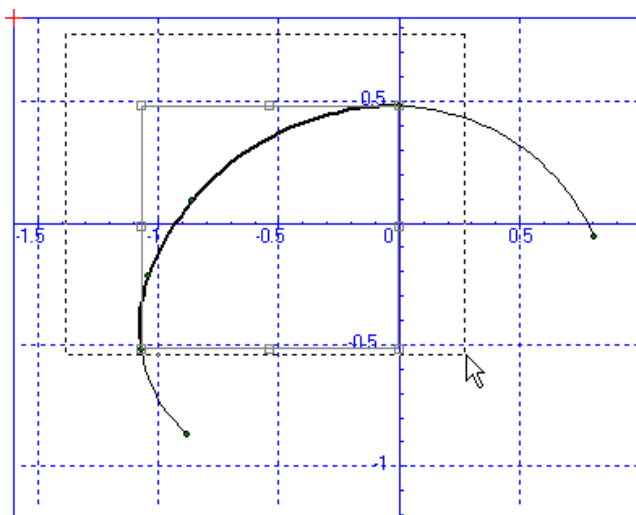


Рис. 3.66. Выделение части кривой с помощью мыши

Для **выделения отдельной кривой** выделите имя кривой в списке кривых (рис. 3.67).

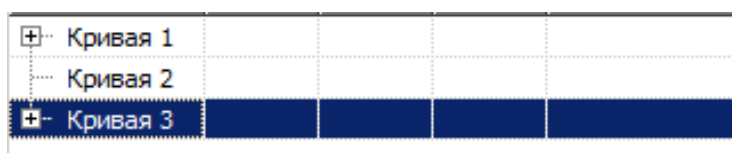



Рис. 3.67. Выделение отдельной кривой в списке кривых

Для **выделения всех введенных элементов** вызовите всплывающее меню (щелчок правой кнопкой мыши) и выполните команду *Выделить все*.

Для **снятия выделения** щелкните левой кнопкой мыши вне прямоугольника, ограничивающего область выделения.


Для **перемещения** фрагмента кривой или всей кривой выделите нужное множество точек с помощью мыши, наведите курсор мыши на прямоугольную область выделения до изменения его образа на , нажмите левую кнопку мыши и, не отпуская, перемещайте фрагмент в нужное положение. *Перемещение фрагмента запрещено в режиме построения функциональных зависимостей.*

Для **удаления фрагмента** введенных данных выделите его и нажмите клавишу *Delete*.

Для **создания копии** фрагмента или кривой выделите нужное множество точек и нажмите сочетание клавиш *Ctrl+C*, а затем *Ctrl+V*. Переместите скопированный фрагмент или кривую в нужное положение.

3.4.4.5. Замыкание кривой

Методы замкнуть кривую:

- с помощью мыши переместите одну из крайних точек кривой в малую окрестность другой крайней точки;
- используйте ключ  Замкнуть в описании профильного ГЭ.

3.4.4.6. Сглаживание

Для сглаживания кривой или ее фрагмента выделите необходимое множество точек и выберите тип сглаживания из списка (рис. 3.65)

3.4.4.7. Использование буфера обмена для создания кривой

Через буфер обмена передаются координаты точек кривой в текстовом формате в виде двух колонок. Первая колонка содержит значение абсциссы, вторая – ординаты, например:

-68.9	11.7
-66.4	8.88
-63.9	6.98
-61.4	6.48
-58.9	5.99

.....

Для ввода данных из буфера

- скопируйте данные в буфер из любого текстового редактора стандартным образом;
- активизируйте мышкой редактор кривых и вставьте в него данные (*Ctrl+V* или *Shift+Insert*).

3.4.5. Использование клавиш быстрого доступа

3.4.5.1. Конструктор


- Ctrl+Alt+X – активизировать дерево элементов, п. 3.4.1.1. *"Дерево элементов объекта"*, с. 3-27;
- F11 – поместить список элементов поверх остальных окон (в режиме отдельного окна);
- F12 – поместить инспектор поверх остальных окон (в режиме отдельного окна).

3.4.5.2. Инспектор

Открыть страницу инспектора:

- Ctrl+Alt+O – объект;
- Ctrl+Alt+S – подсистемы;
- Ctrl+Alt+B – тела;
- Ctrl+Alt+G – графические объекты;
- Ctrl+Alt+J – шарниры;
- Ctrl+Alt+F – биполярные силы;
- Ctrl+Alt+M – скалярные моменты;
- Ctrl+Alt+L – линейные силы;
- Ctrl+Alt+C – контактные силы;
- Ctrl+Alt+T – T-силы;
- Ctrl+Alt+A – специальные силы;
- Ctrl+Alt+Z – внешние связи;
- Ctrl+Alt+I – индексы;
- Ctrl+Alt+P – протокол;
- Ctrl+Alt+R – координаты.

3.4.5.3. Анимационное окно

При включенном режиме выбора элемента с помощью мыши (кнопка , п. 3.4.1.2.4. *"Панель инструментов анимационного окна"*, с. 3-33) перемещение мыши по образу тела позволяет получить значения соответствующих координат соответствующих точек тела в СК0 (в строке статуса). При одновременном нажатии клавиши Shift координаты будут переведены в СК тела, при нажатии клавиши Ctrl отображаются координаты начала отсчета СК тела в СК0.

3.4.5.4. Страница инспектора со списком

- Ctrl+Alt+GrayPlus – добавить новый элемент списка;
- Ctrl+Alt+GrayMinus – удалить текущий элемент списка;
- Ctrl+Alt+Gray* – скопировать текущий элемент списка;
- Ctrl+Alt+N – редактировать имя элемента.

Только для элементов, связывающих пару тел (шарниры, силовые элементы)

- Ctrl+Alt+1 – выбрать первое тело;
- Ctrl+Alt+2 – выбрать второе тело;
- Ctrl+Alt+T – назначить тип элемента.

3.5. Ввод данных

3.5.1. Порядок ввода данных

При описании объекта рекомендуется следующий порядок ввода данных.

1. Подсистемы, используемые объектом (при наличии модуля подсистем).

Для сложных задач целесообразно использовать подсистемы. Они разбивают задачу на более простые для понимания (и для расчета) подзадачи. В главном объекте собираются вместе все ранее созданные подсистемы пользователя и стандартные подсистемы и задаются связи между ними.

2. Тела, их графические образы и соответствующие им шарниры (кинематическая схема механизма).

Последовательность описания тел обычно определяется кинематической схемой. Сначала описываются тела, соединенные шарнирами с базой, затем тела, соединенные шарнирами с введенными телами и так далее. При такой последовательности описания кинематической схемы объекта все его тела будут отображаться в анимационном окне не только в режиме отображения элемента объекта, но и в режиме отображения полного объекта (см. п. 3.4.1.2.2. *"Режимы анимационного окна"*, с. 3-30). Важно помнить то, что в режиме отображения полного объекта тело появляется в анимационном окне только в том случае, когда существует путь от данного тела к базе через введенные шарниры.

3. Силовые элементы и их графические образы

При введенной кинематической схеме объекта отображение образа силового элемента в анимационном окне конструктора происходит как в режиме отображения элемента объекта, так и в режиме отображения полного объекта, что позволяет визуально контролировать корректность введенных геометрических параметров.

3.5.2. Методы добавления элементов к модели

Предусмотрены следующие основные методы добавления элементов к модели.

3.5.2.1. Прямое создание отдельного элемента

Прямое создание элемента (подсистемы, графического объекта, тела, шарнира, биполярной силы и т.д.) и задание его параметров с помощью стандартного интерфейса списков переменных описано в п. 3.4.2.2. "Вкладки списков однотипных элементов", с. 3-42.

3.5.2.2. Добавление отдельного типизированного элемента с помощью команды основного меню

Для добавления отдельного типизированного элемента (т.е. элемента с назначенным типом) в данном случае следует использовать команду меню Добавить и подменю для выбора элемента и его типа, рис. 3.68.

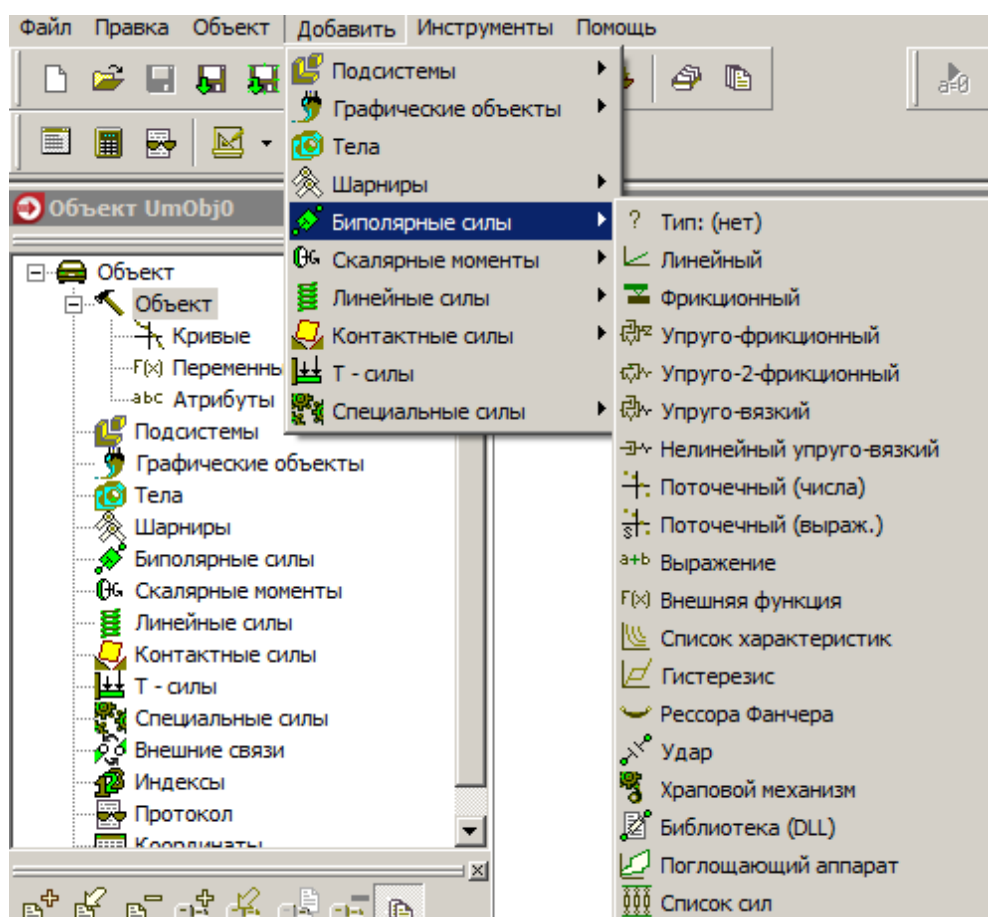


Рис. 3.68. Добавление типизированного элемента к модели с помощью команды меню

3.5.2.3. Добавление элементов с помощью визуальных компонент

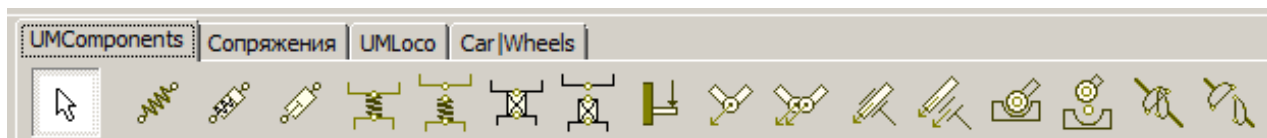


Рис. 3.69. Вкладки со списками компонент

Эффективным способом визуального добавления элементов является список компонент, рис. 3.69. Методика описана в п. 3.6. *"Работа с визуальными компонентами"*, с. 3-278.

3.5.2.4. Добавление отдельного типизированного элемента с помощью дерева элементов

В данном случае следует выделить тип элемента (например, графический объект), по правой кнопке мыши вызвать контекстное меню и выполнить соответствующую команду, рис. 3.70.

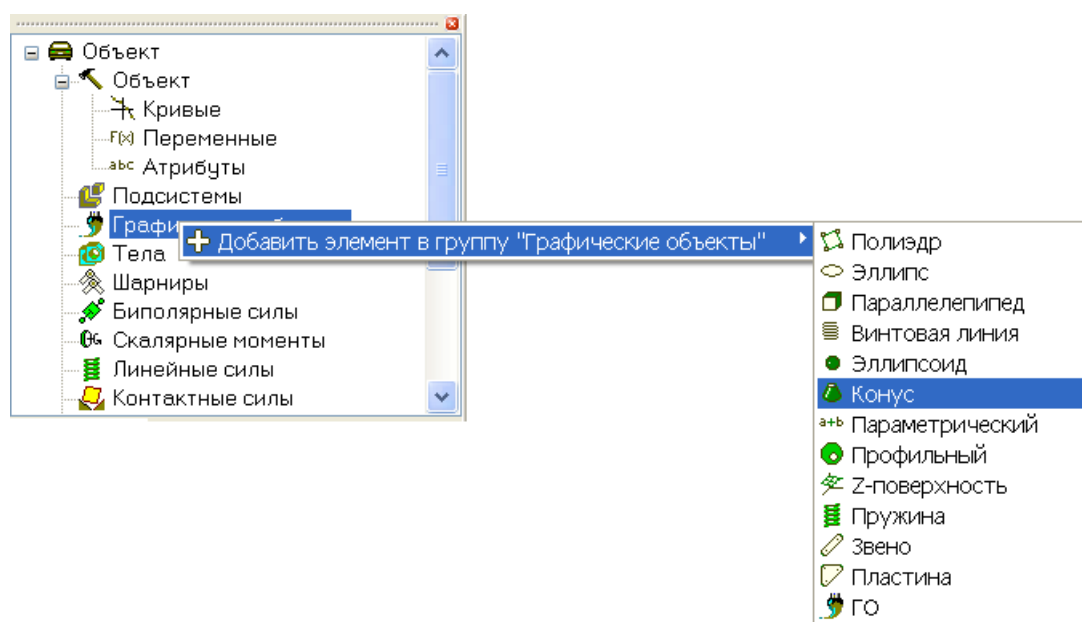



Рис. 3.70. Добавление типизированного элемента к модели с помощью дерева элементов


Аналогичное действие выполняется по команде меню **Добавить**, п. 3.3.4. *"Добавить"*, с. 3-22.


3.5.2.5. Вставка элемента из другой модели с помощью буфера обмена

Следует выполнить следующие действия:

- откройте модель, из которой будет копироваться элементов;
- выделите элемент с помощью дерева элементов;
- скопируйте элемент в буфер обмена с помощью




а) команды меню **Правка | Копировать в буфер обмена** или кнопки  на панели инструментов при копировании без графического образа,

б) с помощью команды меню **Правка | В буфер как компоненту** или кнопки  на панели инструментов при копировании вместе с графическим образом (если элементу назначен ГО);


- перейдите к модели, к которой следует добавить элемент и выполните команду меню **Правка | Вставить** или щелкните на кнопке  на панели инструментов;
- при необходимости скорректируйте значения идентификаторов, добавляемых вместе с элементом.


3.5.2.6. Вставка элемента из другой модели с помощью файла

Следует выполнить следующие действия:

- откройте модель, из которой будет копироваться элемент;
- выделите элемент с помощью дерева элементов;
- скопируйте элемент в файл с помощью
 - а) команды меню **Правка | Копировать в файл** или кнопки  на панели инструментов при копировании без графического образа,
 - б) с помощью команды меню **Правка | Сохранить как компоненту** или кнопки  на панели инструментов при копировании с графическим образом (если элементу назначении ГО);
- откройте модель, к которой следует добавить элемент и выполните команду меню **Правка | Прочитать из файла** или кнопки  на панели инструментов;
- при необходимости скорректируйте значения идентификаторов, добавляемых вместе с элементом.

3.5.2.7. Слияние моделей

Ранее созданная модель может быть целиком включена в другую модель. С этой целью откройте включаемую модель в программе ввода и сохраните в файл с любым именем и расширением с помощью команды меню **Файл | Сохранить как компоненту** или кнопки  на панели инструментов.

Затем откройте модель, в которую надо включить первую и прочитайте сохраненный файл с помощью команды меню **Правка | Прочитать из файла** или кнопки  на панели инструментов.

3.5.3. Ввод подсистем

Использование подсистем является мощным инструментом разработки сложных моделей, таких как рельсовый экипаж, железнодорожный состав, автопоезд и т.д. (см. [Главу 2](#), п. *Подсистемы*). Подсистемами, в частности, являются упругие тела, включенные в состав модели. Данный тип является доступным в УМ, если модуль UM Subsystems включен в конфигурацию. Для того, чтобы проверить факт включения этого модуля, используйте команду меню **Помощь | О программе**, рис. 3.71.

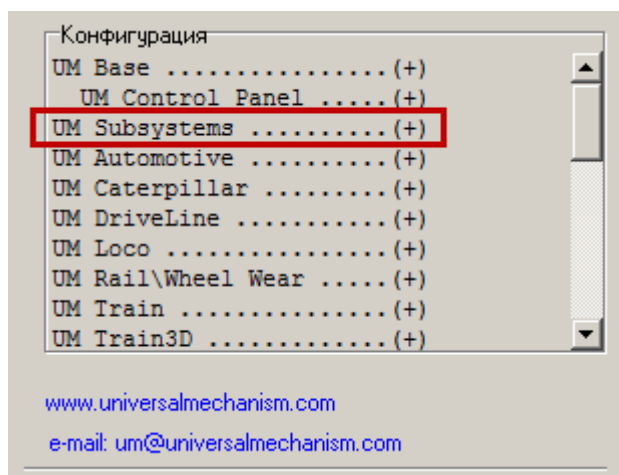


Рис. 3.71. Признак наличия модуля **UM Subsystems** в конфигурации программы

3.5.3.1. Создание подсистемы

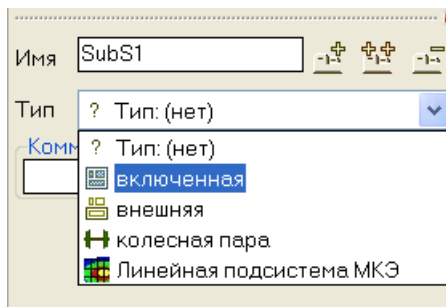





Рис. 3.72. Выбор типа подсистемы

Чтобы создать подсистему нажмите на кнопку . Чтобы создать копию существующей подсистемы нажмите кнопку . Для удаления текущей подсистемы используйте кнопку . После создания новой подсистемы выберите ее тип, рис. 3.72. Подсистемы бывают трех типов: **включенные**, **внешние** и **специальные**. Специальные подсистемы – это включенные или внешние подсистемы, которые используются при создании моделей локомотивов (колесная пара), гусеничных машин (гусеница), гибридных моделей, включающих упругие тела и т.д. Работа со специальными подсистемами подробно описана в отдельных частях руководства, посвященных конкретным модулям УМ, поэтому далее описана работа с подсистемами первых двух типов (внешние и включенные).

После выбора типа подсистемы появляется диалог выбора папки задачи, которую пользователь собирается использовать в качестве подсистемы в текущем составном объекте.

Основные параметры внешней и включенной подсистем почти не отличаются. К ним относятся: **положение** подсистемы, п. 3.5.4. "*Стандартный интерфейс задания положения локальной системы координат*", с. 3-105, **идентификаторы**, используемые в подсистеме, п. 3.4.3. "*Список идентификаторов*", с. 3-78, комментарий и идентификатор подсистемы, именующий подсистему при программировании в среде (рис. 3.73). Внешняя подсистема, кроме того, имеет еще один параметр – это **Предок**, или путь к папке, содержащей подсистему-предка. Чтобы преобразовать внешнюю подсистему во включенную, нужно воспользоваться соответствующей кнопкой на закладке **Общие**.

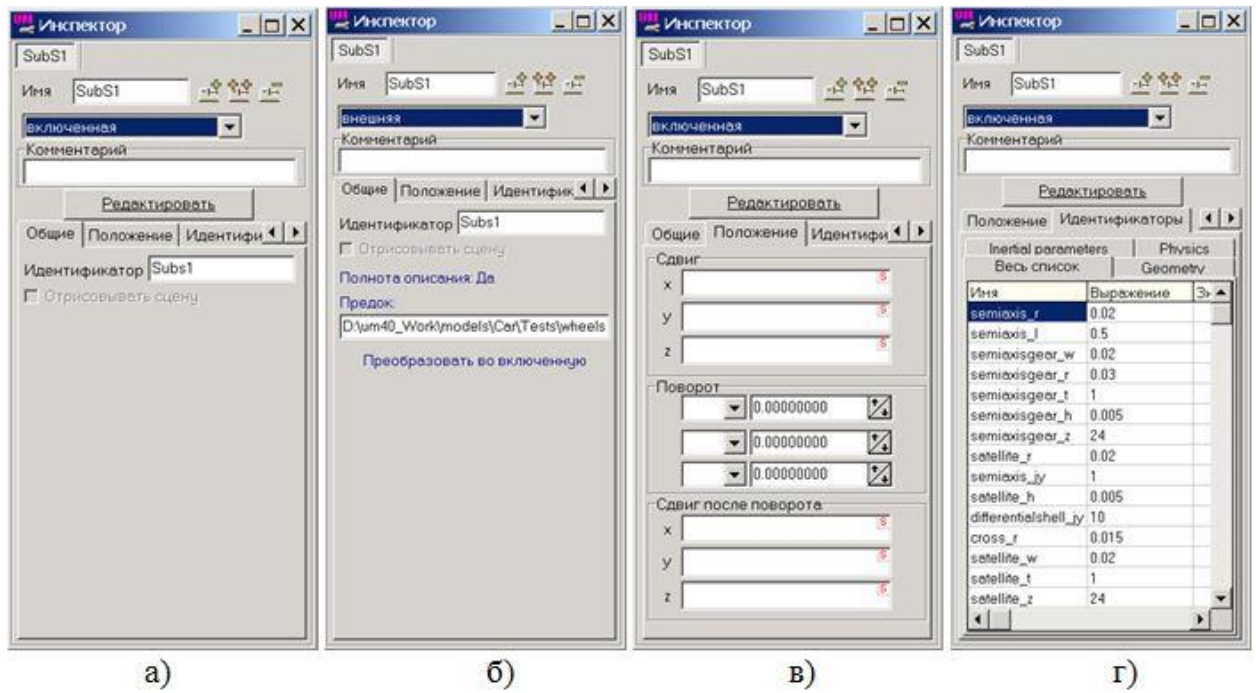


Рис. 3.73. Закладки инспектора для подсистем: а) закладка **Общие** для включенной подсистемы; б) закладка **Общие** для внешней подсистемы; в) закладка **Положение**, г) закладка **Идентификаторы**.

3.5.3.2. Преобразование модели в подсистему

Преобразование модели в подсистему используется

- при построении модели в виде дерева подсистем;
- при создании компоненты, подключаемой к модели в виде подсистемы (пример: подсистемы подвески гусеничной машины, см. [Главу 18](#)).

Для преобразования модели в собственную подсистему следует перейти на вкладку **Объект** инспектора и щелкнуть на кнопке **Преобразовать в подсистему**, рис. 3.74. После этого все элементы, описанные в модели, будут удалены из основного объекта и преобразованы в подсистему. Таким образом, модель будет включать единственную подсистему, содержание которой тождественно описанию модели до выполнения данной операции.

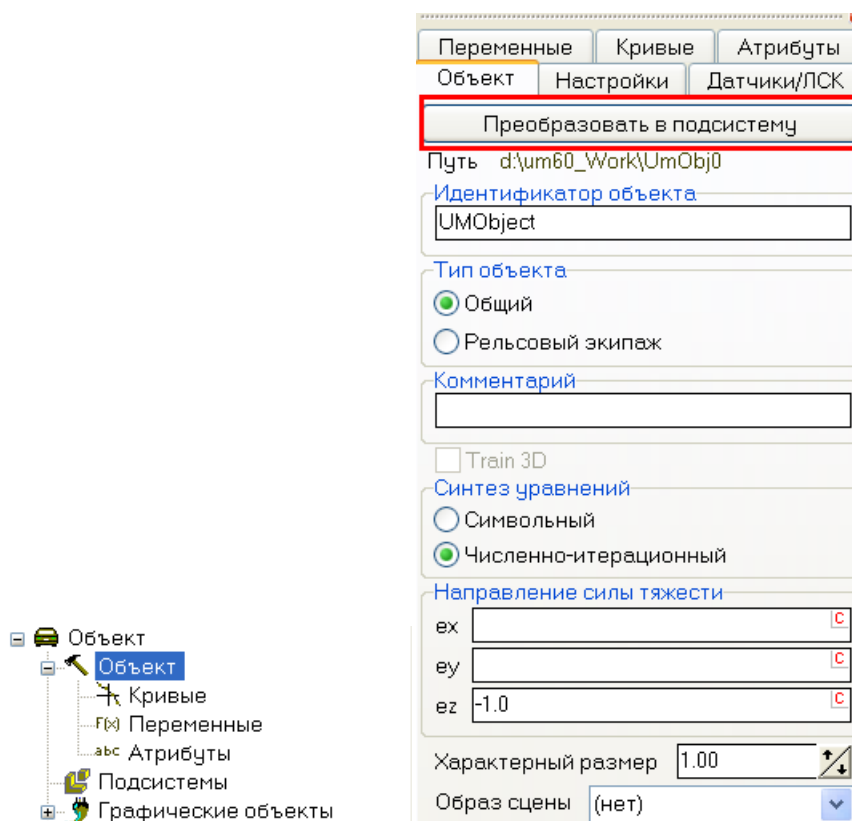


Рис. 3.74. Кнопка преобразования модели в подсистему

3.5.3.3. Настройка связей с подсистемами. Использование внешних элементов

Соединить шарнирами и/или силовыми элементами тела различных подсистем можно двумя способами:

1. создавая нужный элемент (шарнир, силовой элемент) в головном объекте и назначить ему одно или оба тела из подсистем;
2. используя **внешние элементы** при создании подсистем (см. п. 3.5.11.1. "Назначение элементу пары тел", с. 3-202).

3.5.3.3.1. Внешние элементы. Автоопределение

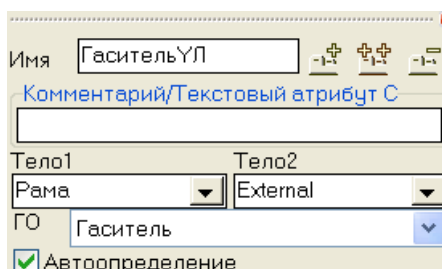


Рис. 3.75. Пример внешнего силового элемента

Внешним элементом является шарнир или силовой элемент, описанный в подсистеме, у которого в качестве второго тела назначен признак **External** (внешний), рис. 3.75. Это означает, что второе тело принадлежит другой подсистеме или головному объекту.

Использование внешних элементов является основой быстрого создания модели в виде дерева подсистем.

В вышестоящей подсистеме или в головном объекте второе тело назначается внешнему элементу с использованием точек связей, см. п. 3.5.3.3.2. "Назначение внешним элементам второго тела", с. 3-100.

Замечание 1. Внешние элементы, для которых не назначено второе тело, игнорируются, то есть не учитываются в процессе моделирования динамики объекта.

Замечание 2. Вместо внешних шарниров рекомендуется использовать методику введения в подсистеме фиктивного тела, п. 3.5.3.3.3. "Использование фиктивного тела вместо внешних элементов", с. 3-102.

Режим **автоопределения** позволяет в значительной степени упростить и ускорить процесс работы с внешними элементами. При включенном режиме (рис. 3.75) координаты точки прикрепления ко *второму* телу задаются в системе координат *первого* тела **при нулевых значениях всех координат объекта**. Поэтому координаты второй точки могут задаваться непосредственно в подсистеме, в которой описан внешний элемент.

В качестве примера рассмотрим гаситель, прикрепленный одним концом к буксе колесной пары, а другим – к раме тележки, рис. 3.76. Гаситель описан в подсистеме, которая не содержит раму, поэтому второе тело – внешнее. Поскольку включен режим автоопределения, то для задания положения второго конца элемента достаточно задать заранее известные координаты этой точки в системе координат буксы. В результате не надо задавать координаты точки прикрепления в системе координат рамы: они будут рассчитаны автоматически.

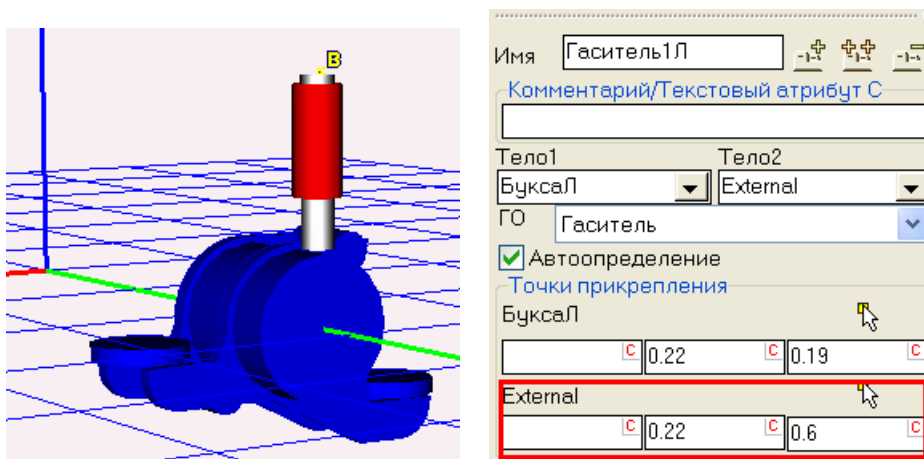


Рис. 3.76. Пример внешнего биполярного силового элемента с включенным режимом автоопределения

3.5.3.3.2. Назначение внешним элементам второго тела

Для задания второго тела внешним элементам используется вкладка инспектора **Внешние связи**. Вкладка содержит список всех внешних элементов подсистем, которым не назначены вторые тела.

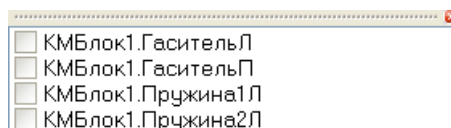


Рис. 3.77. Пример списка внешних элементов с незадаанными вторыми телами

Для назначения второго тела внешним элементам используются следующие приемы.

1. Внешний элемент без автоопределения.

- Предварительно назначить точку связи телу, которое будет назначено элементу в качестве второго тела, п. 3.5.9.6. "Точки связи", с. 3-168. Координаты точки должны соответствовать положению прикрепления элемента.
- Выделите элемент в списке. Если элементу назначен графический образ, то он выделится в анимационном окне. При *визуальном задании* точки связи щелкните мышкой на образе этой точки, рис. 3.78. При *выборе из списка* точек связи дважды щелкните на строке списка внешних элементов или выполните команду контекстного меню **Назначить точку**, рис. 3.79. Список внешних элементов в инспекторе заменится на список точек связей, рис. 3.80. Щелчком мыши назначьте нужную точку.

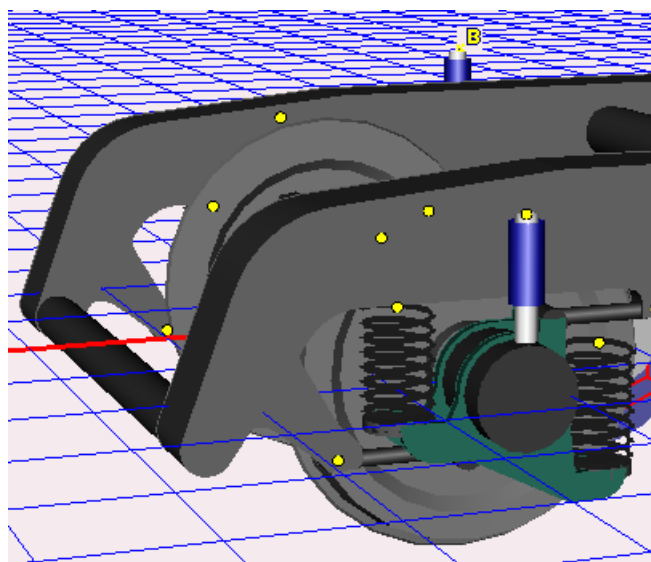


Рис. 3.78. Желтые точки обозначают точки связи

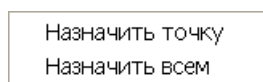


Рис. 3.79. Контекстное меню списка внешних элементов

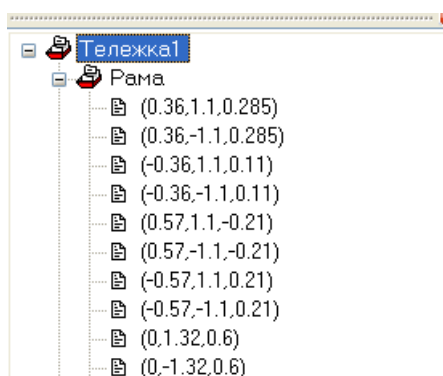


Рис. 3.80. Список точек связей

2. Внешний элемент с автоопределением.


Преимуществом назначения тела для внешнего элемента с автоопределением является тот факт, что элементу может быть назначена *любая точка связи* тела, поскольку координаты точки прикрепления элемента ко второму телу определяются автоматически по координатам, заданным в подсистеме. В результате, для соединения нескольких внешних элементов к одному и тому же телу понадобится всего лишь одна точка связи. При этом действия по назначению второго тела такие же, как и в предыдущем пункте.

В частном случае, когда все внешние элементы имеют ключ автоопределения, и связаны с одним и тем же вторым телом, удобно воспользоваться командой контекстного меню **Назначить всем**, рис. 3.79, предварительно выделив один (любой) элемент списка. В этом случае назначение всех внешних связей выполняется одной операцией!

Замечание. Внешние элементы, для которых не назначено второе тело, игнорируются, то есть не учитываются в процессе моделирования динамики объекта.

3.5.3.3. Использование фиктивного тела вместо внешних элементов

Альтернативой внешним элементам в случае **включенных** подсистем часто является введение **фиктивного тела**. Используется следующая методика.

1. К подсистеме с помощью кнопки  добавляется дополнительное тело с шестью степенями свободы, используя внутренний шарнир (п. 3.5.9.3. "Внутренний (скрытый) шарнир тела", с. 3-165), рис. 3.81. Инерционные параметры тела остаются нулевыми.

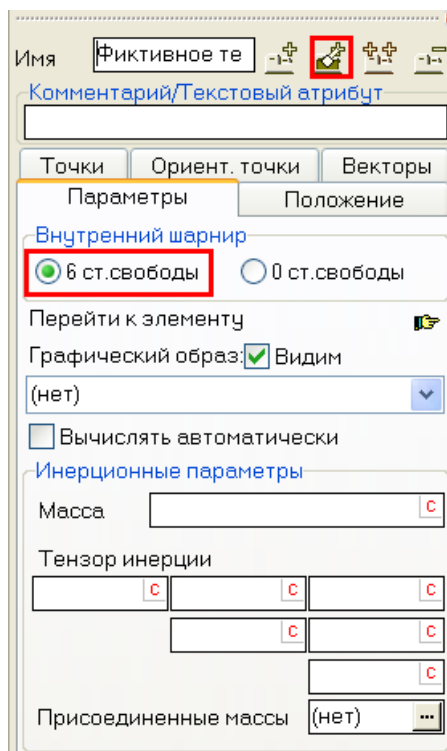


Рис. 3.81. Добавление тела с внутренним шарниром

2. С этим телом соединяются все элементы, которые связаны с внешним телом, находящимся в дереве объекта выше данной подсистемы.
3. В подсистеме внешнего тела фиктивное тело жестко связывается с внешним телом с помощью шарнира с нулевым числом степеней свободы. Для этого рекомендуется использовать шарнир обобщенного типа с одним элементарным преобразованием типа tc (постоянный сдвиг), рис. 3.82. При необходимости также вводится дополнительный поворот с помощью элементарного преобразования типа rc или rt . Сдвиг и поворот позволяют задать нужное положение подсистемы относительно головного объекта.

После того, как фиктивное тело жестко связывается с внешним телом, внутренний шарнир с шестью степенями свободы автоматически игнорируется, если подсистема, содержащая фиктивное тело, является *включенной*.

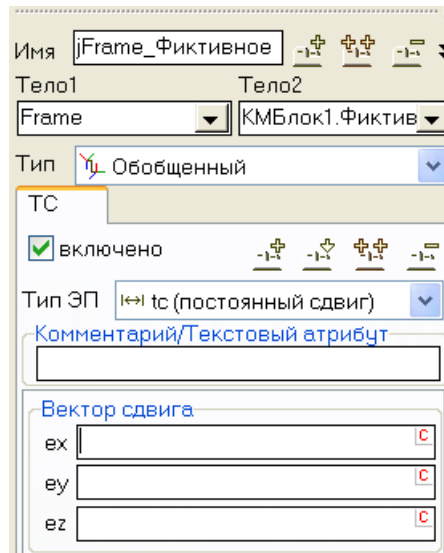


Рис. 3.82. Шарнир, жестко связывающий раму с фиктивным телом, заданным в подсистеме

Фиктивные тела используются, например, в модуле моделирования гусеничных машин при описании подсистем подвески.

3.5.4. Стандартный интерфейс задания положения локальной системы координат

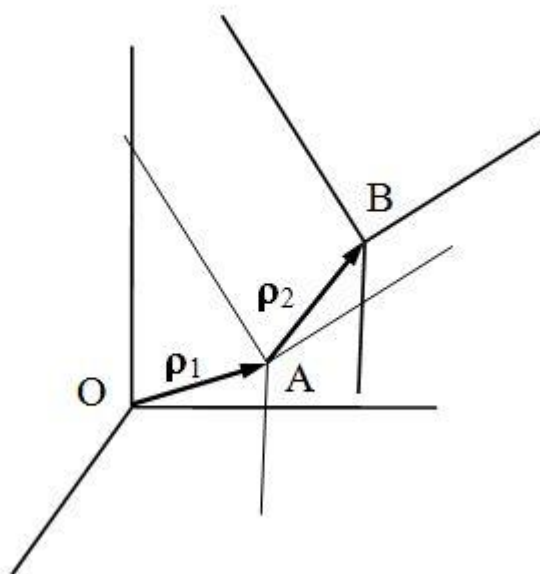


Рис. 3.83 Задание положения локальной СК

Стандартный интерфейс позволяет определить параметризованное положение локальной СК относительно СКО, СК тела или графического объекта. Рассмотрим систему координат с началом в точке O (СКО). Требуется задать положение СКВ относительно СКО. Для этого водится вспомогательная СК с началом в точке A (СКА), положение которой начала отсчета которой относительно СКО задается вектором сдвига ρ_1 , а ориентация – с помощью последовательных поворотов. Затем положение точки B относительно СКА задается вектором ρ_2 . Таким образом, оси СКА и СКВ параллельны. В частном случае, когда $\rho_2 = 0$, СКВ совпадает с СКА.

Необходимость введения промежуточной СКА связана с тем, что иногда сдвиги, определяющие положение точки B, удобно задавать относительно уже развернутых осей (относительно СКА).

Визуальный выбор

Сдвиг

x

y

z

Поворот

X

Сдвиг после поворота

x

y

z


Рис. 3.84 Интерфейс задание положения локальной СК

Стандартный интерфейс задания положения изображен на рис. 3.84. Данные вносятся в три группы.

- **Сдвиг.** Задаются проекции вектора ρ_1 в СКО, то есть сдвиги точки А вдоль осей СКО.

- **Поворот.** Задается последовательность до трех поворотов, задающая ориентацию СКА и СКВ относительно СКО. Углы поворота здесь измеряются в градусах.

- **Сдвиг после поворота.** Задаются проекции вектора ρ_2 в СКА, то есть сдвиги точки В вдоль осей СКА.

При наличии кнопки **Визуальный выбор** возможно назначение положения СКА с помощью выбора заранее назначенной одному из тел ориентированной точки связи, п. 3.5.9.6.2. "Добавление ориентированных точек связи", с. 3-171. При этом требуется, чтобы в анимационном окне был включен режим выбора элемента с помощью мыши, кнопка  на панели инструментов анимационного окна.

Как проекции векторов, так и значения углов поворота могут быть параметризованы, то есть заданы с помощью идентификаторов и выражений.


Интерфейс используется при описании следующих типов данных.

- Задание положения подсистемы, п. 3.5.3. "Ввод подсистем", с. 3-96.
- Задание положения локальной СК кривой, п. 3.5.7. "Ввод кривых", с. 3-111.
- Задание положения графического объекта (ГО), п. 3.5.8. "Ввод графических объектов", с. 3-122.
- Задание положения графического элемента относительно СК ГО (п. 3.5.8.4. "Положение и ориентация ГЭ", с. 3-150).
- Задание локальных СК при описании скалярного момента, п. 3.5.12.4. "Ввод скалярного момента", с. 3-233.
- Задание локальных СК при описании специального силового элемента типа «сайлент-блок» (п. 3.5.12.8.7. "Сайлент-блок", с. 3-273).

- Задание локальных СК при описании шарнира с шестью степенями свободы (п. 3.5.10.6. *"Ввод шарнира с шестью степенями свободы"*, с. 3-191).

3.5.5. Назначение графического образа элементу объекта

Большинству элементов в УМ могут быть назначены графические образы (ГО), например, сцене, телам, шарниру в виде невесомого стержня, биполярному и обобщенному линейному силовым элементам и так далее. По графическому образу элемента можно перейти к описанию элемента в инспекторе с помощью мыши, для чего в анимационном окне конструктора следует установить режим *отображения полного объекта* (см. п. 3.4.1.2.2. "Режимы анимационного окна", с. 3-30).

Замечание. Для визуального перехода с помощью мыши к описанию элемента требуется, чтобы в анимационном окне был включен режим выбора элемента с помощью мыши, кнопка  на панели инструментов анимационного окна.

Графический образ *назначается* элементу из заранее созданного списка ГО с помощью отдельного выпадающего меню в инспекторе, отображающем параметры данного элемента (например, тела).



Рис. 3.85. Выбор графического объекта из списка

Выпадающий список содержит *имена* ГО, заданные пользователем при создании графических объектов или назначенные автоматически, рис. 3.85. Для того чтобы упростить выбор ГО, рекомендуется назначать им смысловые имена.

Для **удаления ссылки элемента на назначенный ему ГО** поместите курсор в поле соответствующего выпадающего меню и нажмите клавишу *Delete*.

Укажем основные особенности назначения графического объекта элементу конструкции.


Каждому телу назначается ГО, причем один и тот же ГО может быть назначен нескольким телам (и это является общим принципом). Система координат графического объекта автоматически совмещается с системой координат тела. Все элементы механической системы, неподвижные относительно базовой систем координат (например, плоскость, по которой катится шар, вместе со всеми неподвижными препятствиями), следует изображать одним ГО, состоящим из произвольного числа графических примитивов (графических элементов), и назначать его образу сцены (см. вкладку инспектора **Объект | Общие**, параметр **Образ сцены**) или телу *Ground*, п. 3.5.9.7. "Тело «Ground»", с. 3-176.

3.5.6. Назначение графического образа силовым элементам и шарниру в виде невесомого стержня

Линейному и биполярному силовому элементу (см. п. 3.5.12.4. "Ввод скалярного момента", с. 3-233, п. 3.5.12.1. "Ввод силы тяжести", с. 3-206), связи в виде невесомого стержня (см. п. 3.5.10.9. "Ввод шарнира в виде невесомого стержня", с. 3-198) и специальному силовому элементу типа *Пружина* можно назначить ГО. Данные элементы соединяют две точки различных тел. Программа автоматически вписывает назначенный ГО между этими точкам. При создании этого типа ГО обязательным является следующее условие: ГО, соответствующий линейному, биполярному силовым элементам и связи в виде невесомого стержня, располагается вдоль оси z системы координат ГО.

Для создания ГО можно использовать два метода

Упрощенный

В случае флажок  не включен и программа совмещает точку (0,0,0) ГО с первой точкой прикрепления, а точку (0,0,1) – со второй точкой и соответствующим образом сжимает или растягивает ГО, рис. 3.86.

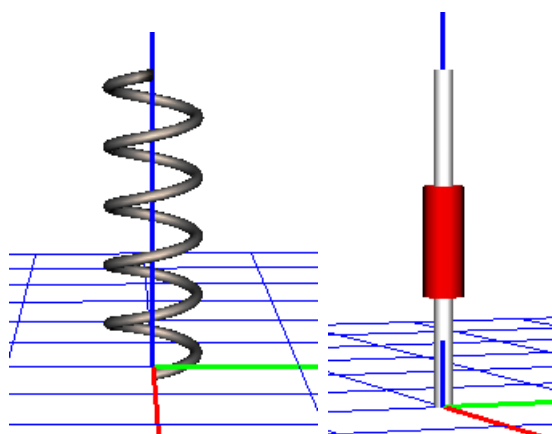


Рис. 3.86. Примеры упрощенного ГО для изображения цилиндрической пружины и гасителя колебаний

Уточненный способ позволяет избежать растяжения-сжатия некоторых графических элементов, входящих в состав ГО, рис. 3.87.

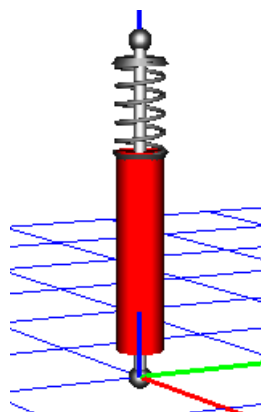


Рис. 3.87. Пример уточненного ГО для изображения амортизатора с пружиной

В этом случае нужно включить флажок . Отрисовка элемента напрямую зависит от параметров, указанных на закладке **Биполярный ГО – Длина, Низ и Верх**, рис. 3.88.

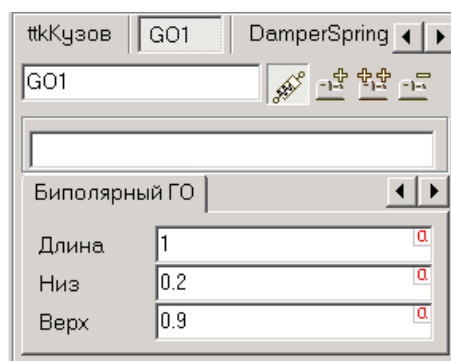


Рис. 3.88. Параметры биполярного графического объекта

При вставке ГО в анимационное окно объекта программа совмещает точку $(0,0,\mathbf{Низ})$ ГО с первой точкой прикрепления элемента к телу, а $(0,0,\mathbf{Верх})$ – со второй точкой, меняя при этом соответствующим образом длину и ориентацию ГО. Таким образом, хотя ГО вытянут вдоль оси z в собственной системе координат, можно получить произвольную его ориентацию в пространстве. Пользуйтесь флажком **не растягивать** у графического элемента для запрета изменения размера ГЭ в зависимости от реальной длины элемента. При этом флажком **верх** необходимо указать, к какой неизменяемой части принадлежит ГЭ.

3.5.7. Ввод кривых

Кривые используются в силовом контактном элементе типа точка-кривая, см. п. 3.5.12.6.3. "Контакт точка-кривая", с. 3-246.

В общем случае уравнение кривой в некоторой системе координат задается параметризованной зависимостью координат точек на кривой от скалярного параметра p

$$\rho = \rho(p), p \in [p_{min}, p_{max}],$$

где ρ – радиус-вектор точки на кривой. Та же кривая в скалярном виде задается тремя соотношениями

$$x = x(p), y = y(p), z = z(p),$$

$$\rho(p) = (x(p), y(p), z(p))^T$$

Будем различать следующие типы кривых:

- разомкнутая кривая, концевые точки которой различны, $\rho(p_{min}) \neq \rho(p_{max})$;
- замкнутая кривая с совпадающими концевыми точками, $\rho(p_{min}) = \rho(p_{max})$;
- периодическая кривая: замкнутая кривая с гладким сопряжением концевых точек (совпадение касательных) $\rho'(p_{min}) \neq \rho'(p_{max})$; здесь штрих соответствует производной по параметру p .

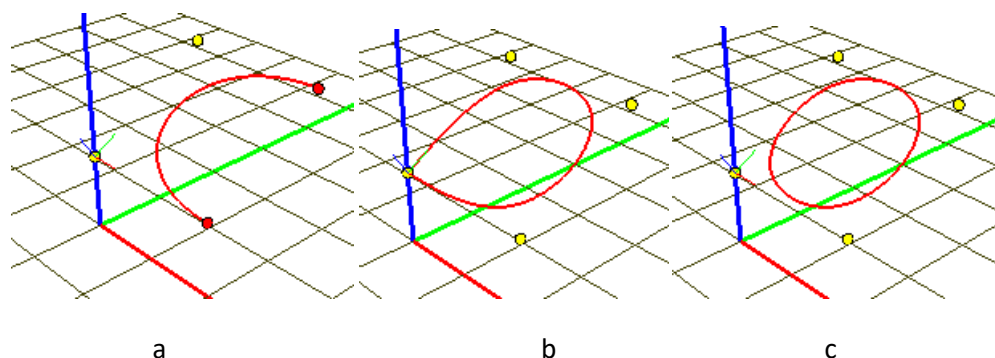


Рис. 3.89. Примеры кривых различных типов

На рис. 3.89 представлены разомкнутая (а), замкнутая (b) и периодическая (с) кривые.

Если кривая используется в контактном элементе типа точка-кривая, то каждая из двух концевых точек незамкнутой кривой может быть удерживающей или недерживающей. Удерживающая точка не позволяет контактной точке покинуть кривую через эту концевую точку. При переходе через недерживающую концевую точку контакт разрывается.

В УМ для задания кривых в программе ввода используется три способа:

- аналитические зависимости; при задании выражения допускается использовать элементы списка переменных, п. 3.4.2.4.8. "Список переменных", с. 3-67;
- плоская (2D) кривая, заданная поточечно,
- пространственная (3D) кривая, заданная поточечно.

3.5.7.1. Создание новой кривой

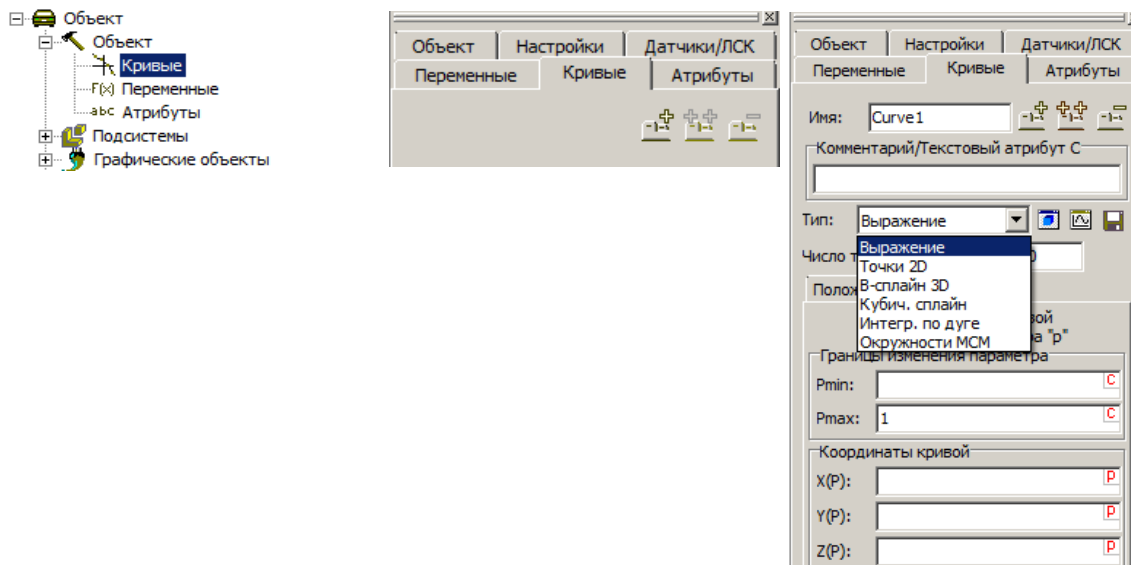



Рис. 3.90. Создание новой кривой

Для создания новой кривой следует перейти к списку кривых модели с помощью списка элементов, добавить кривую к списку, щелкнув на кнопке , рис. 3.90.

Выбор типа кривой

В выпадающем списке «Тип» следует выбрать один из трех типов задания кривой, доступных в УМ:

- Выражение
- Точки 2D
- В-сплайн 3D
- Кубический сплайн
- Интегр. по дуге
- Окружности MCM

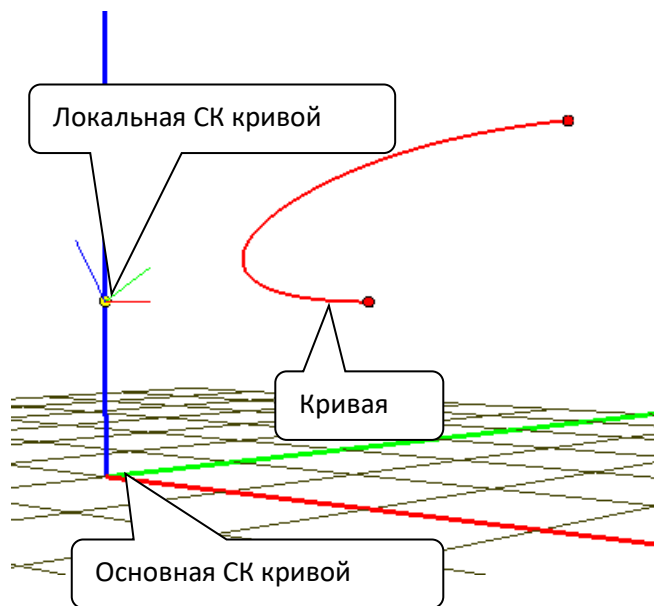


Рис. 3.91. Системы координат кривой


Основная и локальная СК кривой

С каждой кривой связаны две системы координат, рис. 3.91:

- **основная СК кривой**, которая будет совмещена с СК того тела, с которым жестко связана кривая;

- **локальная СК кривой** – это СК в которой координаты кривой заданы либо аналитическими выражениями, либо набором точек.

Локальная СК может совпадать с основной.

Для получения изображения текущей кривой используется кнопка , рис. 3.90, справа. В появившемся анимационном окне основная СК рисуется жирными линиями, а локальная – тонкими, см. рис. 3.91.

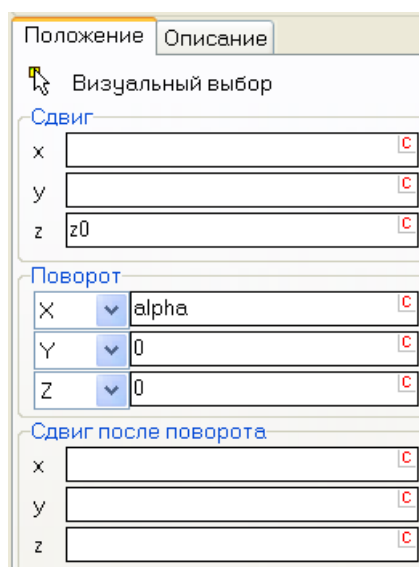


Рис. 3.92. Положение локальной СК

Задание положения локальной СК относительно основной СК

Для задания полностью параметризованного положения локальной СК кривой относительно основной используется стандартный интерфейс задания положения локальных СК, см. рис. 3.92. а также п. 3.5.4. *"Стандартный интерфейс задания положения локальной системы координат"*, с. 3-105.

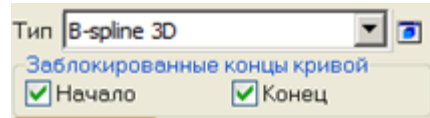


Рис. 3.93. Задание удерживающих точек

Удерживающие концевые точки

Для указания, является ли концевая точка незамкнутой кривой удерживающей или недерживающей, используются элементы группы «Заблокированные концы кривой», рис. 3.93. Галочка соответствует заблокированной точке. Удерживающие точки в анимационном окне указываются жирными точками, см. рис. 3.91.

3.5.7.2. Задание кривой аналитическим выражением

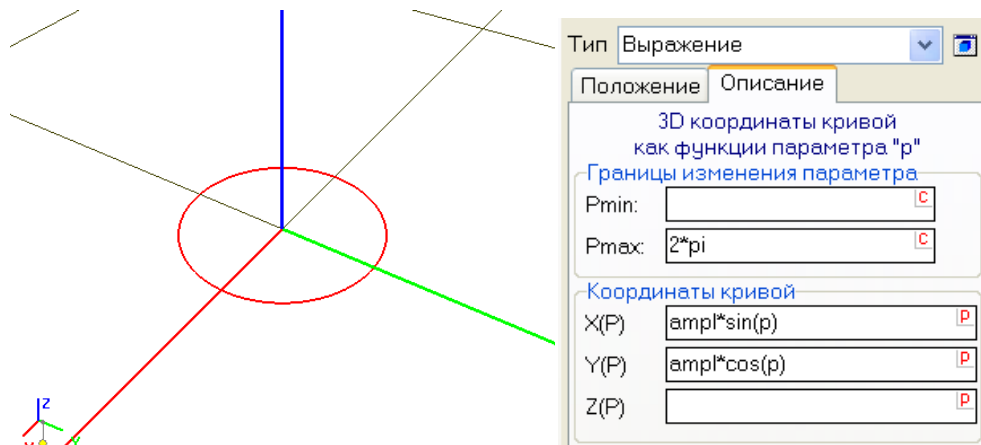


Рис. 3.94. Аналитическое задание окружности

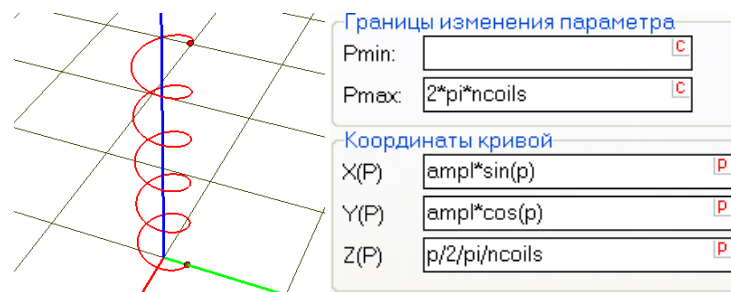


Рис. 3.95. Аналитическое задание винтовой линии с параметрически заданным числом витков

Большое число классических плоских и пространственных кривых может быть задано с помощью аналитических зависимостей от параметра p , рис. 3.94, рис. 3.95.

