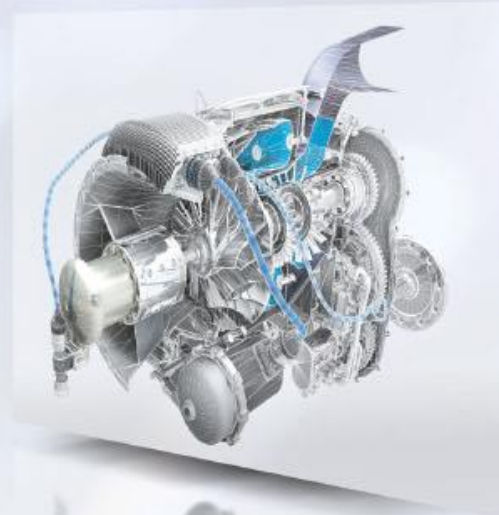


# T-FLEX PLM

РОССИЙСКИЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС



## T-FLEX Динамика Руководство пользователя

Документация, содержащая информацию,  
необходимую для установки и эксплуатации  
программного обеспечения



30 лет

Мы  
проектируем  
будущее

## АВТОРСКИЕ ПРАВА

© АО "Топ Системы", 1992 — 2025

Все авторские права защищены. Запрещено воспроизведение в любой форме любой части настоящего документа без разрешения от АО "Топ Системы".

АО "Топ Системы" не несёт ответственности за ошибки, которые могут быть в этом документе. Также не предполагается никаких обязательств за повреждения, обусловленные использованием содержащейся здесь информации.

Товарный знак T- FLEX является собственностью АО "Топ Системы".

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Авторские права .....	2
1. Введение .....	4
2. Запуск T-FLEX Динамика .....	5
3. Структура задачи динамического расчёта .....	7
4. Правила выполнения динамического расчёта .....	8
4.1. Средства управления задачами.....	8
4.2. Фиксация тела .....	10
4.3. Создание задачи .....	10
4.4. Параметры задачи .....	13
5. Шарниры .....	16
6. Нагружения .....	19
6.1. Сила.....	20
6.2. Линейная скорость .....	23
6.3. Вращение.....	24
6.4. Крутящий момент .....	26
6.5. Начальная скорость .....	27
6.6. Пружина.....	28
7. Датчики.....	30
8. Результаты.....	33
9. Выполнение расчёта.....	36
9.1. Средства отображения результатов расчёта.....	43

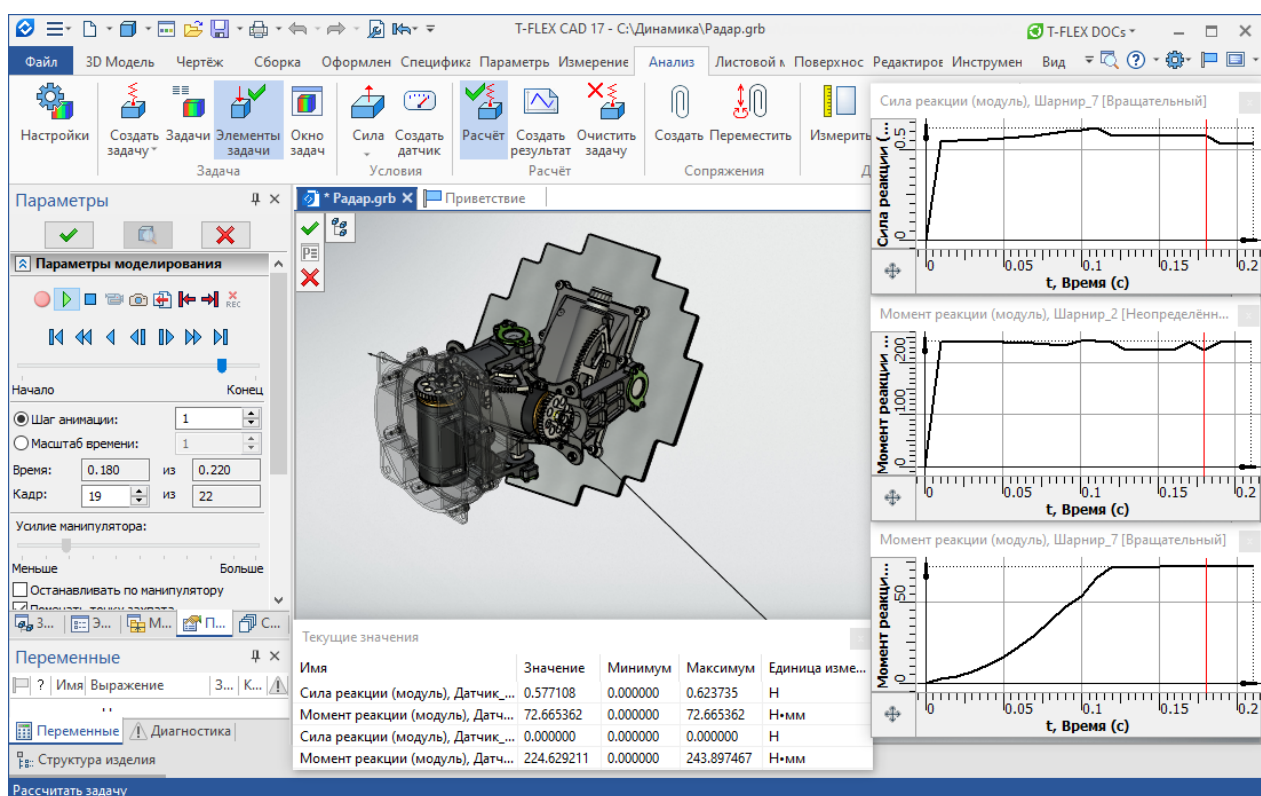
## 1. ВВЕДЕНИЕ

Программа для ЭВМ T-FLEX Динамика<sup>1</sup> предназначена для качественного и количественного анализа кинематики и динамики механизмов. Она ориентирована на проведение анализа механических систем с учётом внешних и внутренних силовых факторов, масс-инерционных характеристик отдельных частей системы и взаимодействия компонентов механической системы. T-FLEX Динамика используется, к примеру, для имитации движения механизмов со сложными связями при проектировании новой техники или оборудования, при проверке заклинивания, для имитации падений и взаимодействия тел при столкновении.

В T-FLEX Динамика используются единые с T-FLEX CAD принципы и элементы пользовательского интерфейса, единая геометрическая модель, полная ассоциативность расчётных данных с исходной моделью, возможность использования результатов расчёта для проведения дальнейших исследований при помощи других инструментов комплекса.

При анализе динамического поведения решаются следующие задачи:

- анализ траекторий движения, скоростей, ускорений любых точек компонентов механической системы под действием сил;
- анализ временных характеристик механической системы (время прихода в целевую точку, время затухания колебаний и т.д.);
- анализ сил, возникающих в компонентах механической системы в процессе движения (силы реакции в опорах, сочленениях и т.д.).



Модель механизма описывается как система твёрдых тел, шарниров и нагрузок, создаваемая на основе трёхмерной геометрической модели T-FLEX CAD и сопряжений. Решатель

<sup>1</sup> Предыдущие и (или) альтернативные названия программного обеспечения:

- T-FLEX Динамика
- T-FLEX Динамика – система динамического анализа механических систем
- T-FLEX Dynamics