Для задания кривой следует указать

- интервал изменения параметра p ,
- зависимость координат точки от p в локальной СК кривой; при задании выражения допускается использовать элементы списка переменных, п. 3.4.2.4.8. "Список переменных", с. 3-67;

Для задания аналитических зависимостей используются как идентификаторы модели, так и стандартные функции, перечисленные в п. 3.4.2.4.3. "Стандартные функции и константы", с. 3-50.

3.5.7.3. Задание кривой набором точек в плоскости (точки 2D)

Данный тип задания кривой используется в том случае, когда все точки пространственной кривой лежат в одной плоскости, совпадающей с плоскостью XY локальной СК. Для этого используется тип задания кривой «Точки 2D», рис. 3.96.

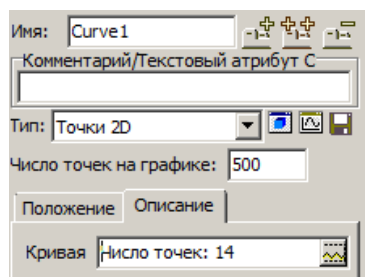


Рис. 3.96. Задание кривой набором точек в плоскости

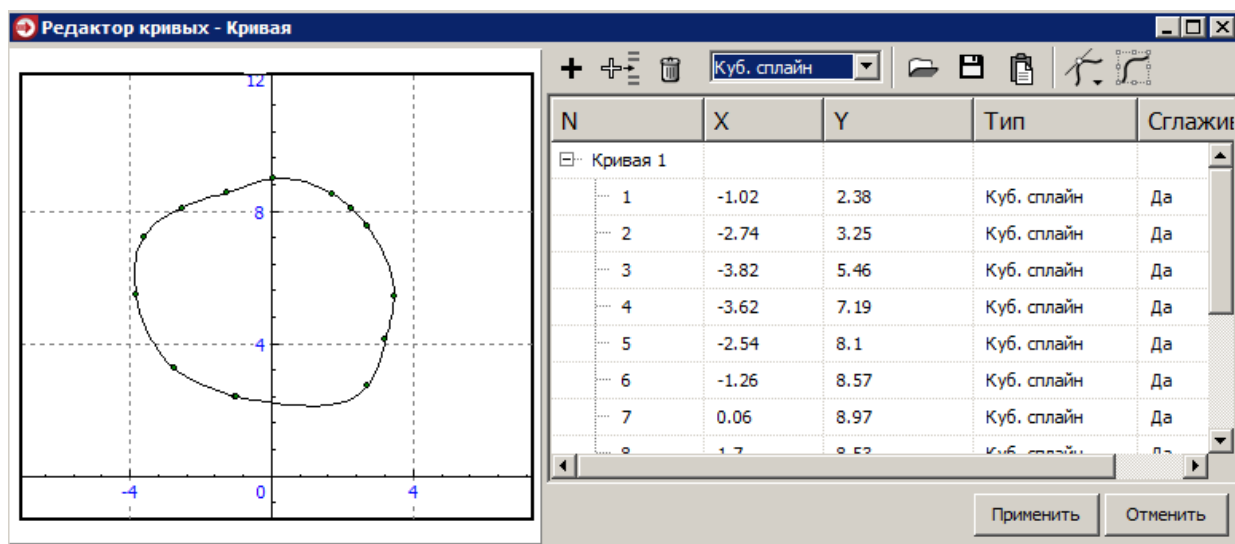


Рис. 3.97. Редактор плоских кривых

Для задания плоской кривой следует щелкнуть на кнопке и войти в редактор кривых, рис. 3.97. Подробное описание работы в редакторе см. в п. 3.4.4. "Редактор плоских кривых", с. 3-86.

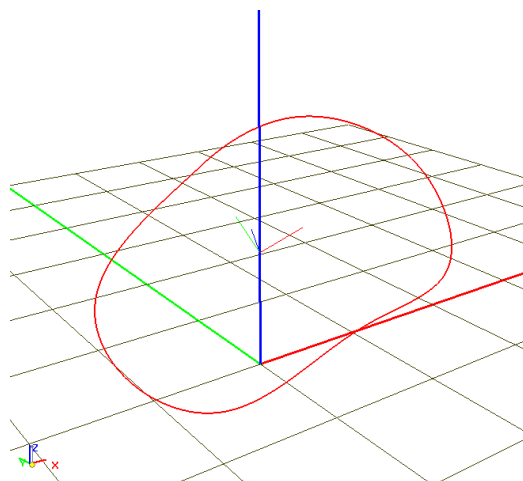


Рис. 3.98. Пространственное размещение плоской кривой относительно основной СК

Замечание 1. Координаты точек могут быть параметризованы.

Замечание 2. Задавая положение локальной СК относительно основной, можно задать желаемое пространственное положение плоской кривой, рис. 3.98.

3.5.7.4. Задание кривой набором точек в пространстве (B-сплайн 3D).

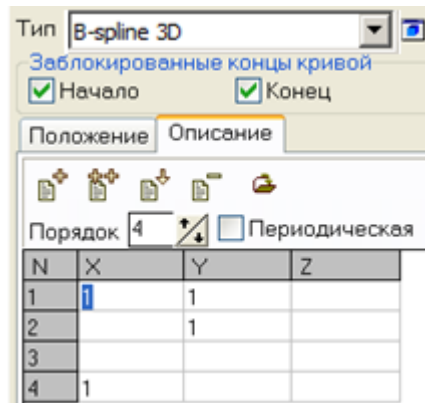


Рис. 3.99. Набор точек пространственной кривой

Для построения кривой по набору точек в пространстве используется B-сплайн порядка $m=2-10$. B-сплайны представляет собой степенные функции порядка $(m-1)$. Таким образом, B-сплайны второго порядка являются ломаными линиями, проходящими через заданные точки, которые называются *вершинами*. Наиболее часто используемые B-сплайны четвертого порядка в общем случае имеют непрерывные вторые производные.

Редактирование списка вершин

Для создания списка вершин используются кнопки (), позволяющие добавить вершину с нулевыми координатами в конце списка; скопировать текущую вершину и добавить ее в конец списка; вставить вершину с нулевыми координатами перед текущей точкой; удалить текущую вершину; прочитать набор точек из текстового файла. В файле координаты вершины расположены в три столбца, а в качестве разделителя используется пробел, например

```
1.4733433255E-1  1.3808948848  0.1
1.5971679659E-1  1.4227401843  0.12
1.7768028748E-1  1.4645854838  0.12
2.5001219032E-1  1.5064307834  0.1
.....
```

Параметризация координат точек

Координаты вершин могут быть параметризованы, то есть представлены постоянными символьными выражениями.

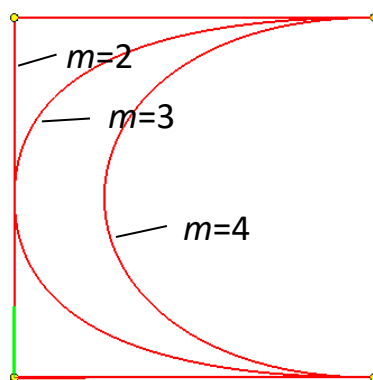


Рис. 3.100. Незамкнутые В-сплайны различного порядка, построенные на одном и том же множестве вершин

Порядок В-сплайна

Порядок В-сплайна отвечает за гладкость кривой, причем, чем выше порядок, тем более гладкая кривая соответствует данному набору точек (вершин), рис. 3.100 . Минимальное значение $m=2$ (ломаная), максимальное $m=10$ (ограничение UM). Кроме того, порядок не может превосходить число точек. Как правило, при $m>2$ кривая не проходит через вершины, хотя существует простой метод, позволяющий кривой пройти точно через отдельно взятую вершину.

Рекомендуемое значение порядка: $m=4$.

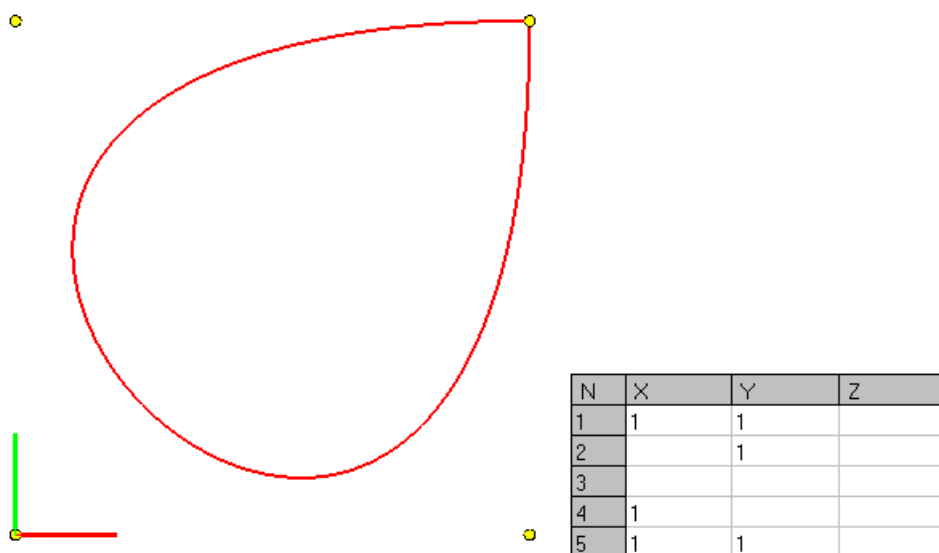


Рис. 3.101. Замкнутый неперидический В-сплайн, $m=4$

Замкнутый неперидический В-сплайн

Для создания замкнутого неперидического В-сплайна первая и последняя вершины в списке должны совпадать, рис. 3.101. В точке замыкания кривой происходит скачок касательной (разрыв производной).

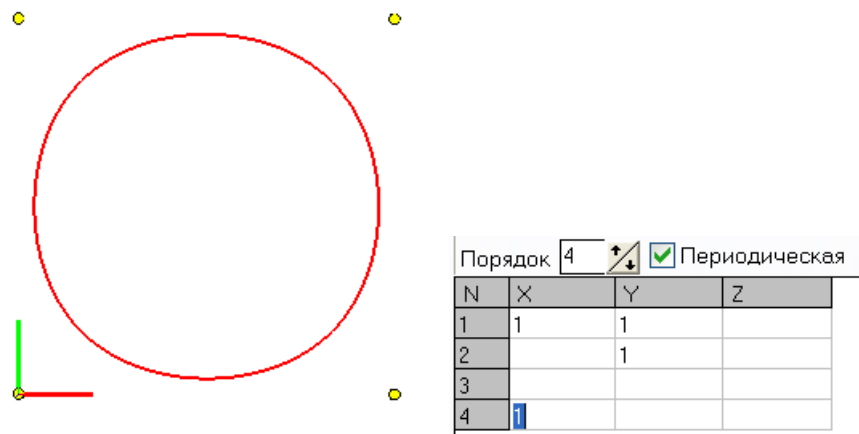


Рис. 3.102. Периодический В-сплайн, $m=4$

Периодический В-сплайн

Для задания периодического В-сплайна следует включить флажок «Периодическая» (кривая). При этом, в отличие от замкнутого непериодического В-сплайна, как правило, первая и последние вершины не совпадают, рис. 3.102.

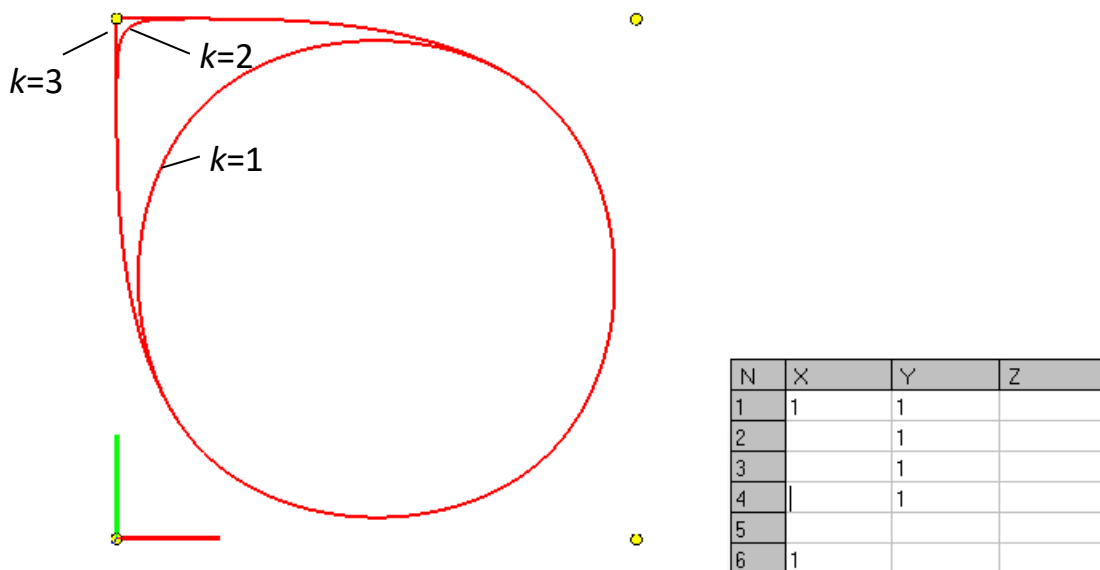


Рис. 3.103. Кривые с различной кратностью k второй вершины, $m=4$ (слева). Список вершин, в котором вторая имеет кратность 3

Кратные вершины

Кратные вершины, то есть вершины с одинаковыми координатами, следующие по порядку друг за другом, приводят к понижению гладкости кривой вблизи данной вершины. При кратности $m-1$ кривая точно пройдет через заданную вершину со скачком касательной.

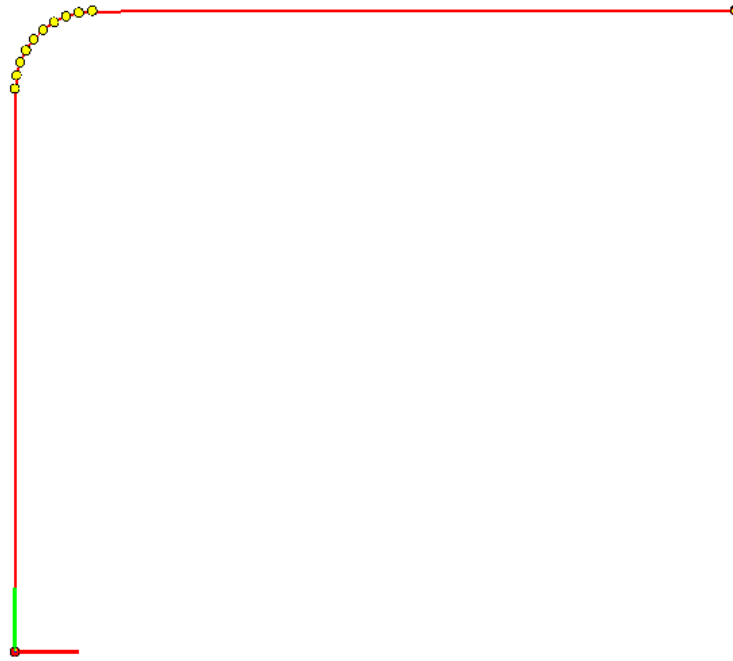


Рис. 3.104. Аппроксимация кривой, состоящей из трех участков

Аппроксимация кривых с помощью В-сплайна

Для того чтобы В-сплайн достаточно хорошо аппроксимировал заданную кривую, следует задать достаточно большое число вершин, лежащих на кривой. Например, в случае аппроксимации кривой, изображенной на рис. 3.104 и имеющей три участка, два из которых – прямые, достаточно большое число точек на скруглении гарантирует хорошую аппроксимацию с помощью В-сплайна.

3.5.8. Ввод графических объектов

Для описания графических объектов (ГО) используется встроенный графический редактор, переход к которому осуществляется через вкладку конструктора **Графические объекты**. Заметим, что описание остальных параметров объекта следует проводить *после* создания полного набора графических объектов. В этом случае возможен визуальный контроль правильности введенной информации, что позволяет избежать значительного числа ошибок.

Замечание. В последние годы значительная часть графических объектов создается пользователем в результате импорта предварительно созданных сборок из CAD программ, п. 3.9. "*Импорт данных из CAD форматов*", с. 3-293. Вместе с тем, графические образы силовых элементов, таких как пружина, следует разрабатывать стандартными средствами УМ. Кроме того, дополнительные удобства предоставляет возможность полной параметризации графических примитивов, создаваемых средствами УМ.

3.5.8.1. Списки графических объектов и графических элементов

Для придания графического образа какому-либо элементу системы (телу, шарниру, силовому элементу и другим, в дальнейшем для краткости будем упоминать только о телах) необходимо назначить *графический объект* – набор из произвольного числа *графических элементов* (ГЭ), создание которых возможно с помощью встроенного графического редактора или экспорта данных из CAD программ. Один и тот же ГО может принадлежать разным (геометрически идентичным) телам. Например, при создании ГО тележки с четырьмя графически одинаковыми колесами (даже если они имеют разную массу) можно ограничиться лишь двумя ГО: кузов и колесо. Каждому из колес назначается один и тот же ГО.

Перед вводом данных о телах, шарнирах и так далее желательно предварительно создать полный набор ГО объекта. В этом случае возможен визуальный контроль правильности введенной информации, что позволяет избежать значительного числа ошибок.

После назначения элементу объекта определенного ГО программа связывает СК ГО с элементом по определенному правилу, однако следует помнить, что форма и размеры ГО часто *никак не связаны* с инерционными характеристиками тела, жесткостью пружин и другими параметрами элементов конструкции, которые задаются отдельно. Исключением является случай, когда включен режим расчета инерционных параметров по графическим образам тел.

Для перехода к описанию (или редактированию) *графических объектов (ГО или GO)* щелкните на пункте *Графические объекты* дерева элементов. Инспектор данных принимает вид рис. 3.105.

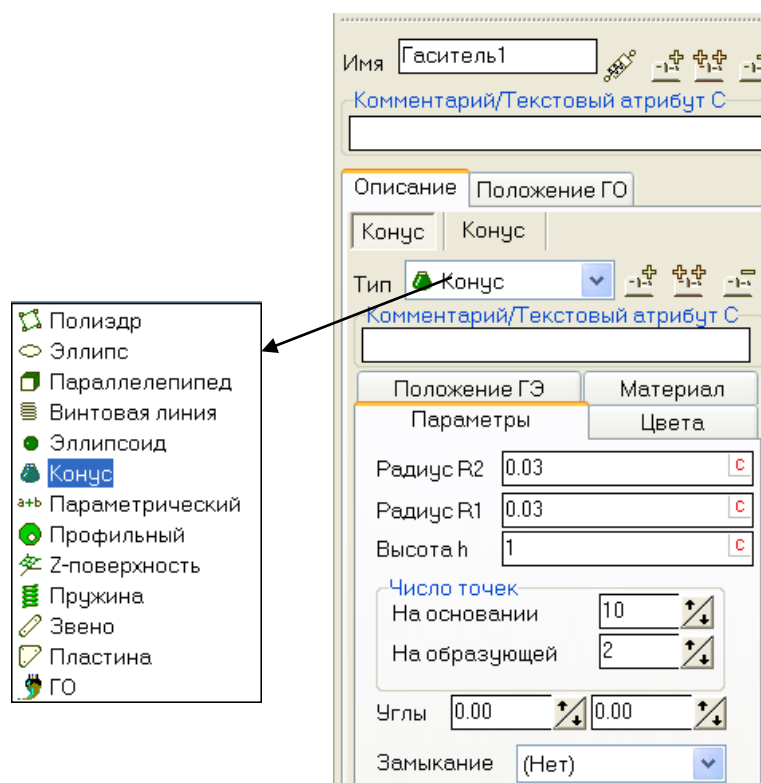



Рис. 3.105. Графический объект в инспекторе данных

Каждый ГО представляет собой совокупность (список) *графических элементов (ГЭ или GE)*. С помощью нижних кнопок  производится соответственно:

- добавление нового (пустого) ГЭ;
- копирование (дублирование) текущего ГЭ;
- удаление текущего ГЭ.

Для задания (изменения) типа текущего ГЭ используется выпадающее меню с названиями стандартных типов:

- полиэдр, п. 3.5.8.2.2. "*Эллипс*", с. 3-126;
- эллипс, п. 3.5.8.2.2. "*Эллипс*", с. 3-126;
- параллелепипед, п. 3.5.8.2.3. "*Параллелепипед*", с. 3-127;
- винтовая линия, п. 3.5.8.2.4. "*Винтовая линия*", с. 3-128;
- эллипсоид, п. 3.5.8.2.5. "*Эллипсоид*", с. 3-129;
- конус, п. 3.5.8.2.6. "*Конус*", с. 3-130;
- параметрический, п. 3.5.8.2.7. "*Параметрический*", с. 3-131;
- профильный, п. 3.5.8.2.8. "*Профильный*", с. 3-136;
- Z-поверхность, п. 3.5.8.2.9. "*Z-поверхность*", с. 3-140;
- Пружина, п. 3.5.8.2.10. "*Пружина*", с. 3-142;
- Звено, п. 3.5.8.2.11. "*Звено*", с. 3-143;
- Пластина, п. 3.5.8.2.12. "*Пластина*", с. 3-144;
- ГО, п. 3.5.8.2.13. "*Графический элемент типа «Ссылка на ГО»*", с. 3-144.

При задании почти всех параметров ГЭ возможно использование символьных идентификаторов и символьных выражений.

Замечание. При изменении типа текущего ГЭ ранее введённая информация об этом ГЭ пропадает!

3.5.8.2. Ввод графических элементов (ГЭ)

У каждого ГЭ есть четыре группы параметров, собранных на разных *вкладках*:

- **Параметры** – на этой вкладке отображаются параметры элемента, зависящие от его типа (см. далее);
- **Цвета** – на ней отображается информация о цветовой раскраске ГЭ;
- **Положение** – параметры, задающие положение текущего ГЭ в системе координат текущего ГО;
- **Материал** – параметры, задающие инерционные свойства материала (плотность и другие). Они используются для автоматического определения инерционных свойств тела.

3.5.8.2.1. Полиэдр

Полиэдр (многогранник) полезен, когда необходимо задать нестандартный элемент, не описываемый аналитическими формулами. Полиэдр в УМ представляет собой набор точек в трехмерном пространстве, соединенных одним или несколькими полигонами (ломамыми). Полигоны могут быть как проволочными (из линий), так и заполненными.

Для задания полиэдра следует указать (рис. 3.106):

- координаты точек-вершин полиэдра. Если на этом ввод данных заканчивается, то после выхода из таблицы изображается единственный проволочный полигон, соединяющий введенные точки в той последовательности, в которой они указаны в таблице. Но есть возможность из введенных точек образовать не один, а несколько полигонов, в том числе сплошных, то есть граней объёмного тела. Для этого следует заполнить нижнюю часть таблицы, указав
- для каждого полигона – номера точек из выше введенного списка (через запятую) и установить флажок , если вы хотите, чтобы полигон изображался заполненным.

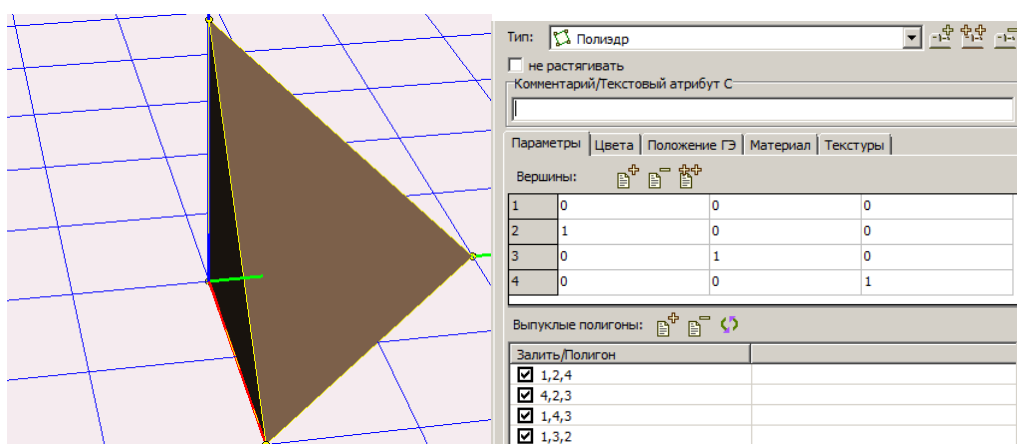


Рис. 3.106 Полиэдр

Пример – тетраэдр.

Задаем 4 точки-вершины

$(0,0,0), (1,0,0), (0,1,0), (0,0,1)$

и четыре полигона

$(1,2,4), (4,2,3), (1,4,3), (1,3,2).$

3.5.8.2.2. Эллипс

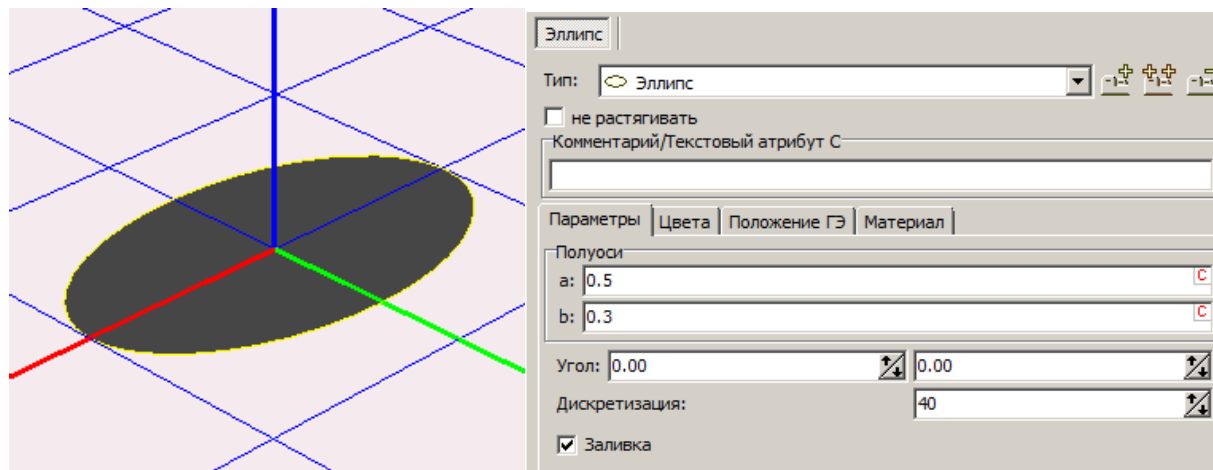


Рис. 3.107. Пример эллипса

Параметры эллипса, рис. 3.107:

- **a, b** – полуоси эллипса;
- **начальный и конечный углы** (для задания сектора). Значения по умолчанию (0,0) соответствуют замкнутому эллипсу;
- **дискретизация** – число точек на дуге эллипса;
- **заливка** – флажок в этом поле определяет эллипс как плоский элемент (с заливкой), а отсутствие его означает эллипс как дугу.

3.5.8.2.3. Параллелепипед

Параметры графического элемента – параллелепипеда (рис. 3.108):

- А, В, С – размеры параллелепипеда вдоль осей X, Y и Z, рис. 3.108.

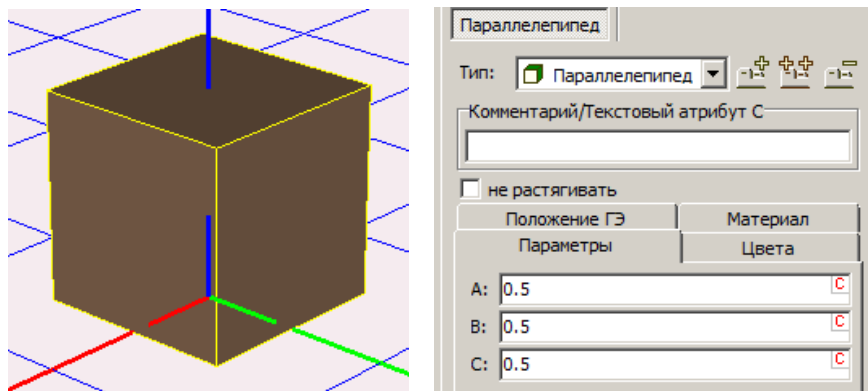


Рис. 3.108. Пример параллелепипеда

3.5.8.2.4. Винтовая линия

Для ввода винтовой линии необходимо задать следующие параметры (рис. 3.109):

- **Радиус** осевой линии витков пружины;
- **Высота** (длина) пружины;
- **Число витков** пружины;
- **Дискретизация** витков пружины – число точек на один виток.

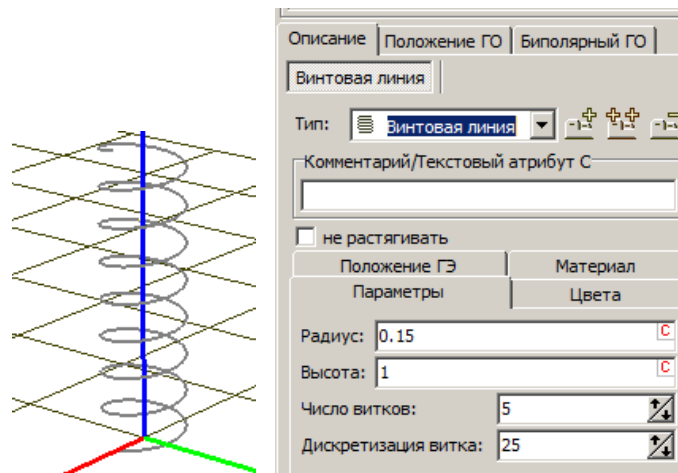


Рис. 3.109. Винтовая линия

3.5.8.2.5. Эллипсоид

Данный графический элемент позволяет задать изображение эллипсоида, в частном случае – сферы (рис. 3.110).

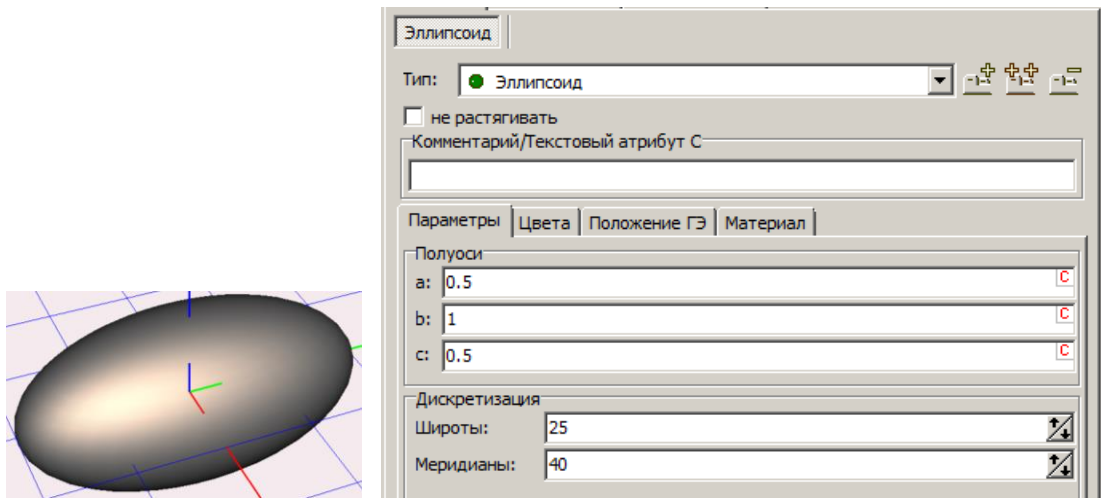


Рис. 3.110. Пример эллипсоида

Параметры эллипсоида:

- **a, b, c** – полуоси эллипсоида;
- **Широты, Меридианы** – число линий широт и меридианов, аппроксимирующих поверхность эллипсоида.

Центр эллипсоида размещается в начале системы координат ГЭ.

3.5.8.2.6. Конус

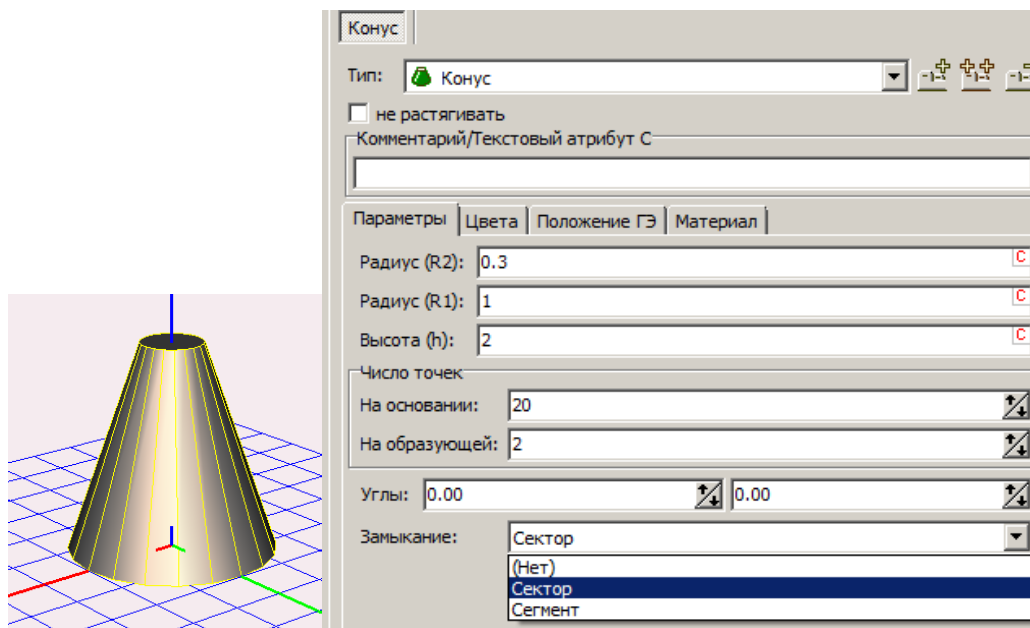


Рис. 3.111. Конический ГЭ

Окно инспектора для ввода параметров конуса представлена на рис. 3.111.

Данный графический элемент позволяет получать изображения цилиндра, конуса и усеченного конуса, а также части этих поверхностей. Цилиндр помещается в СК ГЭ так, что нижнее основание располагается в плоскости xOy , а ось цилиндра параллельна оси z .

Для описания конической поверхности следует задать:

- **R1, R2** – радиусы нижнего и верхнего оснований;
- **h** – высота конуса;
- **Углы** – начальный и конечный углы в градусах, образующие плоский угол при оси Oz , в пределах которого помещается часть цилиндрической поверхности. Допускаются вещественные числа. Углы отсчитываются от оси Ox против хода часовой стрелки. Если положить оба угла нулю, то генерируется полный цилиндр (конус);
- **Число точек** на основании и на образующей, определяющие дискретизацию поверхности конуса;
- **Замыкание** – переключатель имеет значения (*Нет*), *Сектор*, *Сегмент* и определяет способ дополнения конической поверхности до замкнутой.

3.5.8.2.7. Параметрический

Большие возможности задания графического элемента сложной структуры предоставляет описание его в параметрической форме (рис. 3.112). Возможно задание кривых и поверхностей. Для этого следует описать их в виде произвольных функций одного (кривая) или двух (поверхность) параметров. Идентификаторы параметров – **p1** и **p2**.

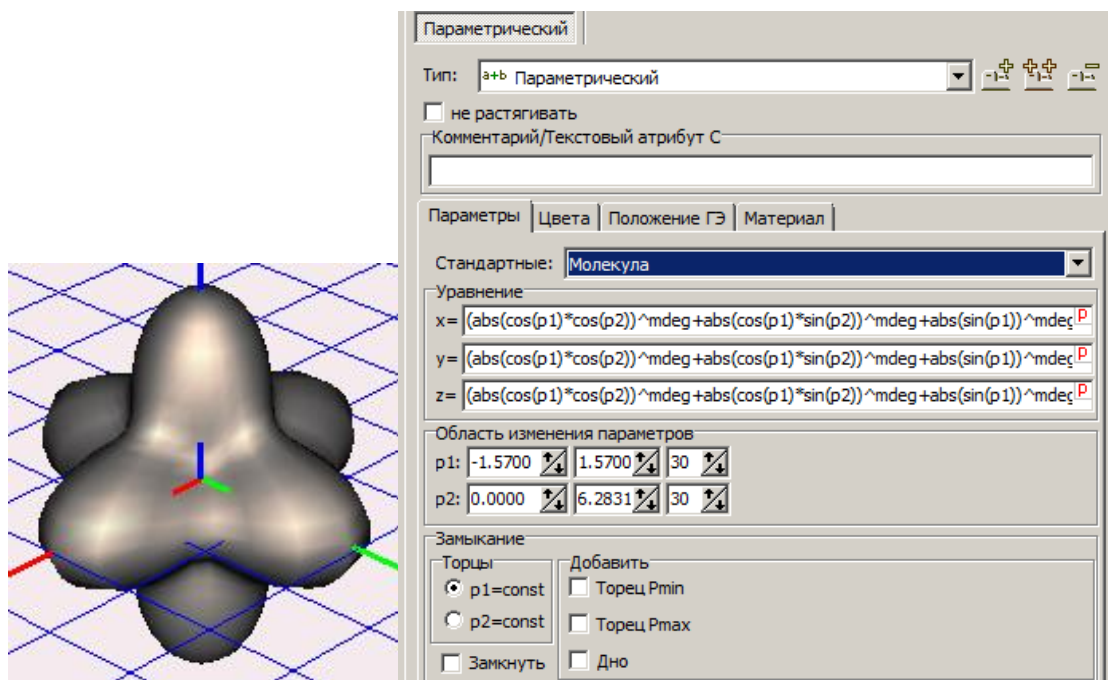


Рис. 3.112. Параметрический ГЭ

- **Стандартные** – набор стандартных параметрических элементов:

Плоскость	Эллипсоид	Кольцо
Тор	Конус	Параболоид
Пружина	Рог	Молекула (рис. 3.112)
Сферокуб	Шестерня	Эллиптическое колесо
- **Уравнение** – аналитические выражения, выражающие зависимость декартовых координат точек параметрического элемента через параметры **p1** и **p2** (для поверхности), **p1** или **p2** (для кривой); при задании выражения допускается использовать элементы списка переменных, п. 3.4.2.4.8. "Список переменных", с. 3-67;
- **Область изменения параметров** – для каждого параметра задаются минимальное и максимальное значения, а также число точек внутри заданного интервала для отрисовки элемента; например, если задать **p1** от -1.4 до $+1.2$, **p2** от -0.2 до 4.8 , то получится часть показанной выше поверхности (рис. 3.113)

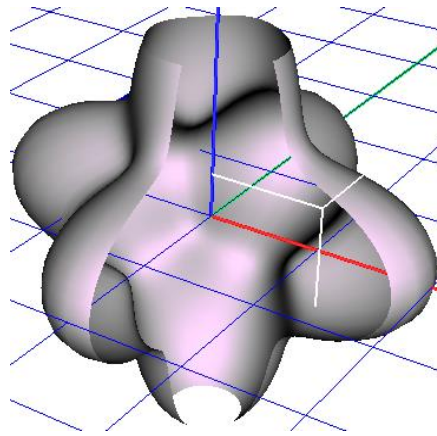


Рис. 3.113. Влияние интервала изменения параметров p_1 , p_2 на вид ГЭ

Замыкание – это возможность дополнить поверхность до замкнутой, добавив торцы и/или дно; поскольку параметры p_1 и p_2 равноправны, то можно считать торцами либо поверхности $p_1 = \text{const}$, либо $p_2 = \text{const}$ (рис. 3.114), для чего и введён соответствующий переключатель рис. 3.112.

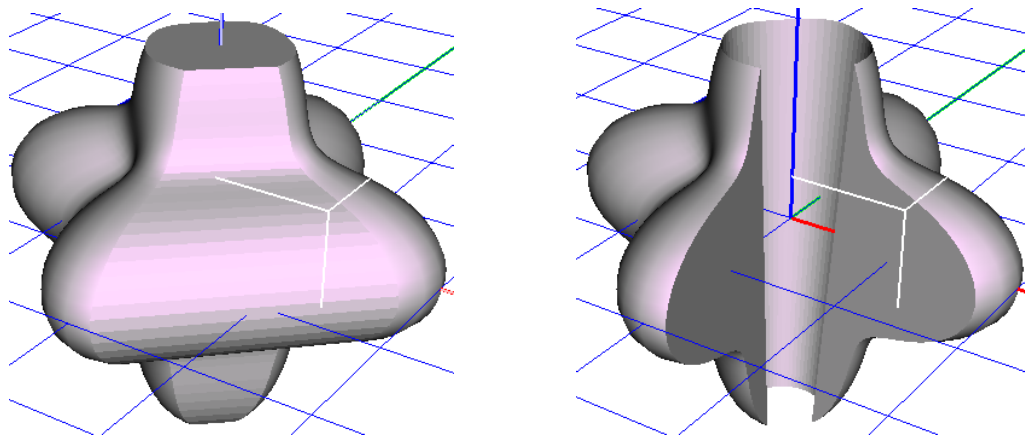


Рис. 3.114. Различные способы замыкания параметрического ГЭ

Приведем примеры параметрических элементов:

1. Эллипс в плоскости Oxy – пример кривой линии
 $rx = a * \cos(p1)$
 $ry = b * \sin(p1)$
 $rz = 0$
2. Винтовая линия
 $rx = 0.5 * \cos(p1)$
 $ry = 0.5 * \sin(p1)$
 $rz = 0.1 * p1 / \pi$
3. Цилиндр – поверхность
 $rx = 0.5 * \cos(p1)$
 $ry = 0.5 * \sin(p1)$
 $rz = p2$
4. Сфера радиуса 0.5 с центром в точке (0.1, 0.2, 0.3)

$$rx=0.1+0.5*\cos(p1)*\cos(p2)$$

$$ry=0.2+0.5*\cos(p1)*\sin(p2)$$

$$rz=0.3+\sin(p1)$$

5. Тор

$$rx=(r1+r2*\cos(p1))*\cos(p2)$$

$$ry=(r1+r2*\cos(p1))*\sin(p2)$$

$$rz=r2*\sin(p1)$$

Для описания элемента можно использовать стандартный набор элементарных функций и операций:

+, -, *, /, ^ (возведение в степень),

sin, *cos*,

sqr (квадрат аргумента),

sqrt (квадратный корень),

abs (абсолютное значение аргумента),

ln (натуральный логарифм),

exp (экспоненциальная функция),

sign (знак числа), +1, если $x > 0$; 0, если $x = 0$; -1, если $x < 0$,

heavi (функция Хэвисайда): 1, если $x > 0$; 0, если $x \leq 0$,

а также числа π и e .

Степенная функция вычисляется по формуле

$$a^b = \exp(b*\ln(a)),$$

поэтому не допускается отрицательное или нулевое значение основания a . Кроме того, недопустима запись числа в виде *.1*, *.103* (правильно: *0.1*, *0.103*).

Кроме задания параметрических уравнений кривой и поверхности необходимо задать области изменения параметров и число интервалов в них, определяющих разбижку элемента. Описание параметров различается для кривой и поверхности, поэтому должно быть рассмотрено отдельно.

Конечные элементы разбижки поверхности имеют четырехугольную форму.

ЗАДАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРИВОЙ

Параметрическое уравнение кривой зависит от одного параметра: либо **p1**, либо **p2** (на усмотрение пользователя). Пусть для определенности используется идентификатор **p1**. После задания уравнения кривой следует указать:

- граничные значения параметра;

- число точек, по которым строится кривая.

Число точек на кривой не следует выбирать очень большим, поскольку при этом замедляется процесс построения графического элемента. Рекомендуется подбирать его экспериментальным образом, начиная с малого и постепенно увеличивая до удовлетворительного вида кривой.

Рассмотрим пример 2 – винтовая линия. Зададим область изменения параметра $0 < p1 < 62.8$. Это соответствует линии, имеющей 10 витков высотой 1. Число точек для первого параметра укажем 20, для второго – игнорируем. Видим не спираль, а пилу. Причина: мало точек. Неудовлетворительный вид получается при 40, 80 точках. Вполне удовлетворительный вид спираль получает при 160 точках. Можно и увеличивать число точек,

но значительного улучшения вида кривой мы не получим, поэтому в целях получения более экономичного представления графического элемента следует остановиться на числе 120.

В примере 1 (эллипс) область изменения параметра $0 < p1 < 6.28$, число точек достаточно 20-30. Если задать область изменения параметра $1.57 < p1 < 3.14$, то получим четверть окружности, при этом достаточно 5-10 точек.

ЗАДАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТИ

Для описания поверхности после задания ее параметрических уравнений следует ввести:

- границы области изменения параметров;
- число точек разбиения интервала для каждого параметра.

Графический вид поверхности в контурной графике представляет собой сетку линий уровня. Для каждой линии уровня один из параметров постоянен, а другой пробегает значения из области изменения. То есть рисуется криволинейная координатная сетка на поверхности. Поясним на примере 3 - цилиндр. Зададим следующие значения:

для первого параметра

область изменения $0 < p1 < 6.28$;
число точек 30;

для второго параметра

область изменения $0 < p2 < 1$;
число точек 2;

Получим цилиндр высотой 1, радиуса 0.5, образованный двумя окружностями с тридцатью точками и тридцатью отрезками (две концевые точки на боковой поверхности).

Изменим интервал изменения первого параметра $0 < p1 < 3.14$ (одновременно желательно уменьшить число точек до пятнадцати). Получим полцилиндра. Изменим интервал изменения второго параметра $0 < p2 < 0.5$. Высота цилиндра уменьшится.

Следующий пример 5 – тор:

для первого параметра

область изменения $0 < p1 < 6.28$;
число точек 30;

для второго параметра

область изменения $0 < p2 < 6.28$;
число точек 30.

Половину тора получите, если $0 < p2 < 6.28$; четверть при $0 < p2 < 3.14$;

С помощью данного инструмента можно получать очень сложные поверхности, например,

$$rx = \sin(p1) * \cos(p2) \quad ry = \cos(p1) * \sin(p2) \quad rz = \sin(p1) + \sin(p2)$$

для первого параметра

область изменения $0 < p1 < 6.28$;
число точек 30;

для второго параметра

область изменения $0 < p2 < 6.28$;

число точек 30.

А теперь замените rz на $rz = \sin(p1) + \cos(p2)$.

Попробуйте сами задавать поверхности самого произвольного вида, используя весь набор функций.

3.5.8.2.8. Профильный

Это графический элемент с широкими возможностями. Он определяет поверхность, образованную путём движения одной кривой линии (профиля) вдоль другой, осевой, линии, при этом возможны самые разные способы задания этих кривых.

На рис. 3.115 изображён пример профильного ГЭ.

Параметры поперечного сечения следующие:

- Вид сечения – возможны значения:
 Окружность (или эллипс): полуоси задаются параметрами **Масштаб X, Y**;
 Кривая 2D: поточечно заданное сечение, возможно с отверстиями;
 Сплайн 3D: поточечно заданный набор последовательных сечений;
 По формуле: сечение задаётся аналитическими формулами.
- **Масштаб X, Масштаб Y** – коэффициенты растяжения сечения по осям;
- **Число точек** для аппроксимации сечения;
- **Замкнуть** – флажок для автоматического добавления торцов для автоматического замыкания полученной поверхности.

Параметры осевой линии:

- **Вид линии** – возможны значения:
 Прямая;
 Окружность;
 Кривая 2D: поточечно заданная осевая линия;
 По формуле: осевая задаётся аналитическими формулами.
- **Длина** – длина осевой линии (для случая прямой осевой линии);
- **Число точек** для аппроксимации осевой.

Путём всевозможных сочетаний «тип сечения – тип осевой линии» можно получить самые разнообразные элементы.

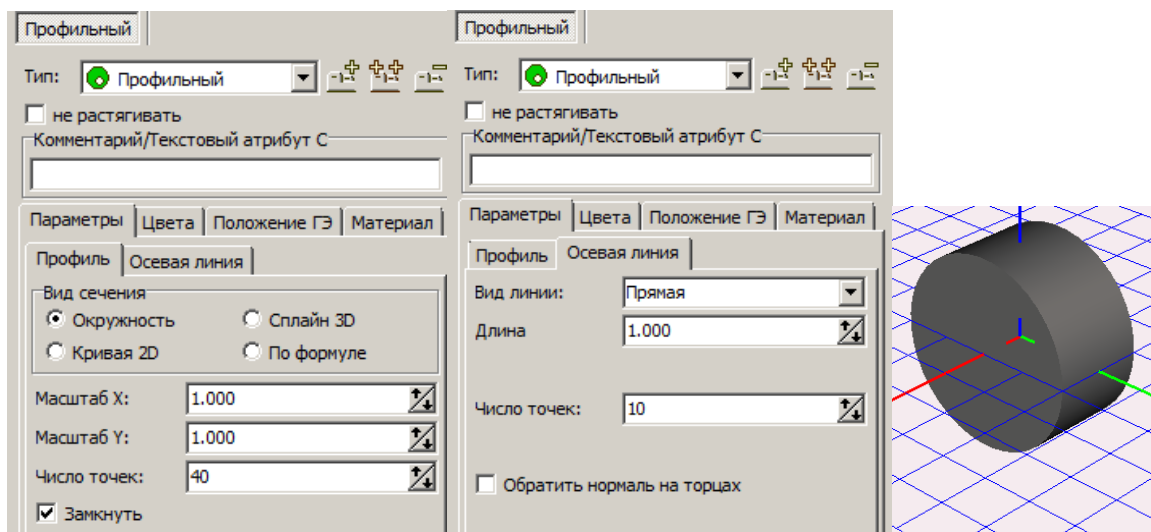


Рис. 3.115. Профильный ГЭ: цилиндр

Примеры профильных элементов

При выборе типа сечения **Кривая 2D** или **Кривая 2D** появляется новое поле **Описание** (рис. 3.116).

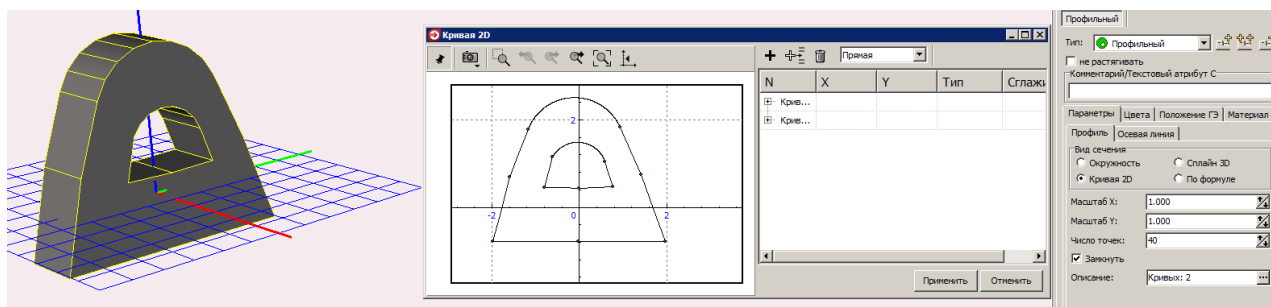



Рис. 3.116. Профильный ГЭ: сечение «Кривая 2D»

Щёлкнув кнопкой мыши на  в этом поле, можно вызвать окно редактора кривых (см. п. 3.5.8.6. "Редактор кривых", с. 3-152) и ввести сечения.

Если заданы несколько кривых, то при типе сечения **Кривая 2D** сечение будет многосвязным (рис. 3.116).

При типе сечения **Сплайн 3D** несколько кривых интерпретируются как набор последовательных сечений элемента на осевой линии (рис. 3.117).

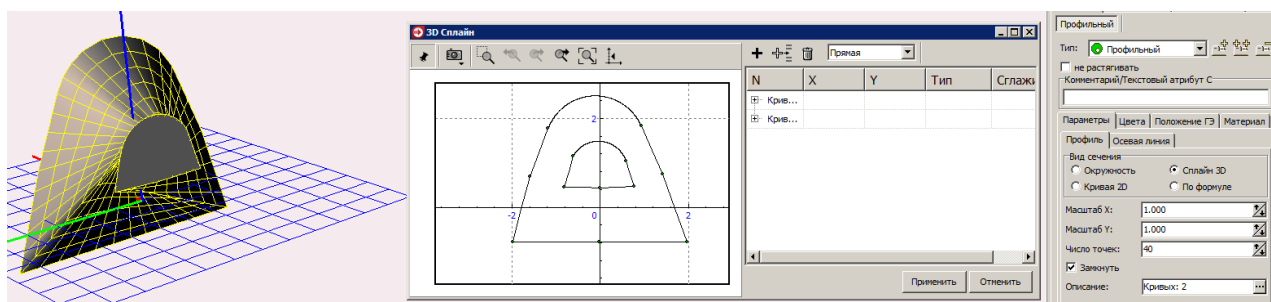


Рис. 3.117. Профильный ГЭ: сечение «Сплайн 3D»

Если выбрать тип поперечного сечения **По формуле**, то откроется дополнительная группа полей (рис. 3.118):

- **x(p), y(p)** – уравнение линии сечения, выраженные через параметр **p**; при задании выражения допускается использовать элементы списка переменных, п. 3.4.2.4.8. "Список переменных", с. 3-67;
- **Pmin, Pmax** – пределы изменения параметра **p**.

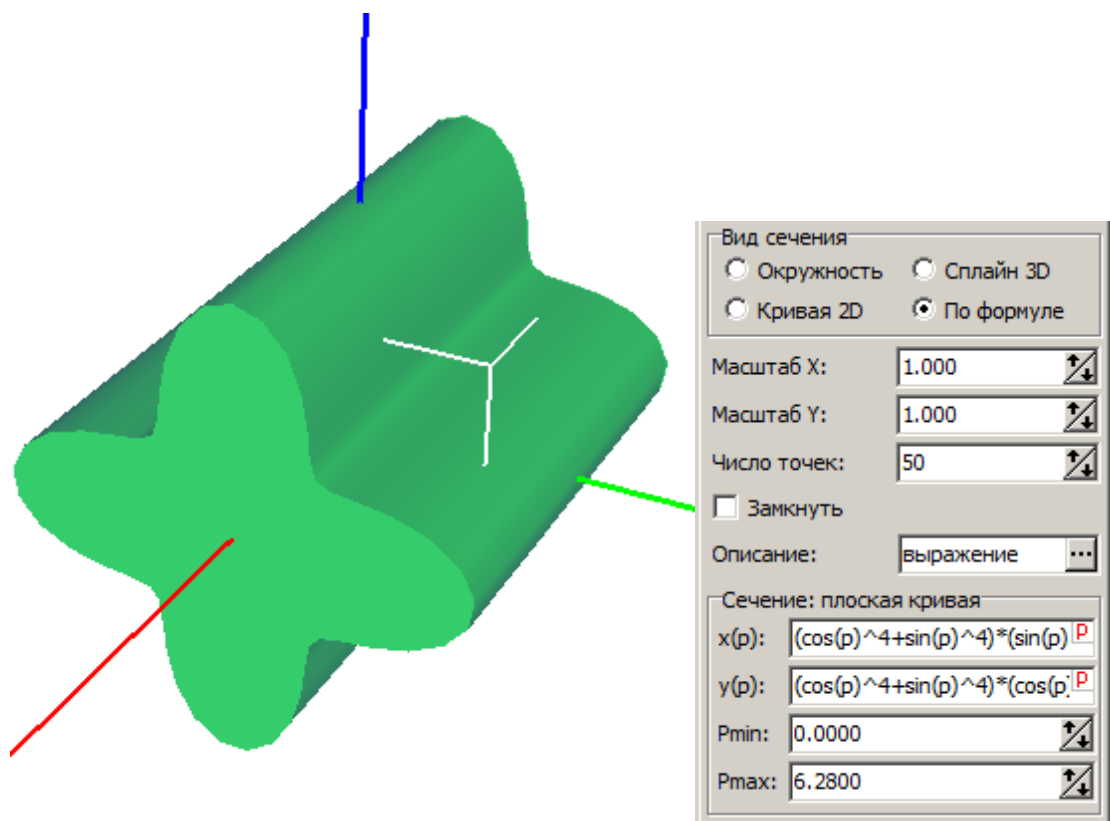


Рис. 3.118. Профильный ГЭ: сечение – аналитическая кривая

Аналогично можно задавать осевую линию произвольной кривой, заданной поточечно (рис. 3.119). Для этого надо выбрать вид осевой линии **Кривая 2D**.

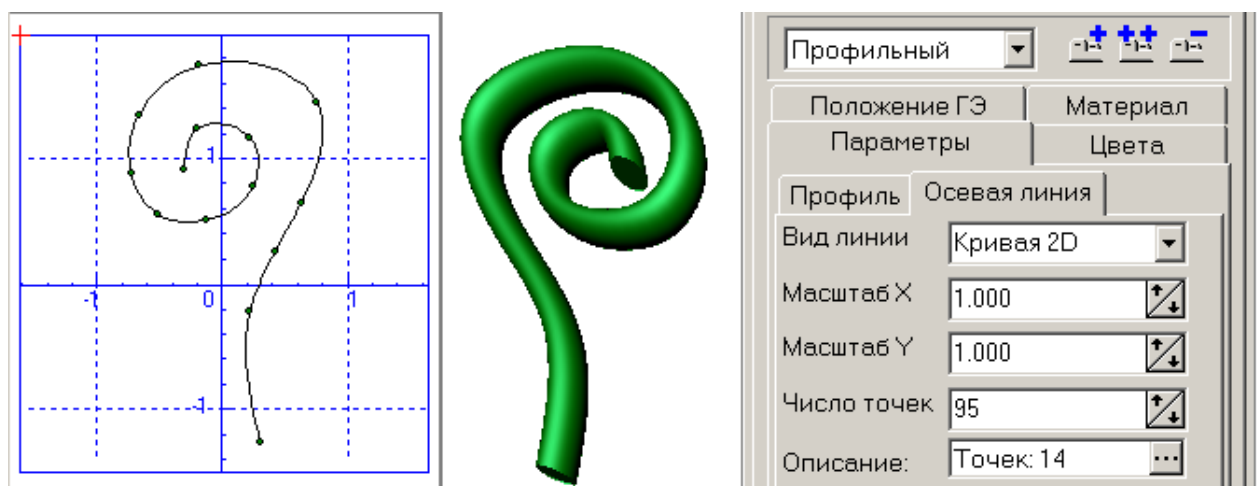


Рис. 3.119. Профильный ГЭ: осевая линия – поточечная кривая 2D

В заключение приведем пример образа железнодорожного колеса, в котором колеса созданы с помощью профильных элементов.

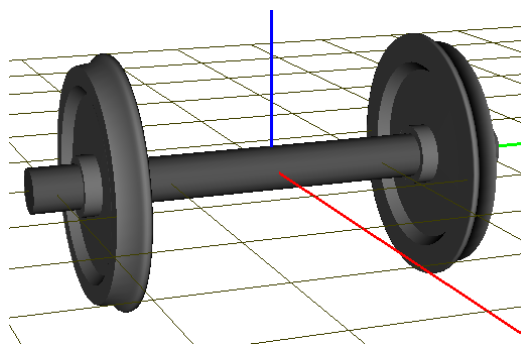


Рис. 3.120. ГО железнодорожного колеса

3.5.8.2.9. Z-поверхность

ГЭ данного типа предназначен для программирования в файле управления графического образа поверхности, задаваемой выражением типа

$$z = f(x, y),$$

причем параметр $p1$ соответствует координате x , а $p2$ – координате y .

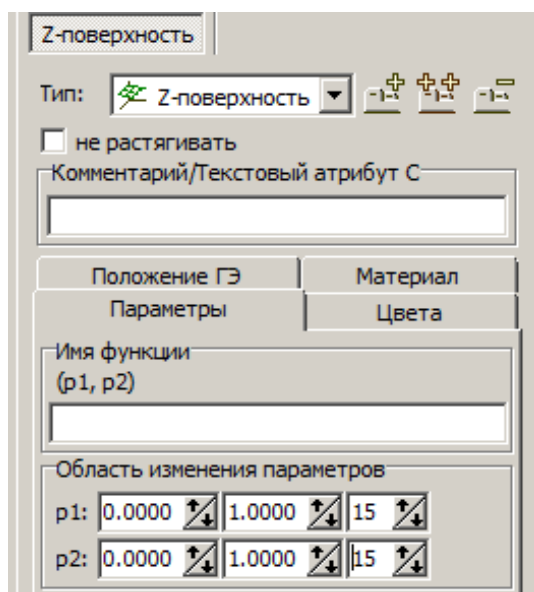


Рис. 3.121. Параметры элемента Z-поверхность

Описание элемента включает

- Имя функции
- Интервалы изменения параметров прямоугольной области и дискретизация каждого параметра

При синтезе уравнений движения в файл управления вставляется шаблон функции:

```
function ZGraphicElementFunctions (
  _index, _isubs : integer;
  _p1, _p2      : real_
): real_
begin
  _ := _PzAll[SubIndx[_isubs]];
  case _index of
    0 : begin
      { Function zSurface }
      Result := 0;
    end;
  end;
end;
```

Для каждой введенной функции типа Z-поверхность в пределах оператора *case* вставляется оператор *Result := 0*, который следует заменить на расчет функции.

Данный тип графического элемента используется для задания поверхностей с помощью сложных функциональных зависимостей, в том числе зависящих от времени. Напри-

мер, Z-поверхность использовалась для изображения “бегущей” волны (см. рисунок внизу).

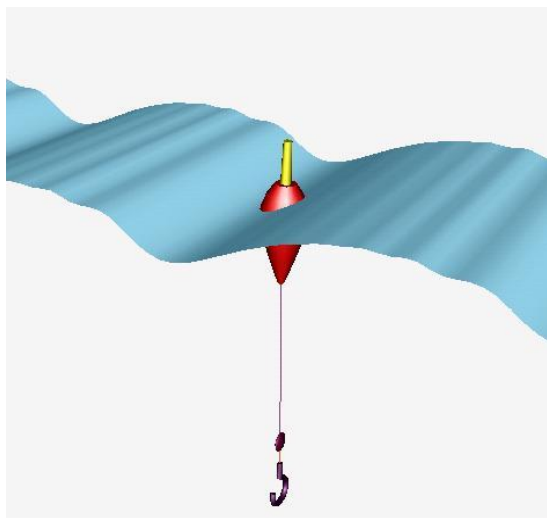


Рис. 3.122. Профильный ГЭ: бегущая волна

Более подробно данные вопросы рассмотрены в руководстве по программированию в среде UM, [Глава 5](#).

Замечание 1. Поскольку реальное описание элемента размещается в файле управления и доступно в программе моделирования, то в программе ввода элемент отображается в виде прямоугольника, размеры которого определяются интервалами изменения параметров p_1 , p_2 .

Замечание 2. Использование элемента требует синтеза уравнений движения в символьной форме, п. 3.8. "Синтез уравнений движения", с. 3-289.

3.5.8.2.10. Пружина

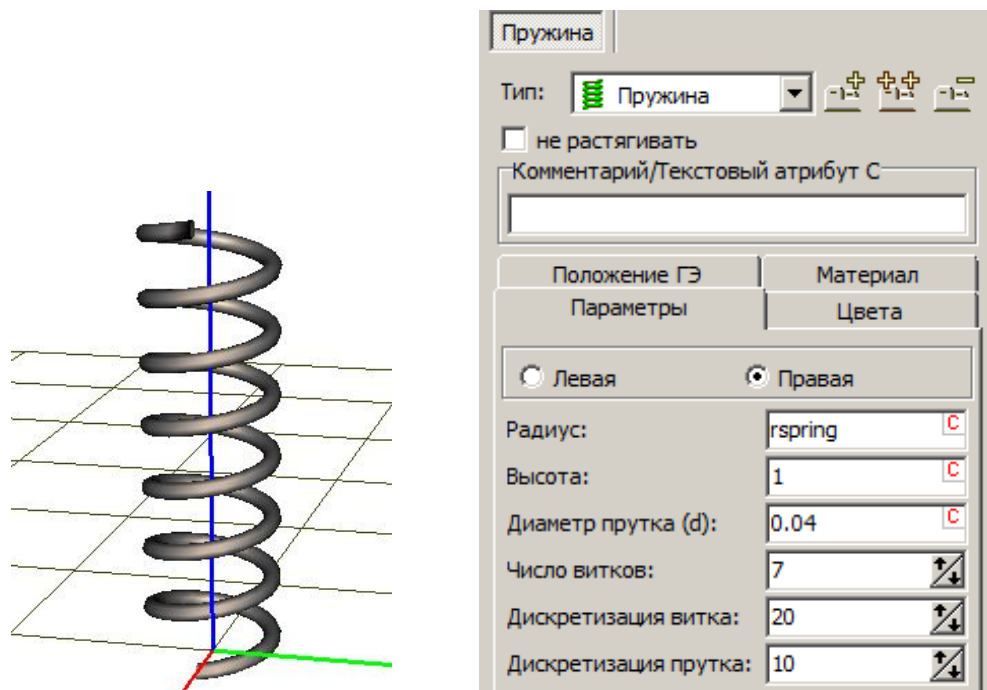


Рис. 3.123. Пример пружины

ГЭ **Пружина** (рис. 3.123) разработан для создания графических образов цилиндрических пружин, рис. 3.124. Список параметров аналогичен списку ГЭ **Винтовая линия** (см. п. 3.5.8.2.4. "Винтовая линия", с. 3-128). Дополнительные параметры:

- тип пружины **Левая/Правая**,
- диаметра прутка,
- дискретизации прутка.

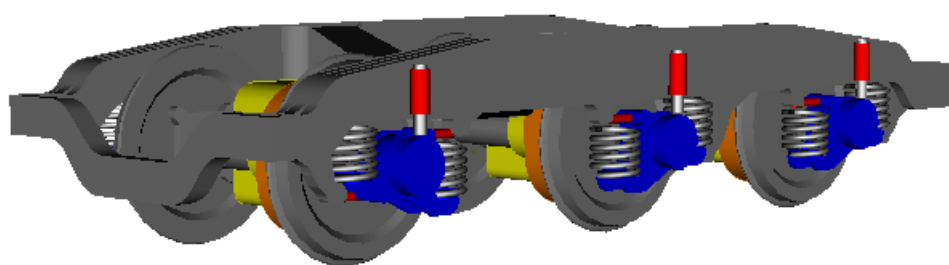


Рис. 3.124. Использование ГЭ «Пружина» в модели тележки локомотива

3.5.8.2.11. Звено

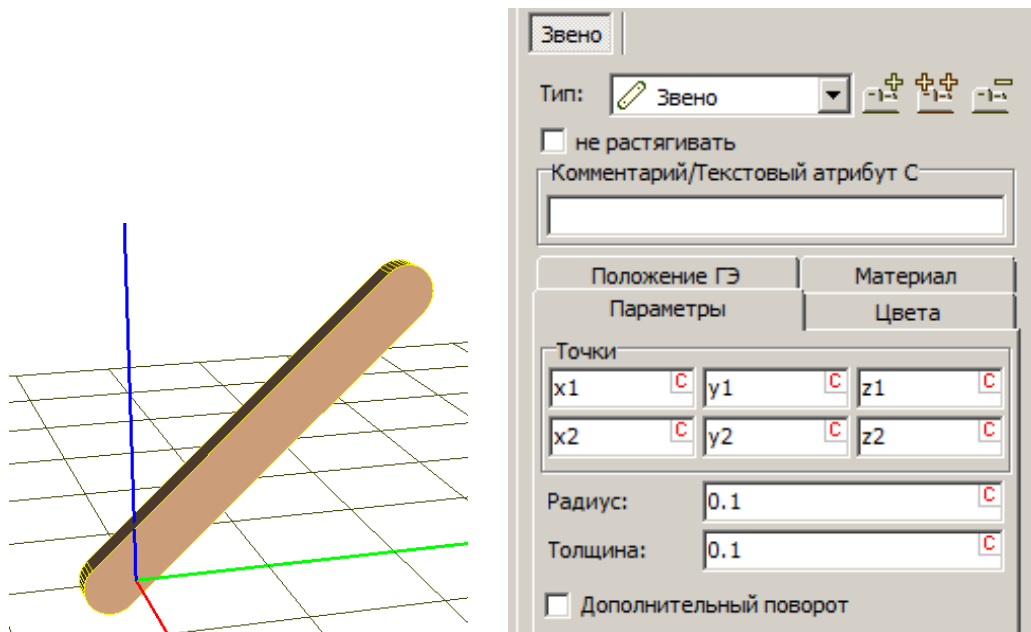


Рис. 3.125. Параметры элемента «Звено»

Элемент **Звено** представляет собой прямоугольную пластину со скругленными концами, рис. 3.125. Положение и размеры пластины определяются следующими параметрами:

- координаты центров скруглений по концам относительно СК ГЭ (группа **Точки**);
- **радиус** скругления (половина ширины пластины);
- **толщина** пластины;
- ключ **Дополнительный поворот** используется для поворота звена на 90 градусов вокруг его продольной оси.

3.5.8.2.12. Пластина

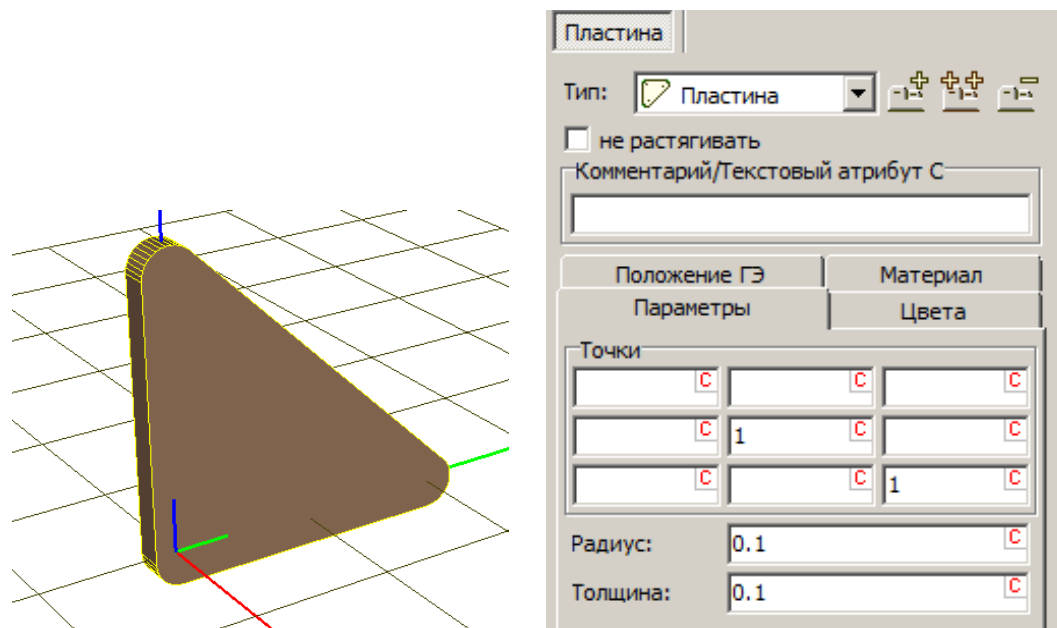


Рис. 3.126. Параметры элемента «Пластина»

Элемент **Пластина** представляет собой треугольную пластину со скругленными концами, рис. 3.126. Положение и размеры пластины определяются следующими параметрами:

- координаты трех центров скруглений относительно СК ГЭ (группа **Точки**);
- **радиус** скругления;
- **толщина** пластины.

3.5.8.2.13. Графический элемент типа «Ссылка на ГО»

Этот вид ГЭ используется в следующих случаях:

- в рассматриваемый объект несколько одинаковых по виду элементов,
- при объединении ранее созданных ГО в один объект,
- при импорте данных из CAD, что, в частности, используется при объединении нескольких деталей в тела, [Глава 9](#), п. *Объединение деталей в тела*.

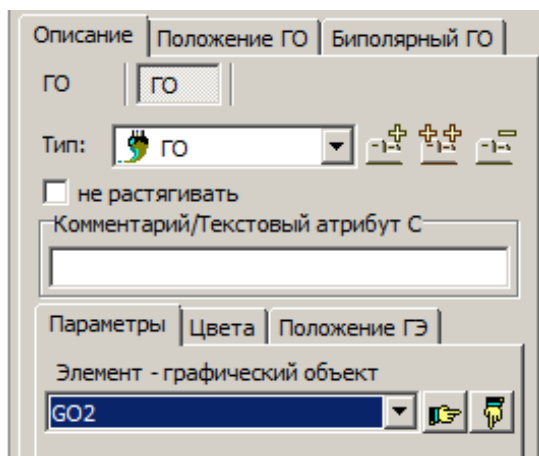



Рис. 3.127. Пример ГО, содержащего несколько ссылок на другие графические объекты

Ссылка на ГО (ГО-предок) выбирается с помощью всплывающего списка графических объектов **Элемент – графический объект**, рис. 3.127.

Для перехода к ГО, на который ссылается элемент, используется кнопка .

Вместо ссылок, все графические элементы можно напрямую включить (скопировать) в текущий ГО с помощью кнопки .

3.5.8.2.14. Графический элемент ASC, импортированный из CAD программы

Графический элемент типа ASC используется для отрисовки образов, конвертированных из CAD программ, п. 3.9. "Импорт данных из CAD форматов", с. 3-293. Элемент содержит набор вершин, заданных своими координатами, и треугольников разбивки поверхности, заданных номерами трех вершин, рис. 3.128. Ни вершины, ни треугольники не доступны для модификации.

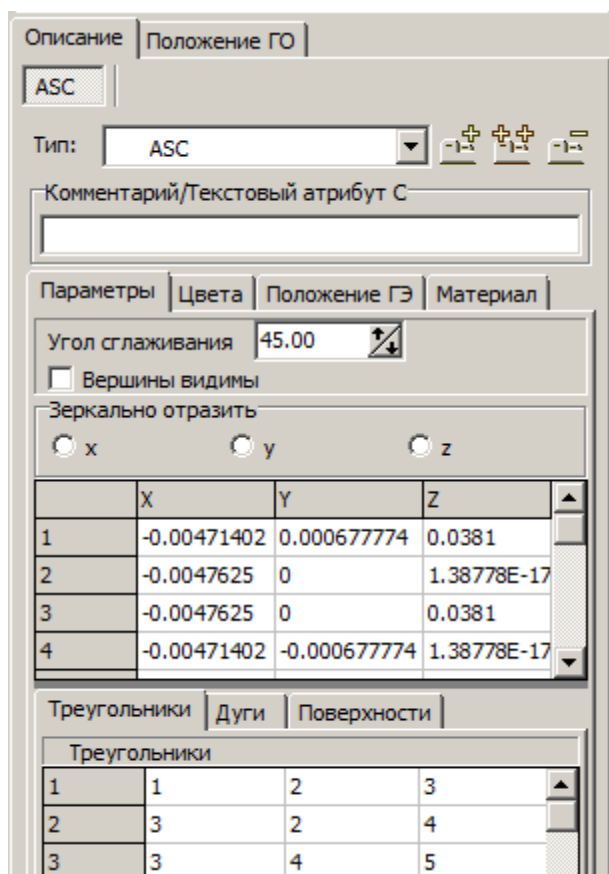


Рис. 3.128. Пример элемента типа ASC

Пользователь может модифицировать следующие данные.

- **Угол сглаживания** – используется для автоматического сглаживания поверхности графического образа; считается, что общая сторона между двумя треугольниками является ребром (и, соответственно, для нее не выполняется сглаживание), если угол между плоскостями треугольников больше данного параметра; в частном случае нулевого значения угла сглаживание поверхности вообще не производится, рис. 3.129.

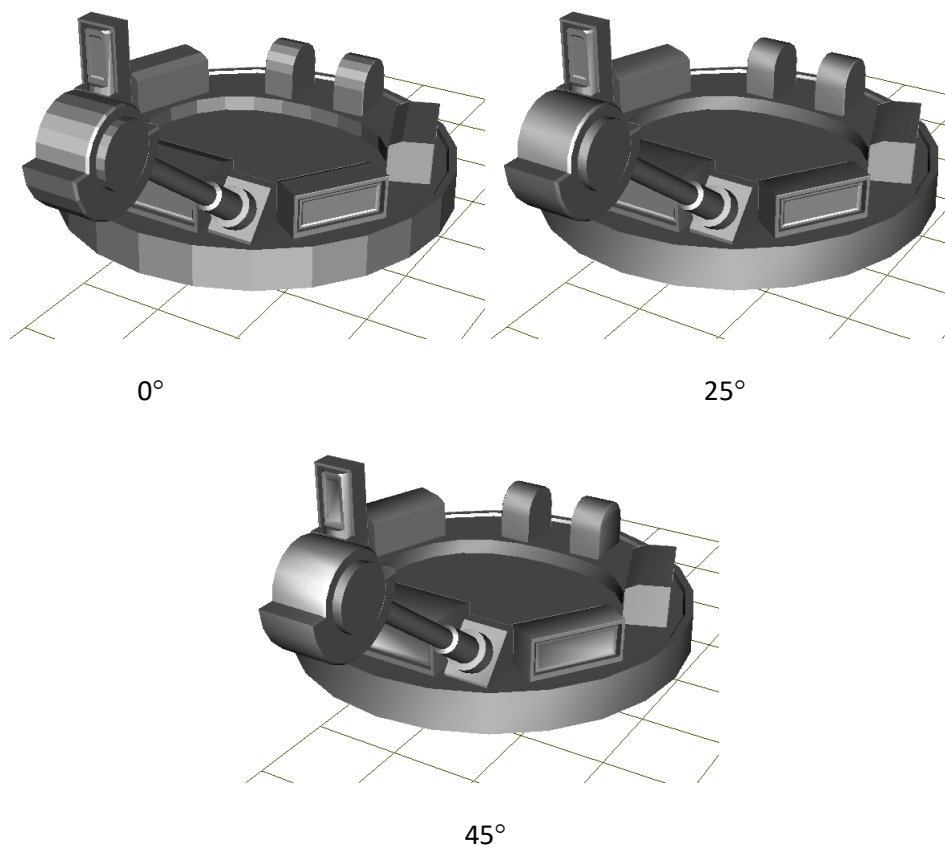


Рис. 3.129. Сглаживание поверхности детали при различных значениях угла

- Ключ **Вершины видимы** включает/выключает видимость вершин в анимационном окне. Видимость вершин можно использовать для того, чтобы найти ее координаты в списке после щелчка мышью на образе вершины в анимационном окне.
- **Автоматический расчет ребер** позволяет улучшить образ контуров детали и изображение детали в проволочном режиме, если при конвертации детали из CAD не производится автоматическая конвертация ребер, рис. 3.130.

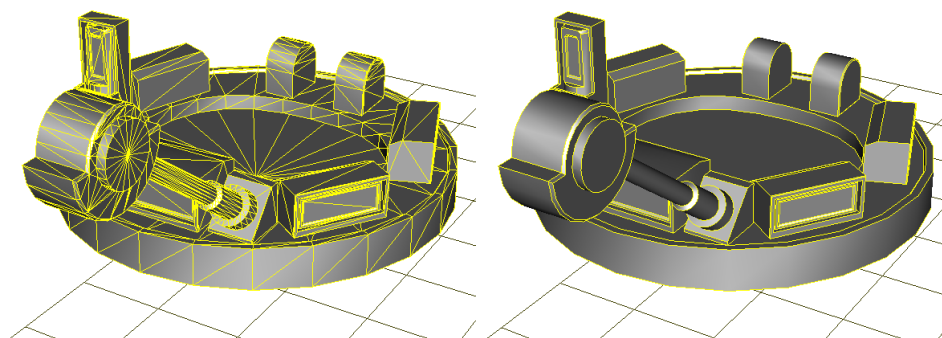


Рис. 3.130. Ребра детали до и после автоматического расчета

Замечание. При большом числе деталей процесс автоматического расчета ребер удобнее выполнять для всех деталей одновременно с помощью одной команды. Для этого следует перейти на вкладку **Объект инспектора** и включить опцию **Рассчитать ребра** для ASC, рис. 3.131.

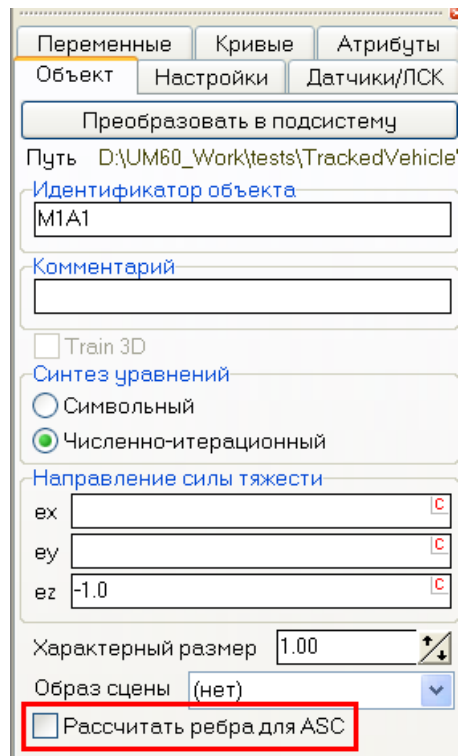


Рис. 3.131. Опция автоматического расчета ребер для всех графических элементов объекта типа ASC

3.5.8.3. Раскраска ГЭ

Раскраска ГЭ определяется параметрами на вкладке Цвета (рис. 3.132).

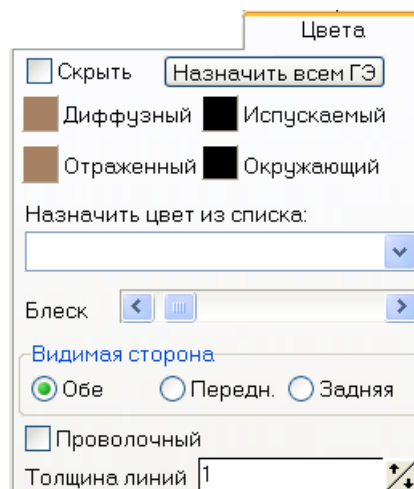


Рис. 3.132. Параметры цвета ГЭ

- **Скрыть** позволяет отключить изображение ГЭ в анимационном окне.
 - Типы цвета:
 - Диффузный** (собственно цвет материала);
 - Отраженный** (цвет отраженного блика), черный цвет соответствует отсутствию блика;
 - Испускаемый** (объект “светится” заданным цветом); свечение отсутствует, если испускаемый цвет – черный;
 - Окружающий** (обычно не используется).
- Для выбора цвета каждого из типов щелкните мышкой на соответствующем цветовом квадрате.
- **Назначить всем ГЭ:** устанавливает текущую цветовую палитру всем графическим элементам данного графического объекта.
 - **Назначить цвет из списка:** назначение стандартного цвета.
 - **Блеск** определяет размеры блика отраженного от поверхности света.
 - **Видимая сторона:** отрисовка сложного элемента будет производиться быстрее, если установить только одну видимую сторону.
 - **Проволочный:** устанавливает отрисовку текущего ГЭ контуром, при этом можно задать **толщину линий** контура.

3.5.8.4. Положение и ориентация ГЭ

Положение ГЭ		Материал
Сдвиг		
x	<input type="text"/>	<input type="text" value="a"/>
y	<input type="text"/>	<input type="text" value="a"/>
z	<input type="text"/>	<input type="text" value="a"/>
Поворот		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="a"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="a"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="a"/>
Сдвиг после поворота		
x	<input type="text"/>	<input type="text" value="a"/>
y	<input type="text"/>	<input type="text" value="a"/>
z	<input type="text"/>	<input type="text" value="a"/>

Рис. 3.133. Положение и ориентация ГЭ

Каждый ГЭ, входящий в состав ГО, описывается в своей собственной системе координат – СК ГЭ, которая может быть произвольным образом расположена в СК ГО – повернута вокруг трех осей в произвольном порядке на некоторые углы и сдвинута. Углы поворота задаются в градусах, при этом предварительно выбирается ось поворота, компоненты вектора сдвига задаются постоянными символьными выражениями, см. п. 3.5.4. "Стандартный интерфейс задания положения локальной системы координат", с. 3-105.

3.5.8.5. Инерционные характеристики материала ГЭ

Рис. 3.134. Инерционные характеристики материала ГЭ

Инерционные параметры тел (масса, тензор инерции, координаты центра масс) могут быть рассчитаны автоматически по графическому образу тела (см. п. 3.5.9.1.4. "Переназначение графического образа тела в программе моделирования", с. 3-160). Необходимым условием для этого является указание инерционных свойств материала для каждого из нужных графических элементов (по меньшей мере, для одного из них). На закладке **Материал** (рис. 3.134) задайте

- ненулевую плотность;
- тип графического элемента (сплошной, полый – в последнем случае дополнительно – толщину поверхности) или каркасный (если элемент проволоочный) и площадь сечения.

Предупреждение. Автоматический расчет инерционных параметров может привести к неверным результатам, если отдельные графические элементы пересекаются. В этом случае пересекающиеся области могут войти в инерционные параметры несколько раз. Например, для автоматического расчета массы тела используется формула

$$m = \sum m_i$$

где m_i – автоматически рассчитанные массы отдельных ГЭ без учета их возможного пересечения.

3.5.8.6. Редактор кривых

Общий вид редактора кривых приведен на рис. 3.135.

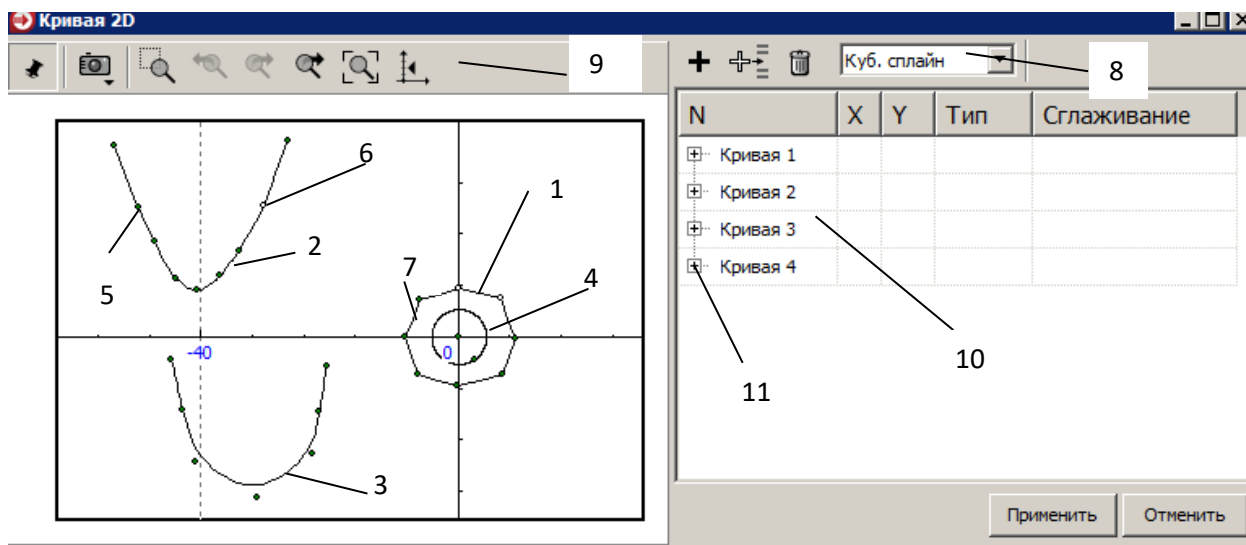


Рис. 3.135. Редактор кривых

Цифрами обозначены основные примитивы и элементы редактора:

- графические примитивы:
 - 1 – отрезки прямых линии;
 - 2 – кубические сплайны;
 - 3 – В-сплайны;
 - 4 – окружность (дуга окружности);
- точки (вершины):
 - 5 – точка гладкого сопряжения примитивов;
 - 6 – точка негладкого сопряжения примитивов
- непрерывные кривые (континуумы):
 - 2, 3 – незамкнутые кривые;
 - 4, 7 – замкнутые кривые;
- другие органы управления и возможности редактора:
 - 8 – поле для выбора типа примитива;
 - 9 – панель кнопок управления;
 - 10 – список введённых кривых;
 - 11 – открыть список координат и параметров текущей (выделенной) кривой.

Для добавления точек (вершин) используется **двойной щелчок левой кнопки мыши**.

Возможно копирование примитивов путём их выделения при помощи мыши, помещения в буфер обмена Windows и последующей вставки. Обмен между редактором и буфером обмена происходит в текстовом виде, поэтому можно набрать в любом тексто-

вом редакторе координаты точек в виде двух столбцов цифр, и через буфер обмена вставить их в редактор кривых.

Для выполнения различных действий с примитивами и точками кривых используются всплывающие меню, которые вызываются **щелчком по правой кнопке** мыши на соответствующем элементе.

Например, если щёлкнуть правой кнопкой мыши на свободном месте окна редактора, то появится меню, изображённое на рис. 3.136.

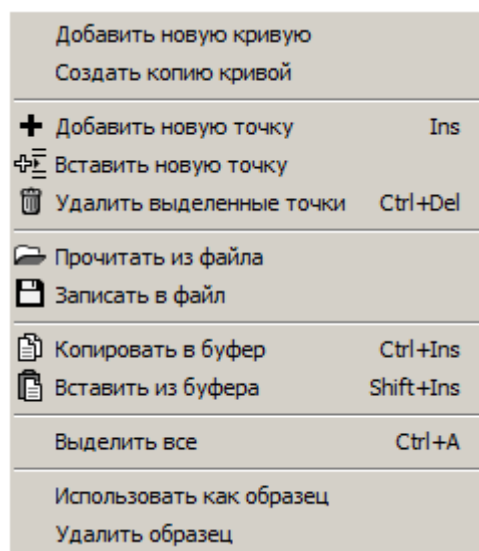


Рис. 3.136. Всплывающее меню редактора кривых

В нём имеются два пункта:

- **Начать новую кривую** – следующая введённая точка будет начальной точкой новой кривой (континуума);
- **Создать копию кривой** – создание копии выделенной кривой;
- **Добавить новую точку** – добавление новой точки в конец списка;
- **Вставить новую точку** – добавление новой точке после указанной в списке;
- **Удалить выделенные точки** – удаление выделенных точек;
- **Прочитать из файла** – прочитать из файла кривых (.cvt);
- **Записать в файл** – записать в файл кривых (.cvt);
- **Копировать в буфер** – копировать в буфер обмена;
- **Вставить из буфера** – вставить из буфера обмена;
- **Выделить всё** – выделить все примитивы в окне редактора.

Если навести указатель мыши на любую точку и нажать правую кнопку мыши, то появится всплывающее меню действий над точками (рис. 3.137).

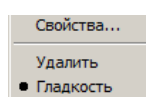


Рис. 3.137. Всплывающее меню действий над точками

Возможные действия над выделенной точкой:

- **Свойства...** – вызвать диалоговое окно свойств точки; в нём можно изменить координаты точки, задав им точные значения;
- **Удалить** текущую точку;
- **Гладкость** – флажок гладкости сопряжения.

Если навести указатель мыши на любой примитив (прямая, сплайн или окружность) и нажать правую кнопку мыши, то появится всплывающее меню действий над примитивами (рис. 3.138).

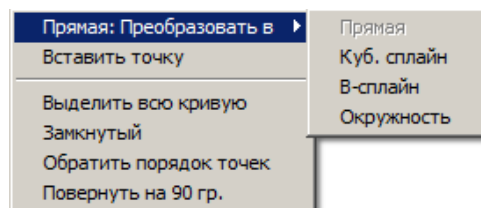


Рис. 3.138. Всплывающее меню действий над примитивами

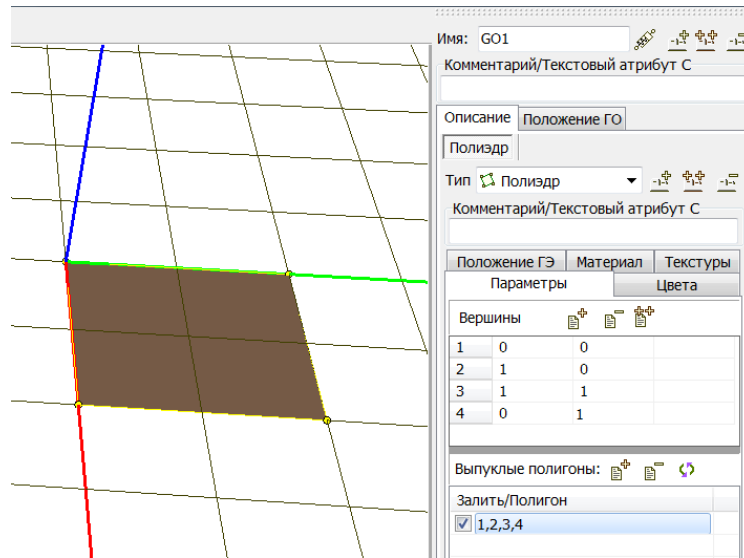
Над примитивами возможны следующие действия:

- **Преобразовать в** – изменить тип выделенного примитива;
- **Вставить точку** – вставить точку, координаты которой определяются текущим положением мыши (этот же эффект достигается двойным щелчком левой кнопкой внутри любого примитива);
- **Выделить всю кривую** – выделяется вся кривая (континуум), которой принадлежит текущий примитив;
- **Замкнутый** – флажок замкнутости кривой;
- **Обратить порядок точек**;
- **Повернуть на 90 гр.** приводит к повороту кривой, которой принадлежит текущий примитив, на 90 градусов против часовой стрелки.

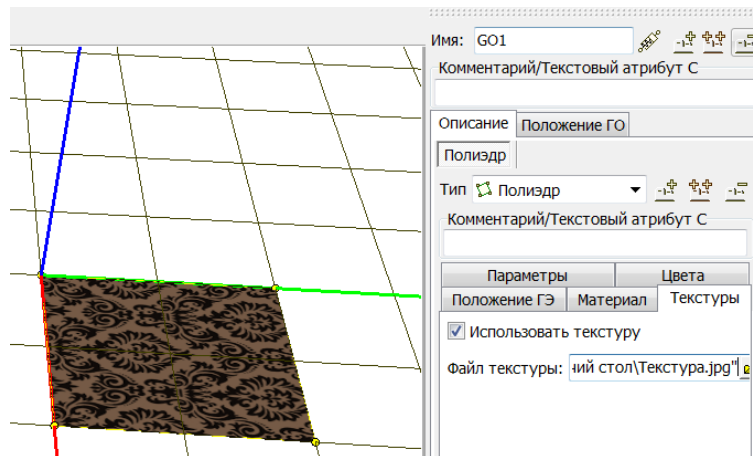
3.5.8.7. Добавление текстур к модели

Пример

- Создайте ГЭ типа "Полиэдр" (п. 3.5.8.2.1. "Полиэдр", с. 3-125)
- Задайте 4 вершины полигона и сам полигон



- Задайте файл текстуры данному полиэдру



3.5.9. Ввод тел

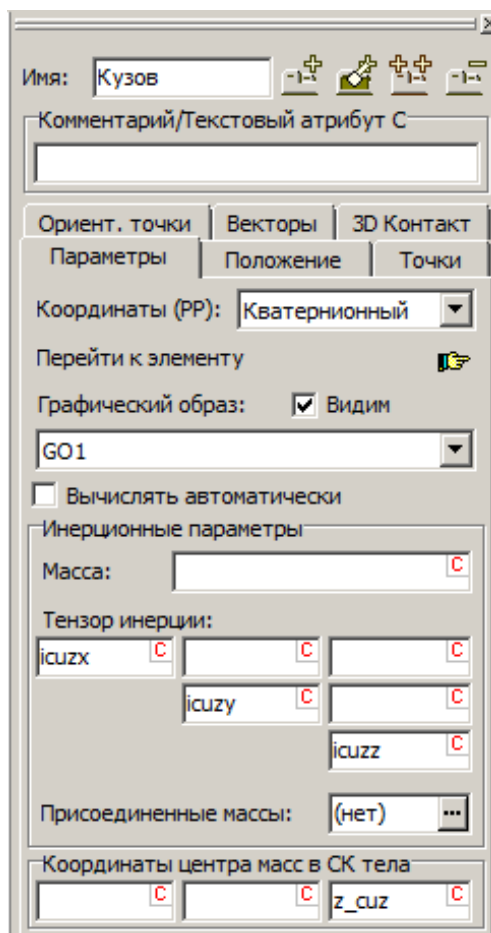


Рис. 3.139. Параметры тела

Для создания, модификации списка тел объекта и ввода их параметров используется элемент **Тела** дерева элементов. Соответствующий вид инспектора представлен на рис. 3.139.

3.5.9.1. Графический образ тела

3.5.9.1.1. Назначение графического образа телу

Для назначения телу графического образа (ГО) используется выпадающий список **Графический образ**, содержащий заранее созданные ГО, рис. 3.139.

При назначении телу ГО система координат (СК) ГО совмещается с СК тела, поэтому при перемещении тела соответствующим образом перемещается его графический образ в анимационном окне.

3.5.9.1.2. Режимы анимационного окна и изображение тела

В режиме отображения отдельного элемента в анимационном окне (см. п. 3.4.1.2.2. "Режимы анимационного окна", с. 3-30) графический образ тела отрисовывается в связанной с телом СК.

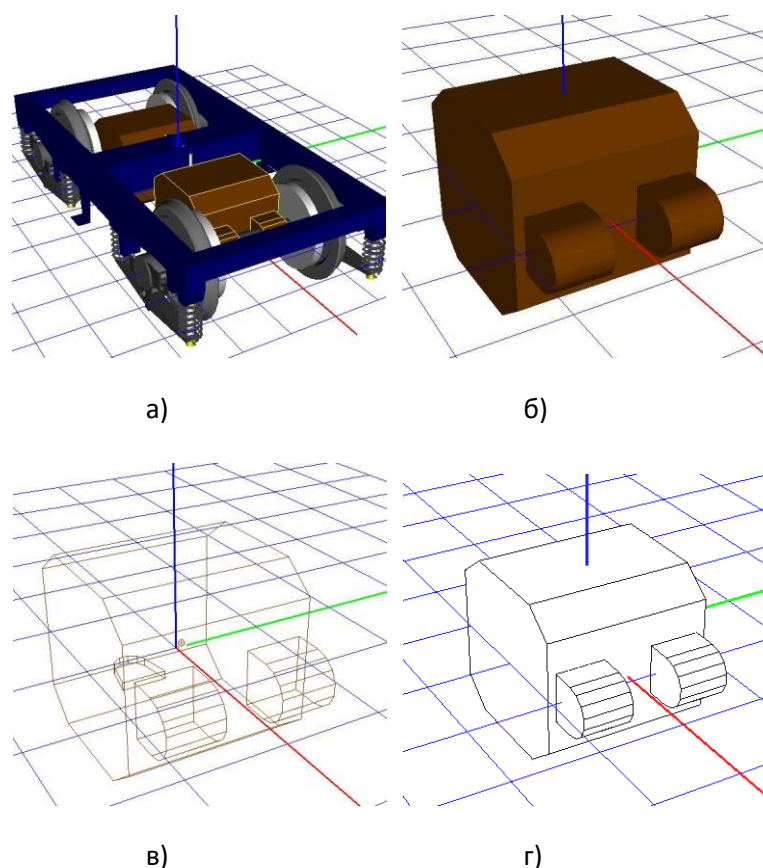







Рис. 3.140. Визуализация активного тела в различных режимах анимационного окна

Рис. 3.140 показывает тело *двигатель* в различных режимах анимационного окна, которые задаются с помощью кнопок на верхней панели:

- *Режим отображения полного объекта*, рисуется весь объект, в котором данное тело нарисовано как *выделенное* (желтый контур; оси СК0 изображены в окне, кнопка ).
- *Режим отображения отдельного элемента* – изображается только графический образ тела в связанной с телом СК, оси СК0 не изображаются:
 - *проволочная графика*, кнопка ,
 - *контурная графика*, кнопка ,
 - *полутоновая графика с каркасом*, кнопка ,
 - *полутоновая графика без каркаса*, кнопка .


Важное замечание. Тело отрисовывается в режиме отображения полного объекта только если существует путь от данного тела к СК0 через шарниры (см. [Главу 2](#), п. *Связность системы и понятие шарнира*). Например, если body2 связано с body1, и body1 связано с Base0 с помощью вращательных шарниров, то оба тела body1 и body2 видимы в режиме отображения полного объекта. Если удалить шарнир между body1 и Base0, оба тела исчезнут. Если удалить шарнир между body2 и body1, то исчезнет тело body2.

3.5.9.1.3. Управление изображением тела

Независимо от режима анимационного окна тело можно временно сделать невидимым или проволочным.

3.5.9.1.3.1. Режим невидимости

Режим невидимости тела, в частности, используется при объединении деталей, импортированных из CAD, в тела, см. [Главу 9](#). Для включения режима невидимости используется

- ключ **Видим** в окне инспектора, рис. 3.139; этот же ключ используется для того, чтобы сделать тело видимым;
- команда **Сделать невидимым “имя тела”** контекстного меню анимационного окна, рис. 3.141; для вызова меню следует навести курсор на образ тела и щелкнуть правой кнопкой мыши; данная команда доступна только в режиме выбора элемента с помощью мыши (кнопка  панели инструментов анимационного окна);

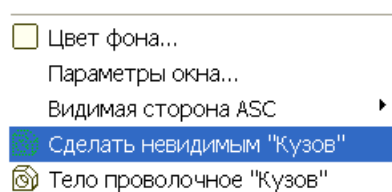


Рис. 3.141. Фрагмент контекстного меню анимационного окна

- команда **Тело «имя тела» видимо** контекстного меню дерева элементов, рис. 3.142; следует навести курсор мыши на имя тела в дереве элементов и щелкнуть правой кнопкой мыши; эта же команда используется для того, чтобы сделать тело видимым;

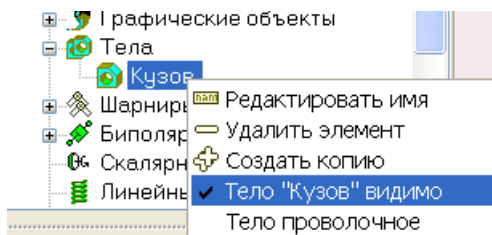


Рис. 3.142. Контекстное меню дерева элементов

Невидимой тело помечается в дереве элементов иконкой , рис. 3.143.

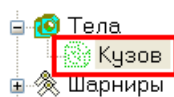



Рис. 3.143. Иконка невидимого тела

Замечание. Режим невидимости тела не влияет на режим изображения тела в программе моделирования, где используются свои средства изменения режимов видимости.

3.5.9.1.3.2. Проволочный режим

Для включения проволочного режима используется

- команда **Тело проволочное** “**имя тела**” контекстного меню анимационного окна, рис. 3.141; для вызова меню следует навести курсор на образ тела и щелкнуть правой кнопкой мыши; данная команда доступна только в режиме выбора элемента с помощью мыши (кнопка  панели инструментов анимационного окна);
- команда **Тело проволочное** контекстного меню дерева элементов, рис. 3.142; следует навести курсор мыши на имя тела в дереве элементов и щелкнуть правой кнопкой мыши; эта же команда используется для того, чтобы отменить режим проволочности;

Невидимой тело помечается в дереве элементов иконкой , рис. 3.144.

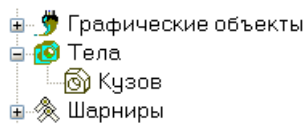


Рис. 3.144. Иконка проволочного тела

3.5.9.1.4. Переназначение графического образа тела в программе моделирования

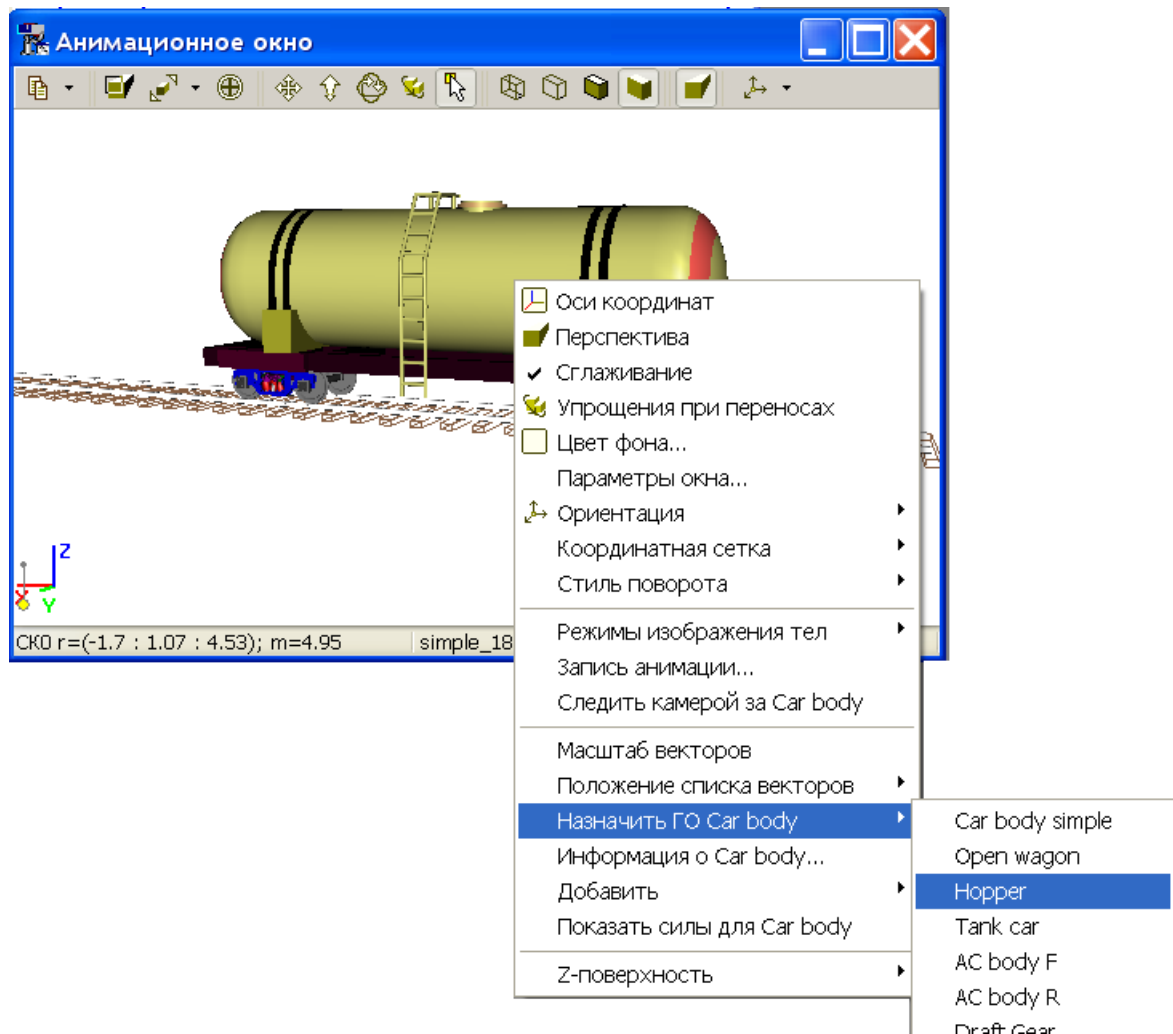


Рис. 3.145. Переназначение графического образа телу «Car body»

В программе моделировании **UM Simulation** телу может быть переназначен графический образ из списка ГО модели. Для этого следует (рис. 3.145)

- навести курсор мыши на нужное тело,
- щелчком правой кнопкой мыши вызвать контекстное меню,
- выполнить команду Назначить ГО [имя тела] | [имя ГО], рис. 3.146.

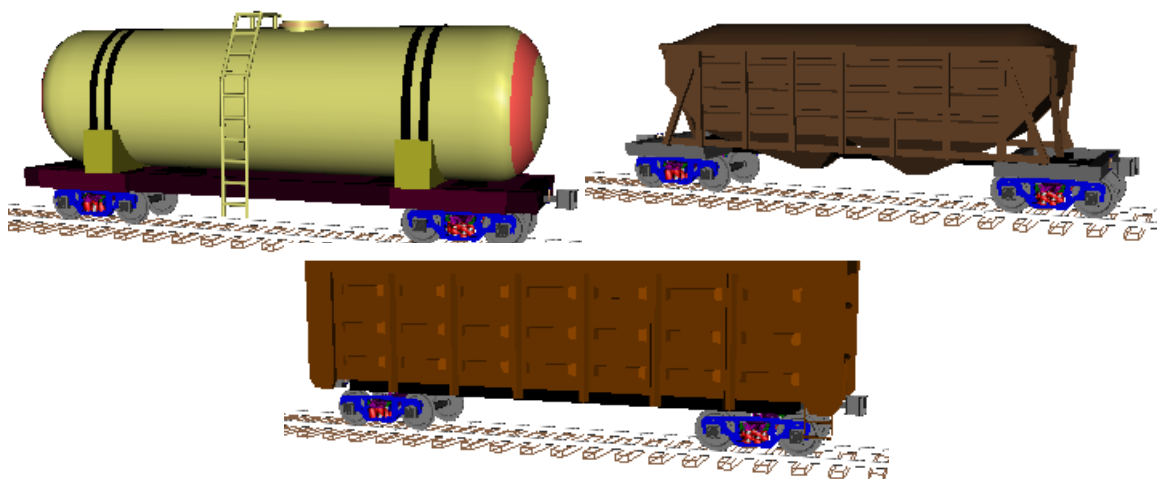



Рис. 3.146. Модель грузового вагона с переназначенными ГО кузова

Переназначение ГО сохраняется в файле конфигурации модели *.icf.

3.5.9.2. Инерционные параметры

К инерционным параметрам тела относятся:

- масса;
- осевые и центробежные моменты инерции;
- координаты центра масс в СК тела;
- матрица присоединенных масс.

Положение центра масс в СК тела в режиме отображения отдельного элемента помечается маркером . Если центр масс находится внутри графического образа, перейдите в режим проволочной графики, чтобы увидеть положение центра масс.

Замечание. Моменты инерции и матрица присоединенных масс задаются в системе координат (СК), начало которой совмещено с центром масс тела, а оси параллельны осям СК тела.

Существует два режима ввода инерционных параметров (масса, моменты инерции и координаты центра масс). Переключение режимов осуществляется с помощью поля **Вычислять автоматически** (рис. 3.139).

Ввод инерционных параметров пользователем

В данном режиме поля инерционных параметров доступны пользователю для ввода и все параметры являются *постоянными символьными выражениями* (см. п. 3.4.2.4.4. "Функция инерционных параметров *bodyinertia*", с. 3-51).

Автоматический расчет инерционных параметров

Параметры рассчитываются автоматически по графическому образу, назначенному телу (п. 3.5.8.5. "Инерционные характеристики материала ГЭ", с. 3-151), и являются численными константами. В данном режиме поля инерционных параметров являются недоступными пользователю для корректировки.

Замечание. В данном режиме автоматически корректно рассчитываются инерционные параметры почти всех графических элементов; однако, возможны проблемы и использованием полиэдров (п. 3.5.8.2.1. "Полиэдр", с. 3-125). Для корректного вычисления необходимо, чтобы при указании граней (полигонов) порядок вершин соответствовал их обходу против часовой стрелки, если смотреть с внешней стороны объекта. Иначе, вычисленные инерционные параметры будут некорректными. Например, при задании параллелепипеда как указано на рис. 3.147 указан неверный обход вершин для 2-го (вершины 5,6,2,1) и 3-го (вершины 6,7,3,2) полигона – такой порядок соответствует обходу по часовой стрелке. Как следствие – например, центр масс вычислен неверно, см. рисунок. При изменении обхода вершин этих граней на 1,2,6,5 и 2,3,7,6 соответственно, центр масс (и остальные инерционные параметры) определяются корректно, см. рис. 3.148.

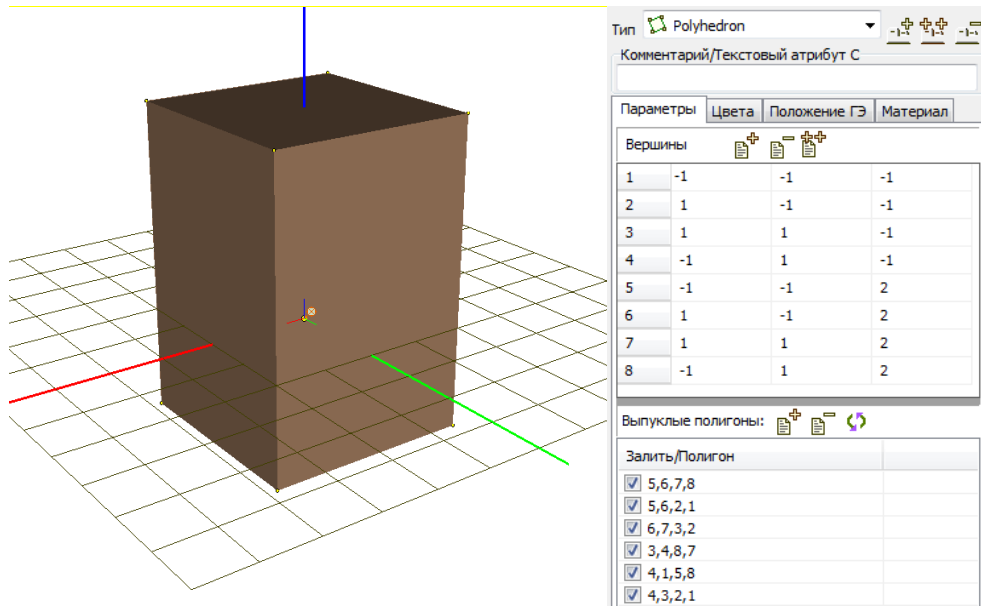


Рис. 3.147. Неправильный обход вершин полиэдра для вычисления инерционных параметров

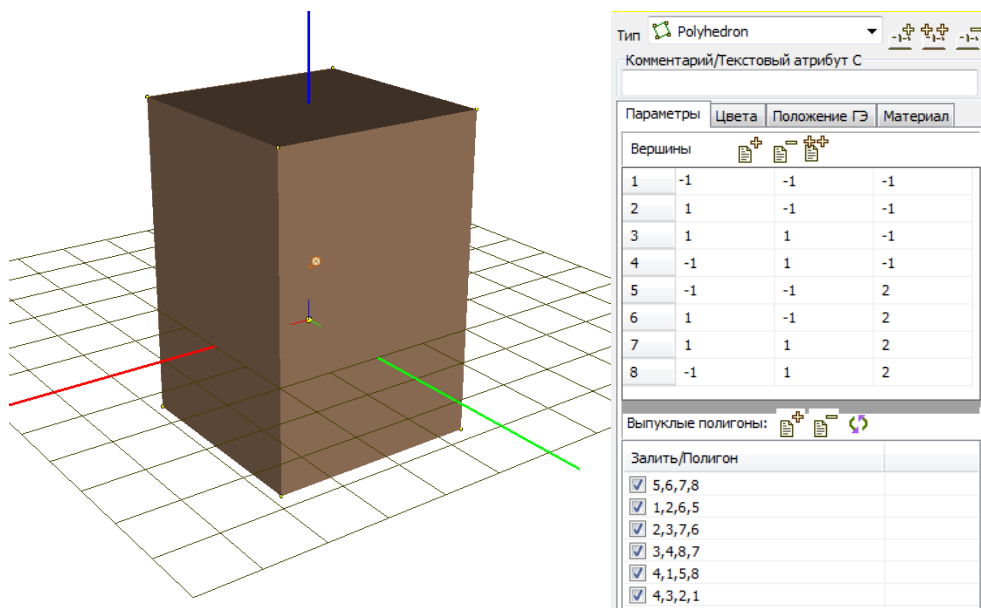


Рис. 3.148. Правильный обход вершин полиэдра для вычисления инерционных параметров

Матрица присоединенных масс

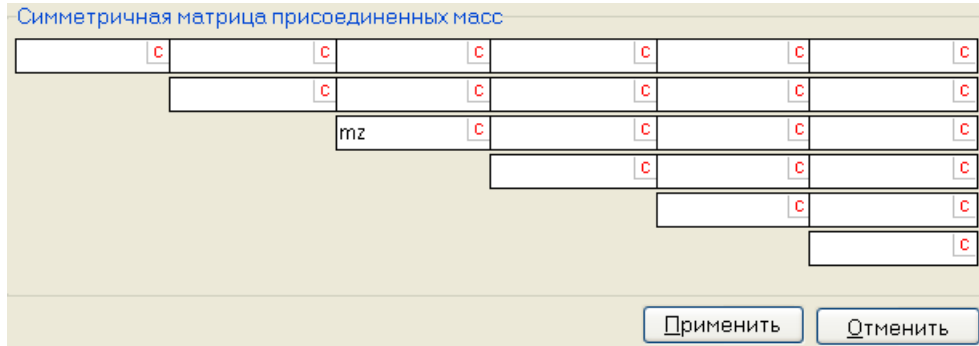


Рис. 3.149. Окно ввода матрицы присоединенных масс

Матрица присоединенных масс главным образом используется при моделировании движения тел в жидкости, а также при моделировании колесной пары. Пусть M – матрица инерционных параметров тела относительно центра масс размером 6×6 , заданная в СК тела

$$M = \begin{pmatrix} mI_3 & 0 \\ 0 & J \end{pmatrix},$$

где m – масса тела; J – матрица тензора инерции относительно центра масс, причем оси координат направлены параллельно осям СК, связанной с телом, I_3 – единичная 3×3 матрица. Если обозначить через A матрицу присоединенных масс, элементы которой вводятся в полях окна на рис. 3.149, то уравнения движения тела приобретают вид

$$(M + A)W + k = G,$$

$$W = \begin{pmatrix} a \\ \varepsilon \end{pmatrix}, k = \begin{pmatrix} 0 \\ \tilde{\omega}J\omega \end{pmatrix}, G = \begin{pmatrix} F \\ T \end{pmatrix},$$

Здесь a, ε, ω – ускорение центра масс, угловое ускорение и угловая скорость тела; F, T – главный вектор и главный момент активных сил и сил реакции, приведенные к центру масс. Все векторы в этом управлении представлены в СК тела.


В некоторых случаях полезной является стандартная функция `bodyinertia`, которая возвращает инерционные параметры тел и может быть использована в выражениях любого типа, п. 3.4.2.4.4. "Функция инерционных параметров `bodyinertia`", с. 3-51.

Замечания.

1. Автоматический расчет инерционных параметров возможен только после назначения ГО телу при условии, что хотя бы одному графическому элементу назначен материал с ненулевой плотностью.
2. При автоматическом расчете инерционных параметров их численные значения изменяются при каждом изменении графического образа, в том числе и при изменении численных значений идентификаторов, использованных пользователем при описании соответствующих ГО.

3.5.9.3. Внутренний (скрытый) шарнир тела

Положение тела относительно СК0 может быть задано с помощью **внутреннего или скрытого шарнира тела**. Тип шарнира: «6 степеней свободы», см. п. 3.5.10.6. "Ввод шарнира с шестью степенями свободы", с. 3-191. Для добавления тела с внутренним шарниром следует использовать

- кнопку  в окне инспектора, рис. 3.162;
- команду контекстного меню дерева элементов, рис. 3.150.

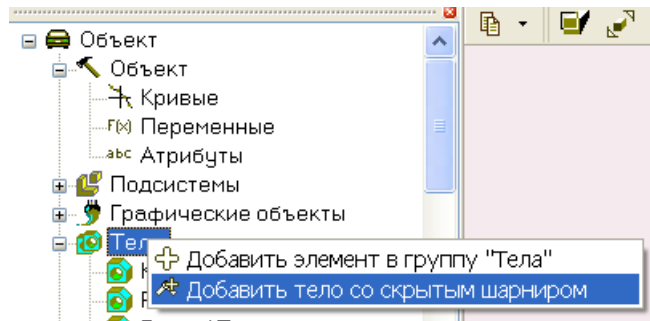


Рис. 3.150. Добавление тела с внутренним шарниром с помощью контекстного меню дерева элементов

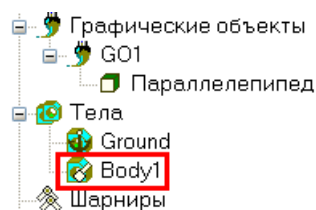


Рис. 3.151. Иконка тела с внутренним шарниром, имеющим шесть степеней свободы

Шарнир называется внутренним, потому что он не отображается в списке шарниров модели. Перечислим особенности внутреннего шарнира.

1. Внутренний шарнир может иметь либо шесть (рис. 3.151), либо ноль степеней свободы. В первом случае он задает положение свободного тела относительно СК0. Во втором – жестко связывает тело с СК0, причем СК тела совпадает с СК0. Число степеней свободы задается пользователем, рис. 3.152.



Рис. 3.152. Задание числа степеней свободы внутреннего шарнира

Пример использования внутреннего шарнира с шестью степенями свободы: фиктивное тело, п. 3.5.3.3.3. "Использование фиктивного тела вместо внешних элементов", с. 3-102.

Пример использования внутреннего шарнира с нулевым числом степеней свободы: тело Ground, п. 3.5.9.7. "Тело «Ground»", с. 3-176.

2. В случае шарнира с шестью степенями свободы вводятся шесть координат, задающих положение СК тела относительно СК0: три декартовы координаты задают положение

начала отсчета, три угла в последовательности (1,2,3) задают ориентацию СК тела. При нулевых значениях координат СК тела совпадает с СК0.

3. Внутреннему шарниру назначается большой вес (см. п. 3.5.10.2. "*Вес шарнира*", с. 3-181). Поэтому, если пользователь свяжет его другим шарниром с базой либо напрямую, либо через цепочку тел, то внутренний шарнир будет разрезан, и ему будет присвоен статус удаленного, поскольку **разрезанные шарниры, имеющие шесть степеней свободы игнорируются** и никак не влияют на процесс моделирования движения, п. 3.5.10.4.2. Если шарнир, связывающий тело с базой, удалить, то внутренний шарнир автоматически восстанавливается.
4. Значение координат внутреннего шарнира с шестью степенями свободы можно задать на вкладке **Положение** инспектора, п. 3.5.9.4. "*Вкладка «Положение» тела*", с. 3-167, а также на вкладке **Координаты**, п. 3.4.2.3.4. "*Координаты*", с. 3-46.

3.5.9.4. Вкладка «Положение» тела

Вкладка Положение отражает текущее положение СК тела относительно СК0, рис. 3.153. Значения координат в полях окна могут быть изменены пользователем только в том случае, если тело имеет неразрезанный внутренний шарнир с шестью степенями свободы, п. 3.5.9.3. "Внутренний (скрытый) шарнир тела", с. 3-165. В противном случае внесение изменений запрещено, и координаты имеют только информативное значение.

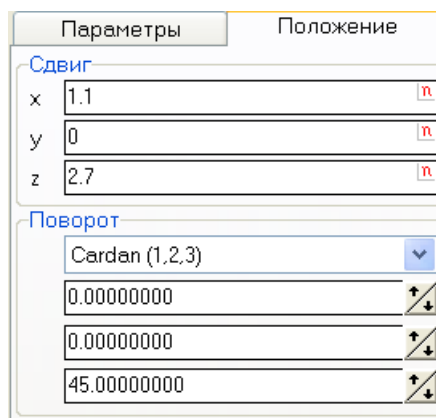




Рис. 3.153. Положение тела относительно СК0

Замечание. Чтобы увидеть положение тела относительно СК0 следует переключить режим анимационного окна на «Объект» с помощью кнопки  на панели инструментов анимационного окна.

3.5.9.5. Быстрый доступ к элементам, связанным с телом

Используя кнопку  (Перейти к элементу, рис. 3.154), можно быстро переключиться к графическому элементу тела или к любому элементу, который, так или иначе, ссылается на рассматриваемое тело (силовые элементы, шарниры).

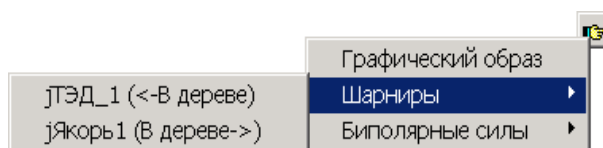


Рис. 3.154. Меню элементов, связанных с телом

3.5.9.6. Точки связи

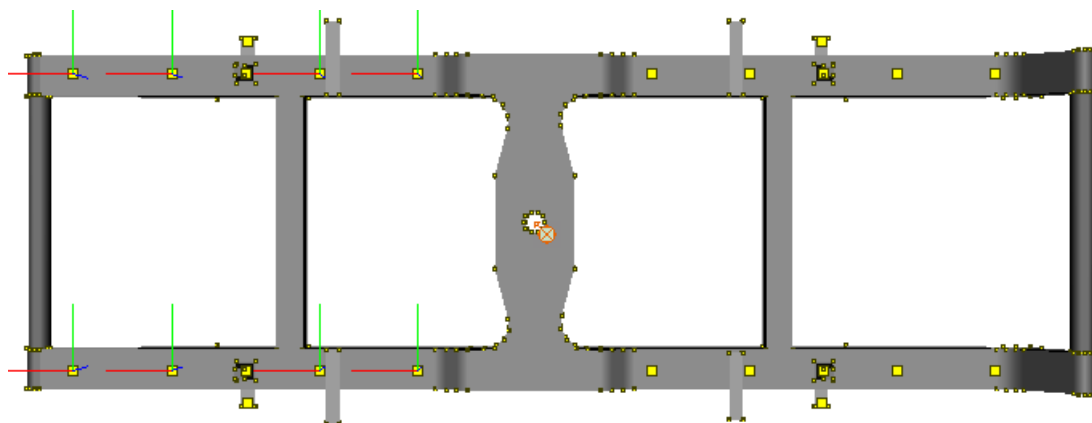


Рис. 3.155. Тело – рама с набором простых и ориентированных точек связи

Точки связи назначаются телу и используются при описании шарниров и силовых элементов. Имеются точки связи трех типов:


- обычные;
- ориентированные (локальные СК, связанные с телом);
- векторы.

Для каждой точки связи следует задать:

- имя; рекомендуется задавать уникальные имена точкам связи;
- координаты в СК, связанной с телом (координаты могут быть параметризованы);
- комментарий, упрощающий дальнейшую работу с точкой связи (необязательный параметр);
- с каждой ориентированной точкой связана система координат, положение которой относительно СК тела задается с помощью трех последовательных поворотов;
- для вектора дополнительно задаются его проекции на оси СК тела.

Точка связи отображается иконкой ■ в анимационном окне. Для ориентированной точки дополнительно рисуется соответствующая система координат, а для вектора – отрезок, показывающий его направление, рис. 3.155.

Замечание 1. Как правило, точка связи используется для того, чтобы передать значения своих координат (и ориентации в случае ориентированной точки связи) тому элементу, при описании которого пользователь использует данную точку. Вместе с тем, согласно этим данным не устанавливается постоянная связь с соответствующей точкой. Поэтому последующее удаление точки или изменение ее координат никак не отражается на данных, назначенных с использованием точки.

Замечание 2. Визуальное добавление точек связи возможно только в том случае, когда включен режим выбора элемента с помощью мыши, кнопка  на панели инструментов анимационного окна.




3.5.9.6.1. Добавление обычных точек связи

Закладка **Тело | Точки** содержит список обычных точек связи и инструменты его редактирования, рис. 3.156.

Имя	X	Y	Z
Пружина	$x_spr_center+x_spr_e+xbogje$	1.1	$0.73+hspring$
Пружина	$x_spr_center+x_spr_i+xbogje$	1.1	$0.73+hspring$
Пружина	$x_spr_center-x_spr_i+xbogje$	1.1	$0.73+hspring$
Пружина	$x_spr_center-x_spr_e+xbogje$	1.1	$0.73+hspring$
Пружина	$x_spr_center+x_spr_e+xbogje$	-1.1	$0.73+hspring$

Рис. 3.156. Таблица задания простых точек связи

Для добавления обычной точки связи необходимо задать её координаты в СК тела. Это можно сделать несколькими способами:

- Панель инструментов списка точек позволяет добавить новую () или создать копию () существующей точки связи. В список точек добавляется новая строка, содержащая координаты точки и пустой комментарий. Положение точки задаётся редактированием полей таблицы (поля являются постоянными символьными выражениями, см. п. 3.4.2.4.4. "Функция инерционных параметров *bodyinertia*", с. 3-51).
- Нажатием на кнопке **Получить визуально отдельную точку** () и щелчком левой кнопки мыши на необходимой точке ГО тела. Точка добавляется в указанное место, поля таблицы заполняются автоматически.

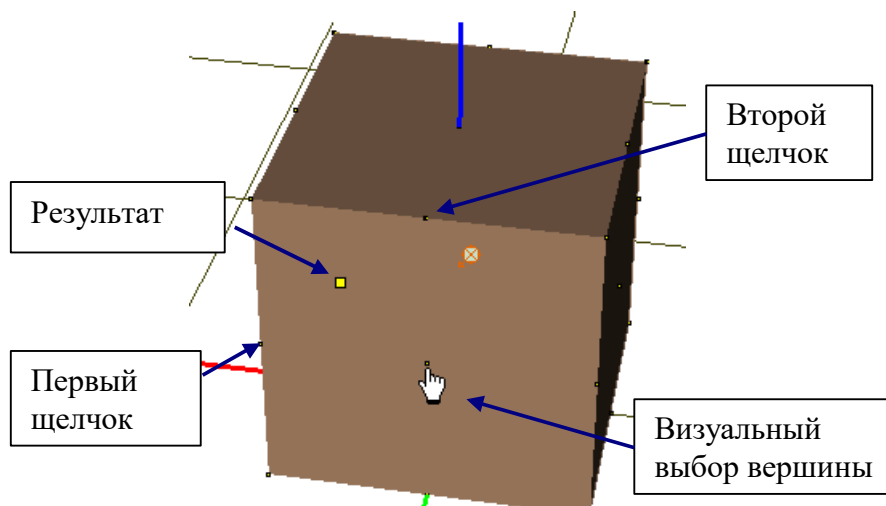






Рис. 3.157. Добавление точки как середины отрезка

- Нажатием на кнопке **Получить визуально как середину отрезка** (). Щелчком левой кнопкой мыши выберите точки начала и конца отрезка, рис. 3.157. Точка добавляется в середину отрезка, поля таблицы заполняются автоматически.

- Нажатием на кнопке  (**получить как центр окружности, проходящей через три точки**). Следует выбрать мышкой три точки на ГО тела, лежащие на окружности.

Для точного позиционирования добавляемой точки используйте вершины графического образа тела. При приближении к вершине курсор меняется на , рис. 3.157. Последовательность шагов визуального добавления отражается в окне подсказки. После добавления пользователь может откорректировать параметры точки (в полях списка) или удалить её ().

3.5.9.6.2. Добавление ориентированных точек связи

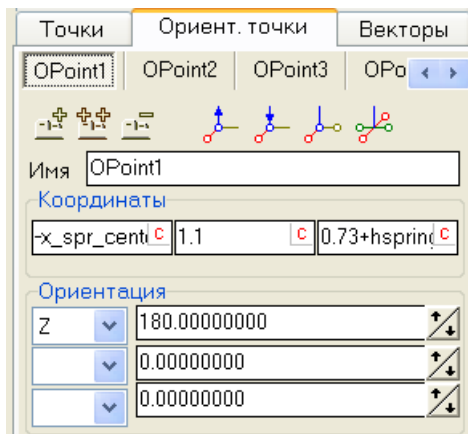


Рис. 3.158. Параметры ориентированных точек связи

Для добавления ориентированной точки связи (или локальной системы координат, связанной с телом – ЛСК) необходимо задать её координаты и положение связанной с ней системы координат в СК тела. Положение СК задается с помощью трех последовательных поворотов. Перейдите на закладку **Ориент. точки** окна описания параметров тела, рис. 3.158. На закладке находятся инструменты редактирования списка ориентированных точек, а также кнопки визуального добавления.

Реализованы следующие механизмы добавления вектора:

1. **Панель инструментов** позволяет добавить новую (📍) или создать копию (📄) существующей точки связи. На закладке **Ориент. точки** появляется закладка, соответствующая добавленной точке. Положение точки задаётся редактированием полей таблицы (поля могут содержать постоянные символьные выражения).

В группе **Координаты** задаются координаты ориентированной точки (начала отсчёта связанной системы координат) в СК тела. Группа **Ориентация** позволяет задать три последовательных поворота, задающих ориентацию ЛСК относительно СК тела. Всплывающие меню слева позволяют выбрать оси поворотов, а находящиеся справа поля – углы поворотов в градусах.

2. **Визуальное добавление** (недоступно в режиме проволочной графики).

Предусмотрено четыре режима задания. Операция выбора точки осуществляется щелчком левой кнопки мыши. Пользователь может использовать как обычные точки связи, так и произвольные точки на поверхности ГО тела (при этом происходит временное добавления точек, не отражающееся в списке точек тела).

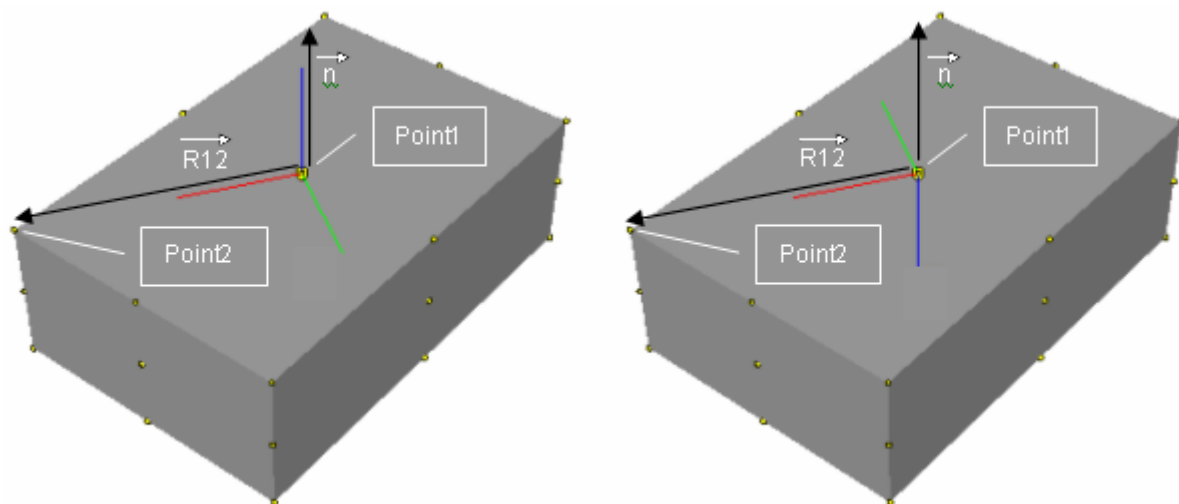




Рис. 3.159. Задание ориентированных точек связи по нормали и точке и по обращенной нормали и точке

 **Получить по нормали и точке** (рис. 3.159, слева). В программе УМ поверхности представляются набором плоских фигур различной конфигурации (полигонов), грани пересечения которых сглаживаются при отображении (при включенном режиме сглаживания). Выбирается точка (Point1), принадлежащая строго одной плоскости, составляющей поверхность ГО тела. В качестве Point1 нельзя выбрать точку на линии пересечения граней. Данная точка становится началом отсчёта ЛСК. Для данной точки определяется внешняя нормаль к плоскости, ось Z ЛСК направляется по ней. Далее, выбирается вторая точка (Point2). Точка Point2 не должна лежать на оси Z ЛСК, положение которой уже определено. Вектор (R12), соединяющий точки Point1 и Point2, проецируется на выбранную ранее плоскость, задавая направление оси X ЛСК. Ось Y ЛСК определяется автоматически по правилу правого винта.

 **Получить по обращённой нормали и точке** (рис. 3.159, справа). Выбирается точка (Point1), принадлежащая строго одной плоскости, составляющей поверхность ГО тела. В качестве Point1 нельзя выбрать точку на линии пересечения граней. Данная точка становится началом отсчёта локальной системы координат (ЛСК). Для данной точки определяется обращённая внешняя нормаль к плоскости, ось Z ЛСК направляется по ней. Далее, выбирается вторая точка (Point2). Точка Point2 не должна лежать на оси Z ЛСК, положение которой уже определено. Вектор (R12), соединяющий точки Point1 и Point2, проецируется на выбранную ранее плоскость, задавая направление оси X ЛСК. Ось Y ЛСК определяется автоматически по правилу правого винта.

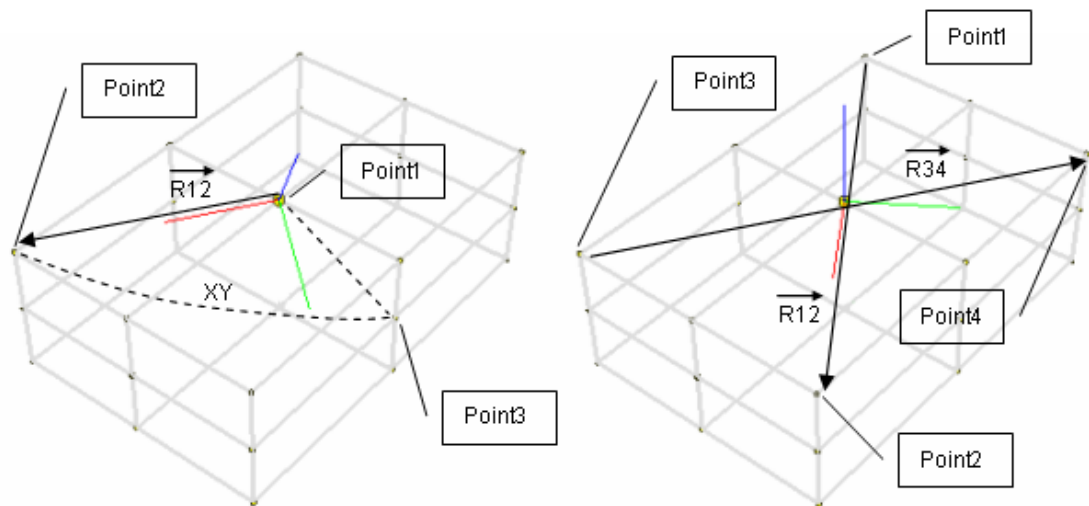




Рис. 3.160. Создание ориентированной точки связи по трем и по четырем точкам

 **Получить по трём точкам** (рис. 3.160, слева). Выбирается первая точка (Point1). Данная точка становится началом отсчёта ЛСК. Выбирается вторая точка (Point2). Вектор (R12), соединяющий точки Point1 и Point2, задаёт направление оси X ЛСК. Далее выбирается третья точка (Point3). Векторное произведение вектора (R13), соединяющего точки Point1 и Point3, на вектор R12 (определённый ранее), даёт направление оси Z ЛСК. Ось Y ЛСК определяется автоматически по правилу правого винта.


 **Получить по четырём точкам** (рис. 3.160, справа). Выбирается две точки (Point1 и Point2). Середина полученного отрезка задает начало отсчета ЛСК, а сектор R12, соединяющий точки Point1 и Point2, задаёт направление оси X. Далее выбираются третья и четвертая точки (Point3, Point4) так, что вектор R34 не параллелен вектору R12. Векторное произведение $R_{12} \times R_{34}$ даёт направление оси Z ЛСК. Ось Y ЛСК определяется автоматически по правилу правого винта.

Последовательность ввода для каждого из режимов визуального добавления отражается в **Окне подсказки конструктора**.

3.5.9.6.3. Добавление векторов к телам

Векторы назначаются телу и используются при описании шарниров (вращательного, поступательного, шарнира Кардана) и некоторых специальных силовых элементов (зубчатое зацепление, кулачок и др.). Закладка **Векторы** содержит список векторов и инструменты их редактирования рис. 3.161. Задание вектора включает его проекции на оси СК тела и координат начала. Для этого предусмотрено несколько способов:

3. Задание вектора вручную

При нажатии кнопки **Добавить новый элемент** () на панель добавляется закладка (рис. 3.161)

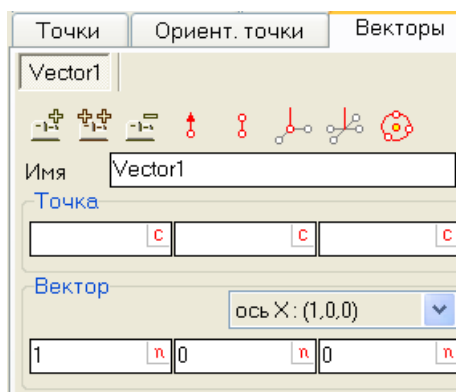





Рис. 3.161. Параметры вектора


На панели **Точка** задаются координаты начала вектора в СК тела (допускается использование символьных выражений). Панель **Вектор** позволяет задать три проекции вектора на оси СК тела (допускается использование только числовых констант). Всплывающее меню позволяет выбрать в качестве осей поворота оси СК тела.


Копирование существующего вектора () и последующее изменение его параметров.


4. **Визуальное добавление вектора.** Предусмотрено четыре режима. Операция выбора точки осуществляется щелчком левой кнопки мыши.

 **Получить по нормали.** Выбирается точка, принадлежащая строго одной плоскости, составляющей поверхность ГО тела. Нельзя выбрать точку на линии пересечения граней. Данная точка становится началом вектора. Направление вектора определяется по *внешней нормали* плоскости в точке.

 **Получить по двум точкам.** Выбирается первая точка. Она становится началом вектора. Выбирается вторая точка. Вектор, соединяющий точки, задаёт **направление**.

 **Получить по трём точкам.** Алгоритм повторяет задание ориентированной точки (**Получить по трем точкам**). При этом начало вектора совпадает с *началом отсчёта ЛСК*, а направление совпадает с *осью Z ЛСК*.

 **Получить по четырём точкам.** Алгоритм повторяет задание ориентированной точки (**Получить по четырём точкам**). При этом начало вектора совпадает с началом отсчёта ЛСК, а направление совпадает с осью Z ЛСК. Последовательность ввода для каждого из режимов визуального добавления отражается в **Окне подсказки** конструктора.

 **Получить по окружности,** проведенной через три точки. Щелкните мышкой на трех точках, лежащих на окружности. Начало вектора размещается в центре окружности, а направление перпендикулярно плоскости окружности по правилу правого винта в соответствии с последовательность выбора точек.

Замечание. Как правило, вектор используется для того, чтобы передать значения своих параметров (координат начала и направления) тому элементу, при описании которого пользователь использует данный вектор. Вместе с тем, согласно этим данным не устанавливается постоянная связь с вектором. Поэтому последующее удаление вектора или изменение его параметров никак не отражается на данных, назначенных с его использованием.

3.5.9.7. Тело «Ground»

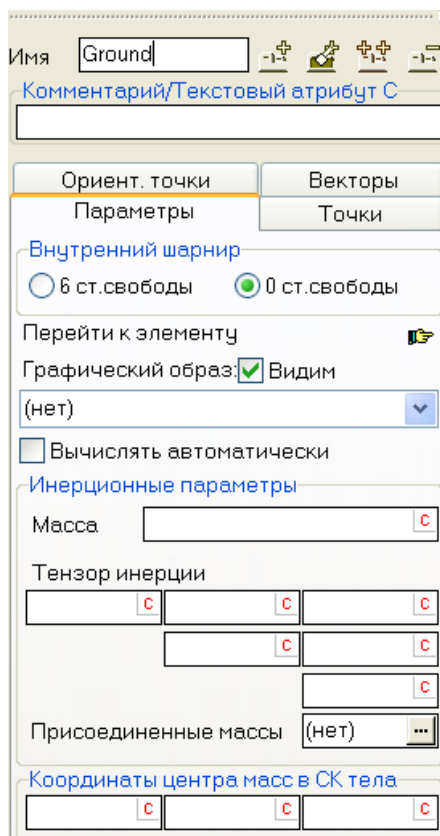


Рис. 3.162. Параметры тела «Ground»

Ground – это тело, автоматически добавляемое к модели при ее создании, если включена соответствующая опция настроек, см. п. 3.2.1. "Общие настройки программы ввода", с. 3-9.

Данное тело жестко связано внутренним шарниром с СК0 (внутренний шарнир имеет 0 степеней свободы, п. 3.5.9.3. "Внутренний (скрытый) шарнир тела", с. 3-165) и имеет нулевые значения инерционных параметров. СК тела тождественно совпадает с СК0. Фактически, при перечисленных условиях это тело эквивалентно СК0 в том смысле, что связи других тел с Ground посредством силовых элементов и шарниров эквивалентно связыванию с СК0.

В отличие от СК0 телу Ground можно назначить точки связи (п. 3.5.9.6. "Точки связи", с. 3-168) и использовать их при визуальном добавлении компонент сил и шарниров, связывающих тела с инерциальной СК0, а также при визуальном назначении координат точек прикрепления, локальных систем координат, связанных с СК0. При этом вместо СК0 используется тело Ground и его точки связи.

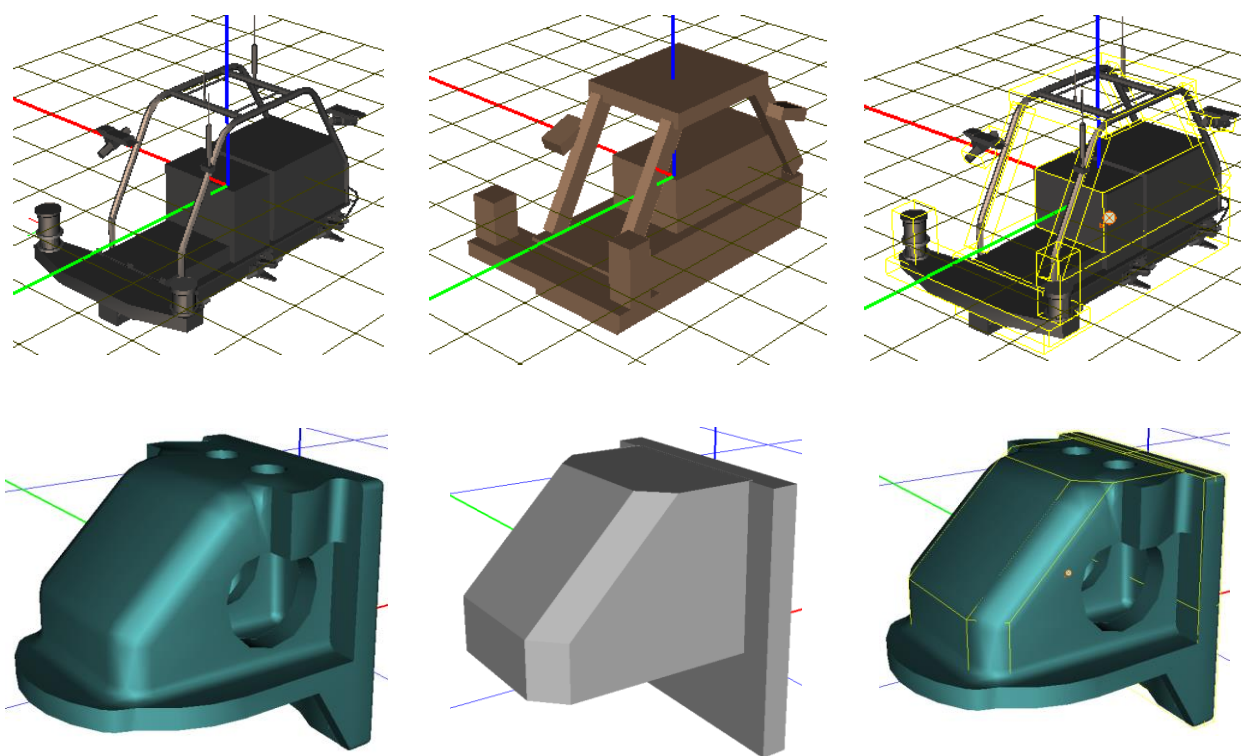
Другой причиной добавления тела Ground является его использование при конвертации моделей из MSC.ADAMS, п. **Ошибка! Источник ссылки не найден.** "Ошибка! Источник ссылки не найден.", с. **Ошибка! Закладка не определена.**

3.5.9.8. 3D контакт

С каждым твердым телом в модели может быть связано то или иное контактное многообразие, заданное как графический образ. Все тела с заданными контактными многообразиями будут взаимодействовать друг с другом. Параметры контактного взаимодействия каждой пары тел, также как включение/выключение контактного взаимодействия между парами тел настраиваются в программе моделирования **UM Simulation**.

Выбранный в качестве контактного многообразия графический образ может не совпадать с ГО тела. Упрощенное описание контактного многообразия применяется для снижения вычислительных затрат на обсчет взаимодействия контактных многообразий и, соответственно, для ускорения процесса моделирования.

Модель трехмерного контакта поддерживает параметризацию графических объектов, описывающих контактные многообразия. Введя параметризацию графического объекта можно рассматривать различную конфигурацию контактирующих тел в достаточно широком диапазоне просто изменяя соответствующие параметры без необходимости переработки графического образа как такового. Параметризацию контактного многообразия можно эффективно применять, например, при поиске оптимальной формы фрикционного клина для трехэлементной тележки грузовых вагонов, рис. 3.163 снизу.

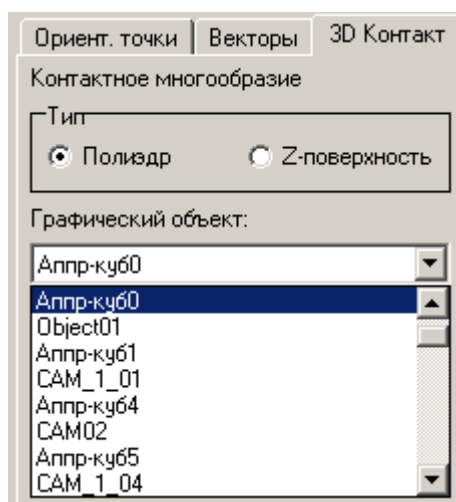


а) Графический образ (ГО) б) Конт. многообразиие (КМ) в) ГО и КМ

Рис. 3.163. Графический образ и контактное многообразиие для кузова робота и фрикционного клина

Контактное многообразиие для тела выбирается среди заранее созданных пользователем графических объектов (ГО), которые отображаются в выпадающем списке *Графический объект*. При назначении телу графического образа в качестве контактного многообразиие система координат (СК) ГО совмещается с СК тела, поэтому при перемещении тела

соответствующим образом перемещается графический образ его контактного многообразия в анимационном окне. В режиме отображения отдельного элемента в анимационном окне (см. п. 3.4.1.2.2. "Режимы анимационного окна", с. 3-30) контактное многообразие изображается желтыми линиями в связанной с телом СК.

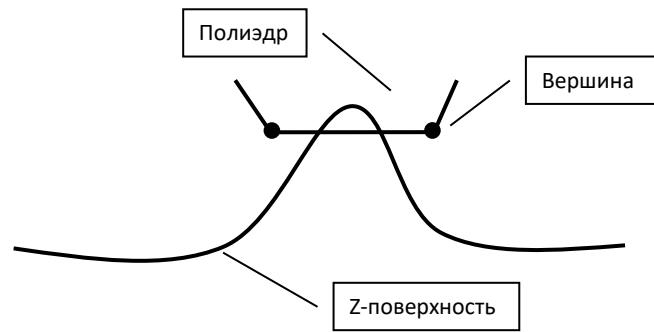


Типы контактного многообразия.

Полиэдр. Для описания контактного взаимодействия между телами в общем случае выбирается тип *Полиэдр*. Графические образы, выбранные в качестве контактного многообразия, должны состоять из *Параллелепипедов*, а также выпуклых замкнутых объемных графических элементов типа *Полиэдр* и *ASC*.

Z-поверхность. Тип *Z-поверхность* выбирается для описания «земли» – некоторой поверхности, с которой должны взаимодействовать тела с контактным многообразием типа *Полиэдр*. В отличие от контактного многообразия типа *Полиэдр*, при использовании типа *Z-поверхность* на графический объект не накладываются требования о выпуклости, замкнутости и объемности. Замечания по описанию ГО для контактных многообразий типа *Z-поверхность* см. в п. 3.5.12.6.8. "Контактные силовые элементы типов *Точки / Сфера / Окружность – Z-поверхность*", с. 3-252.

При моделировании взаимодействия тел с контактными многообразиями типа *Полиэдр* и *Z-поверхность* используется модель контактных сил типа *Точки-Плоскость*, поэтому контактные силы возникают только при внедрении вершин полиэдров (где установлены контактные точки) в *Z-поверхность* и в случае, показанном на рисунке ниже, возникать не будут.



Контактное многообразие нельзя назначить телу $Base0$, поэтому для описания неподвижной Z -поверхности необходимо ввести дополнительное тело и связать его с базой шарниром с нулем степеней свободы.

Отличие в описании Z -поверхности как контактного многообразия от описания контактных сил типа *Полиэдр – Z-поверхность* состоит в том, что в первом случае все тела с назначенным контактным многообразием будут по умолчанию контактировать с заданной Z -поверхностью, без необходимости описания отдельной контактной силы типа *Полиэдр – Z-поверхность* для каждого полиэдра. Вместе с тем, указанные два способа идентичны с точки зрения результатов компьютерного моделирования.

Замечание 1. При описании контактных многообразий типа *Полиэдр* следует помнить, что вычислительные затраты на расчет так называемого *ближнего контакта* пропорциональны квадрату количества ребер и граней у контактных многообразий. Поэтому с точки зрения ускорения расчетов не стоит усложнять графические образы контактных многообразий без явной необходимости.

Замечание 2. Как любая математическая модель, модель расчета трехмерного контакта описывает физическую сторону процесса контакта двух твердых тел лишь в известном приближении. Модель, безусловно, имеет ограниченную область эффективного применения, а также существуют случаи, в которых она некорректно описывает реальные процессы или описывает их с недопустимыми, для решения некоторой конкретной задачи, погрешностями.

Модель трехмерного контакта между телами по их контактным многообразиям – это модель, предназначенная для относительно быстрого расчета контакта в рамках решения задач моделирования динамики систем тел. При корректном выборе коэффициентов контактной жесткости и демпфирования, модель позволит получить реалистичное движение тел при контактном взаимодействии, однако она не годится для детального исследования контактного взаимодействия тел в терминах механики твердых тел: определения контактных напряжений, упругих и пластических деформаций, износа и т.п. Для такого рода задач следует использовать специализированное программное обеспечение.

Сравнение подходов к моделированию контакта.

Модель 3D контакта основана на модели контактной силы типа «точка-плоскость», в этом смысле ее можно рассматривать как надстройку, которая определяя взаимопроникновение контактных многообразий, автоматически расставляет контактные точки и определяет соответствующие им контактные плоскости. Вместе с тем расчет такого взаимо-

проникновения достаточно затратная операция с точки зрения вычислительных ресурсов. Поэтому при моделировании динамики механических систем с контактами необходимо четко понимать плюсы и минусы обоих подходов к моделированию контактов (3D контакт и использование контактных сил). Подробнее о моделях контактных сил см. п. 3.5.12.6. *"Ввод контактных силовых элементов"*, с. 3-239.

Модель 3D контакта делает моделирование контактного взаимодействия более наглядным, более удобным для параметризации в случае относительно сложных систем и расширяет контактное взаимодействие на случай внедрения типа «ребро-ребро», тогда как модель контактных сил типа «точка-плоскость» эффективно покрывает только одноименный случай внедрения, подробнее см. [Глава 2](#), п. *3D Контакт*. Для моделирования случая внедрения типа «ребро-ребро» с помощью контактных сил типа «точка-плоскость» понадобится предварительно расставить контактные точки на всех ребрах с очень мелким шагом, что неудобно с точки зрения описания и параметризации модели, а также резко повысит вычислительные затраты на моделирование такой системы.

3D контакт расширяет возможности моделирования контактного взаимодействия, но требует дополнительных вычислительных затрат. В ряде случаев для повышения быстродействия модели вполне достаточно использовать контактные силы типа «точка-плоскость» и других типов без применения трехмерной модели контакта по контактным многообразиям.

Примеры использования 3D контакта.

Применение 3D контакта для моделирования динамики механических систем рассмотрено в следующих примерах:


- [{Данные УМ}\SAMPLES\Mechanisms\Misc\clockwork;](#)
- [{Данные УМ}\SAMPLES\Mechanisms\Misc\earthquake;](#)
- [{Данные УМ}\SAMPLES\Mechanisms\Misc\fallingFigures;](#)
- [{Данные УМ}\SAMPLES\Rail_Vehicles\wedgetest3Dcontact;](#)

3.5.10. Ввод шарниров

3.5.10.1. Визуализация шарниров

При вводе шарниров в режиме отображения отдельного элемента в анимационном окне (п. 3.4.1.2.2. "Режимы анимационного окна", с. 3-30) отображается только кинематическая пара – то есть пара тел, соединяемых данным шарниром.

Графический образ можно назначить только шарниру типа невесомый стержень, п. 3.5.10.9. "Ввод шарнира в виде невесомого стержня", с. 3-198. При определенной комбинации режимов отрисовываются степени свободы шарниров (см. рис. 3.21)

В случае *разрезанного шарнира* (кроме стержня, сопряжения и шарнира постоянной скорости) при наличии в объекте замкнутых кинематических цепей, *второе тело* в паре отображается дважды: первый раз в положении, определяемом присоединенным шарниром, второй раз (в проволочном изображении) – в положении, заданном координатами данного разрезанного шарнира. Это позволяет подобрать значения шарнирных координат таким образом, чтобы приблизить оба изображения, то есть задать приближенные значения координат, близкие к действительным. Точные значения координат в случае замкнутых кинематических цепей рассчитываются при щелчке на кнопке  на панели инструментов анимационного окна, либо с использованием вкладки инспектора Координаты, п. 3.4.2.3.4. "Координаты", с. 3-46.

3.5.10.2. Вес шарнира

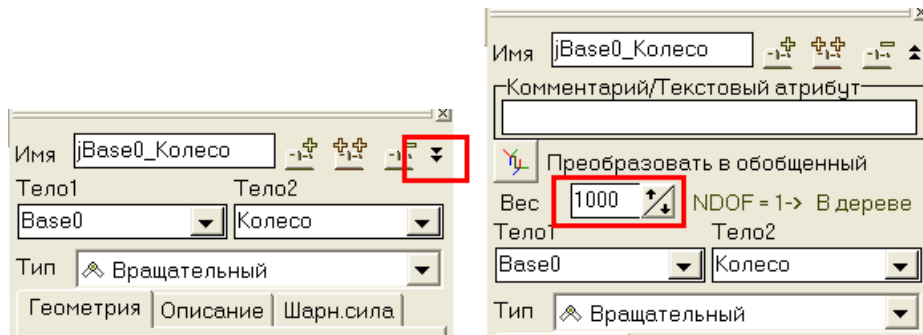



Рис. 3.164. Назначение веса шарниру

Каждому шарниру, за исключением шарнира в виде невесомого стержня, можно назначить весовой коэффициент. Данный параметр используется исключительно в случае, когда объект имеет замкнутые кинематические цепи ([Глава 2](#), п. *Граф системы. Замкнутые кинематические цепи*). Если шарниру в замкнутой цепи назначить большой вес (например, 1000), то будет разрезан именно этот шарнир.

Для назначения веса шарниру следует раскрыть поля дополнительной информации с помощью кнопки  и внести значение веса в поле "Вес".



3.5.10.3. Преобразование типа шарнира

- Шарниры типов
 - вращательный
 - поступательный
- 6 степеней свободы

могут быть преобразованы в шарниры типа «обобщенный».

Например, шарнир типа «6 степеней свободы» можно преобразовать в обобщенный, чтобы ввести шарнирные силы для некоторых степеней свободы. Вращательный и поступательный шарниры целесообразно преобразовывать в обобщенный, например, если нужно добавить степень свободы или параметризовать наклон оси шарнира.

Для преобразования типа шарнира

- используйте кнопку  для того, чтобы получить доступ к дополнительной информации, рис. 3.164.
- щелкните на кнопке  чтобы выполнить преобразование.

Пример. [Глава 7](#), п. Преобразование типа шарнира. Параметризация оси вращательного шарнира

3.5.10.4. Статус шарнира

Независимо от типа шарнира, он может иметь определенный статус, который должен быть известен пользователю для профессионального владения методами моделирования:

- шарнир в дереве
- разрезанный
- удаленный
- фиксация
- шарнир с отрицательным направлением

Рассмотрим подробно определения этих понятий. Предварительно рекомендуется ознакомиться с понятием графа системы, [Глава 2](#), пп. *Связность системы и понятие шарнира, Граф системы. Замкнутые кинематические цепи.*

3.5.10.4.1. Шарнир в дереве и разрезанный шарнир. Замыкание разрезанных шарниров

Шарниры, входящие в дерево объекта имеют статус «**в дереве**», в противном случае шарнир является **разрезанным**. Таким образом, разрезанный шарнир не используется для определения положения тела относительно СК0 с использованием шарнирных координат, в математическом плане разрезанный шарнир добавляет к уравнениям движения алгебраические уравнения связей.

Существует два типа разрезанный шарниров.

1. Шарниры – связи, не имеющие шарнирных координат:
 - жесткий стержень (п. 3.5.10.9. *"Ввод шарнира в виде невесомого стержня"*, с. 3-198);
 - сопряжение, п. 3.5.10.10. *"Ввод сопряжений"*, 3-199.

- ШРУС, п. 3.5.10.11. *"Ввод шарнира равных угловых скоростей"*, с. 3-201.


Шарниры данного типа ограничивают относительное движение пары тел и всегда являющиеся разрезанными.

2. Шарнир, имеющий набор локальных шарнирных координат, входящий в замкнутую кинематическую цепь и разрезанный программой на основе анализа графа системы:

- вращательный;
- поступательный;
- шарнир с шестью степенями свободы;
- обобщенный;
- кватернионный;
- внутренний шарнир тела, п. 3.5.9.3. *"Внутренний (скрытый) шарнир тела"*, с. 3-165.

Пользователь может влиять на то, какой из шарниров в замкнутой цепи будет разрезан, с помощью веса шарнира, п. 3.5.10.2. *"Вес шарнира"*, с. 3-181.

Проверить статус разрезанного шарнира второго типа можно многими способами:

- иконка разрезанного шарнира в дереве элементов модели перечеркнута ломаной линией, рис. 3.165;
- статус разрезанного шарнира указан в дополнительных параметрах, доступных в инспекторе после раскрытия по кнопке , рис. 3.166;
- на вкладке Индексы инспектора, рис. 3.167;
- шарнирные координаты разрезанного шарнира маркируются в списке координат программы моделирования, рис. 3.168.

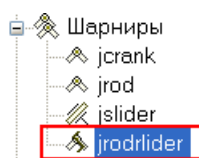


Рис. 3.165. Иконка разрезанного шарнира в дереве элементов модели

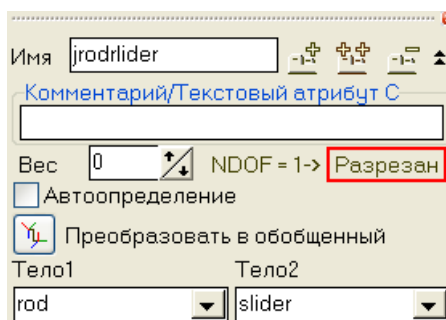


Рис. 3.166. Статус «Разрезан» в дополнительных параметрах шарнира

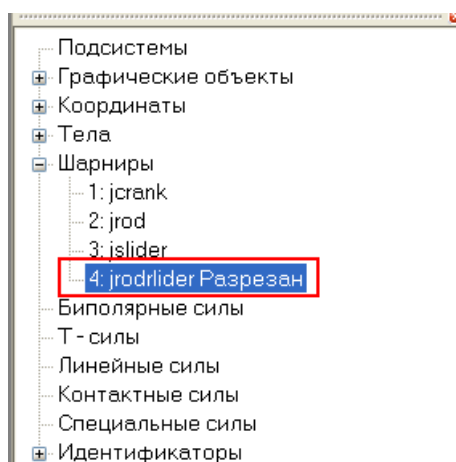


Рис. 3.167. Статус «Разрезан» на вкладке «Индексы» инспектора

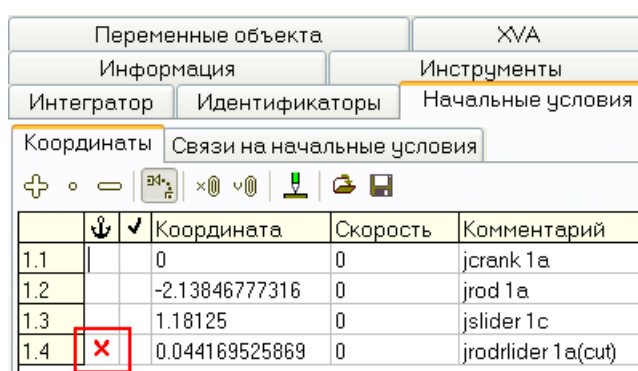




Рис. 3.168. Маркировка координат разрезанного шарнира в списке координат

Замыкание разрезанных шарниров

Замыканием разрезанных шарниров – это процесс решения нелинейных уравнений связей, которые выполняется программой, рис. 3.169. Для замыкания можно использовать либо кнопку  на панели инструментов анимационного окна, либо кнопки  на вкладке Координаты инспектора.

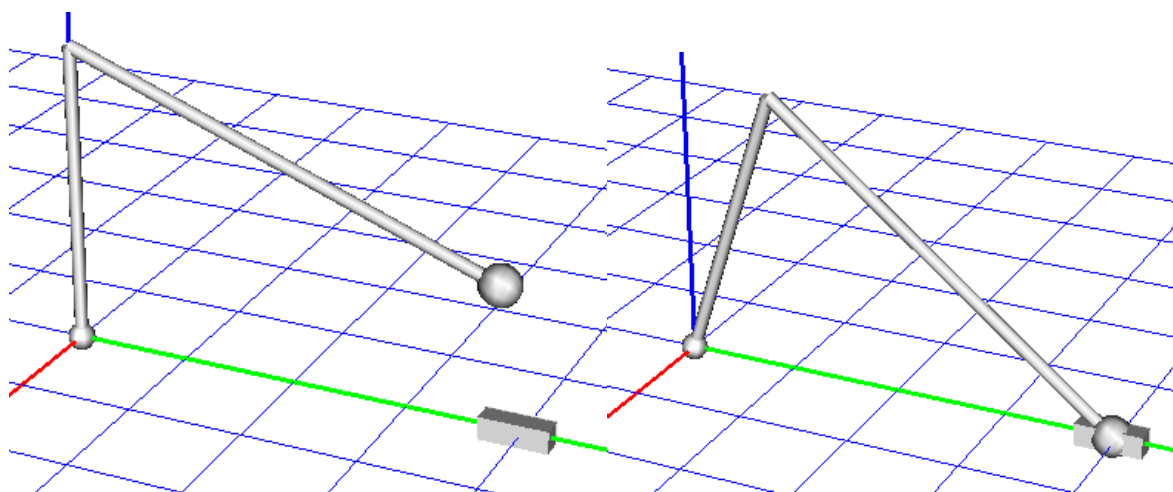


Рис. 3.169. Кривошипно-ползунный механизм с разомкнутым и замкнутым разрезанным шарниром


Замечание. Решение уравнений связей – это сложная численная процедура, которая не всегда может привести к успеху, см. [Главу 2](#), п. *Теоретические основы расчета начальных условий для систем с замкнутыми кинематическими цепями*. Если уравнения связей не решаются в программе ввода, и пользователь не может установить причину этого, следует попробовать сделать это в программе моделирования, где используются более совершенные алгоритмы.

3.5.10.4.2. Удаленный шарнир

Статус **удаленного** получает *разрезанный шарнир с шестью степенями свободы*, не содержащий шарнирных сил и не ограничивающий движение одного тела относительно другого и поэтому не влияющий на динамические и кинематические свойства модели. Фактически шарнир не удаляется, а просто *игнорируется* программой при всех расчетах.

Примером использования таких шарниров является фиктивное тело, см. п. 3.5.3.3.3. *"Использование фиктивного тела вместо внешних элементов"*, с. 3-102.

Проверить статус удаленного шарнира, не являющегося внутренним шарниром тела, можно многими способами:

- иконка удаленного шарнира в дереве элементов модели перечеркнута крестом, рис. 3.170;
- статус удаленного шарнира указан в дополнительных параметрах, доступных в инспекторе после раскрытия по кнопке , рис. 3.171;
- на вкладке Индексы инспектора, рис. 3.172;
- шарнирные координаты разрезанного шарнира не входят в список координат модели.

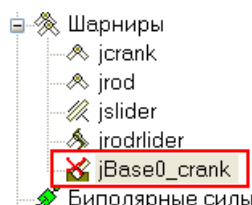


Рис. 3.170. Иконка удаленного шарнира в дереве элементов

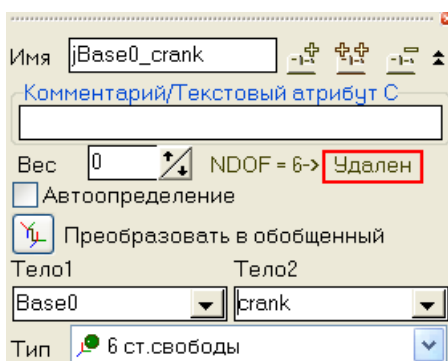


Рис. 3.171. Статус «Удален» в дополнительных параметрах шарнира

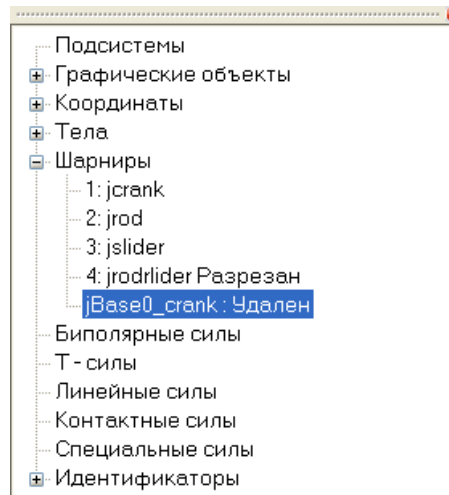


Рис. 3.172. Статус «Удален» на вкладке «Индексы» инспектора

3.5.10.4.3. Шарнир-фиксация

Шарнир-фиксация – это шарнир с нулевым числом степеней свободы, построенный на базе шарниров

- обобщенный, см., например, п. 3.5.3.3.3. "Использование фиктивного тела вместо внешних элементов", с. 3-102;
- 6 степеней свободы, см., например, п. 3.5.9.3. "Внутренний (скрытый) шарнир тела", с. 3-165, п. 3.5.9.7. "Тело «Ground»", с. 3-176.



Рис. 3.173. Иконка шарнира-фиксации в дереве элементов модели

Шарнир используется для того, чтобы жестко связать пару тел.

3.5.10.4.4. Шарнир с отрицательным направлением

Понятие шарнира с отрицательным направлением связано с определением положения тела относительно СК0 по цепочке шарниров.


После разрезания замкнутых кинематических цепей, выполняемого программой автоматически, при наличии связности модели для каждого тела имеется единственный путь по шарнирам к СК0, то есть к телу Base0. Поскольку по правилам УМ каждый шарнир в этой цепочке определяет положение второго тела относительно первого в кинематической паре, то шарниры можно разделить на два типа.

1. Шарнир имеет **положительное направление**, если второе тело в кинематической паре лежит в цепочке дальше от СК0, чем первое. Например, есть первое тело в шарнире Base0, а второе Body1, то шарнир имеет положительное направление.

2. Шарнир имеет **отрицательное направление**, если *второе тело в кинематической паре лежит в цепочке ближе СК0, чем первое*. Например, есть первое тело в шарнире Body1, а второе Base0, то шарнир имеет отрицательное направление.

Приведем еще один пример. Рассмотрим цепочку тел, связанных шарнирами, в последовательности Base0, Body1, Body2. Тогда шарнир, связывающий тела Body1 и Body2 будет иметь положительное направление, если в качестве первого тела ему назначено тело Body1 и отрицательное, если Body2.

По ряду причин, связанных с внутренней реализацией расчета кинематики систем тел, **не рекомендуется вводить шарниры с отрицательным направлением**. Нелогичность такого описания шарнира ясна, если рассмотреть вращательный шарнир, соединяющий тело Body1 (первое тело) с Base0: шарнирная координата в данном случае задает поворот СК0 относительно Body1, а логичным было бы наоборот.

Отрицательное направление шарнира указывается как [-1] в дополнительных параметрах шарнира, доступных в инспекторе после раскрытия по кнопке , и на вкладке **Индексы** инспектора, рис. 3.174.

Можно избежать появления шарниров с отрицательным направлением, если руководствоваться правилом последовательного ввода шарниров, описанных в п. 3.5.1. "Порядок ввода данных", с. 3-92.

Замечание 1. Для разрезанных шарниров понятие направления не вводится.
Замечание 2. Направление шарнира можно изменить, если поменять местами тела в кинематической паре и соответствующим образом изменить координаты шарнирных точек.

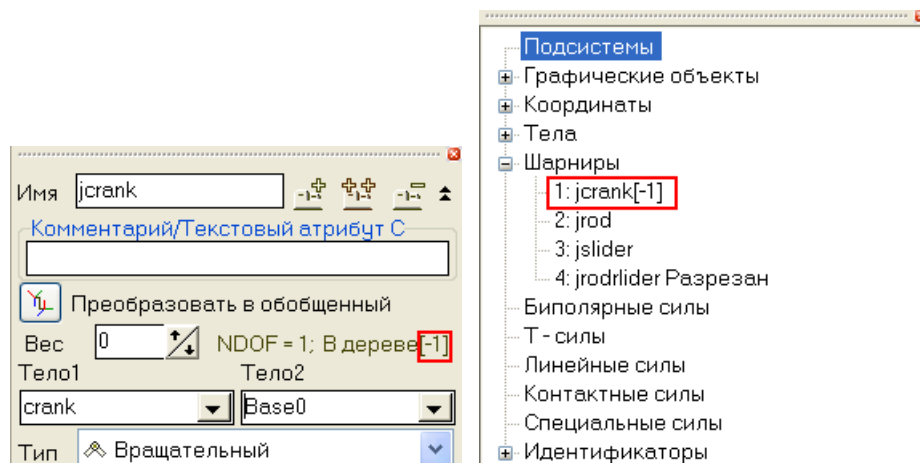




Рис. 3.174. Признак отрицательного направления шарнира

3.5.10.5. Ввод вращательного и поступательного шарниров

Подробное описание шарнира находится в [Главе 2](#), п. *Поступательный и вращательный шарниры*.

При задании параметров шарнира дополнительно к указанию тел и шарнирных точек (см. п. 3.5.11. *"Общие черты ввода параметров шарниров и силовых элементов"*, с. 3-202) следует задать

- проекции шарнирного вектора на оси связанных с телами СК на вкладке **Геометрия** (рис. 3.175); вектор должен быть ненулевым;
- дополнительный сдвиг и поворот на вкладке **Описание**, группа **Дополнительные сдвиги** (действие не является обязательным).

Если тела, соединяемые шарниром, входят в дерево объекта (т.е. видимы в режиме полного объекта анимационного окна, что можно проверить, переведя кнопку  в нажатое состояние), кнопки  могут быть использованы для визуального ввода как шарнирных точек, так и шарнирных векторов. Шарнирный вектор может быть получен с использованием точек связи вида вектор и ориентированная точка (см. п. 3.5.11.4. *"Визуальное назначение тел, точек присоединения и локальных систем координат"*, с. 3-203). Таким образом, выбор одной точки связи – вектора или ориентированной точки позволит одновременно назначить тело, шарнирную точку и шарнирный вектор.

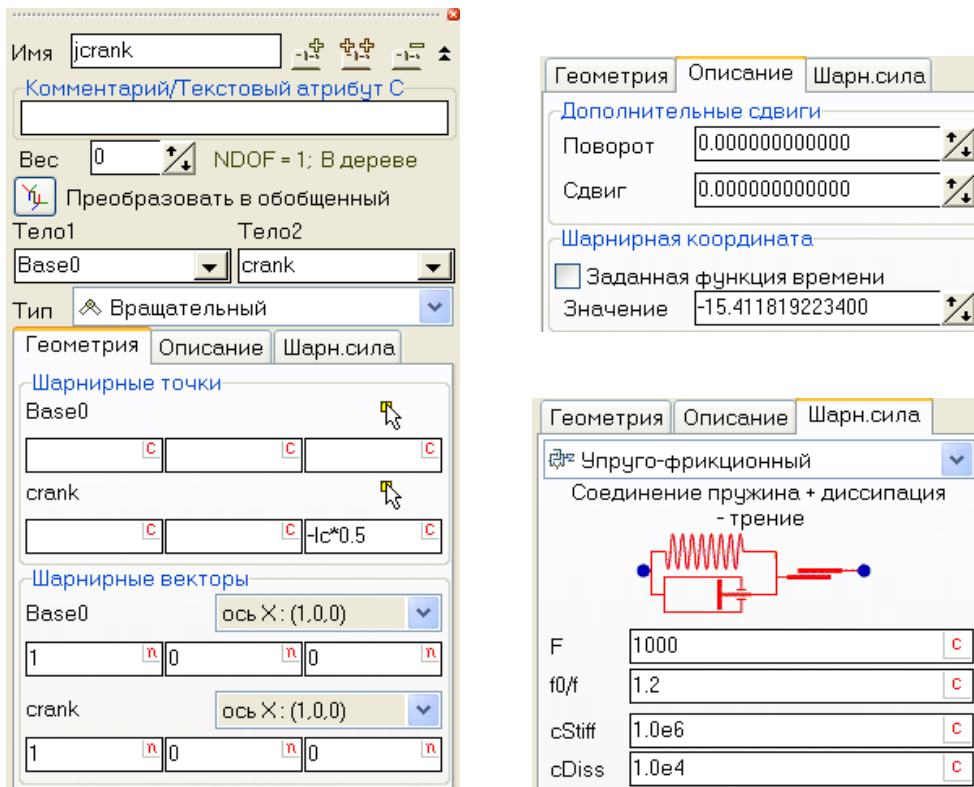


Рис. 3.175. Параметры вращательного и поступательного шарниров

Дальнейшее описание шарнира зависит от типа координаты: является она степенью свободы или задана в виде явной функции времени.

Координата – степень свободы

Все описываемые здесь данные не являются обязательными:

- значение шарнирной координаты: поле часто используется для проверки правильности описания шарнира; пошаговое изменение координаты позволяет изменить положение тел в анимационном окне как в режиме отображения отдельного элемента, так и в режиме отображения полного объекта; данное значение будет использовано в качестве начального значения координаты в программе моделирования движения, однако может быть изменено по усмотрению пользователя;
- тип шарнирного момента/силы выбирается из выпадающего списка на закладке *Шарн.сила*, рис. 3.176.

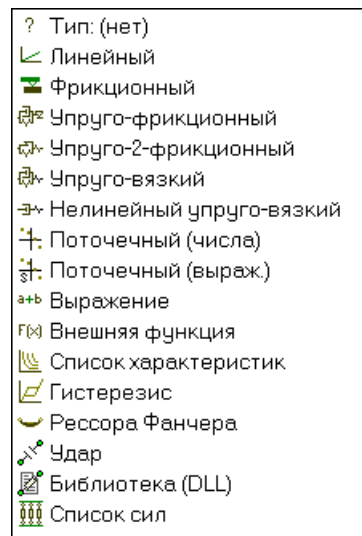


Рис. 3.176 Список типов шарнирных сил

После выбора типа силы появляются поля, в которых можно задать параметры шарнирной силы. п. 3.5.12.1. "Ввод силы тяжести", с. 3-206.

Координата – заданная функция времени

Для перехода к данному типу шарнирной координаты следует использовать флажок **Заданная функция времени** на закладке **Описание**, рис. 3.175.

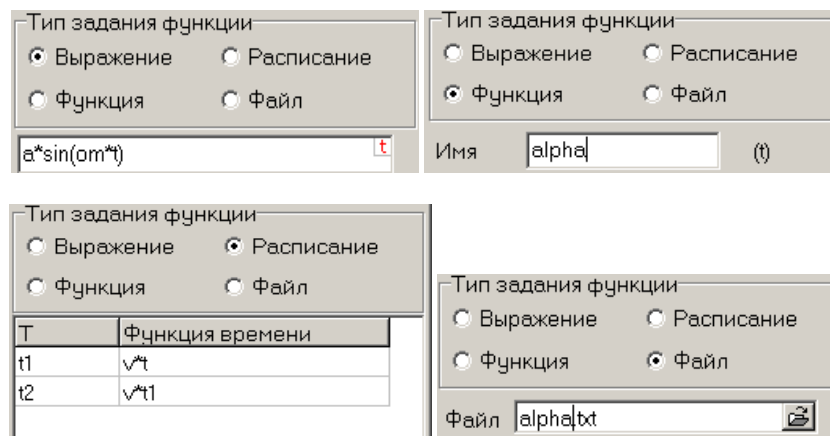


Рис. 3.177 Типы задания функций времени

Задание зависимости координаты от времени является обязательным и возможно следующими способами:

- выражение (см. п. 3.4.2.4.4. "*Функция инерционных параметров bodyinertia*", с. 3-51)
- внешняя функция (см. п. 3.4.2.4.10. "*Внешние функции*", с. 3-70)
- расписание (см. п. 3.4.2.4.12. "*Расписания как способ задания функций времени*", с. 3-75)
- файл (см. п. 3.4.2.4.11. "*Задание функций времени с помощью текстовых файлов*", с. 3-73).

Вращательный и поступательный шарниры можно преобразовать в обобщенный, например, если нужно добавить степень свободы или параметризовать наклон оси шарнира, п. *Преобразование* типа шарнира.

Пример. [Глава 7](#), п. Преобразование типа шарнира. Параметризация оси вращательного шарнира.

3.5.10.6. Ввод шарнира с шестью степенями свободы

Подробное описание шарнира находится в [Главе 2](#), п. *Шарнир с шестью степенями свободы*.

При задании параметров шарнира дополнительно к указанию тел (см. п. 3.5.11. "Общие черты ввода параметров шарниров и силовых элементов", с. 3-202) следует указать, используя вкладку **Геометрия** положение локальных систем координат СК1А и СК2В относительно СК1 и СК2. Для этого используются закладки **Тело1** (СК1А) и **Тело 2** (СК2В). Для параметризованного задания положения локальных систем координат используется стандартный интерфейс, рис. 3.178 (слева) (см. п. 3.5.4. "Стандартный интерфейс задания положения локальной системы координат", с. 3-105).

На закладке **Координаты** (рис. 3.178) задается:

- тип углов ориентации;
- "выключенные" степени свободы (флажок у координаты соответствует ее "включенности"); поступательным степеням свободы соответствуют первые три строки (рис. 3.178), углам ориентации – последние.

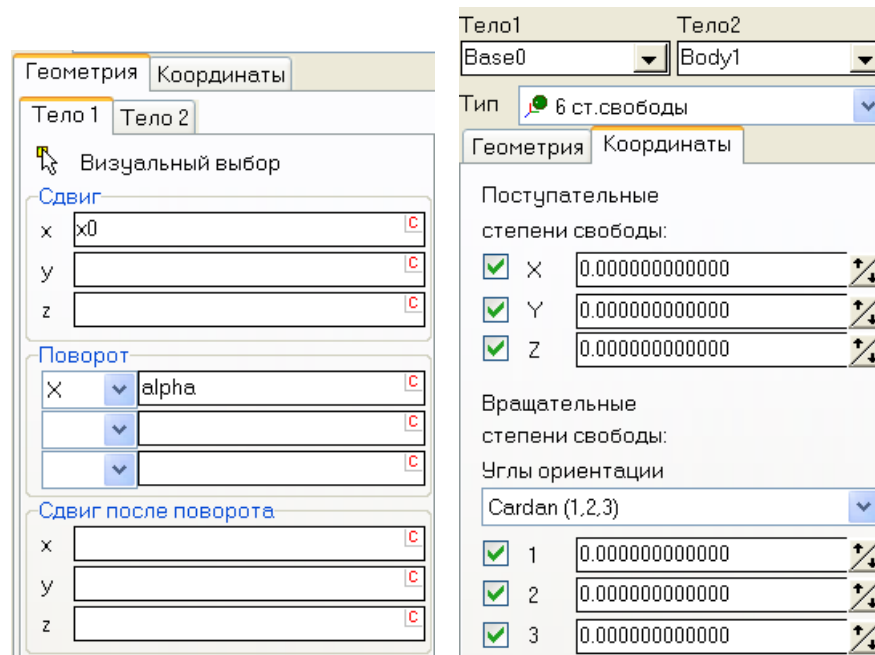


Рис. 3.178 Описание шарнира с шестью степенями свободы

Используйте кнопки $\uparrow\downarrow$ в поле значений каждой включенной координаты, чтобы установить начальное значение координаты и проверить правильность описания шарнира: пошаговое изменение координаты позволяет изменить положение тел в паре в анимационном окне, как в режиме отображения отдельного элемента, так и в режиме отображения полного объекта.

Замечание 1. Шарнир типа «6 степеней свободы» можно преобразовать в обобщенный, например, чтобы ввести шарнирные силы для некоторых степеней свободы, п. *Преобразование типа шарнира*.

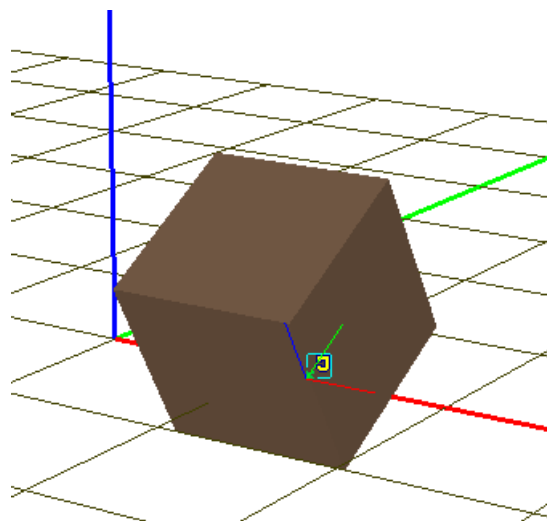


Рис. 3.179 Пример шарнира с шестью степенями свободы

Замечание 2. Разрезанные шарниры, имеющие шесть степеней свободы (то есть не выключена ни одна степень свободы), имеют статус удаленных, п. 3.5.10.4.2. "Удаленный шарнир", с. 3-185.

Пример задания шарнира, использованного для введения шести степеней свободы тела относительно СК0 в соответствии с рис. 3.178 приведен на рис. 3.179. Тело указано в положении, соответствующем нулевым значениям координат. Особенностью задания шарнира является параметризованное задание как положения начала СКВ (сдвиг вдоль оси X), так и угол поворота вокруг оси X. В результате, например, две поступательные степени свободы соответствуют смещениям тела вдоль наклонных осей Y и Z.

3.5.10.7. Ввод обобщенного шарнира

Описание шарнира предполагает создание списка элементарных преобразований (ЭП), см. п. 2.3.4.

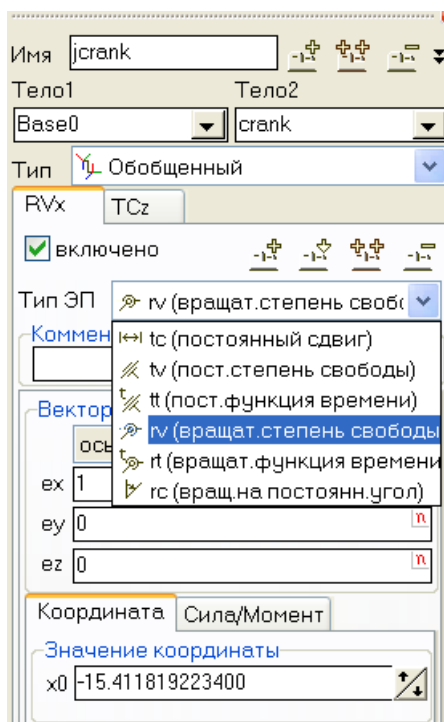


Рис. 3.178. Параметры обобщенного шарнира

Список ЭП создается с использованием стандартных интерфейсных возможностей (см. п. 3.4.2.2. "Вкладки списков одностипных элементов", с. 3-42). Тип каждого ЭП выбирается из выпадающего списка (рис. 3.178), после чего появляются поля описания ЭП. Далее для ЭП различных типов следует описать параметры, задающие элементарное преобразование.

Ключ **включено** позволяет исключить элементарное преобразование из списка.

Для всех типов ЭП, кроме *tc*, следует задать **вектор преобразования** в *численной форме* (вектор не может быть нулевым), рис. 3.180.

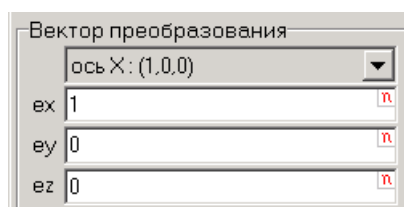


Рис. 3.180 Группа выбора вектора элементарного преобразования

Для выбора стандартного направления вектора вдоль одной из осей координат используйте выпадающий список.

Замечание. Разрезанные шарниры обобщенного типа, имеющие шесть степеней свободы, имеют статус удаленных, п. 3.5.10.4.2. "Удаленный шарнир", с. 3-185.

3.5.10.7.1. Элементарное преобразование tc

Для ЭП типа сдвиг на постоянный вектор (tc) указывается вектор сдвига, компоненты которого являются постоянными символьными выражениями.

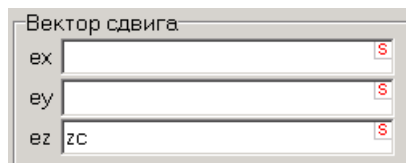
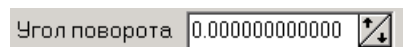


Рис. 3.181. Группа задания сдвига

3.5.10.7.2. Элементарное преобразование rc

Для ЭП типа поворот на постоянный угол (rc) следует дополнительно к вектору поворота задать численное значение угла поворота (в градусах).

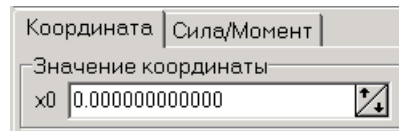


Замечание. С использованием данного типа ЭП можно задать только поворот на угол, значение которого задано численной константой. При необходимости параметризации угла (то есть задания его значения в виде идентификатора или постоянного символьного выражения) используйте тип ЭП *rt*.

3.5.10.7.3. Элементарные преобразования tv, rv

Для элементарных преобразований, вводящих степень свободы и соответствующую шарнирную координату (tv, rv), можно дополнительно к вектору поворота задать

- численное (начальное) значение координаты на закладке *Координата* (угол поворота задается в градусах); используйте кнопки поля задания начального значения координаты для того, чтобы визуально проверить правильность описания степени свободы;
- математическую модель шарнирной силы/момента на закладке *Сила/Момент*, выбрав ее тип из списка, рис. 3.176



После выбора типа появляются поля, в которых можно задать параметры шарнирной силы, п. 3.5.12.1. "*Ввод силы тяжести*", с. 3-206.

3.5.10.7.4. Элементарные преобразования tt, rt

Для элементарных преобразований, определяющих явную зависимость шарнирной координаты от времени (tt, rt), дополнительно к вектору поворота следует задать зависимость координаты от времени (обязательный параметр) в одном из режимов:

выражение (см. п. 3.4.2.4.4. "Функция инерционных параметров *bodyinertia*", с. 3-51)

внешняя функция (см. п. 3.4.2.4.10. "Внешние функции", с. 3-70)

расписание (см. п. 3.4.2.4.12. "Расписания как способ задания функций времени", с. 3-75)

файл (см. п. 3.4.2.4.11. "Задание функций времени с помощью текстовых файлов", с. 3-73)

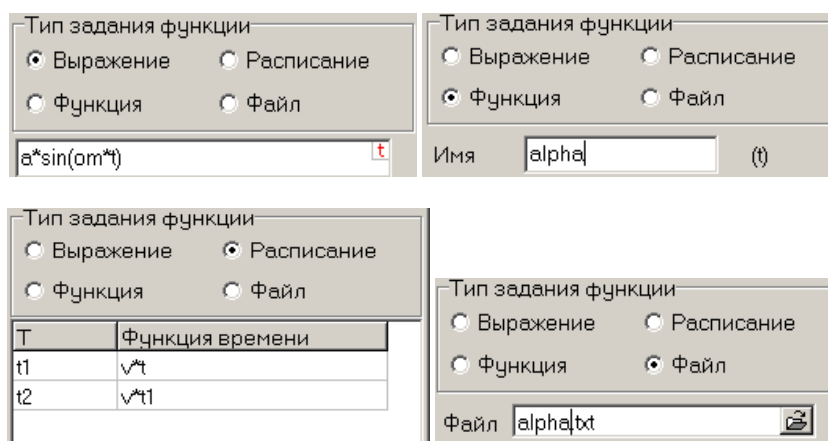


Рис. 3.182. Типы задания функций времени

Замечание. С использованием типа rt можно задать поворот на угол, значение которого постоянно и задано идентификатором или постоянным символьным выражением (см. п. 3.4.2.4.4. "Функция инерционных параметров *bodyinertia*", с. 3-51). В этом случае следует выбрать тип описания **Выражение** и внести в соответствующее поле (рис. 3.182, слева) идентификатор угла или выражение для угла, не зависящее от времени t.

3.5.10.8. Ввод кватернионного шарнира

Для шарнира кватернионного типа (см. [Главу 2](#), п. Кватернионный шарнир), кроме тел, входящих в пару, и шарнирных точек (см. п. 3.5.11. "Общие черты ввода параметров шарниров и силовых элементов", с. 3-202) по желанию можно (рис. 3.183):

- задать начальную относительную ориентацию второго тела относительно первого тела с помощью вектора и угла поворота (угол задается в градусах);
- включить/выключить поступательные степени свободы с помощью флажка;
- задать начальные значения включенных поступательных степеней свободы.

Замечание. Разрезанные кватернионные шарниры, имеющие шесть степеней свободы (то есть не выключена ни одна поступательная степень свободы), имеют статус удаленных, п. 3.5.10.4.2. "Удаленный шарнир", с. 3-185.

Начальная ориентация

Вектор поворота:

ось X: (1,0,0)

ex 1.00000000

ey 0.00000000

ez 0.00000000

Угол поворота:

0.00000000

Поступательные степени свободы

Включить

x 0.00000000

y 0.00000000

z 0.00000000

Рис. 3.183. Параметры кватернионного шарнира

3.5.10.9. Ввод шарнира в виде невесомого стержня

Для шарнира в виде невесомого стержня (Глава 2, п. *Связь в виде невесомого стержня*), кроме тел, входящих в пару, и шарнирных точек (см. п. 3.5.11. *"Общие черты ввода параметров шарниров и силовых элементов"*, с. 3-202) необходимо указать его длину, которая может быть как постоянной, так и заданной пользователем функцией времени.

Для задания длины следует ввести значение в одном из режимов:

- выражение (см. п. 3.4.2.4.4. *"Функция инерционных параметров bodyinertia"*, с. 3-51)
- внешняя функция (см. п. 3.4.2.4.10. *"Внешние функции"*, с. 3-70)
- расписание (см. п. 3.4.2.4.12. *"Расписания как способ задания функций времени"*, с. 3-75)
- файл (см. п. 3.4.2.4.11. *"Задание функций времени с помощью текстовых файлов"*, с. 3-73)

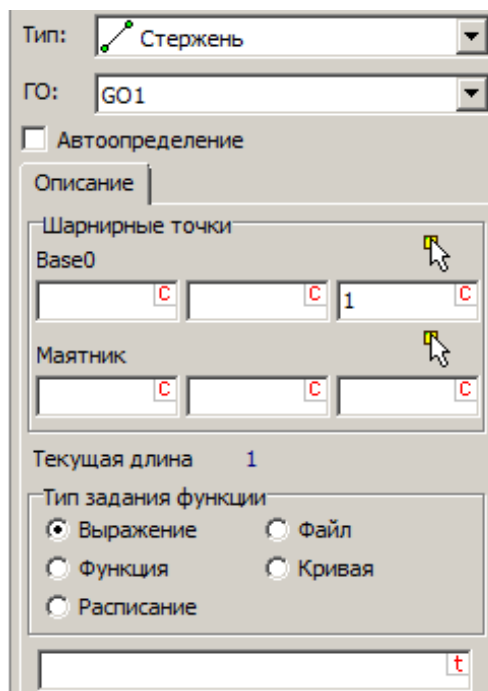


Рис. 3.184. Параметры шарнира

Как правило, стержню назначается графический образ из списка ГО объекта. Особенности создания соответствующего ГО поясняются в разделе, посвященном вводу графических объектов (см. п. 3.5.6. *"Назначение графического образа силовым элементам и шарниру в виде невесомого стержня"*, с. 3-109).

В поле **Текущая длина** автоматически отображается длина стержня при текущих положениях тел. Данный параметр используйте для проверки корректности задания длины стержня.

Замечание. Поскольку стержень является связью, то есть не вводит координаты и всегда разрезан (п. 3.5.10.4.1. *"Шарнир в дереве и разрезанный шарнир. Замыкание разрезанных шарниров"*, с. 3-182), а лишь ограничивает взаимное расположение тел в паре, то расчет положений тел, связанных стержнем, про-

изводится только в программе моделирования объекта при расчете начальных значений координат в соответствии с заданной длиной. По этой причине текущая длина стержня в программе ввода может не соответствовать его реальной длине, задаваемой пользователем при описании шарнира.

3.5.10.10. Ввод сопряжений

Основные определения и понятия, связанные с сопряжениями, даны в [Главе 2](#), п. Сопряжения.

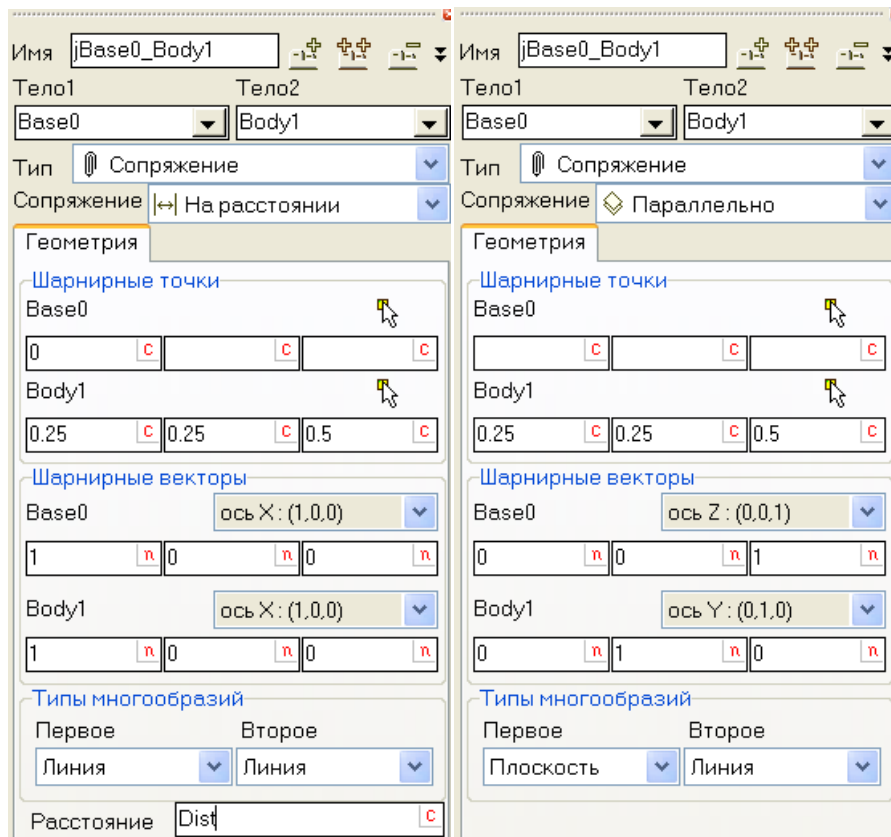


Рис. 3.185. Примеры сопряжений

Для задания сопряжения надо указать следующие параметры, рис. 3.185.

- Тип сопряжения, рис. 3.186.

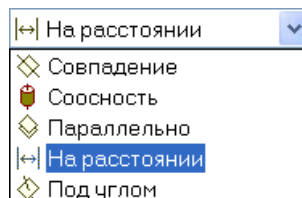


Рис. 3.186. Типы сопряжений

- Типы первого и второго многообразий,

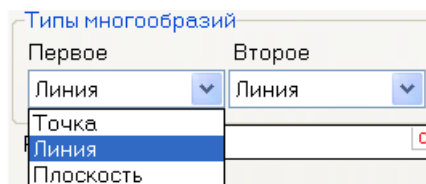


Рис. 3.187. Задание типа многообразий

- Координаты **шарнирных точек** для первого и второго тела в СК соответствующего тела, задающие
- координаты многообразия – точки;
- координаты начала многообразия-вектора;
- координаты точки на плоскости для многообразия – плоскость.
- Если многообразиие – вектор или плоскость, то следует указать проекции вектора или нормали к плоскости в группе Шарнирные векторы. Для многообразия «точка» шарнирный вектор игнорируется.
- Для сопряжений типа «На расстоянии» и «Под углом» следует дополнительно задать значение расстояния и угла между многообразиями, рис. 3.188.



Рис. 3.188. Параметры расстояния и угла

Для визуального назначения тел, шарнирных точек и векторов могут использоваться стандартные визуальные компоненты Mates, рис. 3.189. Для создания сопряжения следует

- предварительно задать точки или векторы связей для нужных тел;
- щелкнуть на кнопке с визуальной компонентой и следовать указаниям окна – подсказки.

Для одновременного назначения тела, шарнирной точки и шарнирного вектора достаточно выбрать точку связи типа вектор или ориентированную точку связи.

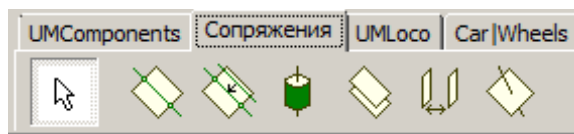


Рис. 3.189. Стандартные визуальные компоненты сопряжений

Замечание. При наличии сопряжений при моделировании не может использоваться численный метод Park Parallel.

Простейшие примеры моделей с сопряжениями находятся в каталоге [{Данные УМ}\Samples\Library\Mates](#).

3.5.10.11. Ввод шарнира равных угловых скоростей

Основные определения и понятия, связанные с шарниром данного типа, даны в [Главе 2](#), п. *Шарнир равных угловых скоростей (ШРУС)*.

Для задания шарнира надо указать следующие параметры, рис. 3.190

- Координаты шарнирных точек в СК соответствующих тел.
- Проекции шарнирных векторов в СК соответствующих тел.

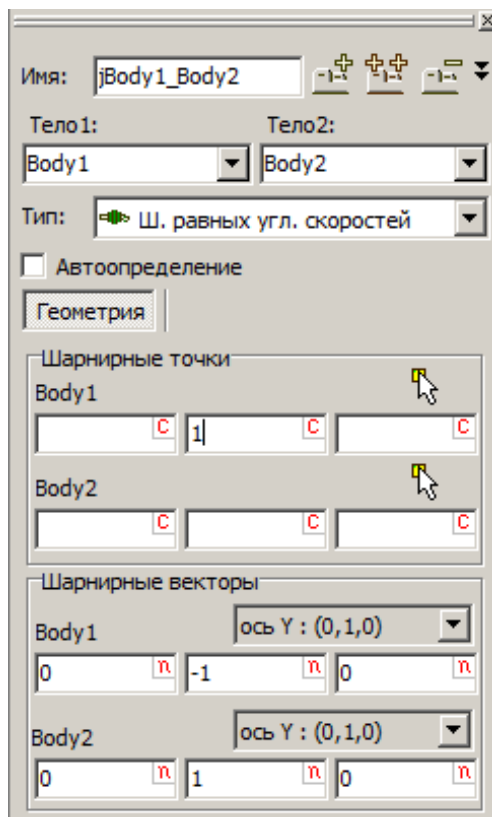


Рис. 3.190. Пример ШРУС

Замечание. Если шарнир данного типа присутствует в модели, при моделировании не может использоваться численный метод Park Parallel.

Пример. См. Руководство пользователя, [Глава 7](#): Примеры моделирования, п. *Шарнир равных угловых скоростей (ШРУС)*.

3.5.11. Общие черты ввода параметров шарниров и силовых элементов

Шарниры и силовые элементы имеют некоторые параметры, задание которых происходит аналогичным образом. Например, каждому из этих элементов назначается пара тел, для многих из них может быть выбран тип и графический образ, а также точки присоединения. Для ввода этих данных используются стандартные интерфейсные возможности инспектора. Например, в случае биполярной силы соответствующие элементы интерфейса представлены на рис. 3.191.

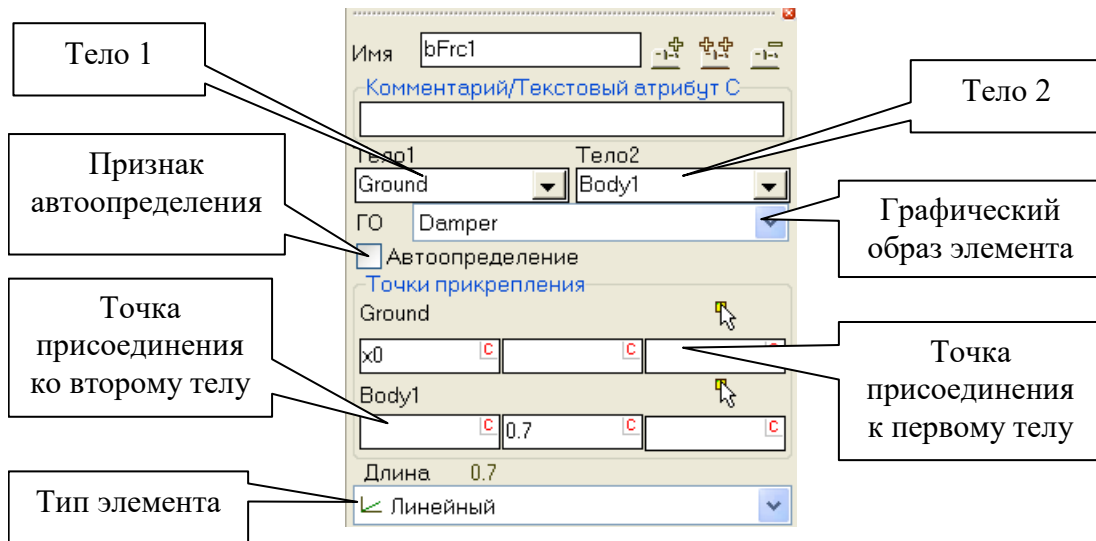


Рис. 3.191. Основные элементы интерфейса

3.5.11.1. Назначение элементу пары тел

Каждому шарниру и силовому элементу должна быть назначена пара тел из списка тел объекта, в противном случае ввод данных считается неполным, и программа генерирует сообщение об ошибке. Одно из тел считается первым – Тело 1 на рис. 3.191), а другое – вторым (Тело 2). Для выбора тел используются два верхних выпадающих списка, содержащие имена тел, назначенные пользователем, рис. 3.192.

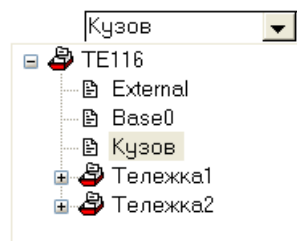


Рис. 3.192. Выпадающий список с именами тел

Кроме тел, введенных пользователем, оба списка тел содержат базовое тело (Base0) для присоединения тела к неподвижной точке (*к базе*), а список для второго тела – допол-

нительно внешнее тело (External, которое используется только в методе подсистем, см. п. 3.5.3. "Ввод подсистем", с. 3-96).

Элементы, которым назначено тело External, имеют статус *внешних*, 3.5.3.3.1. "Внешние элементы. Автоопределение", с. 3-99.

Запрещено назначать элементу два одинаковых тела.

3.5.11.2. Выбор типа элемента

Для большинства элементов можно выбрать их тип из выпадающего списка. В этом случае ранее введенная информация, описывающая элемент (за исключением назначенных тел и графического образа) *может быть утеряна*.

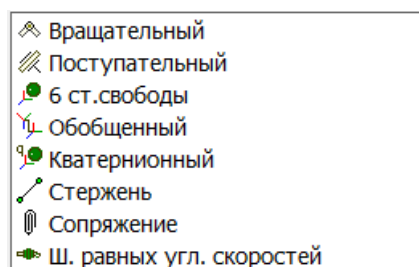


Рис. 3.193. Выпадающий список типов шарниров

3.5.11.3. Назначение точек присоединения и локальных систем координат

Для разных типов элементов точки присоединения могут иметь в инспекторе разные названия. Например, для шарнира они называются шарнирными точками, а для биполярного и обобщенного линейных силовых элементов – точками прикрепления. В любом случае вводятся координаты X, Y, Z двух точек, одна принадлежит первому телу, другая – второму. Координаты точек задаются в СК соответствующего тела (то есть остаются неизменными при движении тел) с помощью постоянных символьных выражений (см. п. 3.4.2.4.4. "Функция инерционных параметров *bodyinertia*", с. 3-51).

Для некоторых элементов, например для шарнира с шестью степенями свободы и сайлент-блока, вместо точек присоединения следует задать две локальные СК, связанные с каждым из тел.

3.5.11.4. Визуальное назначение тел, точек присоединения и локальных систем координат

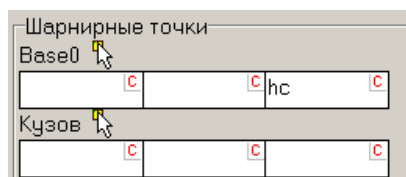




Рис. 3.194. Шарнирные точки

Можно использовать **визуальное назначение точек присоединения и ЛСК**. Для этого в анимационном окне должен быть включен режим выбора элемента с помощью мыши

(кнопка  на панели инструментов). Последовательность визуального назначения точек и ЛСК следующая:

- предварительно телам назначаются точки связи, п. 3.5.9.6. "Точки связи", с. 3-168;
- для визуального назначения элементу тела и точки присоединения (или ЛСК) щелкните на кнопке  инспектора (рис. 3.194) и выберите мышкой точку, ориентированную точку или вектор в анимационном окне.

Обратите внимание, что при включении режима визуального назначения точки связи анимационное окно автоматически переходит в режим изображения полного объекта, п. 3.4.1.2.2. "Режимы анимационного окна", с. 3-30.

Замечание 1. Тип выбираемой точки связи зависит от типа элемента. Например, описание обобщенного линейного силового элемента использует как ориентированные, так и обычные точки связи. Описание биполярных сил использует две обычные точки. При описании шарниров и специальных сил могут использоваться векторы.

Замечание 2. Если для описания элемента достаточно выбора точки связи, то могут быть выбраны и ориентированные точки, и векторы. При этом дополнительная информация, предоставляемая этими точками связи, игнорируется. Если для описания требуется вектор, то допускается использование и ориентированной точки связи, при этом в качестве вектора выбирается ось Z ЛСК.



3.5.11.5. Автоопределение

Режим автоопределения может быть установлен для большинства типов силовых элементов: биполярный элемент, скалярный момент, обобщенный линейный элемент, сайлент-блок, контакт точки-плоскость и т.д. При включенном режиме автоопределения координаты точки прикрепления элемента ко второму телу (или ЛСК второго тела) задаются в СК первого тела (при нулевых значениях координат!).

В частности, режим автоопределения активно используется при использовании внешних элементов в случае описания модели деревом подсистем, п. 3.5.3.3.1. "Внешние элементы. Автоопределение", с. 3-99.

3.5.11.6. Преобразование координат

Поскольку координаты точек прикрепления задаются в системе координат тела, полезным является инструмент пересчета координат точек в СК разных тел. Для вызова окна преобразований выберите команду меню **Инструменты | Преобразование координат** или используйте сочетаний клавиш Alt+T (рис. 3.195).

Выберите тела с помощью выпадающего списка и задайте координаты в СК одного из тел (так, где координаты точки известны). После этого щелкните на кнопке  (если координаты точки известны для первого тела) или на кнопке  (если координаты точки известны для второго тела) и координаты точки рассчитаются в СК другого тела. Аналогично можно рассчитывать проекции одного и того же вектора на оси СК разных тел.

Тип преобразования				
<input checked="" type="radio"/>	Координаты точки	<input type="radio"/>	Проекция вектора	
Первое тело				
Base0	9	0.17	1.01	
Второе тело				
Bogie1.Bogie	-0.5	0.17	1.47	

Рис. 3.195. Пример преобразования координат из СК0 в СК рамы тележки

3.5.12. Ввод силовых элементов

3.5.12.1. Ввод силы тяжести

Для задания силы тяжести используется вкладка инспектора Объект. См. п. 3.4.2.1.1. "Вкладка «Объект»", с. 3-35 для отключения тяжести, изменения направления силы тяжести и ускорения свободного падения.

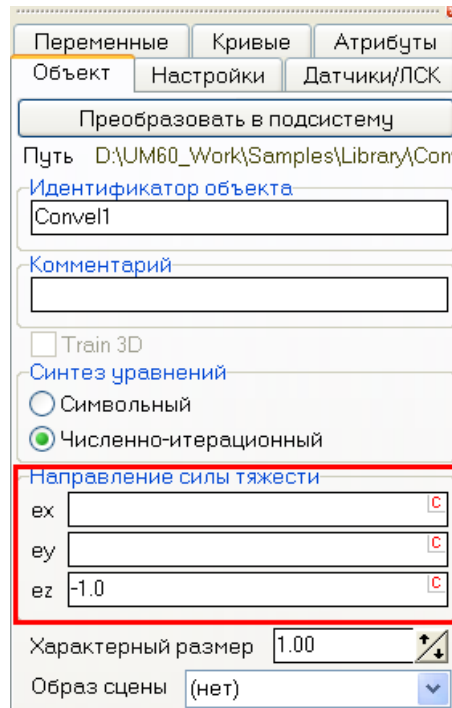


Рис. 3.196. Задание направления силы тяжести

3.5.12.2. Описание скалярных сил

Математические модели скалярных сил описаны в [Главе 2](#), п. *Типы скалярных сил*. Скалярные силы используются при задании многих типов силовых взаимодействий:

- шарнирная сила, п. 3.5.10.7.3. *"Элементарные преобразования tv , rv "*, с. 3-195,
- скалярный момент, п. 3.5.12.4. *"Ввод скалярного момента"*, с. 3-233,
- биполярный силовой элемент, п. 3.5.12.3. *"Ввод биполярных силовых элементов"*, с. 3-232,
- обобщенный сайлент-блок, п. 3.5.12.8.7.2. *"Задание параметров обобщенного сайлент-блока"*, с. 3-276,
- осевая сила для элемента - комбинированное трение, п. 3.5.12.8.3.5. *"Задание модели осевой силы"*, с. 3-262.

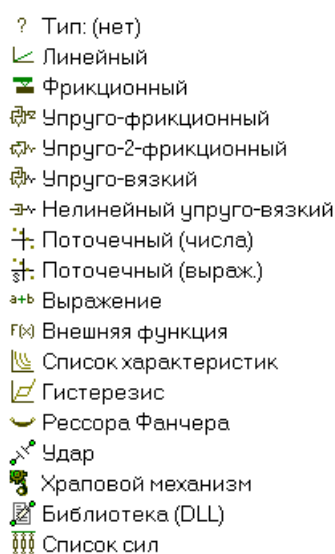


Рис. 3.197. Список типов скалярных сил

Ниже рассмотрено задание параметров скалярных сил различных типов, рис. 3.197.

3.5.12.2.1. Линейный силовой элемент

Общая информация о данном силовом элементе содержится в [Главе 2](#). п. Типы скалярных сил | Линейная модель силы.

Label	Value
F0	0
c	cStiff
x0	x0
d	cDiss
Q	0
w	0
a	0

Рис. 3.198. Параметры линейного силового элемента, задающего упруго-диссипативный элемент

Поля окна задания элемента соответствуют параметрам элемента:

- **F0** – постоянная составляющая силы;
- **c** – коэффициент жесткости;
- **c** – коэффициент диссипации;
- **x0** – значение координаты при нулевом значении упругой составляющей;
- **Q, w, a** – амплитуда, частота (рад/с) и начальная фаза гармонического возбуждения.

Все параметры – постоянные символьные выражения, см. п. 3.4.2.4.4. "*Функция инерционных параметров bodyinertia*", с. 3-51.

3.5.12.2.2. Фрикционный и упруго-фрикционный элементы

Общая информация о биполярных силовых элементах данных типов содержится в [Главе 2](#). пп. *Биполярные силы | Фрикционная модель силы, Биполярные силы | Упруго – фрикционная модель силы.*

F	ForceValue	<input type="text"/>
f0/f	1.2	<input type="text"/>
cStiff	cStiffSticktion	<input type="text"/>
cDiss	cDampSticktion	<input type="text"/>

Рис. 3.199. Параметры фрикционного силового элемента

Для описания элемента следует задать

- Значение силы трения F ;
- Отношение коэффициента трения покоя к коэффициенту трения скольжения f_0/f ;
- Коэффициент жесткости в режиме сцепления $cStiff$.
- Коэффициент диссипации в режиме сцепления $cDiss$.

Все параметры задаются в виде общих постоянных символьных выражений, см. п. 3.4.2.4.4. "*Функция инерционных параметров $bodyinertia$* ", с. 3-51.

3.5.12.2.3. Упруго-фрикционный элемент 2

Общая информация о биполярных силовых элементах данных типов содержится в [Главе 2](#). п. *Биполярные силы | Упруго – фрикционная сила 2*.

Для описания элемента следует задать

- коэффициент трения скольжения f ;
- коэффициент трения покоя f_0 ;
- коэффициент жесткости первой пружины c_1 ;
- коэффициент жесткости второй пружины c_2 ;
- длину элемента в недеформированном состоянии.

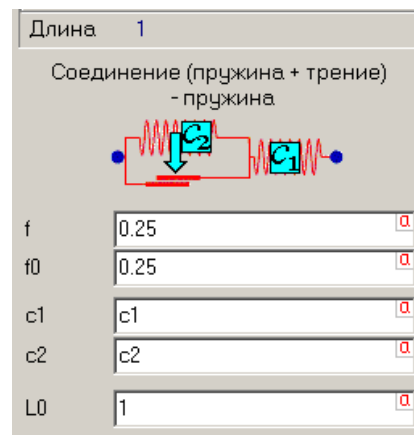


Рис. 3.200. Параметры упруго-фрикционного силового элемента 2

Все параметры задаются в виде общих постоянных символьных выражений, см. п. 3.4.2.4.4. "*Функция инерционных параметров bodyinertia*", с. 3-51.

3.5.12.2.4. Упруго-вязкий элемент

Общая информация о силовых элементах данных типов содержится в [Главе 2](#), п. Типы скалярных сил | Последовательно-параллельное соединения упругости и демпфирования.

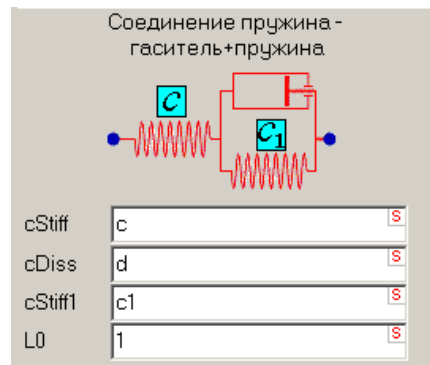


Рис. 3.201. Параметры упруго вязкого силового элемента

Для описания элемента следует задать

- коэффициент жесткости последовательной пружины $cStiff$ (Н/м), на рисунке – c ;
- коэффициент диссипации $cDiss$ (Нс/м);
- коэффициент жесткости параллельной пружины $cStiff1$ (Н/м), на рисунке – c_1 (может принимать нулевое значение);
- длина элемента в ненапряженном состоянии $L0$ (игнорируется при $c_1=0$).

Параметры задаются в виде общих постоянных символьных выражений, см. п. 3.4.2.4.4. "Функция инерционных параметров *bodyinertia*", с. 3-51.

3.5.12.2.5. Нелинейный упруго-вязкий элемент

Общая информация о силовых элементах данных типов содержится в [Главе 2](#), п. Типы скалярных сил | Нелинейный упруго-диссипативный элемент.

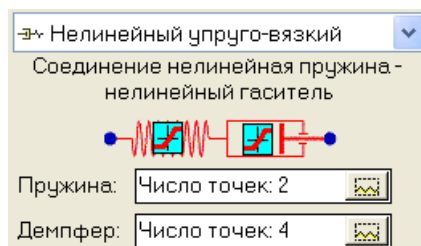


Рис. 3.202. Параметры элемента

Описание силового элемента включает зависимости силы в пружине от прогиба и силы в демпфере от скорости. Для задания зависимостей следует в редакторе кривых указать координаты точек на графике (см. п. 3.4.3. "Список идентификаторов", с. 3-78, рис. 3.203, рис. 3.204), для вызова которого используется кнопка

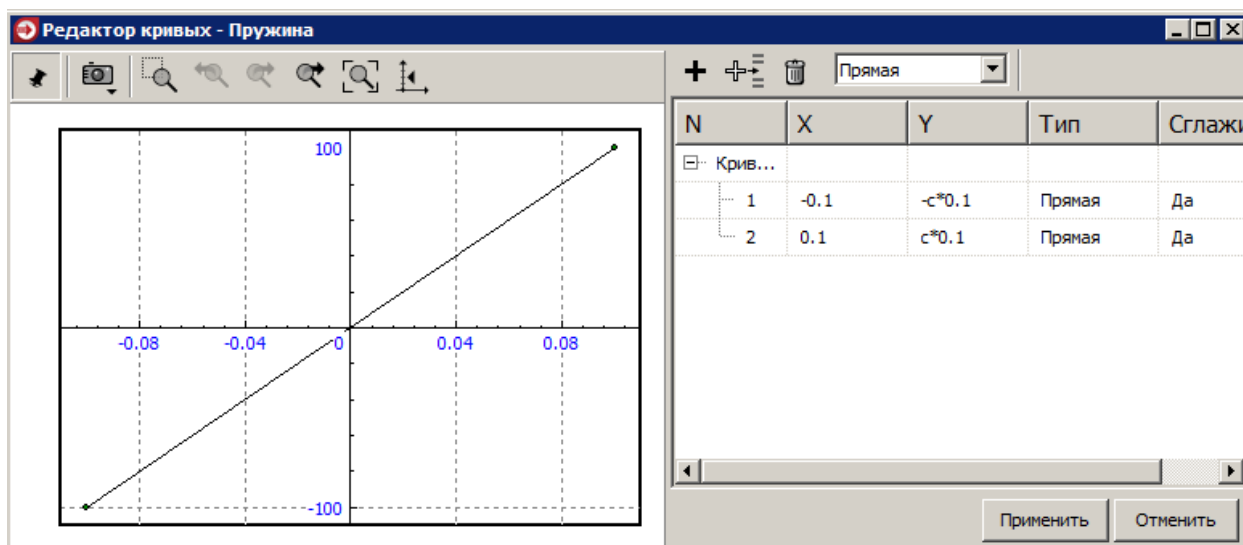


Рис. 3.203. Параметризованная модель линейной пружины

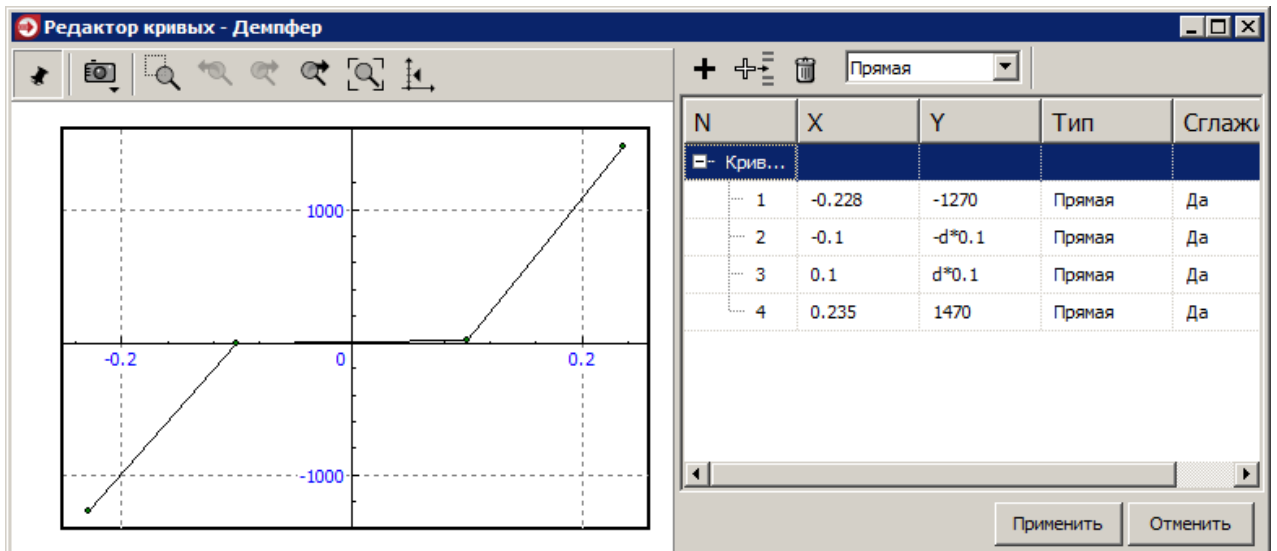


Рис. 3.204. Параметризованная модель нелинейного демпфера

При задании характеристик допускается использование параметризованных выражений. Для сглаживания кривых могут быть использованы сплайны и В-сплайны


3.5.12.2.6. Поточечное (числа) задание силы

Общая информация о силовых элементах данных типов содержится в [Главе 2](#). п. *Типы скалярных сил* | *Поточечная модель силы*.

The image shows a software dialog box titled "Поточечный (числа)". It contains several configuration options:

- Тип зависимости:** Radio buttons for x (selected), v , t , and var .
- Сжатие положительно
- Тип привязки графика:** Radio buttons for "По абсциссе" (selected) and "По силе".
- Длина (L): Input field with value 0.
- Точка X(L)/F(L): Input field.
- Периодическая зависимость
- Задержка цикла: Input field with value 0.
- Задание силы: Dropdown menu with "нет" selected and a graph icon.
- Множитель: Input field with value 1.

Рис. 3.205. Параметры поточечно заданной силы

Для задания силы в виде графика, заданного координатами точек, применяется редактор кривых (см. п. 3.4.3. "*Список идентификаторов*", с. 3-78, рис. 3.206), для вызова которого используется кнопка .

Сила может зависеть

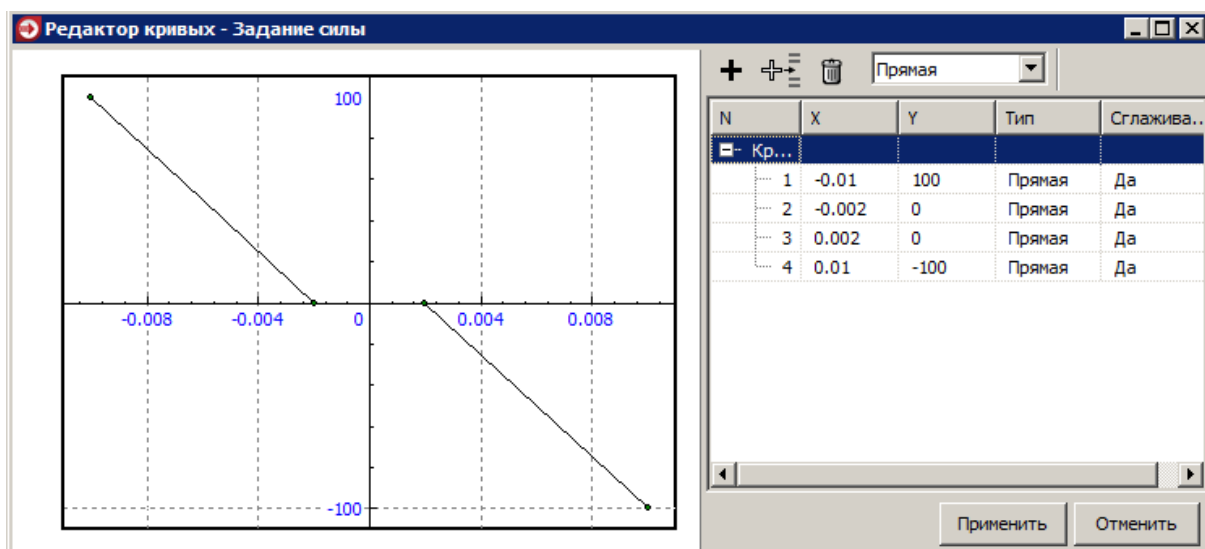
- от длины элемента x ,
- скорости ее изменения v ,
- от времени t ,
- от переменной, созданной пользователем, п. 3.4.2.4.8. "*Список переменных*", с. 3-67.

Для выбора нужной зависимости используется группа *Тип зависимости*.

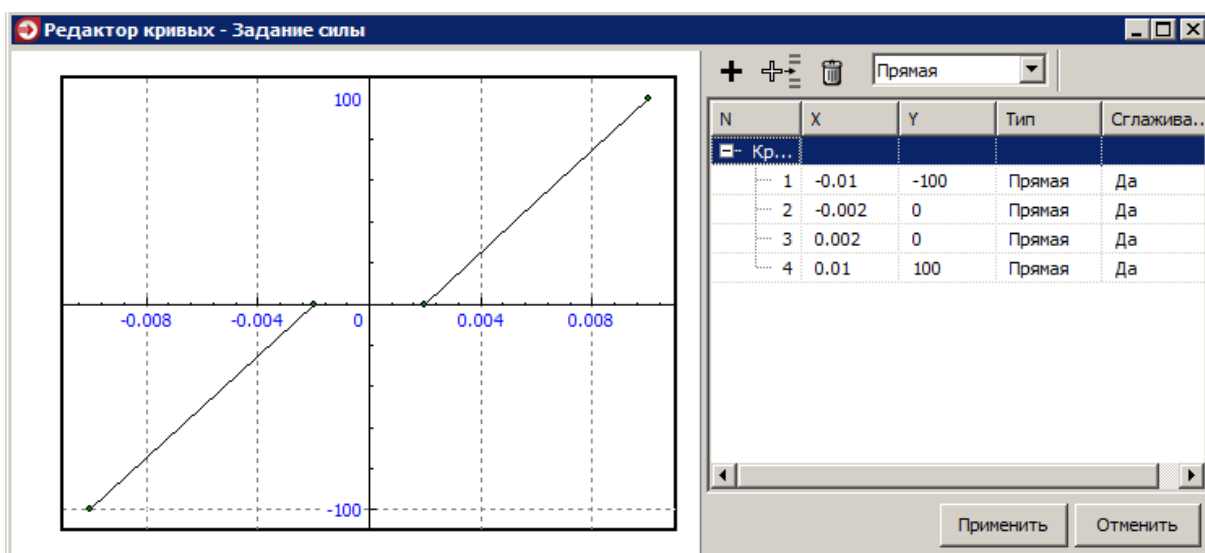
Параметр **Множитель** позволяет умножать весь введенный график на число. Таким образом, можно выключать силы, переводить силы, заданные в килоньютонах в ньютонны и так далее. Обычно для множителя вводится идентификатор.

3.5.12.2.6.1. Зависимость силы от x , v , t

Ключ **Сжатие положительно** используется для выбора положительного изменения абсциссы на графике задания силы. При *выключенном* ключе (значение по умолчанию) абсцисса **возрастает** при увеличении длины (координаты), при этом, как правило, значение силы **уменьшается** при росте абсциссы. При *включенном* ключе, наоборот, уменьшение длины (координаты) соответствует росту абсциссы, как правило, сила растет при росте абсциссы. Одному и тому же закону изменения силы при включенном и выключенном ключе соответствуют зеркально отраженные графики относительно вертикальной оси, проходящей через **точку привязки** на оси абсцисс.



а)



б)

Рис. 3.206. Упругий биполярный элемент с суммарным зазором 4 мм при выключенном (а) и включенном (б) ключе «Сжатие положительно»

Привязка графика по абсциссе

При описании биполярного элемента, создающего силу в зависимости от длины элемента, часто используется понятие привязки графика по абсциссе. Для этого следует указать, какой точке на абсциссе графика соответствует длина элемента, заданная в поле **L**, рис. 3.205 (как правило – это длина элемента при нулевых значениях координат). Задавать точку на оси абсцисс можно двумя способами, при этом способ выбирается в группе **Тип привязки графика**, рис. 3.205. Если выбрано значение **По абсциссе**, то в поле **X(L)/F(L)** напрямую задается значение координаты X, которая соответствует длине L (часто это значение равно нулю). Если выбрано значение **По силе**, то следует задать значение силы при длине элемента L, при том программа автоматически рассчитает соответствующее значение X. Естественно, в последнем случае пользователь должен проследить за существованием и однозначностью решения, то есть возможности однозначно определить X по значению силы F.

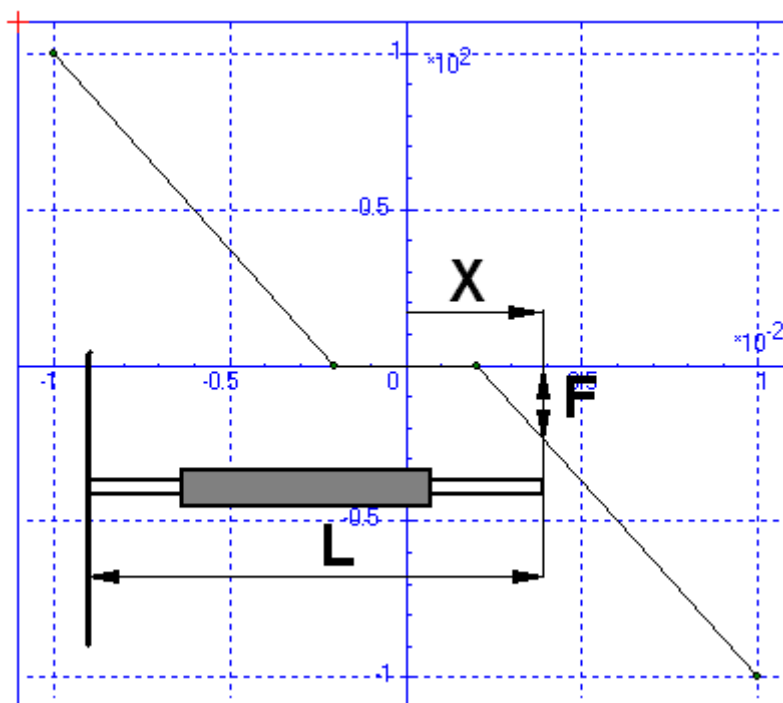


Рис. 3.207. К понятию привязки графика по абсциссе. Опция **Сжатие положительно** не включена.

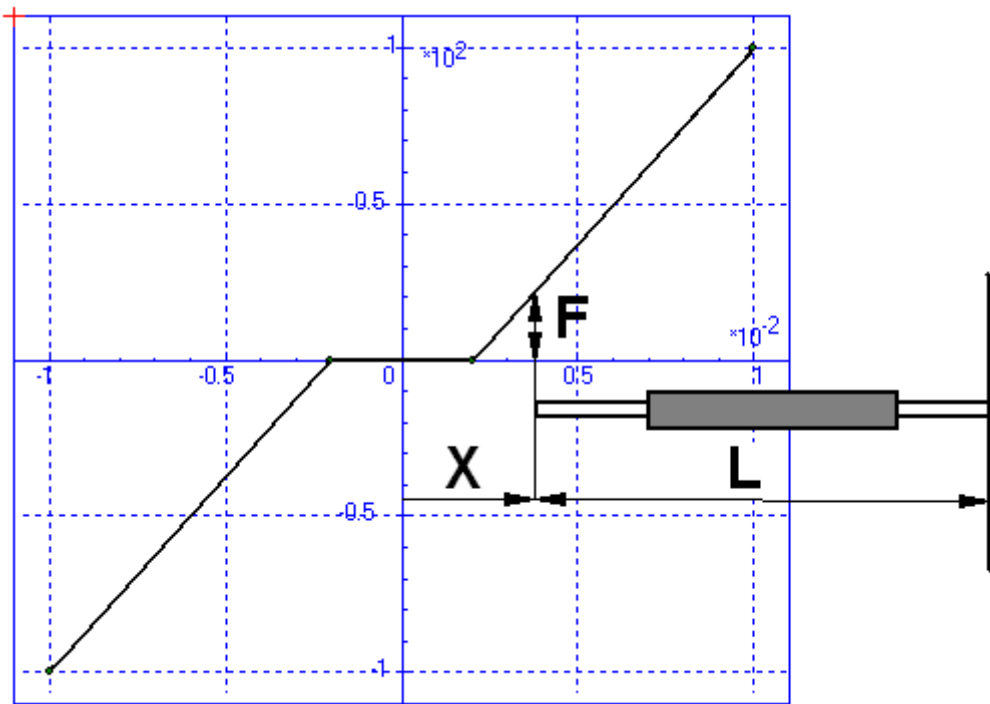


Рис. 3.208. К понятию привязки графика по абсциссе. Опция **Сжатие положительно** включена.

Для внесения текстовых экспериментальных данных заданных поточечно, в том числе и в зависимости от времени, используется буфер обмена (см. п. 3.4.4.7. *"Использование буфера обмена для создания кривой"*, с. 3-89).

3.5.12.2.6.2. Задание индикаторных диаграмм

Зависимость силы от переменной пользователя используется, главным образом, для задания периодических индикаторных диаграмм (ключ Периодическая зависимость), в которых зависимость дается не от текущей координаты, а от угла поворота другого звена. Например, x – это шарнирная координата смещения поршня, а сила зависит от угла поворота кривошипа, рис. 3.209.

Переменные		
Тип	Имя	выражение
var	CrankAngle	coordinate("jcrank", 1, 0)

Рис. 3.209. Пример задания индикаторной диаграммы

3.5.12.2.7. Поточное (выражения) задание силы

Общая информация об элементах данных типов содержится в [Главе 2](#). п. *Типы скалярных сил | Поточечная модель силы.*

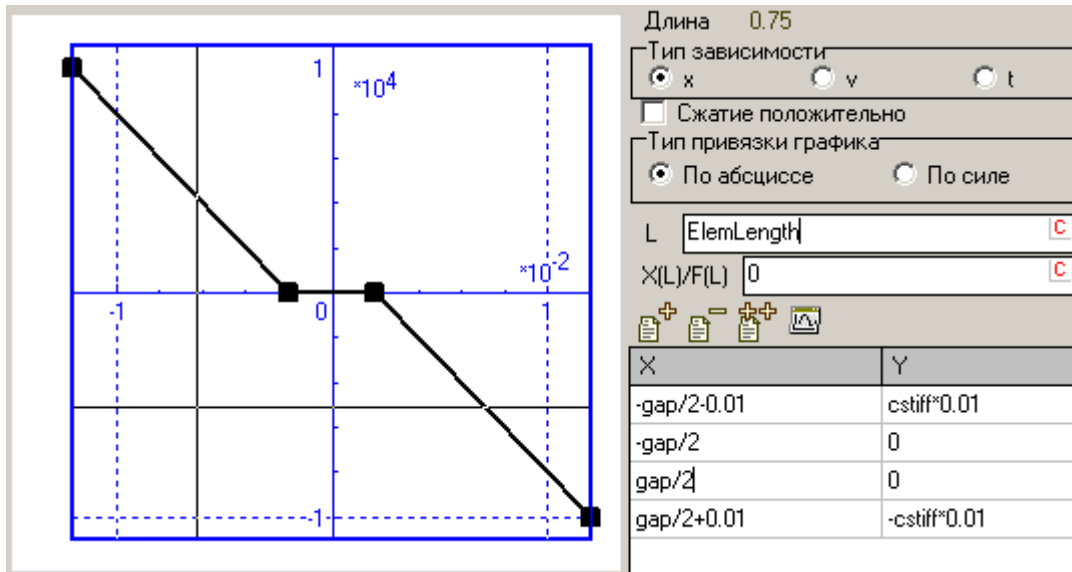


Рис. 3.210. Упругий биполярный элемент длиной 0.75 м с суммарным зазором, заданным идентификатором *gap*

Сила аналогична предыдущей, однако координаты точек как по оси абсцисс, так и по оси ординат могут быть представлены постоянными выражениями.

Для добавления, удаления и копирования точек используются кнопки . Кнопка применяется для просмотра введенной зависимости в графическом окне.

В приведенном примере реализована та же кусочно-линейная упругая сила с зазором, что в предыдущем пункте, однако параметризация зазора, длины элемента и коэффициента жесткости позволяет изменять параметры элемента при моделировании.

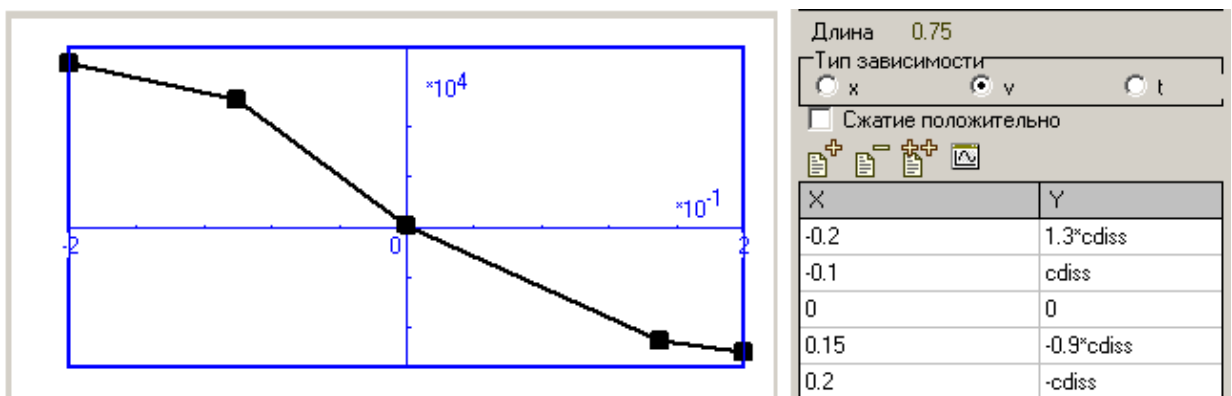


Рис. 3.211. Нелинейный диссипативный элемент. Опция **Сжатие положительно** не включена.

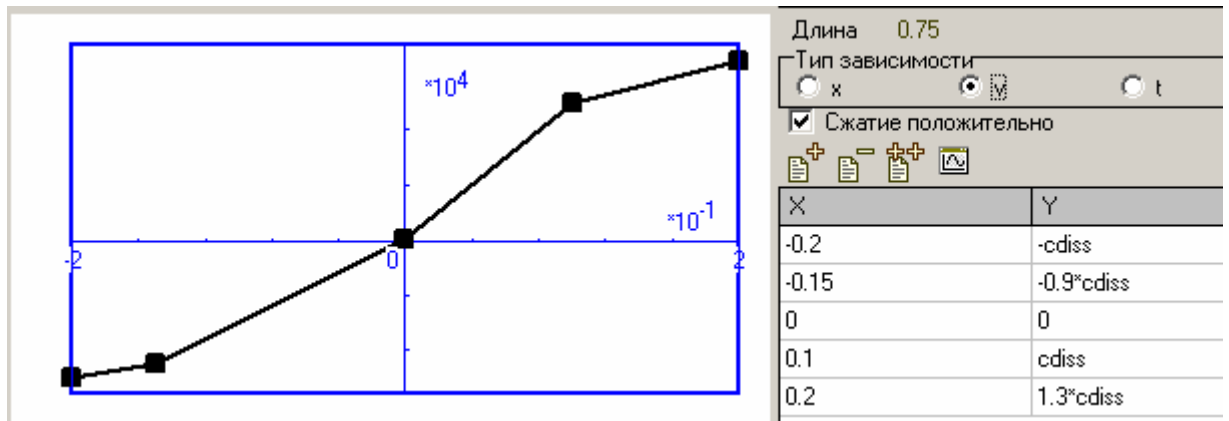
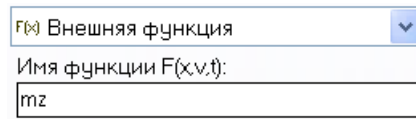


Рис. 3.212. Нелинейный диссипативный элемент. Опция **Сжатие положительно** включена.

3.5.12.2.8. Внешняя функция

Следует указать имя функции, в которой будет рассчитываться значение силы. Шаблон функции включается в файл управления. Пользователь должен запрограммировать расчет силы, п. 3.4.2.4.10. "Внешние функции", с. 3-70. Одна и та же внешняя функция может быть использована при задании любого числа скалярных сил.



The image shows a software interface for defining an external function. It consists of three main elements: a dropdown menu at the top with the text "F(x) Внешняя функция" and a downward arrow; a label "Имя функции F(x,v,t):" below the dropdown; and a text input field at the bottom containing the text "mz".

Рис. 3.213. Пример задания внешней функции

3.5.12.2.9. Выражение

Модель силы задается аналитическим выражением, включающим

- идентификаторы,
- x , v , t – длину элемента, шарнирную координату или угол поворота x (в зависимости от типа элемента), производную от x (v), и время t .
- кинематические функции положений и скоростей тел, п. 3.4.2.4.7. "Кинематические функции", с. 3-55.
- стандартные функции, п. 3.4.2.4.3. "Стандартные функции и константы", с. 3-50;
- элементы списка переменных, п. 3.4.2.4.8. "Список переменных", с. 3-67.

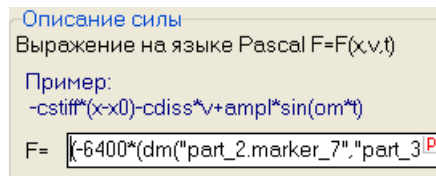


Рис. 3.214. Пример задания силы с помощью выражения

Пример: комбинированная линейная упруго-диссипативная сила


$$-cstiff*(x-x0)-cdiss*v,$$

где $cstiff$, $cdiss$ – коэффициенты линейной жесткости и диссипации, заданные идентификаторами, $x0$ – длина/координата в ненапряженном состоянии элемента.

3.5.12.2.10. Список характеристик

Описание модели силы см. в [Главе 2](#), п. *Типы скалярных сил* | *Список характеристик*.

Порядок ввода данных:

- указать **тип аргумента** (координата, скорость или время);
- щелчком на кнопке  открыть редактор и создать список кривых; для того, чтобы начать новую кривую в редакторе следует дважды щелкнуть мышкой на достаточном удалении от введенных кривых и подтвердить создание новой кривой; следует помнить, что кривые нумеруются в порядке последовательности ввода;
- задать **идентификатор кривой**, численное значение которого определяет характеристики, по которым будет рассчитываться значение силы;
- при необходимости ввести множители k_x , k_y для абсциссы и ординаты;
- задать тип изменения идентификатора кривой: **дискретный** или **непрерывный**; в последнем случае должна быть видна галочка.

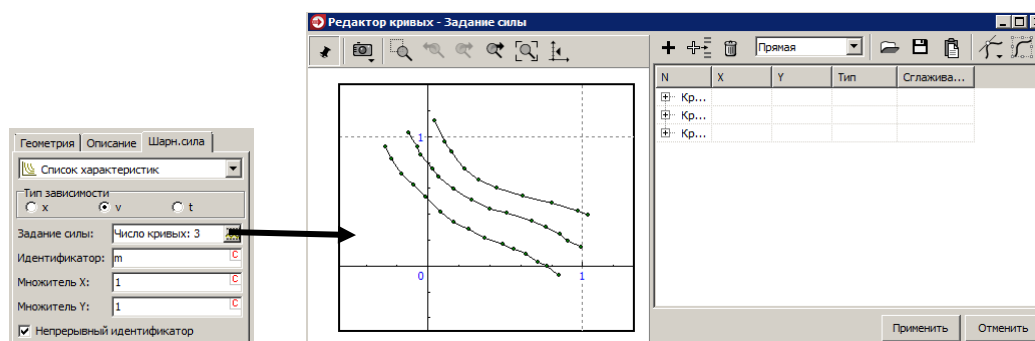


Рис. 3.215. Пример задания силы с помощью списка характеристик

3.5.12.2.11. Рессора Фанчера

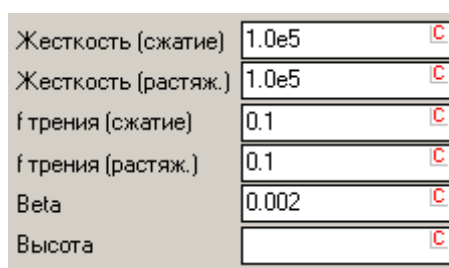


Рис. 3.216. Параметры рессоры Фанчера

Математическая модель элемента этого типа подробно описана в [Главе 2](#), п. *Рессора Фанчера*.

Модель имеет следующие параметры:

Жесткость (сжатие) – вертикальная жесткость в сжатом состоянии, c ;

Жесткость (растяж.) – вертикальная жесткость в растянутом состоянии, c ;

f трения – модуль силы трения, f ;

Beta – коэффициент затухания β ;

Высота – высота рессоры в недеформированном состоянии;

Все величины могут быть параметризованы, см. п. 3.4.2.4.4. "*Функция инерционных параметров bodyinertia*", с. 3-51.

Замечание. Пользователь должен помнить, что любой биполярный элемент имеет вырождение при нулевой длине. Поэтому, высота рессоры Фанчера (длина биполярного элемента) должна быть минимум в два раза больше максимального укорочения в динамике, даже если реальный прототип рессоры имеет меньшую высоту.

Модель: [{Данные УМ}\Samples\Library\Fancher.](#)

3.5.12.2.12. Гистерезис

Математическая модель элемента этого типа описана в [Главе 2](#), п. *Типы скалярных сил / Гистерезис*.

Тип работы элемента

Растяж.
 Сжатие
 Симм.

L 1 C

	X	Y
1	0	0
2	clearance	0
3	clearance+F0/C0	F0
4	clearance+F0/C0+d_max	Fmax
5	clearance+F0/C0+d_max-(FMax-2*F0)/C0	2*F0
6	clearance+F0/C0+d_max+Fmax/c0	2*Fmax
7	clearance+F0/C0+Fmax/4/C0	Fmax/4

Участок	Точки	Порядок
Пред.нагрузка	1,2,3	1
Разгрузка	3,5	1
Нагрузка	7,4	1
Нач.нагрузка	3,7	1
Нач.разгрузка	5,4	1
Стоп	4,6	1

Рис. 3.217. Пример окна ввода данных для элемента гистерезисного типа

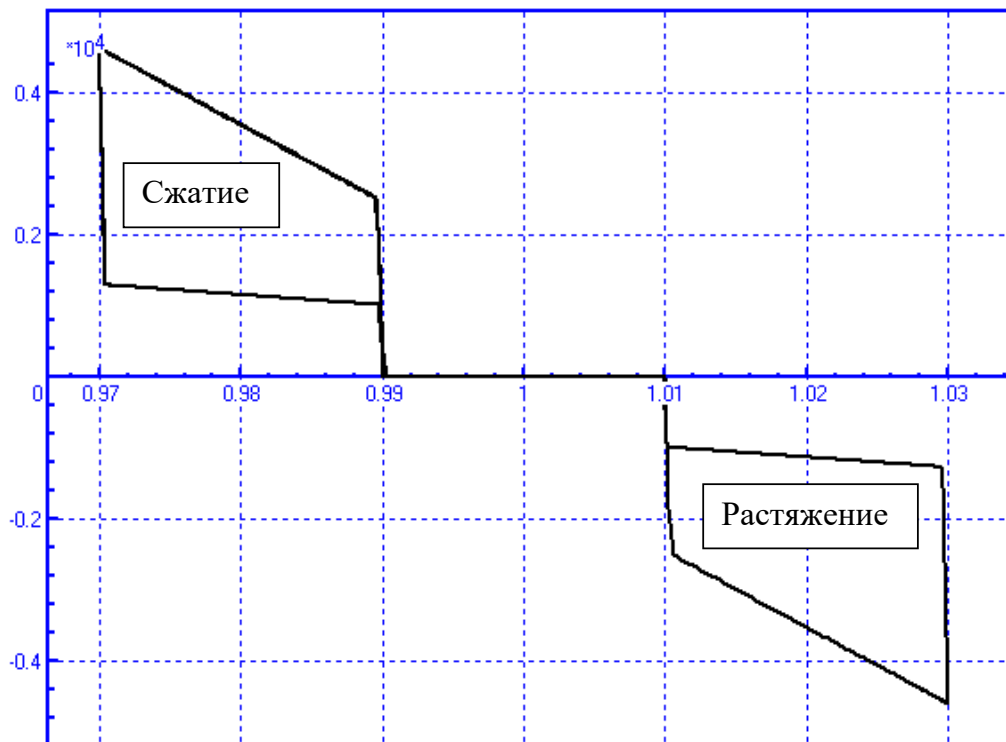


Рис. 3.218. Пример зависимости значения биполярной силы типа гистерезис от длины элемента при симметричной работе относительно длины 1 м

Группа **Тип работы элемента**

- **растяжение** – элемент работает только при значениях координаты, больших значения, заданного в поле **L**;
- **сжатие** – элемент работает только при значениях координаты, меньших значения, заданного в поле **L**;
- **симм(метрично)** – элемент работает симметрично на растяжение и сжатие.

Поле **L** – длина элемента/координата, соответствующая началу отсчета на оси абсцисс при задании точек.

Кнопки работы со списком точек

- добавить точку,
- скопировать выделенную точку,
- удалить выделенную точку,
- открыть окно с графиком гистерезиса,
- проверить правильность описания элемента.

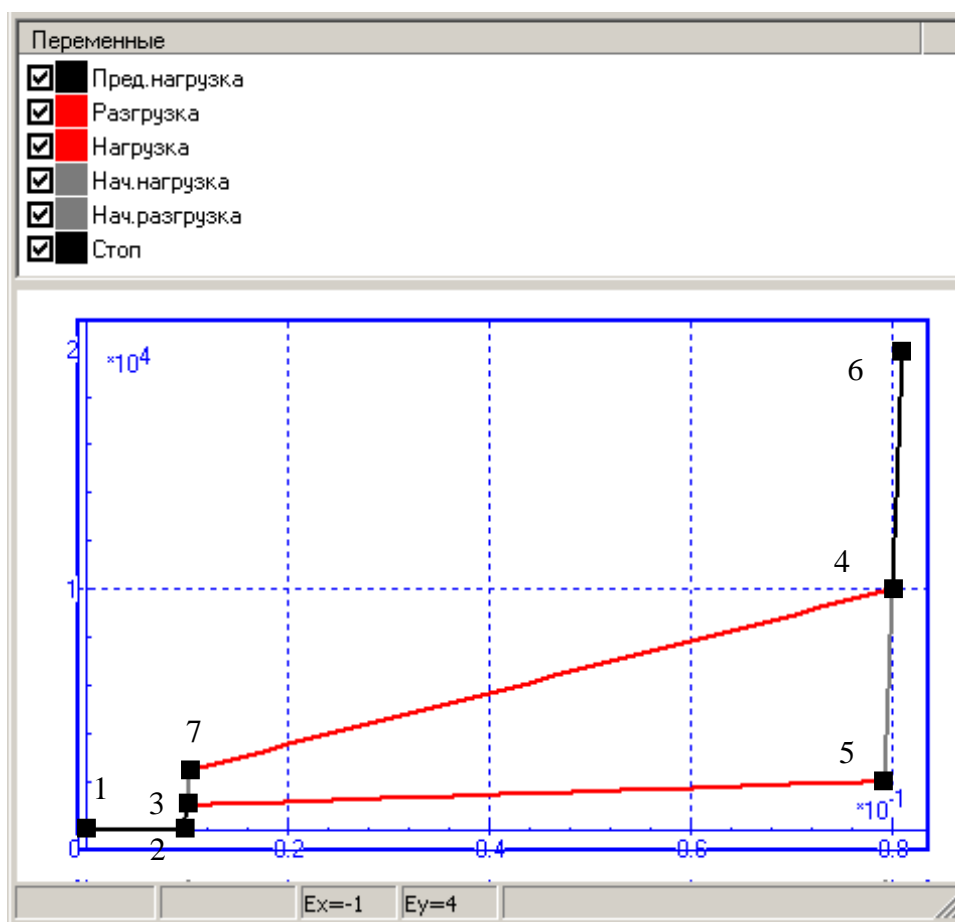


Рис. 3.219. Пример окна с изображением введенных данных

Координаты точек могут быть параметризованы, см. п. 3.4.2.4.4. "Функция инерционных параметров *bodyinertia*", с. 3-51.

В нижней таблице окна ввода данных через запятую указываются номера точек из списка, задающих кривые гистерезиса, а также порядок интерполяционного полинома, используемого для сглаживания кривых (при значении порядка 1 кривые являются ломаными).

Более подробную информацию можно получить в [Главе 2](#), п. *Типы скалярных сил / Гистерезис*.

3.5.12.2.13. Удар

Математическая модель элемента этого типа подробно описана в [Главе 2](#), п. *Удар*.

Модель имеет следующие параметры:

- **L** – длина элемента при выбранном зазоре, l ;
- **cStiff** – коэффициент контактной жесткости, c ;
- **cDiss** – коэффициент контактной диссипации, d ;
- **dLDiss** – величина внедрения, при котором коэффициент диссипации достигает своего максимального значения **cDiss**, Δd ;
- **eStiff** – в настоящей версии программы не используется (полагается равным 1 независимо от того, какое значение введено в поле).

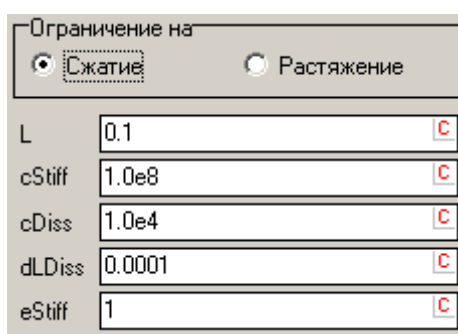


Рис. 3.220. Параметры элемента «Удар»

Все величины могут быть параметризованы, см. п. 3.4.2.4.4. "*Функция инерционных параметров bodyinertia*", с. 3-51.

Элемент может работать в двух режимах: как ограничитель (1) на сжатие и (2) на растяжение. Рассмотрим случай работы на сжатие. Пока длина элемента больше или равна **L**, сила равна нулю; как только длина элемента становится меньше **L**, возникает упруго-диссипативная упорная сила. Для случая работы на растяжение сила в упоре возникает, если длина элемента больше **L**.

Если силовой элемент типа *Удар* работает как шарнирная сила, тогда параметр **L** имеет смысл ограничителя на шарнирную координату. Таким образом, например, парой сил типа *Удар*, один из которых ограничивает растяжение (увеличение координаты), а второй на сжатие (уменьшение координаты), можно ограничить угол поворота в шарнире.

Размерности параметров для биполярных и шарнирных по поступательным и вращательным степеням свободы даны в таблице ниже.

Параметр	Размерность	
	Биполярная и шарнирная сила по поступательной степени свободы	Шарнирная сила по вращательной степени свободы
L	м	рад
cStiff	Н/м	Нм/рад
cDiss	Нс/м	Нмс/рад
dLDiss	м	рад

3.5.12.2.14. Храповой механизм

Силовой элемент блокирует изменение координаты x в направлении, заданном пользователем. Математическая модель элемента этого типа описана в [Главе 2](#), п. *Храповой механизм*.

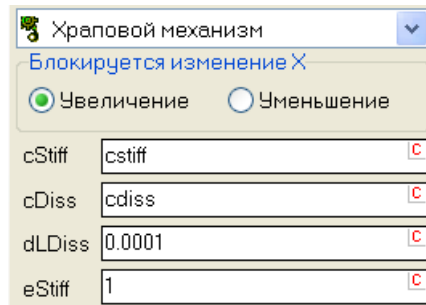


Рис. 3.221. Параметры элемента «Храповой механизм»

Модель силы имеет следующие параметры:

- **Направление блокировки:** увеличение или уменьшение координаты x ;
- **cStiff** – коэффициент блокирующей жесткости, c ;
- **cDiss** – коэффициент блокирующей диссипации, d ;
- **dLDiss** – величина внедрения бри блокировании, при котором коэффициент диссипации достигает своего максимального значения **cDiss**, Δ_d ;
- **eStiff** – в настоящей версии программы не используется (полагается равным 1 независимо от того, какое значение введено в поле).

Все величины могут быть параметризованы, см. п. 3.4.2.4.4. "*Функция инерционных параметров bodyinertia*", с. 3-51.

Размерности величин зависят от размерности координаты x и приведены в п. 3.5.12.2.13. "*Упруго-фрикционный элемент 2*", с. 3-210.

Модели:

[{Данные УМ}\Samples\Library\Ratchet;](#)

[{Данные УМ}\Samples\Library\ChainGear.](#)

3.5.12.2.15. Библиотека DLL

Элемент осуществляет доступ к моделям и параметрам скалярных сил, реализованных пользователем в виде динамических библиотек и размещенных в каталоге {Данные УМ}\[x32|x64]\lib\bfrc.

Подробнее см. в [Главе 2](#), п. Скалярные силы типа Библиотека (DLL) и в [Главе 5](#), п. Скалярные силы типа Библиотека (DLL)

Примеры проектов на Delphi:

[{Данные УМ}\Samples\Library\DLL\BfrcSample.dpr](#), рис. 3.222а

[{Данные УМ}\Samples\Library\DLL\BfrcSample1.dpr](#), рис. 3.222б

Параметры модели силовых элементов на рис. 3.222 могут быть параметризованы с помощью идентификаторов.

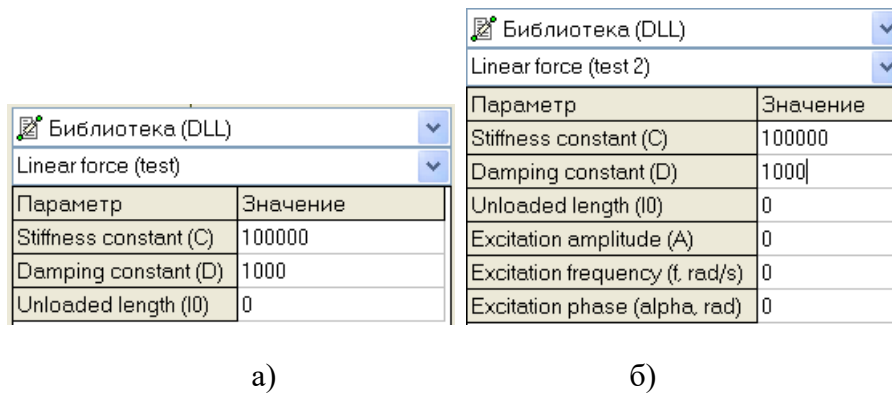



Рис. 3.222. Примеры скалярных сил, описанных с помощью динамических библиотек

3.5.12.2.16. Ввод списка сил

Данный тип силового элемента создает произвольный набор параллельно работающих силовых элементов перечисленных выше типов. Для создания, копирования и удаления отдельных составляющих используются кнопки .

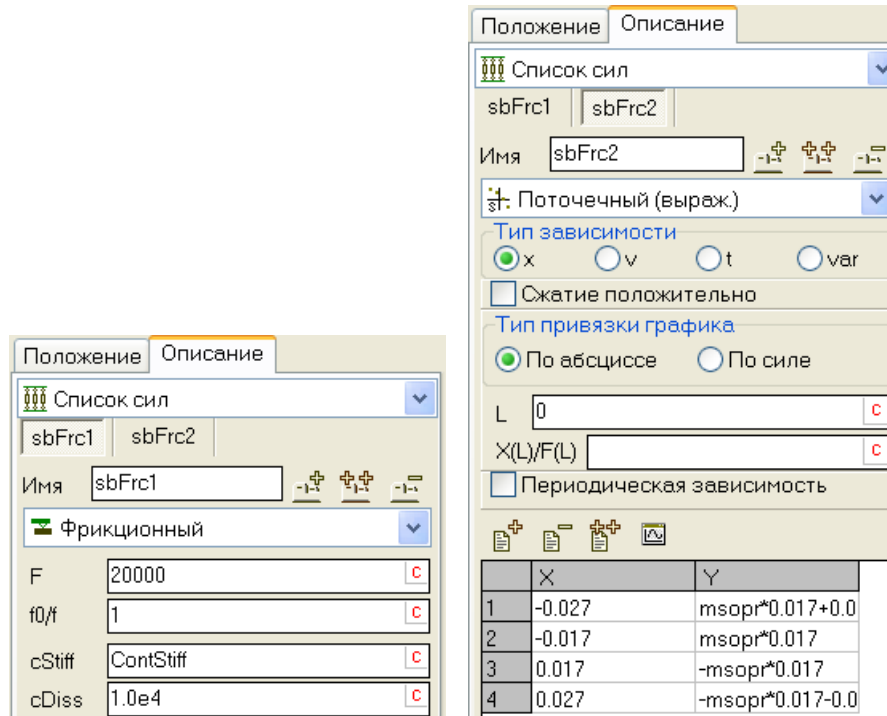


Рис. 3.223. Пример элемента «Список сил»

Замечание. В списке допускается только однократное использование силы, заданной внешней функцией.

3.5.12.3. Ввод биполярных силовых элементов

Общая информация о биполярных силовых элементах содержится в [Главе 2](#).
п. *Биполярные силы*.

Для каждого биполярного силового элемента, кроме взаимодействующих тел и точек прикрепления (п. 3.5.11. *"Общие черты ввода параметров шарниров и силовых элементов"*, с. 3-202), следует указать его тип. После выбора типа появляются поля, в которых можно задать параметры шарнирной силы, п. 3.5.12.1. *"Ввод силы тяжести"*, с. 3-206.

При задании биполярных сил часто используется их длина (например, при моделировании поводков или тяг). Значение расстояния между точками прикрепления элемента при текущем положении тел объекта автоматически рассчитывается программой, отображается в поле **Длина** и может использоваться для проверки корректности описания элемента.

Биполярному силовому элементу обычно назначается графический образ. Особенности создания соответствующего ГО рассмотрены в п. 3.5.6. *"Назначение графического образа силовым элементам и шарниру в виде невесомого стержня"*, с. 3-109.

3.5.12.4. Ввод скалярного момента

Описание скалярного момента включает следующие шаги.

- Задание взаимодействующих тел.
- Ввод дополнительных локальных систем координат СКА1 и СКВ2, рис. 3.224, слева. Для этого используется стандартный интерфейс, см. п. 3.5.4. "Стандартный интерфейс задания положения локальной системы координат", с. 3-105. Эти системы координат могут быть назначены визуально мышью с использованием заранее созданных ориентированных точек связей соответствующих тел. Системы координат отрисовываются в анимационном окне, рис. 3.224, центр. Если включен режим **Автоопределения**, то положение СКВ2 рассчитывается программой автоматически: СКВ2 совпадает с СКА1 при нулевых значениях всех координат модели.
- Выбор типа математической модели момента из стандартного списка скалярных сил, см. п. 3.5.12.1. "Ввод силы тяжести", с. 3-206.

Математическая модель элемента описана в [Главе 2](#), п. *Типы скалярных сил | Скалярный момент*.

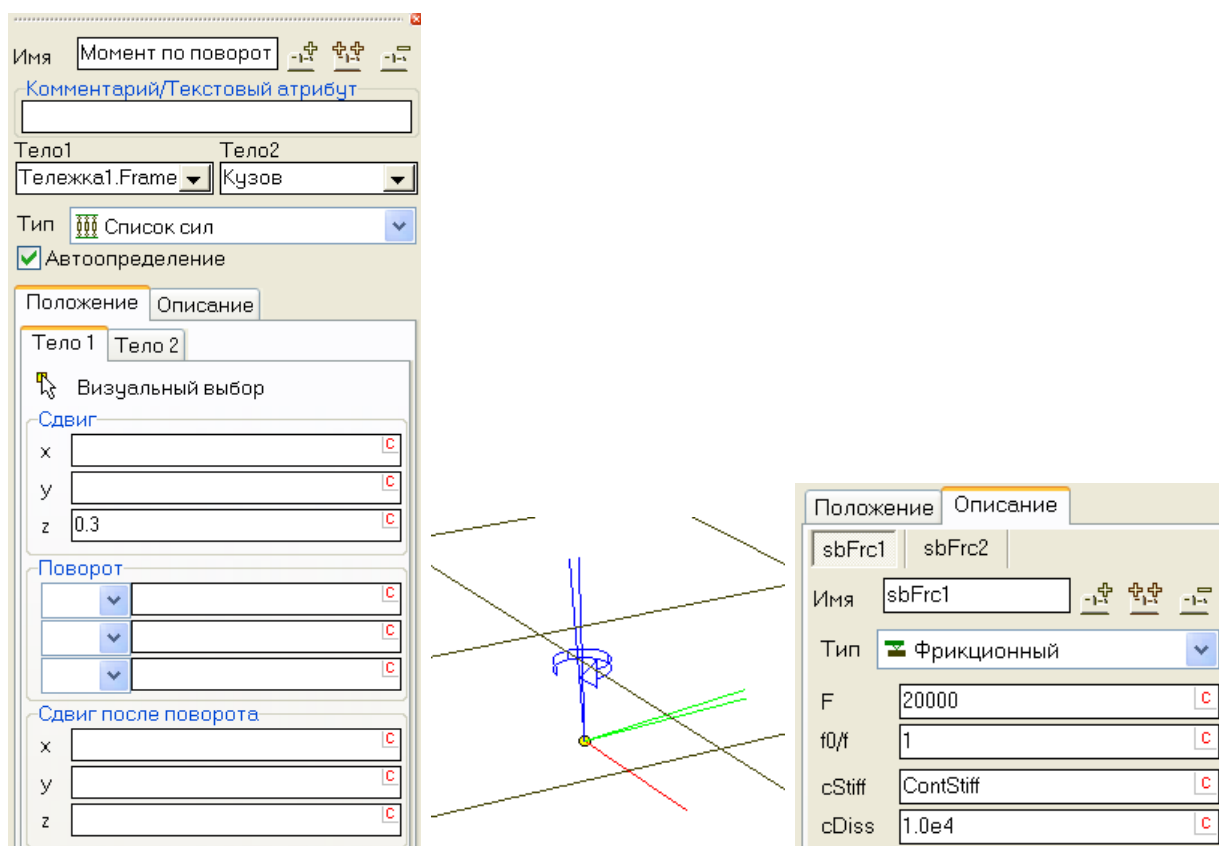


Рис. 3.224. Описание скалярного момента

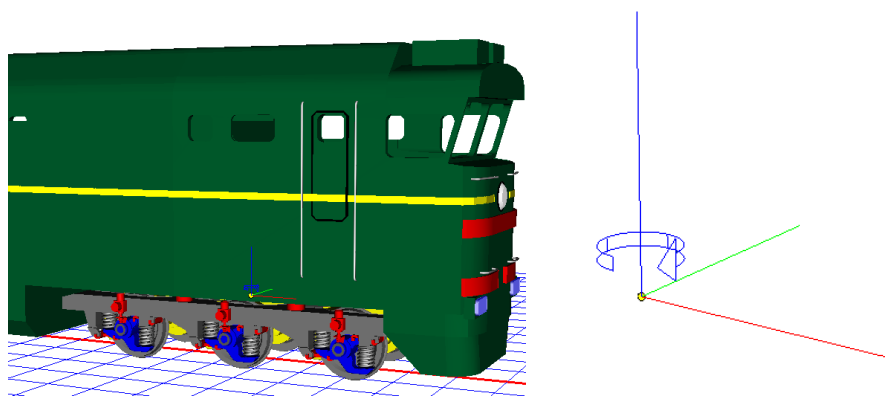


Рис. 3.225. Пример скалярного момента и его визуализация

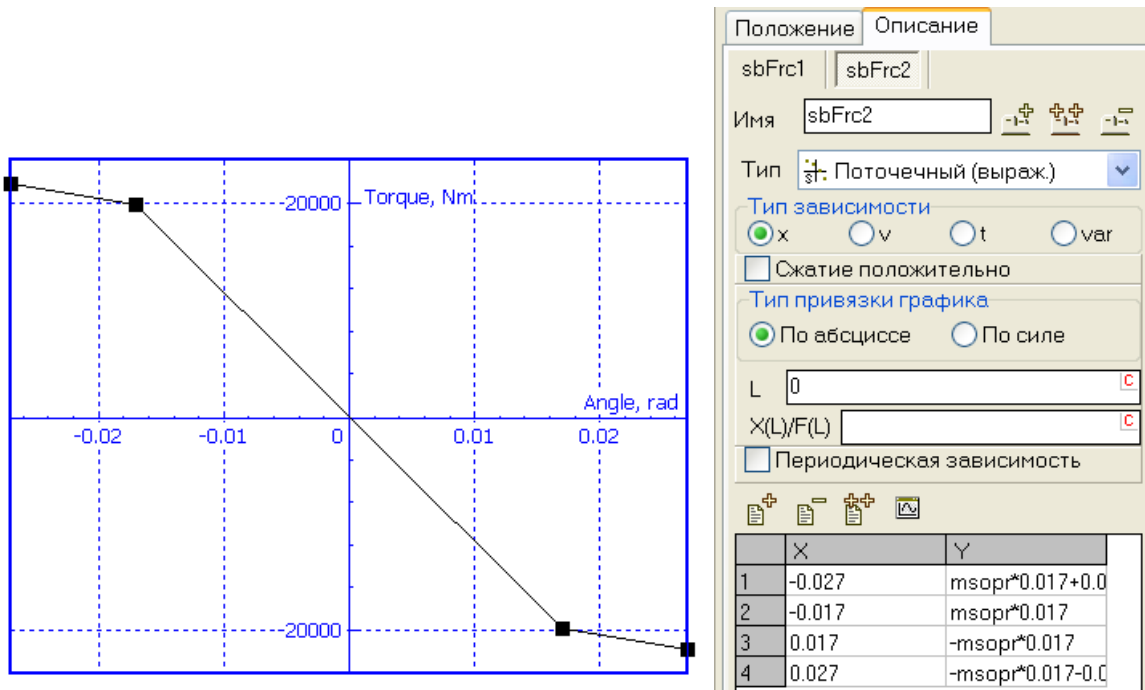


Рис. 3.226. Нелинейная упругая компонента момента

Пример. Рассмотрим пример использования скалярного момента. В модели тепловоза 2ТЭ116 при повороте кузова относительно рамы тележки возникает момент вокруг вертикальной оси, рис. 3.225. Момент имеет две компоненты. Первая является постоянным по величине фрикционным моментом 2000Нм. Вторая компонента является нелинейной восстанавливающей (упругой) силой, график которой приведен на рис. 3.226, слева. Скалярный момент имеет тип “Список сил”. Список включает два элемента: фрикционный (рис. 3.224, справа) и ‘Поточечный (выражения)’, рис. 3.226, справа.

3.5.12.5. Ввод обобщенных линейных силовых элементов


3.5.12.5.1. Общая информация

Математическая модель элемента описана в [Главе 2](#). п. *Обобщенный линейный силовой элемент*.

Примеры описания и/или использования:

- [Глава 7](#), п. *Модели пружин*;
- [{Данные УМ}\Samples\Rail_Vehicles\Manchester_benchmarks\Vehicle1](#) (требуется УМ Лосо);
- [{Данные УМ}\Samples\Rail_Vehicles\wedgetest](#).

Для каждого обобщенного линейного упруго-вязкого силового элемента, кроме взаимодействующих тел и точек прикрепления (см. п. 3.5.11. *"Общие черты ввода параметров шарниров и силовых элементов"*, с. 3-202), следует указать

- тип элемента – линейный или билинейный;
- геометрические параметры на закладке **Положение**;
- элементы матрицы жесткости и диссипации (используйте кнопки  в полях **Матрица жесткостей**, **Матрица диссипации**);
- стационарное значение силы.

Линейному силовому элементу обычно назначается графический образ. Особенности создания соответствующего ГО рассмотрены в п. 3.5.6. *"Назначение графического образа силовым элементам и шарниру в виде невесомого стержня"*, с. 3-109.

Координаты точек прикрепления, значения стационарной силы, элементы матриц параметризуются (см. п. 3.4.2.4.4. *"Функция инерционных параметров bodyinertia"*, с. 3-51).

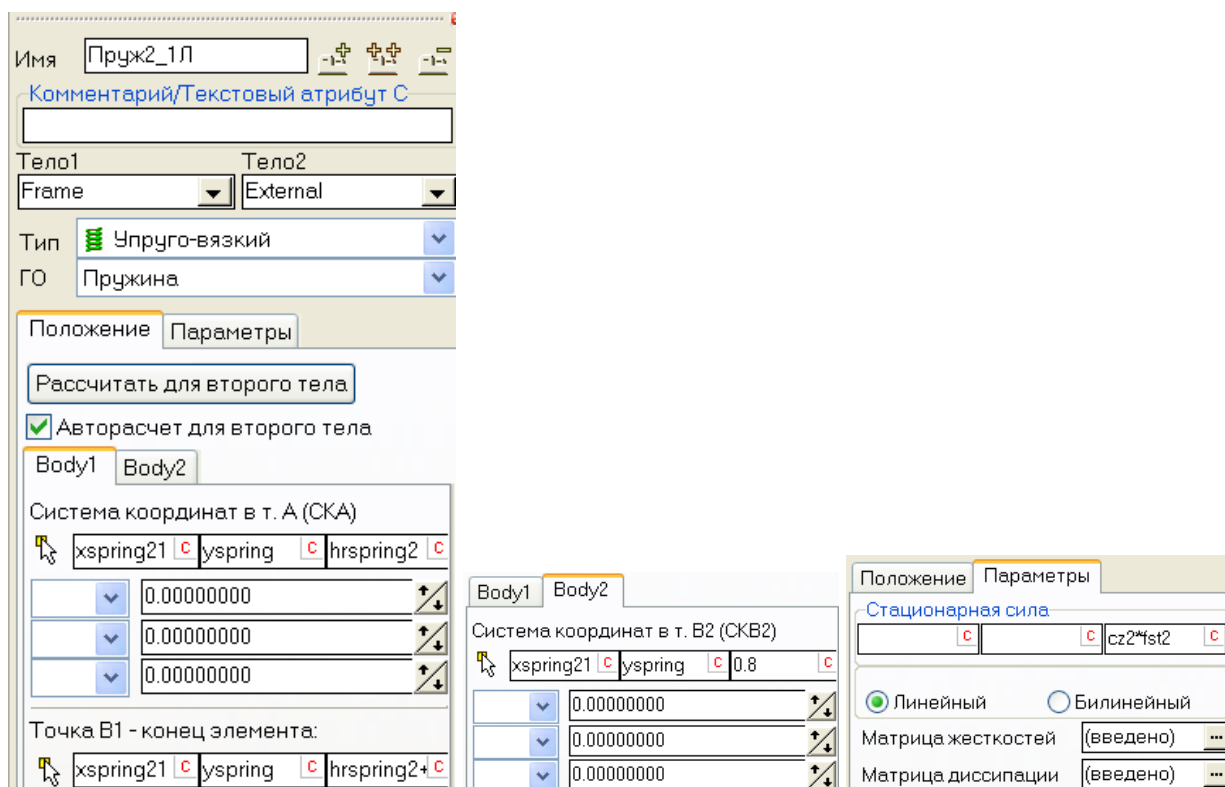


Рис. 3.227. Параметры обобщенного линейного силового элемента

3.5.12.5.2. Особенности задания упругого элемента

Подробное пояснение к модели упругого линейного силового элемента см. в [Главе 2](#), п. *Обобщенный линейный силовой элемент*. Там же поясняются обозначения, использованные на левом рисунке, рис. 3.228.

Для упругого элемента следует задать следующие данные.

Для первого тела:

- Координаты точек A , B_1 в СК первого тела;

Для второго тела (при отключенной опции Авторасчет для второго тела):

- Координаты точки B_2 в СК второго тела;
- Ориентацию СК, связанной с точкой B_1 , относительно СК первого тела (с помощью поворотов, число которых варьируется от одного до трех). Если ориентация не задана, считается, что ориентация СК B_1 совпадает с СК первого тела.
- Ориентацию СК, связанной с точкой B_2 , относительно СК второго тела (с помощью поворотов, число которых варьируется от одного до трех). Если ориентация не задана, считается, что ориентация СК B_2 совпадает с СК второго тела.

Ввод этих данных для второго тела *не требуется*, если модель собирается таким образом, что точки B_1 и B_2 совпадают *при нулевых значениях координат*. В этом случае следует включить опцию *Авторасчет для второго тела*. Такая ситуация часто встречается, например, при разработке моделей рельсовых экипажей. Если при этом щелкнуть на кнопке *Рассчитать для второго тела*, то программа рассчитает численные значения координат точки B_1 в СК второго тела и примет эти значения в качестве координат точки 2 (даже при выключенной опции *Авторасчет для второго тела*).

Задается также стационарное значение силы (действует на второе тело, проекции заданы в СК первого тела).

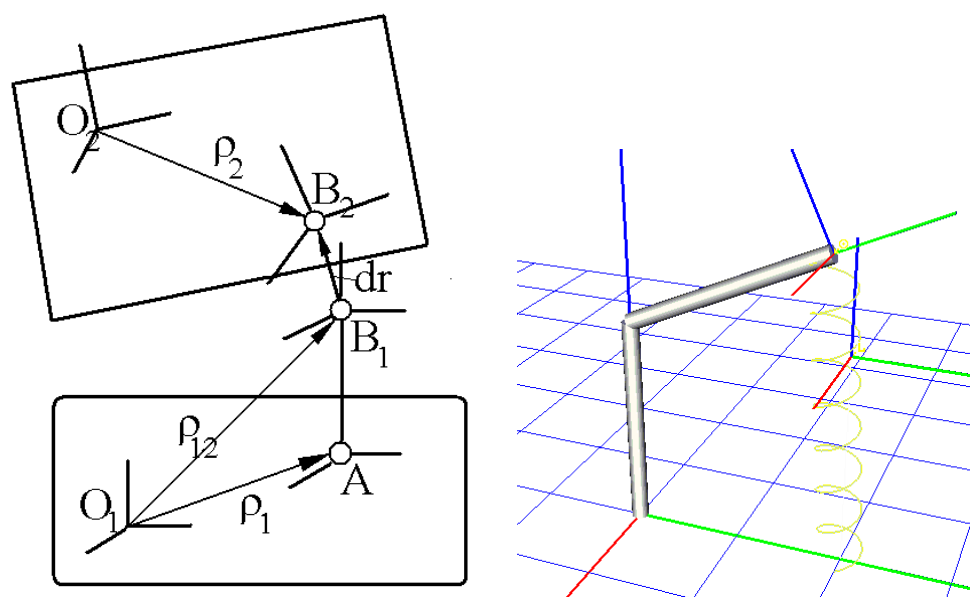




Рис. 3.228. Системы координат силового элемента

Для билинейного упругого силового элемента следует дополнительно задать матрицу жесткости внутренней пружины и разность высот.

Замечания

При описании элемента в анимационном окне (в режиме отображения отдельного элемента) точки B_1 и B_2 отображаются вместе со связанными с ними системами координат (рис. справа), причем положение точки B_1 указывается иконкой .

В анимационном окне в режиме отображения полного объекта эти точки отображаются, если установлена соответствующая опция (см. п. 3.4.1.2.3. *"Оси координат, контекстное меню"*, с. 3-31). При этом щелчок на иконку вызывает переход к описанию линейного силового элемента.

Для назначения точек A , B_1 , B_2 вместе со связанными с ними системами координат используйте простые или ориентированные точки связи, предварительно назначенные соответствующим телам (см. п. 3.5.9.6. *"Точки связи"*, с. 3-168). Для перехода в режим визуального выбора точек связи используются кнопки .

3.5.12.5.3. Задание билинейного силового элемента

<input type="radio"/> Линейный	<input checked="" type="radio"/> Билинейный
Матрица жесткостей	(введено) ...
Матрица диссипации	(нет) ...
Матрица 2	(введено) ...
Разность высот (м)	dh_spring C

Рис. 3.229. Параметры билинейного силового элемента

Билинейный силовой элемент состоит из двух пружин, причем *вторая пружина имеет меньшую высоту*.

Дополнительно к параметрам линейного элемента следует задать

- матрицу жесткости второй (короткой) пружины **Матрица 2**,
- **разность высот** между высокой и короткой пружиной

Короткая пружина начинает «работать», когда прогиб первой пружины превысит разность высот. В противном случае сила, действующая со стороны второй пружины, равна нулю.

3.5.12.6. Ввод контактных силовых элементов

Контактные силовые элементы могут быть различных типов:

- Точки-Плоскость;
- Точка-Кривая;
- Окружность – Цилиндр (с криволинейной осью);
- Сфера-Плоскость;
- Окружность-Плоскость;
- Сфера-Сфера;
- Точки-Z поверхность;
- Окружность-Z поверхность;
- Сфера-Z поверхность.

Замечание. Обратите внимание, что при изменении типа контакта ранее введённые данные исчезают!

Описание контактных элементов располагается на двух вкладках:

- **Параметры** – это параметры модели контактных сил (коэффициенты трения и др.); эти параметры одинаковы для всех типов элементов;
- **Геометрия** – параметры, зависящие от конкретного типа элемента.

Подробная информация о математических моделях контактных взаимодействий находится в [Главе 2](#), п. *Контактные силы*.

3.5.12.6.1. Коэффициент трения при контактном взаимодействии

Независимо от типа контактного взаимодействия коэффициент трения задается на вкладке **Параметры**:

- f – коэффициент трения при бесконечной скорости проскальзывания f_{∞} ;
- f_0 – коэффициент трения при нулевой скорости (покоя);
- v_s – скорость Стрибека;
- δ – эмпирический показатель степени, зависящий от материала, $\delta \in [0.5,1]$;
- μ – коэффициент вязкого трения;

Дополнительные параметры трения для контактов с возможным качением (не используется для контакта точки-плоскость, точки - Z-поверхность, точка-кривая):

- K_{roll} (м) – коэффициент трения качения;
- K_{spin} (м) – коэффициент трения верчения;
- v^* – критическая скорость в модифицированной сигнатуре (см. [Главу 2](#), п. *Другие типы контактных сил*).

Для расчета вязко - упругой нормальной силы при внедрении контактных многообразий задаются

- C – коэффициент жесткости;
- D – коэффициент диссипации.

Для обоснованного выбора контактной жесткости и диссипации см. [Главу 2](#), п. *Методика расчета параметров контакта*.

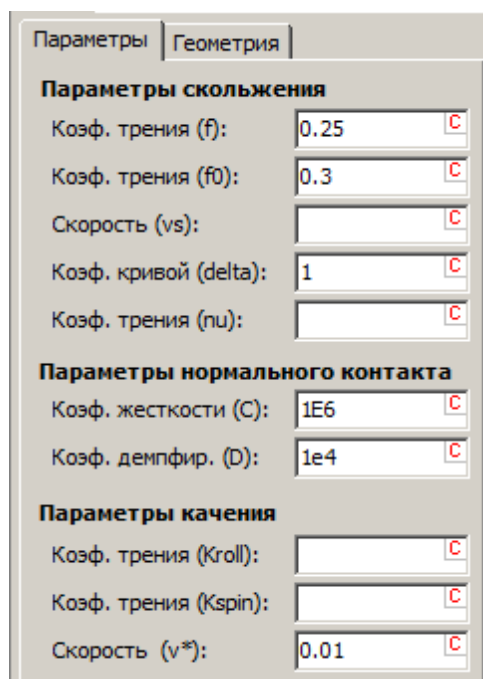


Рис. 3.230. Параметры трения при контактном взаимодействии

3.5.12.6.2. Контактный силовой элемент типа Точки-Плоскость

В качестве *первого* из взаимодействующих тел следует указать тело, с которым будут связаны контактные точки, со *вторым* телом связывается контактная плоскость.

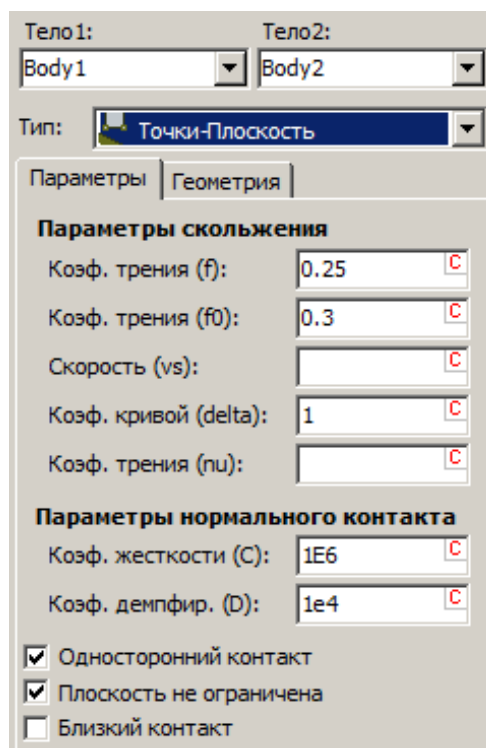


Рис. 3.231. Параметры контакта «точки – плоскость»

3.5.12.6.2.1. Задание геометрии контакта






Параметры на вкладке **Геометрия** определяют геометрию контакта, рис. 3.232.

Для описания плоскости (она соответствует *второму* телу в паре) необходимо указать следующие параметры:

- **точка** на плоскости (любая точка, принадлежащая контактной плоскости, в СК второго тела);
- **внешняя нормаль** – вектор нормали к плоскости, направленный в сторону первого контактирующего тела.

В анимационном окне в режиме отображения отдельного элемента (п. 3.4.1.2.2. "Режимы анимационного окна", с. 3-30) визуализируется вектор нормали к контактной плоскости, что позволяет следить за правильности задания этой плоскости.

Ввод контактных точек для первого из взаимодействующих тел возможен в трех режимах:

- через клавиатуру с использованием вкладки **Геометрия**, кнопка   ,
- визуально по графическому образу тела с помощью мыши, кнопка ,
- из текстового файла, кнопка .

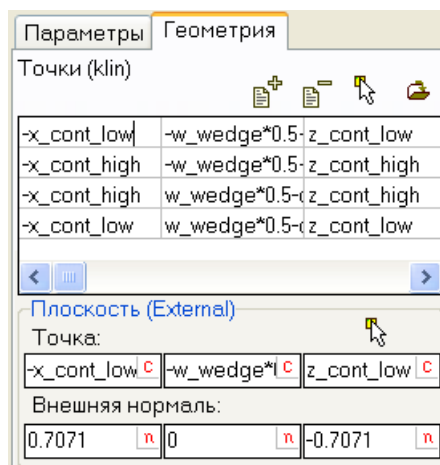






Рис. 3.232. Геометрические параметры контакта «точки – плоскость»

Визуальный ввод контактных точек

Визуальный ввод возможен только при условии, что включен режим выбора элемента с помощью мыши (кнопка  на панели инструментов анимационного окна).

- Желательно предварительно задать телу набор точек связи, соответствующих контактным точкам, п. 3.5.9.6. "Точки связи", с. 3-168.
- Перейдите в режим визуального выбора контактных с помощью кнопки  на инспекторе.
- Используйте графический образ первого тела и левую кнопку мыши для выбора контактных точек и автоматического их добавления к списку, представленному на вкладке **Геометрия**. Контактные точки добавляются как из ранее созданных точек связи тела, так и простым щелчком на графическом образе тела.
- Для выхода из режима визуального ввода точек повторно щелкните на кнопке .

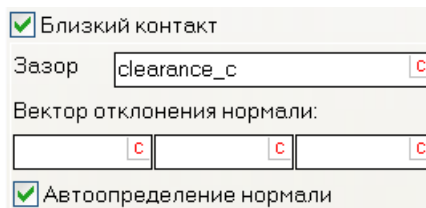
Ввод контактных точек из текстового файла

Набор контактных точек может быть прочитан из текстового файла по кнопке . Файл должен содержать три колонки для координат x, y, z контактных точек.

3.5.12.6.2.2. Близкий контакт

Используйте флажок поля **Близкий контакт**, чтобы задать режим автоматического определения нормали и точки на контактной плоскости, рис. 3.233. Для задания нормали к плоскости требуется не менее трех контактных точек. Для изменения направления нормали на противоположное следует обратить порядок следования первых трех контактных точек.

В режиме близкого контакта можно задать зазор и вектор отклонения нормали контактной плоскости.



<input checked="" type="checkbox"/> Близкий контакт
Зазор <input type="text" value="clearance_c"/>
Вектор отклонения нормали:
<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Автоопределение нормали

Рис. 3.233. Параметры близкого контакта

3.5.12.6.2.3. Односторонний и двухсторонний (удерживающий) контакт

В режиме **одностороннего** контакта сила возникает только в том случае, если точка проникает внутрь контактной плоскости. При этом направление нормали указывает на полупространство, в котором взаимодействия нет.

При двухстороннем (удерживающем) контакте силы возникают при отклонении точки от плоскости в обе стороны на величину, превышающую заданный пользователем зазор. Таким образом, при ненулевом зазоре фактически имеются две контактные плоскости, расстояние между которыми равно удвоенному значению зазора. В частности, допускается нулевой зазор.

3.5.12.6.2.4. Задание границ контактной области на плоскости

Включенные ключ **Плоскость не ограничена** указывает, что контактное взаимодействие происходит к неограниченной плоскостью. В противном случае на вкладке **Границы** (рис. 3.234), появляющуюся после выключения данного ключа, следует задать границу замкнутой контактной плоскости в виде

- прямоугольника,
- окружности,
- кривая, заданная набором точек со сглаживанием сплайнами или дугами окружности.

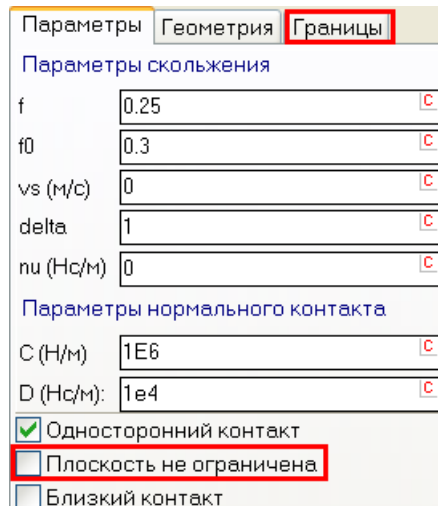


Рис. 3.234. Режим ограниченного контакта по плоскости

Заданная граница рисуется в анимационном окне в режиме отображения отдельного элемента (п. 3.4.1.2.2. "Режимы анимационного окна", с. 3-30), что позволяет пользователю контролировать правильность ввода данных. При необходимости можно развернуть кривую в плоскости на угол, задаваемый в градусах в поле **Поворот вокруг нормали**.

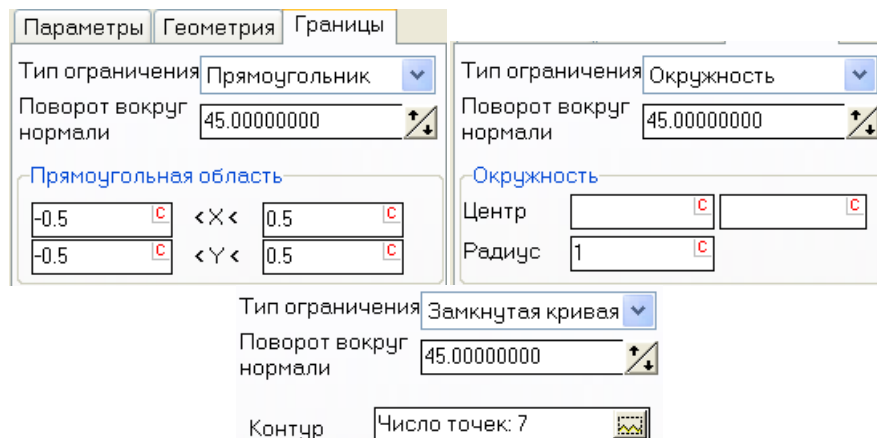
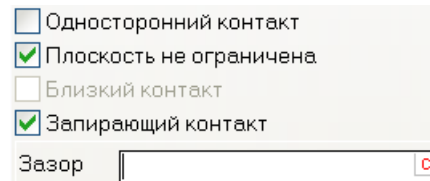


Рис. 3.235. Способы задания границы контактной области

3.5.12.6.2.5. Запирающий контакт

В случае двухстороннего контакта возможен режим **запирающего контакта** (рис. 3.236): при начале моделирования контактная сила равна нулю, если контактная точка находится в положительной части полупространства, задаваемого контактной плоскостью и нормалью к ней, как и при *одностороннем контакте*. При первом проникновении точки в плоскость контакт становится двухсторонним с возможным зазором, т.е. «запирается» до конца моделирования. Наиболее частый пример использования: соударение вагонов с последующим запираением автосцепки.



Односторонний контакт
 Плоскость не ограничена
 Близкий контакт
 Запирающий контакт
Зазор C


Рис. 3.236. Режим запирающего двухстороннего контакта

3.5.12.6.3. Контакт точка-кривая

Математическая модель контактного взаимодействия точка-кривая описана в [Главе 2](#), раздел *Силовые элементы | Контактные силы | Контакт точка-кривая*.

В качестве *первого* из взаимодействующих тел следует указать тело, с которым будет связана контактная точка, со *вторым* телом связывается контактная кривая.

На вкладке **Геометрия** следует указать (рис. 3.237):

- координаты контактной точки, которые, в частности, могут быть получены визуально с помощью кнопки . Для визуального ввода следует предварительно добавить к нужному телу точку связи, см. п. 3.5.9.6. "Точки связи", с. 3-168;
- назначить из списка предварительно созданную кривую, см. п. 3.5.7. "Ввод кривых", с. 3-111.

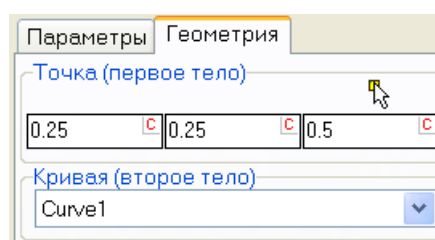


Рис. 3.237. Параметры контакта «Точка-кривая»

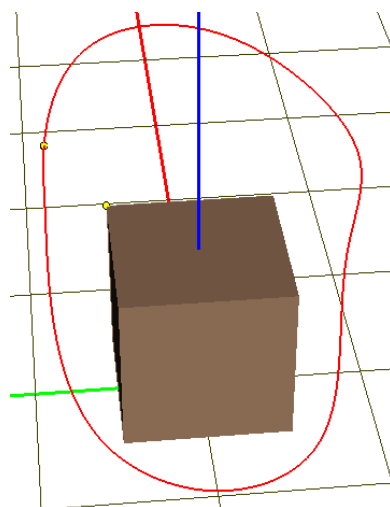


Рис. 3.238. Изображение кривой в анимационном окне

После ввода данных контактная кривая автоматически изображается в анимационном окне, рис. 3.238. В режиме отдельного элемента указывается также контактная точка и точка на кривой, ближайшая к ней.

Замечание. В программе ввода не требуется, чтобы контактная точка точно лежала на контактной кривой. Это можно и желательно сделать в программе моделирования при задании начальных условий, для чего создан специальный инструмент.

3.5.12.6.4. Контакт окружность – цилиндр с криволинейной осью

Математическая модель контактного взаимодействия точка-кривая описана в [Главе 2](#), раздел *Силовые элементы | Контактные силы | Контакт окружности с цилиндром с криволинейной осью*.

В качестве первого из взаимодействующих тел следует указать тело, с которым будет связана окружность, со *вторым* телом связывается цилиндр.

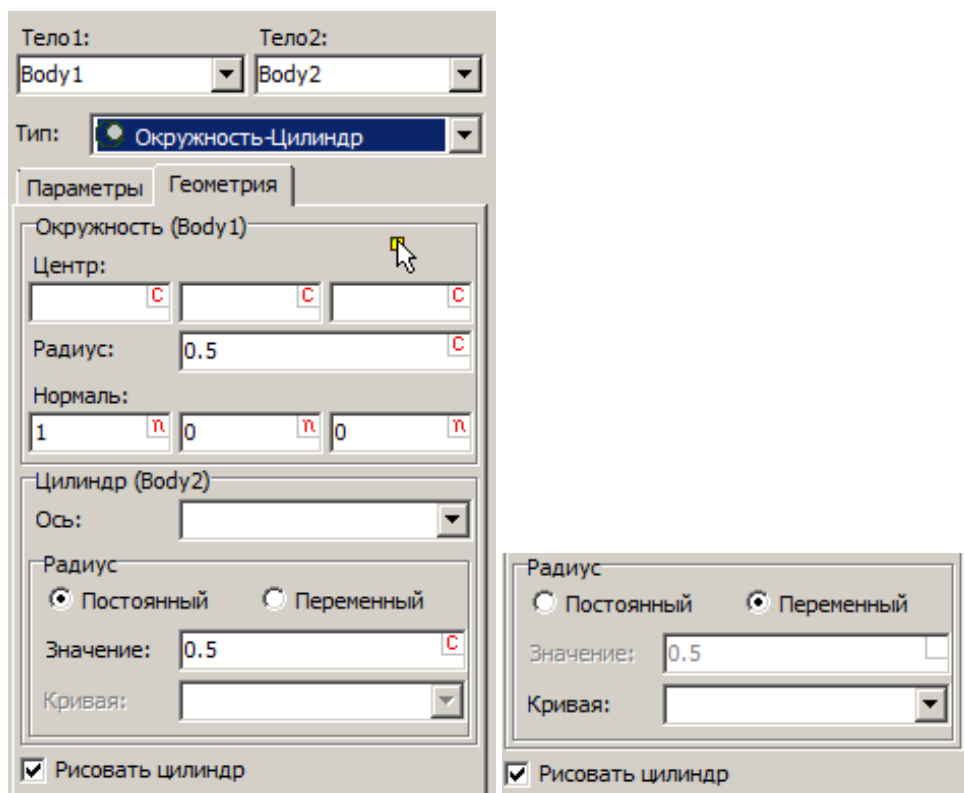


Рис. 3.239. Геометрические параметры контакта «Окружность-Цилиндр»

На вкладке **Геометрия** следует указать (рис. 3.237)

- координаты центра окружности в СК первого тела, которые, в частности, могут быть получены визуально с помощью кнопки . Для визуального ввода следует предварительно добавить к нужному телу точку связи, см. п. 3.5.9.6. "Точки связи", с. 3-168;
- радиус окружности и проекции вектора нормаль к ее плоскости в СК первого тела;
- указать радиус цилиндра, который должен быть больше радиуса окружности, и назначить из списка предварительно созданную кривую, являющуюся осью цилиндра, см. п. 3.5.7. "Ввод кривых", с. 3-111.

После ввода данных цилиндр автоматически изображается в анимационном окне, если включена опция **Рисовать цилиндр**, рис. 3.240. В режиме отдельного элемента рисуются также окружность и нормаль к ней.

Автоматически создаваемое изображение цилиндра содержит серию окружностей, перпендикулярных оси и с центрами, лежащими на оси. Число окружностей регулируется параметром **Число точек на графике** в окне задания кривой для оси цилиндра, рис. 3.241.

Если моделируется контакт нескольких окружностей с одним и тем же цилиндром, то рекомендуется выключить опцию **Рисовать цилиндр** для всех силовых элементов, кроме одного, чтобы избежать многократной перерисовки цилиндра.

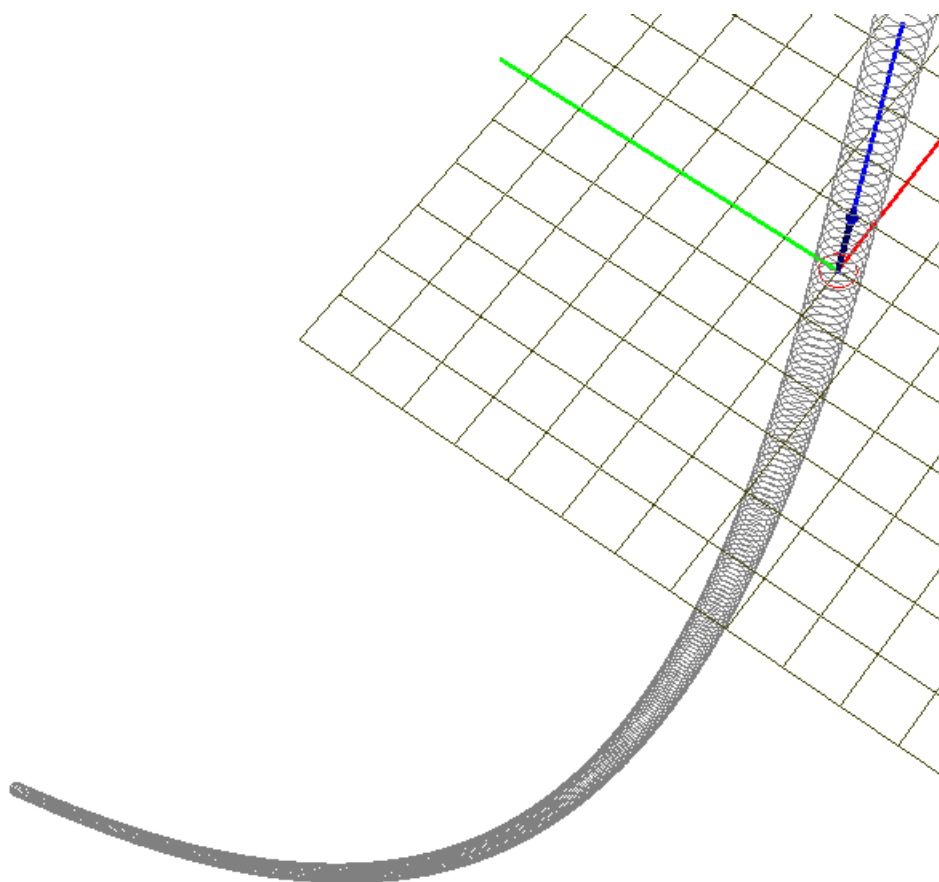


Рис. 3.240. Автоматически создаваемое изображение цилиндра

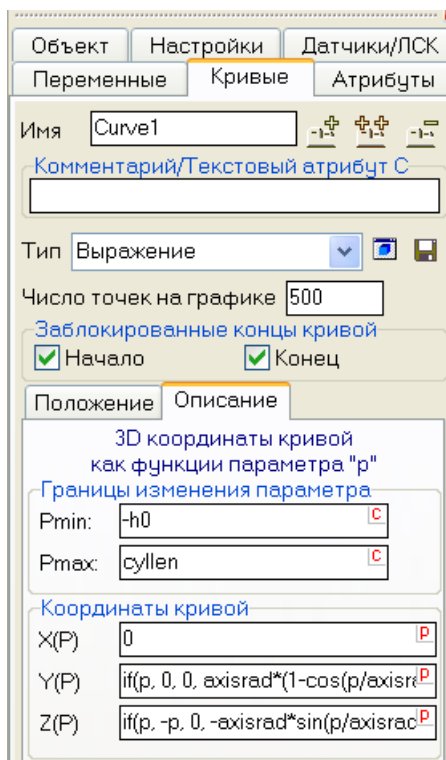


Рис. 3.241. Задание параметров кривой, являющейся осью цилиндра на рис. 3.240

Модель: [{Данные УМ}\Samples\Library\CylCircle](#).

3.5.12.6.5. Контактный силовой элемент типа Сфера-Плоскость

Плоскость (соответствующая второму телу) задаётся точкой и вектором нормали, п. 3.5.12.6.2.1. "Задание геометрии контакта", с. 3-241.

Сфера соответствует первому телу и имеет параметры:

- **центр** в СК первого тела;
- **радиус**.

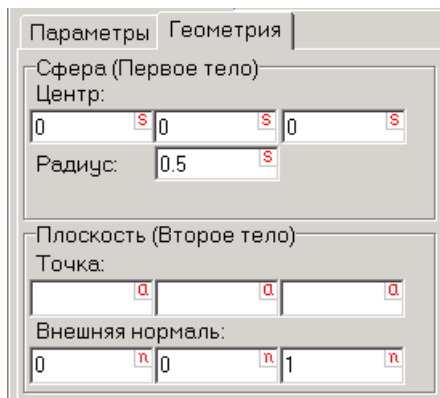


Рис. 3.242. Геометрические параметры контакта «Сфера-Плоскость»

3.5.12.6.6. Контактный силовой элемент типа Окружность-Плоскость

Плоскость (соответствующая второму телу) задаётся точкой и вектором нормали ,
п. 3.5.12.6.2.1. "Задание геометрии контакта", с. 3-241.

Окружность соответствует первому телу и имеет параметры:

- **центр** в СК первого тела;
- **радиус**;
- вектор **нормали** к плоскости окружности.

Эти данные параметризуемы, кроме вектора нормали.

The image shows a software dialog box with two tabs: "Параметры" (Parameters) and "Геометрия" (Geometry). The "Геометрия" tab is active. It contains two sections: "Окружность (Первое тело)" (Circle (First body)) and "Плоскость (Второе тело)" (Plane (Second body)).

Under "Окружность (Первое тело)":

- Центр (Center): Three input fields with values 0, 0, 0. Each field has a small red 'a' icon to its right.
- Радиус (Radius): One input field with value 0.5 and a small red 'a' icon to its right.
- Нормаль (Normal): Three input fields with values 1, 0, 0. Each field has a small red 'n' icon to its right.

Under "Плоскость (Второе тело)":

- Точка (Point): Three input fields, all empty. Each field has a small red 'a' icon to its right.
- Внешняя нормаль (External normal): Three input fields with values 0, 0, 1. Each field has a small red 'n' icon to its right.

Рис. 3.243. Геометрические параметры контакта «Окружность-Плоскость»

3.5.12.6.7. Контактный силовой элемент типа Сфера-Сфера

Элемент задаётся двумя сферами соответственно в СК первого и второго тела. Для каждой сферы необходимо указать

- центр;
- радиус.

Все исходные данные параметризуются.

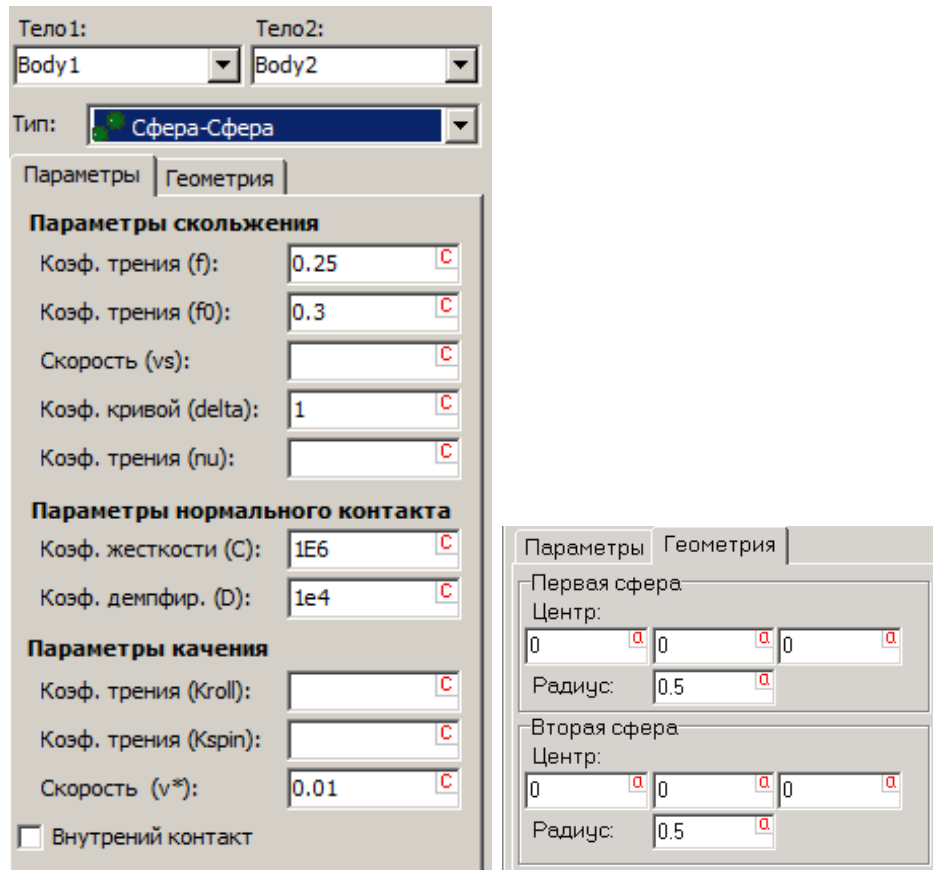


Рис. 3.244. Геометрические параметры контакта «Сфера-Сфера»

3.5.12.6.8. Контактные силовые элементы типов Точка / Сфера / Окружность – Z-поверхность

Точки / сфера / окружность соответствуют первому телу и описываются в его системе координат. Сфера описывается положением центра и радиусом, окружность – положением центра, радиусом и вектором нормали к плоскости окружности.

Поверхность вида $z(x,y)$ соответствует второму телу и может быть задана:

- как **выражение** в явной форме в виде зависимости $z=z(p1,p2)$ через параметры $p1$ и $p2$; считается, что $p1, p2 \in (-\infty, +\infty)$; при задании выражения допускается использовать элементы списка переменных, п. 3.4.2.4.8. "Список переменных", с. 3-67;
- как **внешняя функция** $z=z(p1,p2)$, описываемая в файле управления (см. п. 3.4.2.4.10. "Внешние функции", с. 3-70);
- как **графический элемент** (выбирается в выпадающем списке среди графических объектов модели).

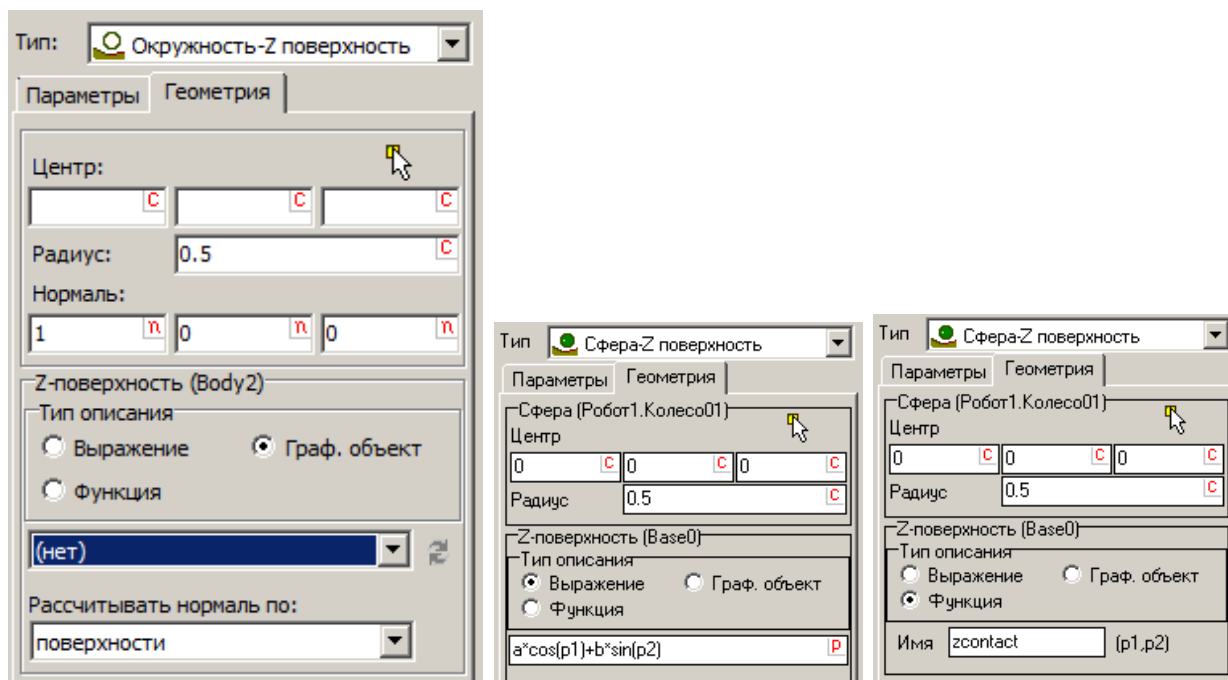


Рис. 3.245. Геометрические параметры контакта с Z-поверхностью

При описании Z-поверхности через опцию **Граф. объект** обратите внимание на следующие замечания.

- Выбранный графический объект может состоять из одного или нескольких графических элементов типа **Полиэдр, ASC¹** (п. 3.5.8.2.14. "Винтовая линия", с. 3-128), **Параллелепипед, Эллипсоид, Конус, Z-поверхность**.
- В случае, если точке с некоторыми координатами x, y соответствует несколько возможных значений координаты z , то берётся большая среди этих координат.

¹ Тип **ASC** автоматически присваивается графическим элементам, импортированным из CAD-программ

- Характерный размер модели (см. п. 3.4.2.1.1 "Вкладка «Объект»", с. 3-35) должен обязательно быть единичным. Неединичный характерный размер приводит к ошибкам вычисления контактных сил.
- Не обязательно, но желательно, чтобы графический объект обеспечивал гладкость функции $z(x,y)$. Использование существенно негладких неровностей типа «ступенька» или «обрыв» может привести к некорректным результатам моделирования.

Примеры использования в моделях:

[{Путь к UM}\Samples\Library\ZSurfaceAndBox;](#)

[{Путь к UM}\Samples\Library\ZSurfaceAndWheel;](#)

Модели доступные по ссылкам выше на простых примерах иллюстрируют описание и применение контактных сил типа «Точка – Z-поверхность» и «Окружность – Z-поверхность».

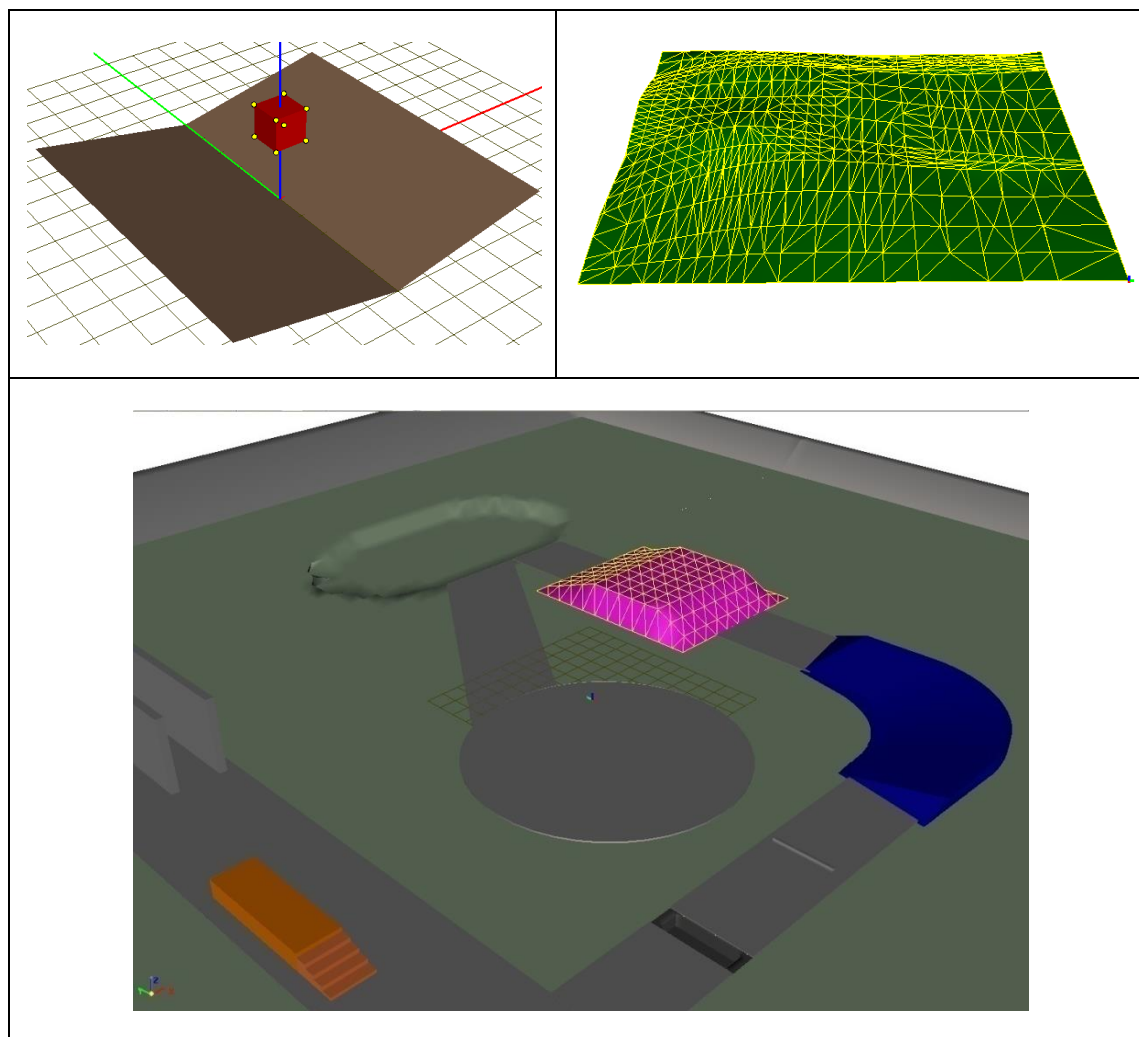



Рис. 3.246. Примеры описания Z-поверхности с помощью графических элементов

3.5.12.7. Т-силы

Для ввода списка сил обобщенного типа используется вкладка **Т-силы** конструктора. Для каждого силового элемента следует указать

- пару взаимодействующих тел;
- тело, в системе координат которого представлены проекции задаваемой силы и/или момента;
- точку приведения силы в системе координат второго тела; кнопка  используется для визуального выбора второго тела и точки приведения силы с помощью *точек связи*, п. 3.5.9.6. "Точки связи", с. 3-168;
- способ задания силы: **выражение** или **файл**.

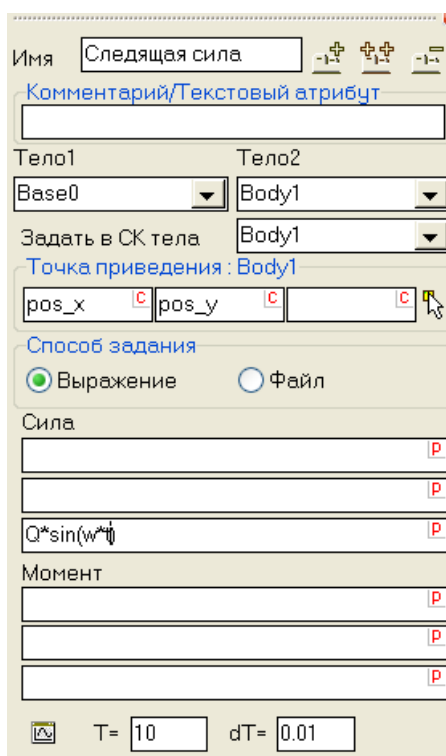


Рис. 3.247. Пример задания гармонической следящей силы

Замечание 1. Для описания *следящей силы* следует назначить **Base0** в качестве первого тела, а качестве тела, в системе координат которого задана сила, назначить то тело, на которое действует сила.


3.5.12.7.1. Задание силы и момента с помощью выражений


В этом случае проекции силы и момента задаются символьными выражениями, включающими идентификаторы, стандартные функции времени t , кинематические функции положений и скоростей, п. 3.4.2.4.7. "Кинематические функции", с. 3-55, элементы списка переменных, п. 3.4.2.4.8. "Список переменных", с. 3-67.

Пример. На рис. 3.247 представлен пример задания гармонической следящей силы, действующей на тело *Рама* в направлении оси Z связанной с телом СК и приложенной в параметризованной точке с координатами $(pos_x, pos_y, 0)$

3.5.12.7.2. Задание силы – функции времени с помощью файла

Зависимости проекций силы и момента от времени могут задаваться с помощью текстового файла. Используется следующий формат файла: первый столбец содержит время в секундах, другие столбцы содержат проекции силы и момента в последовательности Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz в Н и Нм. Ряд проекций может быть опущен. Например, файл может содержать три столбца t, Fz, Mx.

Кнопка  используется для выбора файла. После того, как файл выбран, он копируется в каталог задачи. Пользователь должен указать, какие компоненты содержатся в файле. Например, файл на рис. 3.248 содержит компоненту Fz силы.

Для расчета значения проекций силы и момента в конкретный момент времени используется линейная интерполяция поточечно заданных значений. Кнопка  показывает график проекций силы и момента, если они являются функциями времени.

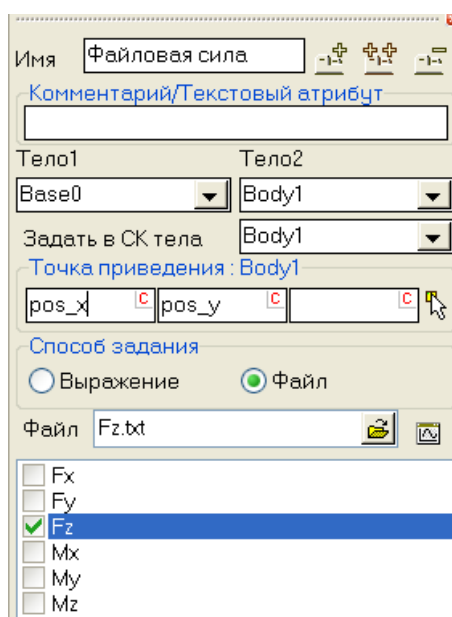


Рис. 3.248. Пример задания силы с помощью файла

Замечание

Файл должен содержаться в каталоге модели. При сохранении объекта под другим именем (или при первом сохранении вновь созданного объекта) автоматическое копирование файла не предусмотрено. Пользователь должен вручную скопировать файл, в противном случае он получает сообщение о некорректности описания силового элемента:

«Файл с компонентами T-силы не назначен, некорректен или не найден в каталоге модели»

При добавлении описанной ранее модели с файловыми силами к объекту в виде включенной подсистемы пользователю следует вручную скопировать файлы с силами в каталог нового объекта.

При использовании модели с файловой силой в виде внешней подсистемы программа находит файл, содержащийся в каталоге внешней подсистемы. При преобразовании внешней подсистемы во включенную файл следует вручную скопировать в каталог головного объекта.

3.5.12.8. Ввод специальных сил

3.5.12.8.1. Ввод зубчатого зацепления

Полное описание и математическая модель силового элемента данного типа описана в [Главе 2](#), п. *Силовые элементы / Специальные силы / Зубчатое зацепление*.

Для создания элемента типа зубчатое зацепление перейдите на вкладку **Спец. силы**, стандартным образом добавьте элемент к списку сил и выберите тип – **Зуб. передача**. В результате в инспекторе отобразятся поля, предназначенные для ввода параметров передачи. В полях следует указать:

- **характерные точки** (центры зубчатых колес) в СК каждого тела;
- **проекции векторов** по осям вращения в СК каждого тела;
- параметры, характеризующие передачу: **передаточное число**, **зазор** (может не указываться), **коэффициент жесткости** и **диссипации** передачи;
- Используйте флажок **внешнее/внутреннее зацепление** для плоских передач.

Все данные, за исключением проекций векторов, направленных по осям вращения, параметризуются.

The image shows a software dialog box for configuring a gear mesh. The title bar says 'gearing'. The 'Имя' (Name) field contains 'gearing'. Below it is a 'Комментарий' (Comment) field. The 'Base0' dropdown menu is set to 'crusher'. The 'Зуб. колеса' (Gear teeth) dropdown is set to 'ГО: (нет)'. The 'Характерные точки' (Characteristic points) section has two rows: 'Base0' with 'ygear1' and 'crusher' with 'ygear2'. The 'Оси вращения' (Rotation axes) section has two rows: 'Base0' and 'crusher', both set to 'ось Y: (0,1,0)'. The 'Перед. число' (Gear ratio) field is 'igearing'. The 'Зазор' (Clearance) field is '0'. The 'Коэффициент диссипации' (Dissipation coefficient) field is 'cdiss'. The 'Коэффициент жесткости' (Stiffness coefficient) field is 'cstiff'. The 'Внешнее зацепление' (External meshing) checkbox is checked. The 'Угол зацепл.' (Meshing angle) field is '22.767'. The 'Угол трения' (Friction angle) field is '3'.

Рис. 3.249. Параметры зубчатого зацепления

При вводе данных в режиме отображения отдельного элемента (п. 3.4.1.2.2. "Режимы анимационного окна", с. 3-30) автоматически визуализируются контуры колес и нормали к ним, что позволяет контролировать правильность введенной информации, рис. 3.250.

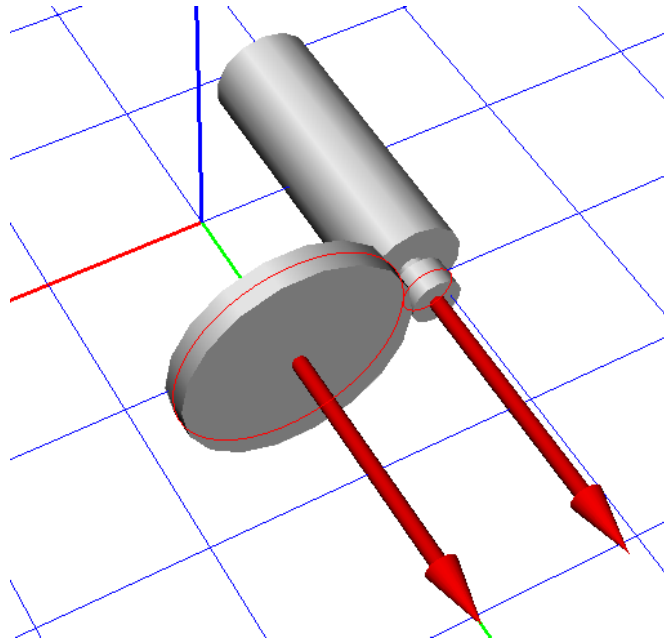


Рис. 3.250. Визуализация зубчатого зацепления

Модели:

[{Данные УМ}\Samples\Library\Gears;](#)

[{Данные УМ}\Samples\Tutorial\Crusher.](#)

3.5.12.8.2. Цепная передача

Полное описание и математическая модель силового элемента данного типа описана в [Главе 2](#), п. *Силовые элементы / Специальные силы / Цепная передача*.

Для создания элемента перейдите на вкладку **Спец. силы**, стандартным образом добавьте элемент к списку сил и выберите тип – **Цепная передача**. В результате в инспекторе отобразятся поля, предназначенные для ввода параметров передачи, рис. 3.251. В полях следует указать:

- **характерные точки** (центры звездочек передачи) в СК каждого тела;
- **проекции векторов** по осям вращения в СК каждого тела; векторы должны быть либо параллельны, либо близки к параллельным;
- Радиусы звездочек R1, R2;
- **коэффициент жесткости и диссипации** цепи при растяжении.

Используйте флажок **Визуализация** для автоматического изображения цепи в анимационном окне, рис. 3.252.

The image shows a software dialog box for configuring a chain drive. The title bar indicates the type is 'Цепная передача'. The interface is organized into several sections:

- Характерные точки (Characteristic points):** This section defines the centers of the gears for two bodies, 'Тело 1' and 'Тело 2'. Each body has three input fields for coordinates, each with a red 'C' icon.
- Оси вращения (Rotation axes):** This section defines the rotation axes for 'Тело 1' and 'Тело 2'. Each body has a dropdown menu showing 'ось X : (1,0,0)' and three input fields for the axis components (1, 0, 0), each with a red 'n' icon.
- Geometric and material parameters:** This section includes input fields for gear radii 'R1' (0.2) and 'R2' (0.1), both with red 'C' icons. It also includes fields for the stiffness coefficient 'Козф. жесткости:' (1.0e6) and the dissipation coefficient 'Козф. диссипации:' (1.0e4), both with red 'C' icons.
- Visualization:** A checkbox labeled 'Визуализация' is checked.

Рис. 3.251. Параметры цепной передачи

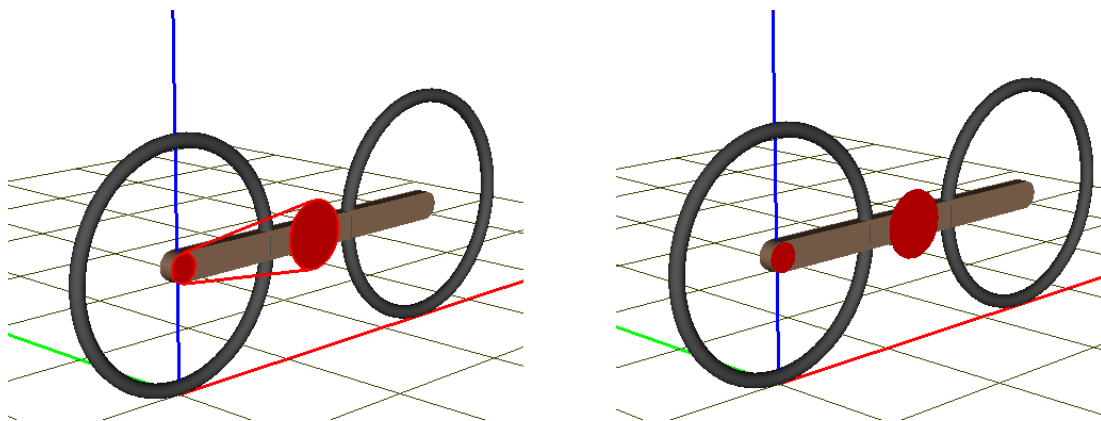


Рис. 3.252. Модель с включенным (слева) и выключенным ключом визуализации

Все данные, за исключением проекций векторов, направленных по осям вращения, параметризуются).

При вводе данных в режиме отображения отдельного элемента (п. 3.4.1.2.2. "Режимы анимационного окна", с. 3-30) автоматически визуализируются контуры звездочек, цепь и оси вращения, что позволяет контролировать правильность введенной информации, рис. 3.253.

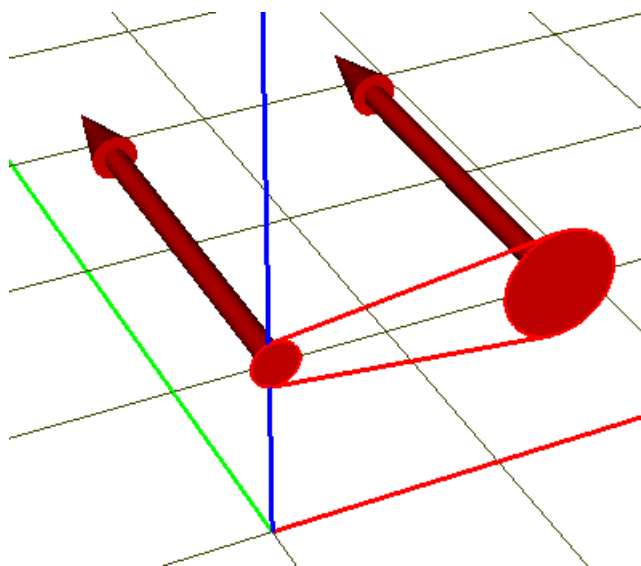


Рис. 3.253. Визуализация цепной передачи

Модель (рис. 3.252): [{Данные УМ}\Samples\Library\ChainGear.](#)

3.5.12.8.3. Комбинированное трение

Комбинирование трение является обобщением контакта точка-плоскость. Полное описание и математическая модель силового элемента данного типа описана в [Главе 2](#), п. *Силовые элементы / Специальные силы / Комбинированное трение*.

Примеры описания и/или использования:

Каталог [{Данные УМ}\Samples\Library\CombFriction](#), модели

[CF2D_without_fict](#);

[CF2D_with_fict](#);

[CF2D_with_fict_limit_fict](#);

[CF2D_with_fict_limit_body2](#).

Для создания элемента и задания его параметров следует выполнить следующие действия.

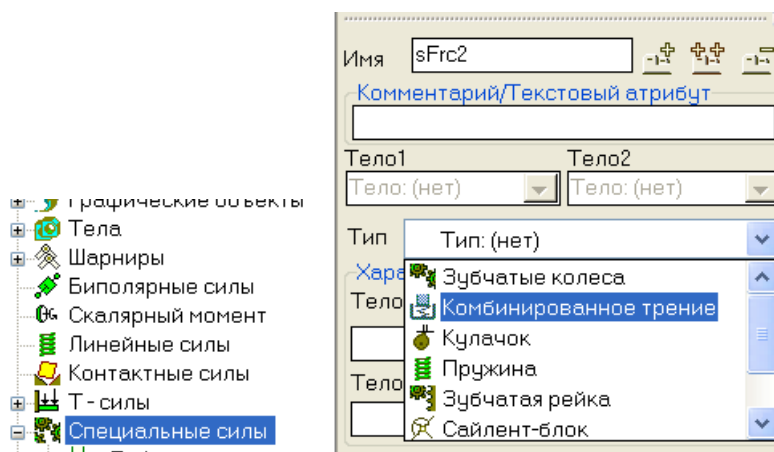


Рис. 3.254. Создание нового силового элемента типа «Комбинированное трение»

3.5.12.8.3.1. Создание элемента

Для создания элемента типа комбинирование трение следует

- перейти к списку специальных сил с помощью списка элементов;
- создать новую силу;
- указать ее тип Комбинированное трение.

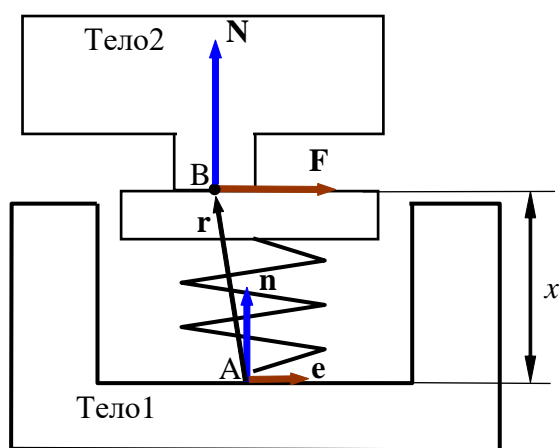


Рис. 3.255. Схема силового элемента «Комбинированное трение»

3.5.12.8.3.2. Выбор пары тел и задание точек прикрепления

Тела и точки прикрепления (А для первого тела и В для второго тела, рис. 3.255) выбираются стандартным образом, см. п. 3.5.11.1. "Назначение элементу пары тел", с. 3-202, п. 3.5.11.3. "Назначение точек присоединения и локальных систем координат", с. 3-203, п. 3.5.11.4. "Визуальное назначение тел, точек присоединения и локальных систем координат", с. 3-203.

3.5.12.8.3.3. Задание оси элемента

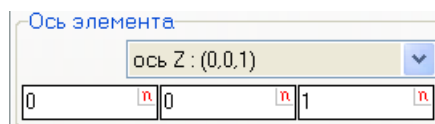


Рис. 3.256. Ось элемента

Задание оси элемента

Ось элемента задается в численной форме единичным вектором \mathbf{n} в СК первого тела, рис. 3.255.

3.5.12.8.3.4. Задание графического образа

Графический образ выбирается из списка заранее подготовленных ГО, причем образ данного силового элемента создается аналогично образу биполярного силового элемента, см. п. 3.5.6. "Назначение графического образа силовым элементам и шарниру в виде несомого стержня", с. 3-109.

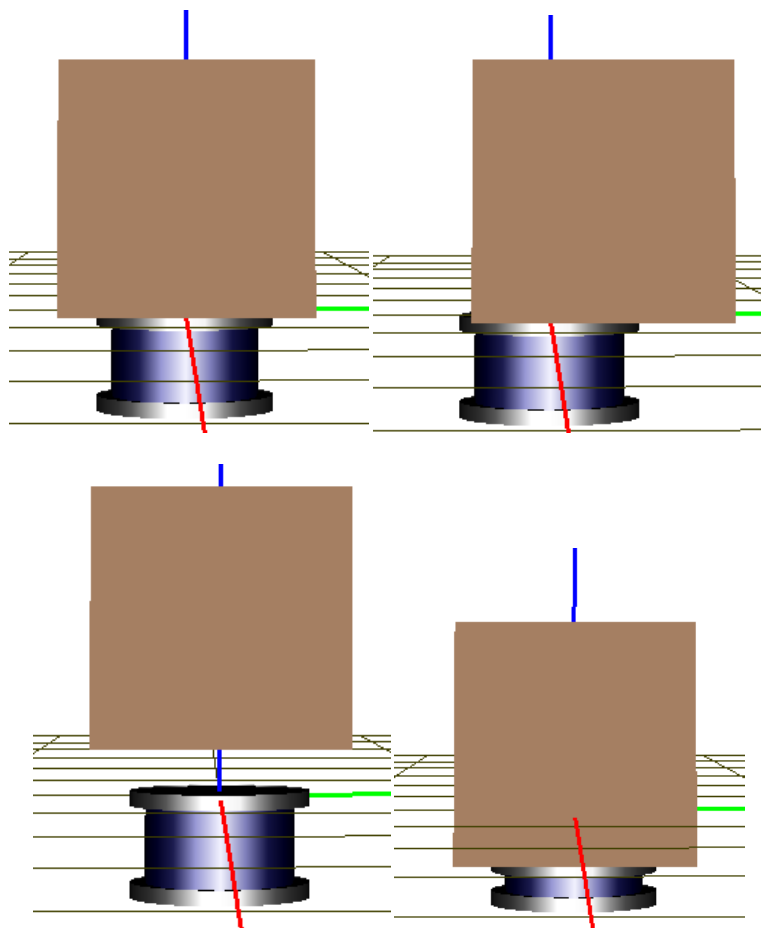


Рис. 3.257. Образ силового элемента при сдвигах второго тела относительно первого

В отличие от биполярного силового элемента, ГО в данном случае не соединяет две точки тел 2 и 1, а расположен вдоль оси элемента, задаваемой нормалью \mathbf{n} , рис. 3.257. Кроме того, в случае *одностороннего элемента* можно задать визуальный отрыв второго тела от элемента.

3.5.12.8.3.5. Задание модели осевой силы

Модель осевой силы или нормальной силы N выбирается на закладке **Осевая сила**. Пользователь должен выбрать один из возможных типов описание скалярной силы и внести ее параметры, см. п. 3.5.12.1. "Ввод силы тяжести", с. 3-206.

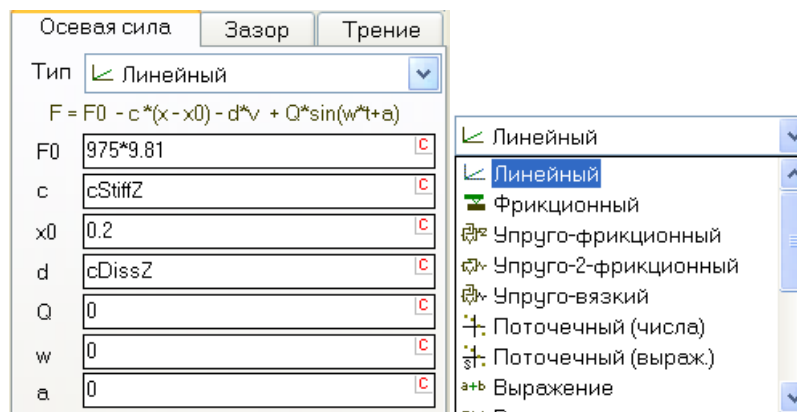


Рис. 3.258.Выбор модели осевой силы и задание ее параметров

3.5.12.8.3.6. Параметры силы трения

Параметры, задающие модель силы трения, устанавливаются на закладке Трение. Следует задать

- коэффициент трения скольжения (f);
- коэффициент трения сцепления или покоя (f0);
- коэффициент жесткости в режиме сцепления (cStiff);
- коэффициент диссипации в режиме сцепления (cDiss).

Подробнее о контактной жесткости и диссипации в режиме скольжения см. в [Главе 2](#), *Силовые элементы / Контактные силы / Тип точка-плоскость*.

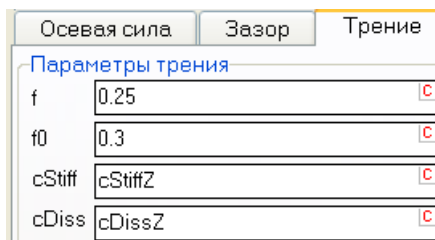


Рис. 3.259.Параметры трения

3.5.12.8.3.7. Выбор режима работы элемента

Настройки режима работы элемента

Для задания режима работы элемента используется набор ключей на закладке **Настройки**.

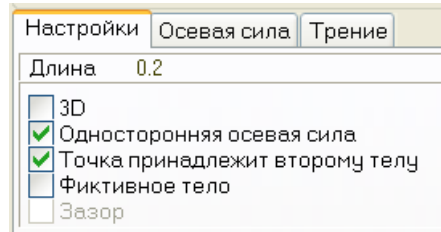


Рис. 3.260. Ключи режима работы элемента

- **3D**

При включено режиме 3D сила трения лежит в плоскости, перпендикулярной оси элемента \mathbf{n} . При выключенном ключе элемент имеет тип 2D, при котором сила трение направлена вдоль фиксированного относительно тела 1 направления (ось трения), задаваемом единичным вектором \mathbf{e} , рис. 3.255.

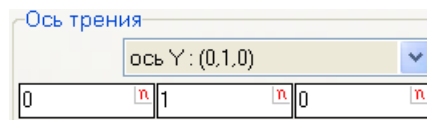


Рис. 3.261. Задание оси трения

Замечание. В режим 3D невозможно задать ограничения на смещения фиктивного тела относительно тела 1 или тела 2 относительно фиктивного тела.

- **Односторонняя осевая сила**

Включенный режим соответствует одностороннему контакту, когда силы взаимодействия становятся равными нулю при отрицательном значении нормальной реакции. В этом режиме возможно задание максимально длины элемента, которая влияет *исключительно* на графическое отображение элемента и не влияет на величины сил. А именно, ГО элемента не будет растягиваться больше заданной величины, что визуально будет соответствовать отрыву второго тела от силового элемента, рис. 3.257.

При выключенном режиме сила становится двухсторонней, то есть отрыва не происходит.

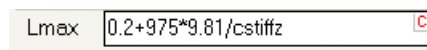


Рис. 3.262. Задание максимальной длины одностороннего силового элемента

- **Точка принадлежит второму телу**

Контактная точка может принадлежать телу 2 (при включенном режиме) или телу 1 (при выключенном). Это не влияет на величины сил, а определяет положение нормальной реакции N при сдвигах второго тела относительно первого. Если точка принадлежит первому телу, но нормальная реакция неподвижна относительно тела 1 и все время направлена по оси элемента. Если точка принадлежит второму телу, то нормальная реакция смещается в поперечном направлении вместе со вторым телом, оставаясь параллельной оси элемента.

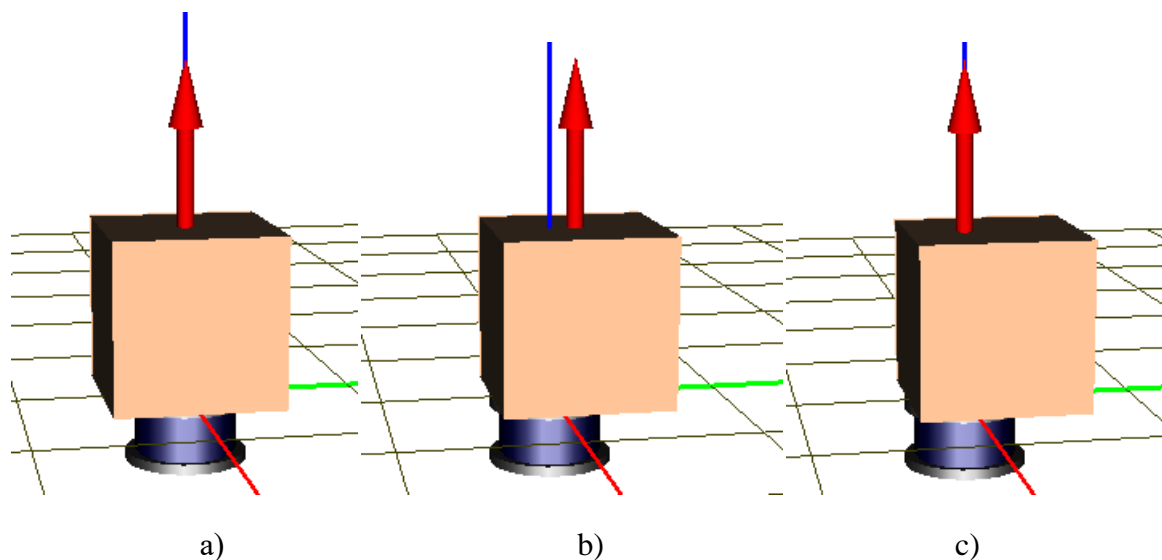


Рис. 3.263. Положение нормальной реакции при смещениях второго тела. Контактная точка принадлежит второму телу (b) и первому телу (c)

• **Фиктивное тело**

При включенной опции модель силового элемента включает фиктивное тело, которое может смещаться относительно первого тела в продольном и поперечном направлениях. Второе тело находится в контакте именно с фиктивным телом.

Поперечн. жесткость и демпфирование	
cStiff	1.0e6 <input type="text" value="C"/>
cDiss	1.0e4 <input type="text" value="C"/>

Рис. 3.264. Параметры упруго-диссипативной поперечной связи фиктивного тела с телом 1

При смещении фиктивного тела относительно первого возникает линейная упруго-диссипативная сила, параметры которой пользователь должен задать.

Более подробная информация о режиме фиктивного тела находится в [Главе 2](#), п. *Силовые элементы / Специальные силы / Комбинированное трение*.

• **Зазор**

Данная опция становится доступной только в режимах 2D и фиктивного тела. При включении опции появляется закладка **Зазор**, на которой можно задать его параметры.

Зазор означает ограничение на смещение фиктивного тела относительно тела 1, либо тела 2 относительно фиктивного тела.

В полях **Min**, **Max** следует указать границы допустимого смещения. Более подробная информация о понятии зазора находится в [Главе 2](#), п. *Силовые элементы / Специальные силы / Комбинированное трение*.

Осевая сила	Зазор	Трение
Тип зазора		
<input checked="" type="radio"/> Тело2 - Фиктивное тело		
<input type="radio"/> Фиктивное тело - Тело1		
Зазор вдоль оси		
Min	-xmin	C
Max	xmax	C

Рис. 3.265. Параметры зазора

3.5.12.8.4. Кулачок

Кулачок реализован как контактное силовое взаимодействие пары тел, см. [Главу 2](#), *Специальные силы/Кулачок*.

Пример описания и/или использования:

модель [{Данные УМ}\Samples\Mechanisms\cams](#).

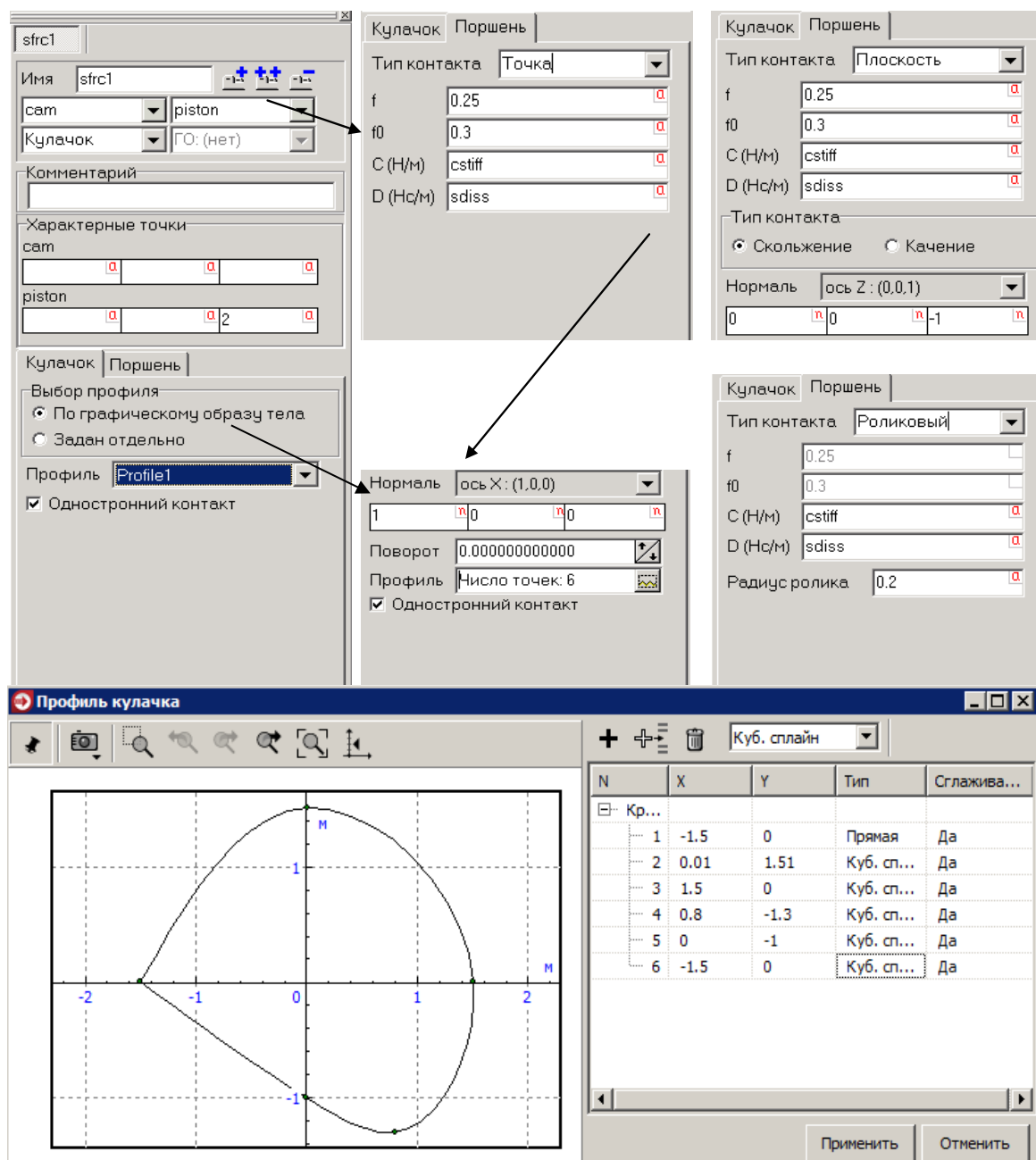


Рис. 3.266. Параметры кулачка

Параметры пары кулачок-поршень представлены на рис. 3.266. Математическая модель такого взаимодействия аналогична модели контактной силы описанной в [Главе 2](#), п. *Контактные силы*. Для создания элемента типа кулачок перейдите на вкладку **Спец. силы**, стандартным образом добавьте элемент к списку сил и выберите тип – **Кулачок**. В

результате в инспекторе отобразятся поля, предназначенные для ввода параметров кулачка (Тело 1) и поршня (Тело 2). В полях следует указать:

- **характерные точки** в СК каждого тела. Первая точка – это точка плоскости, содержащей профиль кулачка (при задании профиля в редакторе кривых). Вторая точка – это точка контакта (тип контакта – **Точка**), точка на оси ролика (тип контакта – **Роликовый**) или точка плоскости (тип контакта – **Плоскость**);
- **профиль кулачка** – может быть задан как профиль графического элемента образа первого тела (**По графическому образу тела**) или как плоская замкнутая кривая, созданная в **Редакторе кривых (Задан отдельно)**. Используйте флажок **Односторонний контакт** для управления направленностью контакта;
- в случае поточечно заданного профиля его положение относительно системы координат тела задается **точкой, нормалью** к плоскости профиля и **углом поворота** профиля вокруг нормали;
- профиль кулачка может быть задан в графическом образе тела 1 с использованием одного из следующих типов графических элементов:
 - конус при условии, что радиусы при вершине и основании одинаковые;
 - эллипс с равными полуосями (окружности)
 - профильный элемент (профиль типа Кривая 2D, осевая линия – прямая), см. п. 3.5.8.2.8. "*Профильный*", с. 3-136.
- **параметры поршня**. Здесь вводятся коэффициенты трения покоя и скольжения (кроме типа контакта – **Роликовый**), жесткости и диссипации для контакта кулачок-поршень, а так же радиус ролика (тип контакта – **Роликовый**);
- для кулачка с типом контакта **Плоскость** дополнительно следует задать
 - внешнюю **нормаль** к плоскости поршня;
 - тип контакта **Качение/Скольжение**; тип **Качение**, в частности, позволяет моделировать качение некруглых колес по плоскости.

Все данные, за исключением нормали плоскости и параметров сечения кулачка, заданного отдельно, параметризуются.

3.5.12.8.5. Пружина


Математическая модель элемента описана в [Главе 2](#), пп. *Специальные силы/Пружина, Обобщенный линейный силовой элемент*.

В значительной мере описание пружины совпадает с описанием упругого обобщенного линейного силового элемента (п. 3.5.12.5.2. *"Особенности задания упругого элемента"*, с. 3-236), а именно:


- графический образ (п. 3.5.6. *"Назначение графического образа силовым элементом и шарниру в виде невесомого стержня"*, с. 3-109)
- координаты точек A, B2,
- ориентация СКВ2,
- использование кнопок *Рассчитать для второго тела* и ключа *Авторасчет для второго тела*,
- стационарная сила.

Поэтому предполагается, что пользователь предварительно изучил описание обобщенного линейного силового элемента.

Здесь мы остановимся лишь на особенностях описания специальной силы *Пружина*.

1. Вместо точки B1 вводится эквивалентная информация: направление оси пружины в СК первого тела (радио-группа *Направление*) и длина пружины под нагрузкой, заданной в полях группы *Стационарная сила*. Если стационарная сила нулевая, то вводится длина пружины в недеформированном состоянии.
2. На закладке **Параметры** задаются
 - стационарное значение силы (то есть значение при нулевых координатах и при заданной длине пружины);
 - тип задания коэффициентов жесткости пружины:
 - *Эквивалентный брус*: расчет по теоретическим формулам, соответствующим теории пружины на базе эквивалентного бруса при заданных параметрах пружины (диаметр прутка, радиус, число витков и т.д.); по кнопке  можно получить графики поперечной и изгибной жесткостей в зависимости от сжатия пружины.

Жесткость прод. (C1):	cz	...
Жесткость попер. (Cs):	Number of points: 3	...
Жесткость изгиб (Cphi):	Number of points: 3	...
Жесткость круч. (Ca):	caz	...

- *Эксперимент*: задание постоянных значений коэффициентов жесткости (в том числе параметризованных) или переменных, зависящих от продольного сжатия пружины в виде поточечного графика; для ввода графика следует использовать кнопку .

Рассчитываются или задаются пользователем следующие коэффициенты жесткости:

- продольная C1 (longitudinal), Н/м
- сдвиговая (поперечная) Cs (shear), Н/м
- изгибная Cphi, Нм

- на кручение C_a , Нм.

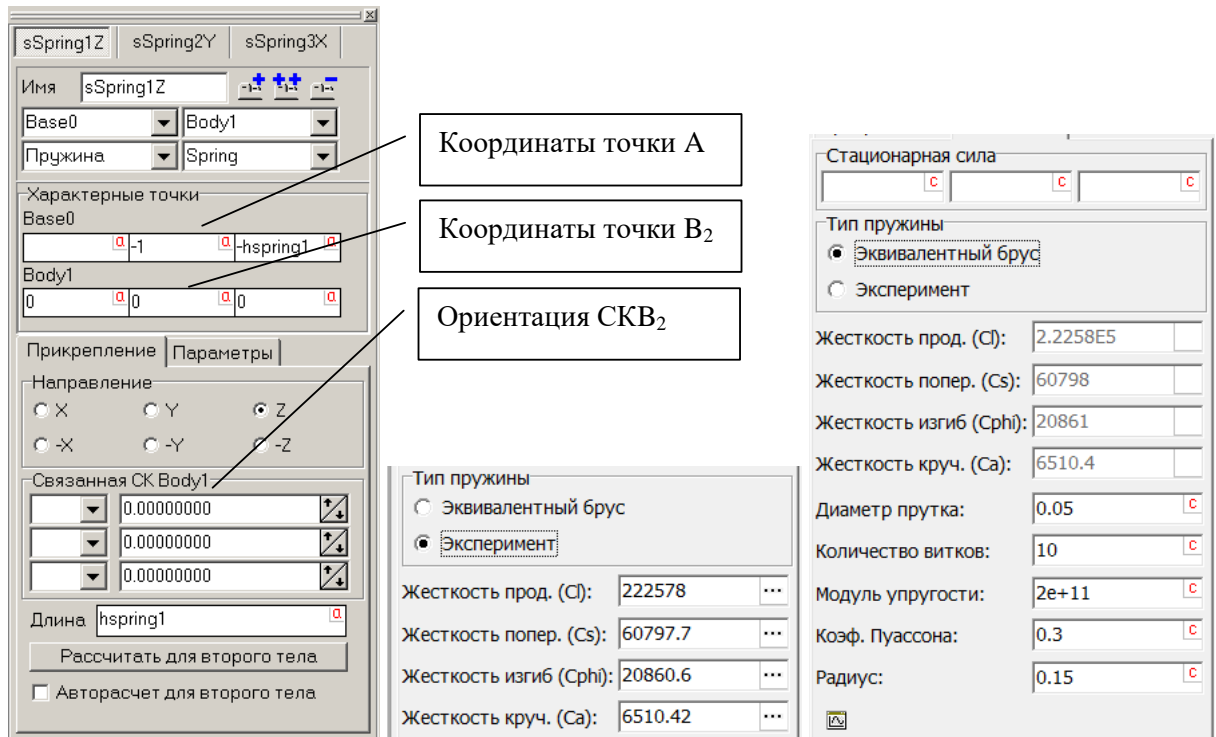


Рис. 3.267. Параметры пружины

3.5.12.8.6. Зубчатая рейка

Зубчатая рейка – частный случай зубчатого зацепления рейки с зубчатым колесом. Математическая модель этого элемента подобна описанной в [Главе 2](#), п. *Зубчатое зацепление*.

Для задания зубчатого зацепления шестеренки и рейки необходимо указать **характерные точки** (центр шестеренки и точка на оси рейки), **радиус** шестеренки, **оси** (ось вращения шестеренки и ось рейки), **жесткость** и **диссипацию** в зацеплении приведенные к контактной точке.

Все параметры этого силового элемента, за исключением осей, могут быть параметризованы.

Рис. 3.268. Параметры элемента «Зубчатая рейка»

Пример. Использование зубчатого зацепления рейки с колесом приведен в модели системы рулевого управления автомобиля приведен на рис. 3.269 (модель автомобиля находится в каталоге примеров [{Данные УМ}\Samples\Automotive\Vaz21_09](#)).

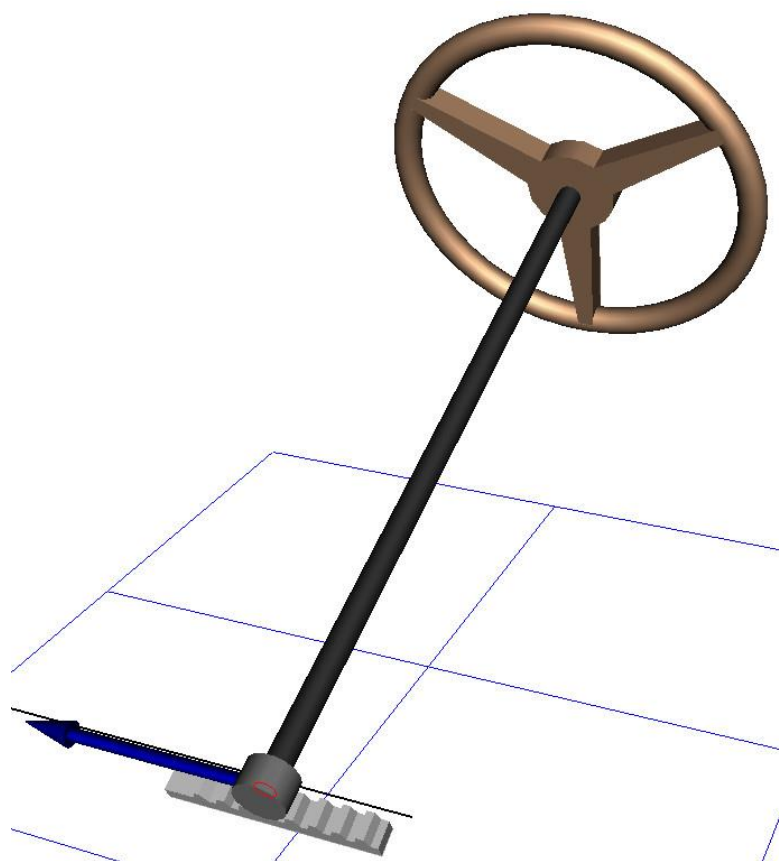


Рис. 3.269. Пример использования механизма в модели рулевой системы автомобиля

3.5.12.8.7. Сайлент-блок

Математическая модель элемента этого типа описана в [Главе 2](#), п. *Специальные силы/Сайлент-блок*. В режиме отдельного элемента в анимационном окне сайлент-блок рисуется в виде проволочного красного цилиндра. Указываются также положения СКТ1, СКТ2.

Для описания сайлент-блока необходимо:

- установить положения СКТ1 (Тело 1) и СКТ2 (Тело2), для этого используется стандартный инструмент задания положения СК; как проекции векторов сдвигов, так и углы поворота могут быть параметризованы;
- выбрать тип элемента **Линейный/Поточечный/Обобщенный**.

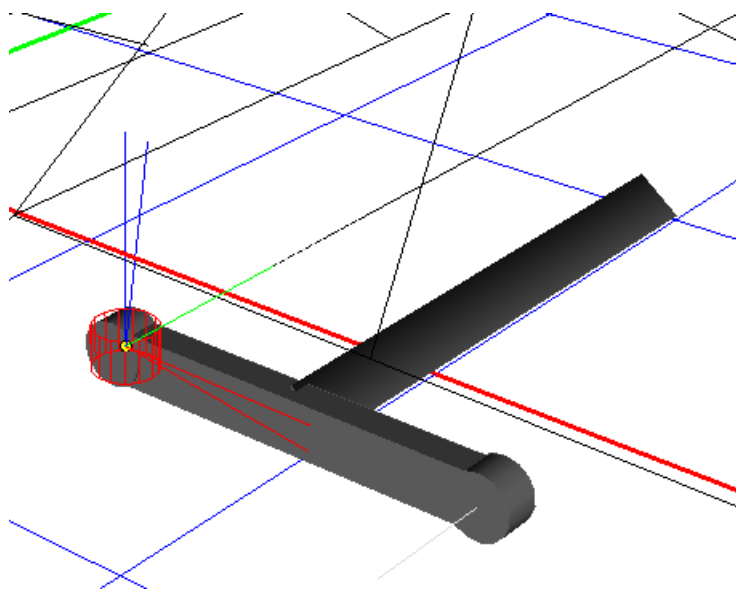


Рис. 3.270. Пример сайлент-блока: модель VAZ21_09 из каталога Samples/Automotive

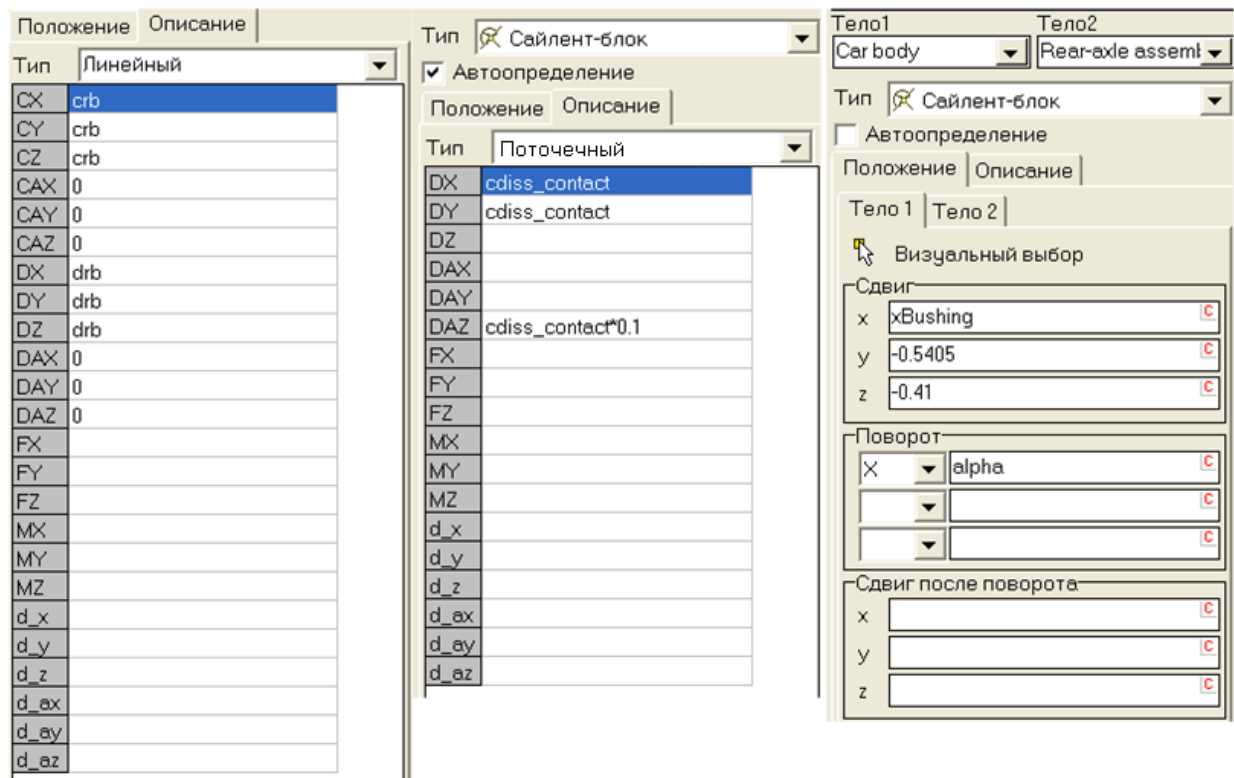
Замечание. При создании силовых элементов типа сайлент-блок часто удобно использовать режим **автоопределения**, при котором положение СКТ2 автоматически выбирается совпадающей с СКТ1 при *нулевых значениях координат объекта*.

Дальнейший ввод данных зависит от типа модели сайлент-блока.

3.5.12.8.7.1. Задание параметров линейного и поточечного сайлент-блока

В случае линейного сайлент-блока ввести коэффициенты жесткости и диссипации при сдвигах (CX, CY, CZ) и поворотах (CAX, CAY, CAZ) относительно осей СКТ1.

В случае поточечного задания элемента следует указать коэффициенты линейной диссипации и нелинейные зависимости проекций сил и моментов от соответствующих смещений и поворотов.



а)

б)

в)

Рис. 3.271. а) Линейный сайлент-блок типа податливого сферического шарнира а) Нелинейный сайлент-блок б) Закладка задания положения СКТ1

При необходимости можно задать значения силы и момента при совпадающих СКТ1, СКТ2 F_0, M_0 (FX, FY, FZ, MX, MY, MZ) и/или статическое отклонение СКТ2, СКТ1 $\Delta r_0, \Delta \pi_0$ (d_x, d_y, d_z, d_ax, d_ay, d_az).

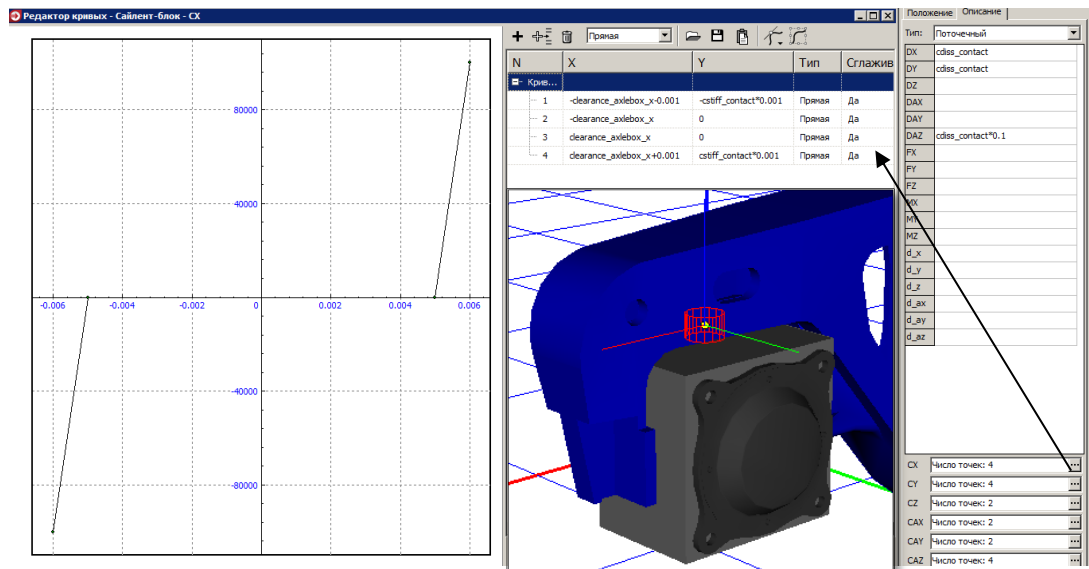


Рис. 3.272. Пример задания нелинейного сайлент-блока, моделирующего опирание боковины и зазоры в буксовом узле трехэлементной тележки грузового вагона

Замечание. При задании поточечных зависимостей силы и момента от соответствующих перемещений принимается соглашение о знаках, при котором положительному смещению или повороту соответствует положительное значение упругой силы или момента на графике, как это указано на рисунке сверху.

3.5.12.8.7.2. Задание параметров обобщенного сайлент-блока

В случае обобщенного сайлент-блока следует задать модели проекций силы и момента на оси СКТ1, рис. 3.273. Пользователь может выбрать любой тип скалярной силы для описания каждой из проекций, п. 3.5.12.2. "Описание скалярных сил", с. 3-207. Благодаря этому модель данного силового элемента становится одним из наиболее мощных инструментов описания взаимодействий тел в УМ.

Тип	Обобщенный	
	← Mx	← My
	← Fx	← Fy
		← Fz
	← Линейный	
	$F = F0 - c*(x - x0) - d*v + Q*\sin(w*t + a)$	
F0	0	C
c	cstiff	C
x0	0	C
d	cdiss	C
Q	0	C
w	0	C
a	0	C

Рис. 3.273. Параметры обобщенного сайлент-блока

Модели:

[{Данные УМ}\Samples\Library\Bushing\Bushing general;](#)

[{Данные УМ}\Samples\Library\Bushing\Bushing general Ext.](#)

3.5.12.8.8. Пневматические рессоры

Математические модели элемента описаны в [Главе 2](#), п. *Пневматические рессоры*.

Для создания элемента перейдите на список специальных сил в списке элементов объекта и создайте специальную силу типа *Пневморессора*. Стандартным образом назначьте элементу пару тел, графический образ и укажите точки прикрепления. Перейдите за закладку **Параметры** и выберите одну из моделей пневморессоры. Задайте параметры выбранной модели, рис. 3.274.

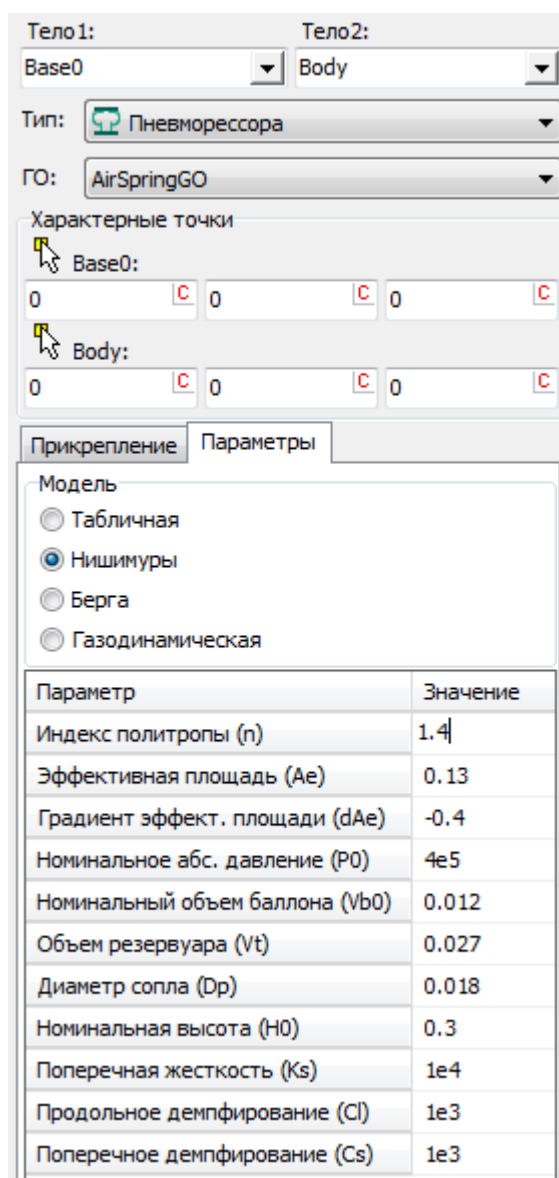


Рис. 3.274. Параметры пневморессоры

3.6. Работа с визуальными компонентами

3.6.1. Основные понятия

УМ компоненты предоставляют пользователю мощный и удобный инструмент визуальной разработки моделей. Компонента может добавить к объекту полностью параметризованный элемент или группу элементов с предварительно описанными свойствами. При визуальном добавлении компоненты пользователь передает элементы необходимой геометрическую информацию (например, точки прикрепления силового элемента) с помощью точек связи, п. 3.5.9.6. "Точки связи", с. 3-168. Следующие элементы и подструктуры могут быть представлены в форме компонент:

- тело
- шарнир
- силовой элемент
- графический объект
- подсистема
- объект

Если стандартному элементу (телу, силовому элементу, шарниру) назначен графический образ, то он может быть включен в состав компоненты вместе со своим образом.

Каждой компоненте соответствуют два файла: текстовый файл с описанием компоненты на языке УМ и графический файл (*.bmp), содержащий иконку компоненты, для ее визуального отображения на закладке библиотеки.

При создании компоненты стандартными средствами текстовый файл имеет специальное расширение

- Шарниры: *.jnt
- Тела: *.bdy
- Биполярные силовые элементы: *.bfc
- Графические объекты: *.img
- Подсистемы: *.sbs
- Обобщенные линейные силовые элементы: *.lfrc
- Контактные силы: *.cfrc
- Силы общего типа: *.afrc
- Специальные силы *.sfrc

Компоненты могут быть параметризованы. Соответствующий список идентификаторов сохраняется в файле описания компоненты.

Пример файла компоненты (тело вместе с графическим образом)

```
with const;
cnst=(mbody, 100, "Mass");
cnst=(ibodyx, 12, "Moment of inertia X");
cnst=(ibodyy, 10, "Moment of inertia Y");
cnst=(ibodyz, 15, "Moment of inertia z");
cnst=(xcg, 0, "Center of gravity X");
cnst=(ycg, 0, "Center of gravity Y");
cnst=(zcg, 0.5, "Center of gravity Z");
cnst=(a, 0.3, "Depth");
cnst=(b, 0.4, "Width");
```


3.6.2. Список компонент

Список компонент предназначен для ввода компонент в объект, то есть он дублирует **Закладки с компонентами**. Чтобы добавить компоненту в объект, в списке компонент над ней нужно дважды щелкнуть мышкой.

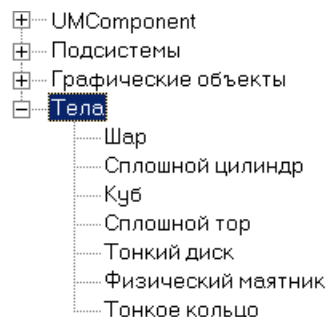


Рис. 3.276. Список компонент

3.6.3. Режим автоматического позиционирования и режим пользователя визуального добавления компонент


Функция **автоматического позиционирования** предназначена для упрощения процедуры визуального добавления компонент. Она используется в том случае, если тела находятся в положении, удовлетворяющем налагаемым кинематическим или силовым связям. Как правило, это соответствует ситуациям, когда модели импортирована из САД программ, или пользователь создает объект, строго следя за положением каждого из тел систем относительно базы. Режим позволяет упростить процесс определения части геометрической информации о шарнире или силовом элементе.

Пример. При вводе сферического шарнира следует указать координаты шарнирной точки в СК каждого из пары тел, соединенных шарниром. Если при текущем положении модели эти точки совпадают относительно СК0, то в режиме автопозиционирования достаточно указать точку, принадлежащую первому телу, а координаты второй точки в СК второго тела будут рассчитаны программой автоматически. В **режиме пользователя** предполагается, что точки не совпадают, и следует визуально выбрать обе.

3.6.4.1. Визуальное добавление биполярных силовых элементов

Для добавления биполярного элемента необходимо выполнить следующие шаги:

1. Удостоверьтесь, что тела имеют необходимые точки связи, соответствующие точкам прикрепления элемента. Если они не добавлены - добавьте их (используйте закладки соединяемых тел).

2. Выберите соответствующую компоненту на панели компонент . Откроется окно подсказки конструктора, в котором будут последовательно отображаться шаги добавления элемента:


2.1. "Выберите первое тело" - щёлкните левой кнопкой мыши на точке связи, принадлежащей первому телу.

2.2. "Выберите второе тело" - щёлкните левой кнопкой мыши на точке связи, принадлежащей второму телу.

В зависимости от выбранной компоненты некоторым из параметров биполярной силы и ее графическому образу присвоены идентификаторы с именами, принятыми по умолчанию. Пользователь может переименовать идентификаторы, изменить их численные значения

В любом случае пользователь может скорректировать параметры элемента: выбрать тела, соединяемые элементом, назначить координаты точек прикрепления в СК, связанных с телами.

Рассмотрим модели биполярных элементов – стандартных компонент и их параметризацию.

 **Биполярная линейная пружина** является линейным упругим биполярным элементом без диссипации. Математическая модель:

$$F = -c \cdot (x - x_0)$$

где c – коэффициент жесткости пужины, x – текущая длина, x_0 – длина в ненагруженном (нерастянутом) состоянии.

Идентификатор	Значение	Комментарий
bfrc_spring_k	685.9	Коэффициент жесткости пружины
bfrc_spring_l0	0.19	Длина пружины в нерастянутом состоянии
bfrc_spring_r	0.0285	Радиус
bfrc_spring_drod	0.00665	Диаметр прутка

Рис. 3.278. Список идентификаторов биполярной линейной пружины

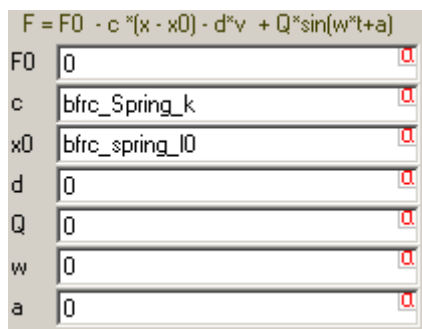


Рис. 3.279. Параметры биполярной линейной пружины в инспекторе



Рис. 3.280. Графический образ биполярной линейной пружины

Два идентификатора, параметризующие данный силовой элемент: bfrc_spring_r и bfrc_spring_drod относятся к графическому образу. Изменяя их, можно получить подходящее изображение.



Биполярная линейная пружина с демпфированием является линейным упругим биполярным элементом с диссипацией. Математическая модель:

$$F = -c \cdot (x - x_0) - d \cdot v$$

где c, d – коэффициенты жесткости и диссипации, x, v – текущая длина и ее производная по времени, x_0 – длина в ненагруженном (нерастянута) состоянии.

Идентификатор	Значение	Комментарий
bfrc_dampspr_k	19000	Коэффициент жесткости пружины
bfrc_dampspr_l0	0.19	Длина в нерастянутом состоянии
bfrc_dampspr_d	1900	Коэффициент диссипации
bfrc_dampspr_r	0.0133	Характерный радиус ГО гасителя

Рис. 3.281. Список идентификаторов биполярной линейной пружины с диссипацией

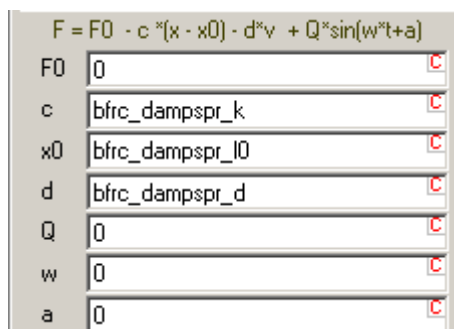


Рис. 3.282. Параметры биполярной линейной пружины с диссипацией в инспекторе



Рис. 3.283. Графический образ биполярной линейной пружины с диссипацией

Идентификатор `bfrc_dampsrg_r` относится к графическому образу элемента. Изменяя его значение, можно получить подходящее по размерам изображение.



– **Биполярный линейный гаситель** является линейным диссипативным биполярным элементом. Математическая модель:

$$F = -d \cdot v$$

где d – коэффициент жесткости, v – текущая производная длины элемента по времени.

Идентификатор	Значение	Комментарий
<code>bfrc_damper_d</code>	10000	Коэффициент диссипации
<code>bfrc_damper_l0</code>	0.133	Длина гасителя в нерастянутом состоянии
<code>bfrc_damper_r</code>	0.0133	Характерный радиус ГО гасителя

Рис. 3.284. Список идентификаторов биполярного линейного гасителя

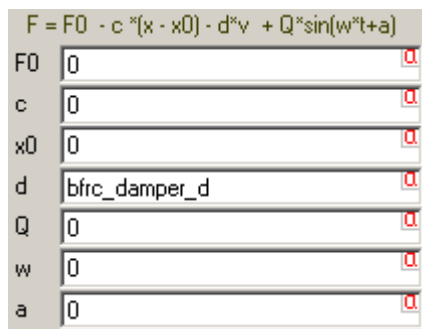


Рис. 3.285. Параметры биполярного линейного гасителя



Рис. 3.286. Графический образ биполярного линейного гасителя

Идентификаторы `bfrc_damper_r`, `bfrc_damper_l0` относятся к графическому образу элемента. Изменяя их значения, можно получить подходящее по размерам изображение.

Замечание. Если необходимо добавить в модель два или более элемента одного типа (например, несколько биполярных линейных пружин), имеющих различные геометрические или силовые параметры, во избежание ошибок предпочтительно после добавления каждого элемента изменять стандартные имена идентификаторов на оригинальные.






Например, если в систему необходимо добавить две биполярные линейные пружины с различающимися параметрами (Пружина 1 – жёсткость 100 Н/м, длина в нерастянутом состоянии 1м; Пружина 2 – жёсткость 1000 Н/м, длина в нерастянутом состоянии 0.1м), то правильнее будет после добавления первой пружины и присвоения идентификаторам соответствующих ей значений (`bfrс_Spring_k = 100`, `bfrс_Spring_l0 = 1`) переименовать идентификаторы `bfrс_Spring_k`, `bfrс_Spring_l0` в `bfrс_Spring1_k`, **`bfrс_Spring1_l0`**. При добавлении второй пружины идентификаторов со стандартными именами (`bfrс_Spring_k`, `bfrс_Spring_l0`) обнаружено не будет, и они будут созданы заново. В открывшемся окне можно присвоить идентификаторам значения, соответствующие второй пружине (`bfrс_Spring_k = 1000`, `bfrс_Spring_l0 = 0.1`).

3.6.5. Создание библиотек визуальных компонент



3.6.5.1. Мастер компонент

Мастер компонент предназначен для создания и редактирования библиотек компонент, рис. 3.287. Для вызова мастера используется команда меню **Инструменты | Мастер компонент**.

Панель инструментов мастера содержит поле редактирования имени текущей закладки и следующие кнопки:

-  – добавление новой закладки (группы) библиотеки компонент;
-  – удаление текущей закладки (группы) библиотеки компонент;
-  – открыть библиотеку компонент;
-  – сохранить изменения в текущей библиотеке или сохранить новую библиотеку;
-  – сохранить текущую библиотеку под другим именем.

На панели **Компоненты** отображаются параметры текущей редактируемой компоненты:

- **имя** компоненты (используется как имя закладки в мастере),
- **подсказка** (используется в качестве имени компоненты в списке компонент и как подсказка при наведении указателя мыши на компоненту на закладках компонент),
- **путь** до файла содержащего компоненту,
- образ кнопки (иконка компоненты на панели закладок компонент),
- флажок автопозиционирования,
- кнопками  и  можно добавлять новую или удалять текущую компоненты.

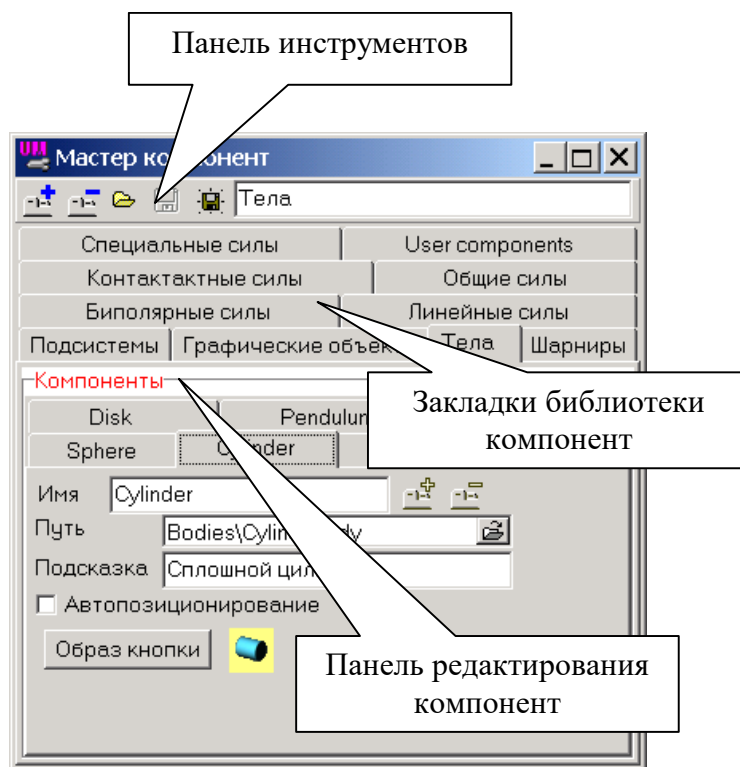


Рис. 3.287. Мастер компонент

3.6.5.2. Графический образ кнопки

Инструмент предназначен для создания картинки для кнопки компоненты с помощью отрисовки текущего объекта в окне по размеру кнопки.

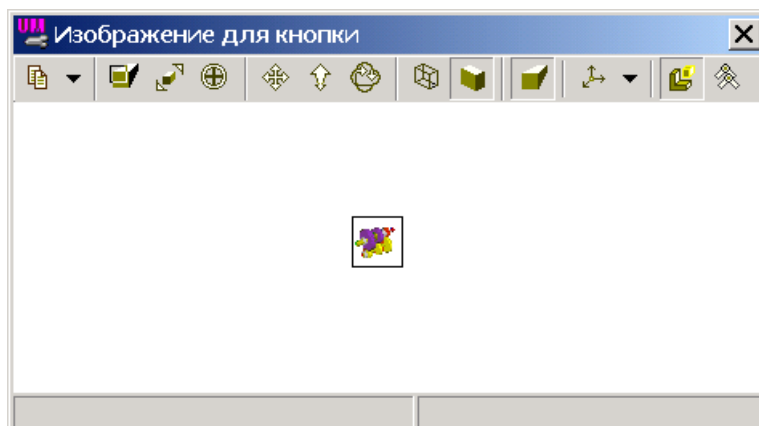





Рис. 3.288. Анимационное окно для создания рисунка на кнопке

После выполнения команды меню Инструменты | ГО для кнопки **Графический образ для кнопки** появляется окно **Изображение для кнопки** (рис. 3.288) – это обычное анимационное окно с областью отрисовки размером с кнопку. Получив нужное изображение объекта его можно сохранить в файл или скопировать в буфер обмена. Для этого используйте кнопку .

3.7. Сохранение объекта

При сохранении активного объекта первый раз следует использовать либо пункт основного меню **Файл | Сохранить как...**, либо кнопку  панели инструментов. Дальнейшие действия описаны в п. 3.3.1. "Файл", с. 3-18. Именно в этот момент объект получает идентифицирующее имя, которое называется *именем объекта*.

Сохранение введенных данных активного объекта после его *модификации* можно выполнить в любой момент, используя один из перечисленных вариантов:

- пункт основного меню **Файл | Сохранить объект**;
- набор клавиш клавиатуры **Ctrl+S**;
- кнопку  панели инструментов.

Данные сохраняются в каталоге с именем объекта в файле исходных данных *input.dat*.

3.8. Синтез уравнений движения

«Универсальный механизм» поддерживает два способа синтеза уравнений движения: *символьный* и *численно-итерационный*.

Перед синтезом уравнений программа выполняет следующие операции:

- автоматически сохраняет объект при условии его модификации пользователем с момента последнего сохранения;
- проверяет корректность и полноту введенных данных.

Если уравнения не могут быть синтезированы из-за неполноты ввода, программа передает управление инспектору конструктора, активизируя на нем вкладку **Протокол**. В нижней половине протокола содержатся сведения об ошибках и предупреждениях.

По умолчанию ошибкой считается задание нулевой массы и нулевых моментов инерции тела относительно осей. В данном случае можно изменить статус ошибки на статус предупреждения, используя вкладку **Общие** окна настроек.

Рассмотрим методы синтеза уравнений движения, их достоинства и недостатки более подробно.

Символьный метод синтеза уравнений движения предполагает вывод уравнений на одном из поддерживаемых языков программирования (в настоящей версии программы поддерживаются C и Pascal). Далее эти синтезированные файлы будут откомпилированы некоторым заданным внешним компилятором, что на выходе даст динамически загружаемую библиотеку UMTask64.dll, которая будет подключаться к программе моделирования движения.

Синтез исходных текстов и запуск внешнего компилятора выполняется из программы описания моделей. Уравнения движения синтезируются с использованием встроенной специализированной системы автоматизированных выкладок. Переход к синтезу уравнений активного объекта происходит через пункт основного меню **Объект / Синтезировать уравнения**.

Численно-итерационный метод предполагает вывод уравнений движения численно на каждом шаге численного метода интегрирования уравнений движения непосредственно в программе моделирования движения.

Рассмотрим преимущества и недостатки обоих методов синтеза уравнений движения.

С точки зрения скорости численного моделирования символьный метод эффективнее на 10-30% для относительно сложных моделей с числом степеней свободы более 10-20. Для моделей с числом степеней свободы менее 10 разницы в скорости численного моделирования двумя методами практически нет. Эта разница связана с тем, что на этапе символьного вывода уравнений движения получившиеся выражения оптимизируются с точки зрения быстродействия. Так, например, выполняется вынос общих множителей за скобки и удаление операций умножения и сложения с нулем. Тогда как при численно-итерационном способе синтеза уравнений движения такая оптимизация невозможна.

С другой стороны, символьный метод синтеза уравнений движения требует наличия на компьютере пользователя внешнего компилятора. «Универсальный механизм» поддерживает в качестве внешних компиляторов. Эти компиляторы не поставляются вместе с «Универсальным механизмом» и должны быть лицензированы отдельно.

Вместе с тем, численно-итерационный метод не требует явного этапа синтеза и компиляции (а также предварительной настройки компиляторов) и таким образом проще в использовании.

Начинающим пользователям рекомендуется выбирать численно-итерационный метод синтеза уравнений, как более простой в использовании. Символьный метод может быть рекомендован более опытным пользователям, исследующим сложные модели.

3.8.1. Численно-итерационный метод

Для того, чтобы установить численно-итерационный метод в списке элементов модели в левой верхней части окна конструктора объектов выберите **Объект**. Затем в Инспекторе моделирования в поле **Синтез уравнений** выберите **Численно-итерационный**.

Если модель описана без ошибок, то она готова для загрузки в программу моделирования движения.

3.8.2. Символьный метод

Чтобы установить символьный способ синтеза уравнений движения в поле **Синтез уравнений** выберите **Символьный**.

Результатом работы с программой описания моделей является динамическая библиотека *UmTask64.dll*, которая получается после синтеза уравнений движения на одном из доступных алгоритмических языков и компиляции этих уравнений при помощи внешнего компилятора. Эта динамическая библиотека всегда находится в каталоге задачи. После ее создания можно переходить к моделированию движения.

При условии, что объект описан корректно, происходит переход к окну управления процессом синтеза и компиляции уравнений движения объекта, см. рис. 3.289.

Тип синтезируемых уравнений – отображается значение, введенное пользователем на вкладке **Общие** конструктора (см. п. 3.4.2.1. "*Общие параметры и настройки объекта*", с. 3-35).

Флажок **Переписать файл управления** появляется при повторном синтезе уравнений движения и позволяет сохранить файл управления (основа программирования в среде УМ), записав новую версию файла с расширением *.new*. Это имеет значение, если пользователь создал в файле управлений свои процедуры и не хочет их потерять. В противном случае рекомендуется включать флажок, чтобы заменить файл управления новым вариантом (в этом случае старый файл будет переименован с расширением *.old*).

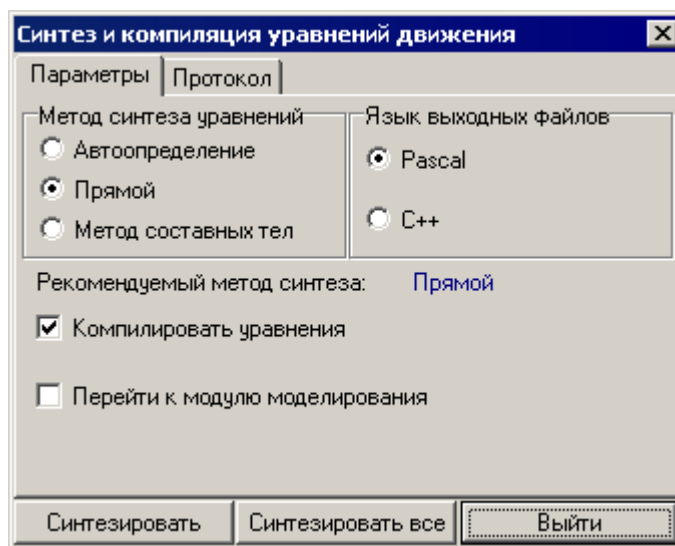



Рис. 3.289. Окно синтезатора уравнений движения в символьной форме

Флажок **Синтезировать матрицы Якоби** рекомендуется при моделировании объектов, уравнения движения которого являются жесткими (например, при наличии контактных сил с большими значениями параметров контактной жесткости и диссипации). Если при синтезе включен флажок синтеза матриц Якоби, при численном исследовании движения рекомендуется использовать метод Парка. Флажок **Компилировать уравнения** включает компиляцию уравнений движения сразу после синтеза уравнений. Как правило, этот флажок включен.

Кнопка **Синтезировать** запускает процесс автоматизированного вывода уравнений движения.

Кнопка **Синтезировать все** используется в методе подсистем для запуска процедуры синтеза уравнений движения для всех внешних подсистем.

Кроме компиляции непосредственно после синтеза уравнений возможна автономная компиляция активного объекта либо с использованием команды меню **Объект | Компиляция**, набора клавиш **Ctrl+F9** или кнопки  на панели инструментов.

3.8.3. Компиляция уравнений движения

В случае, если в качестве метода синтеза уравнений движения выбран символьный метод, то для подготовки модели к загрузке в программу моделирования движения необходимо выполнить компиляцию этих уравнений при помощи внешнего компилятора. «Универсальный механизм» поддерживает в качестве внешних компиляторов Embarcadero Delphi.

Настройка связи с внешними компиляторами выполняется при помощи пункта меню **Инструменты/Настройки**.

Дальнейшие действия зависят от того, какой из вышеперечисленных компиляторов установлен у вас на компьютере.

Delphi

- Перейдите на закладку **Пути/Delphi**.
- Нажмите кнопку **Найти Delphi**.

В случае успешного обнаружения поддерживаемых компиляторов автоматически инициализируются поля путей поиска компиляторов и библиотек.

Существует возможность использования компиляторов, установленных на персональных компьютерах, входящих в локальную сеть. При включении флажка **Сеть** появляется поле выбора ПК локальной сети, на котором предполагается найти компилятор. Если компилятор установлен на выбранном ПК и у текущего пользователя есть доступ к файлам компилятора, то его можно выбрать для компиляции.

3.9. Импорт данных из CAD форматов


UM предоставляет широкие возможности по конвертации данных из CAD программ. Реализованы три подхода к конвертации.

1. Использование **API** CAD-программы. В этом случае пользователь открывает сборку в CAD-программе и использует соответствующий UM конвертер для преобразования сборки в систему тел. Таким образом конвертируются сборки из КОМПАС, SolidWorks, Autodesk Inventor, ProE, Unigraphics NX, см. [Главу 9](#).
2. Использование промежуточного коммерческого конвертера CAD форматов CADLook для конвертации файлов форматов STEP (как AP203, так и AP214), IGES, X_T (Parasolid), SAT, см. [Главу 9](#).
3. Прямая конвертация файлов в форматах 3ds и stl в модели UM. Например, модель, созданная в Catia v5, сначала сохраняется в формате stl, а затем этот файл читается UM при наличии соответствующего конвертера в конфигурации UM.

Минимальная конфигурация UM Base содержит только конвертер файлов 3ds в ucf формат, п. 3.9.1. "*UM CAD формат ucf*", с. 3-293, а также чтение файлов формата ucf. Остальные конвертеры включаются в конфигурацию UM в соответствии с лицензионным соглашением.

3.9.1. UM CAD формат ucf

Текстовый формат файлов ucf (**UM Cad Format**) разработан как промежуточный формат при конвертации данных из CAD программ с помощью API и при чтении файлов 3ds, stl, vtml, см. [Главу 9](#), посвященную описанию конвертеров.

В некоторых случаях при конвертации формирование промежуточного файла в ucf формате скрыто от пользователя, и в качестве результата конвертации непосредственно получается UM модель в программе UMinput. В других случаях результатом конвертации является непосредственно файл ucf, и для получения модели следует прочитать этот файл с помощью команды меню **Инструменты | Импорт из CAD | UM CAD файл** или кнопки , см., например, п. 3.9.4. "*Чтение файлов формата 3ds*", с. 3-295.

3.9.2. Формат umd описания модели, импортированной из CAD

Текстовый формат umd описания моделей UM является основным форматом в программах UMLite (облегченный вариант UM Base) и UM Express (прикладная библиотека динамического анализа под САПР КОМПАС 3D). В рамках UM этот формат используется как вспомогательный после конвертации сборок из CAD программ.

Файл input.umd создается одновременно со стандартным файлом input.dat при первой записи модели, конвертированной из CAD программы. По сравнению с input.dat, файл input.umd содержит дополнительную информацию о дереве сборки, включая детали, их имена, инерционные параметры и графические данные. При наличии этой информации пользователь получает в распоряжение инструменты объединения деталей в тела произвольным образом с автоматическим пересчетом инерционных параметров. Подробнее см.

[Главу 9](#), п. *Доработка динамической модели после конвертации*. Как правило, после окончания доработки модели, этот файл больше не используется.

3.9.3. Доработка моделей после конвертации из CAD

Как правило, после конвертации из CAD модель требует доработки, включающей

- объединения части деталей в тела, см. [Главу 9](#), п. *"Доработка динамической модели после конвертации"*; эта операция доступна, если пользователь читает модель с помощью команды меню **Файл | Открыть *.umd**.
- в некоторых случаях – назначения инерционных параметров, при этом могут использоваться средства УМ по расчету инерционных параметров по графическому образу, п. 3.5.9.2. *"Инерционные параметры"*, с. 3-162, п. 3.5.9.1.4. *"Переназначение графического образа тела в программе моделирования"*, с. 3-160;
- изменение цвета и положения графических образов;
- автоматическое определение ребер в случае, когда ребра не конвертируются вместе со сборкой (т.е. в большинстве случаев), п. 3.5.8.2.14. *"Графический элемент ASC, импортированный из CAD программы"*, с. 3-146.

3.9.4. Чтение файлов формата 3ds

Универсальный механизм поддерживает возможность импорта графических объектов, разработанных средствами [3D Studio](#) любой версии. В окне графического конвертера, вызываемого из среды UInput, имеются средства для управления процессом преобразования исходных файлов (формат 3DS) в формат ucf, п. 3.9.1. "UM CAD формат ucf", с. 3-293.

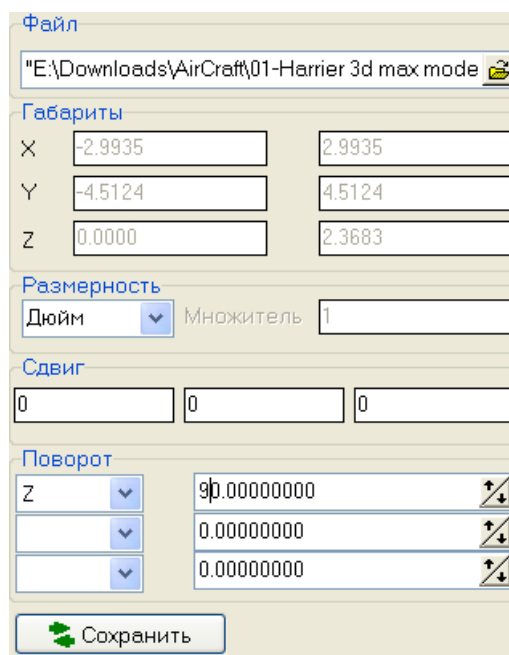





Рис. 3.290. Конвертер 3ds файлов

Далее описан порядок действий, необходимых для преобразования 3ds файлов:

1. Откройте конвертер с помощью команды меню **Инструменты | Импорт из CAD | 3ds** или с использованием кнопки  на панели инструментов, рис. 3.290.
2. С помощью кнопки  выберите 3ds file. Автоматически будут рассчитаны **габариты** сборки по осям координат.
3. С использованием данных по габаритам определите размерность единицы длины данных в файле и назначьте размерность в выпадающем меню. При необходимости можно назначить размерность в виде множителя со значением, задаваемым пользователем.
4. При необходимости назначьте сдвиг и поворот сборки.
5. Сохраните результаты конвертирования в ucf файл.
6. Прочитайте ucf файл с помощью команды меню **Инструменты | Импорт из CAD | UM CAD файл** или кнопки .
7. При необходимости измените размерность, сдвиг и поворот сборки и сохраните данные повторно.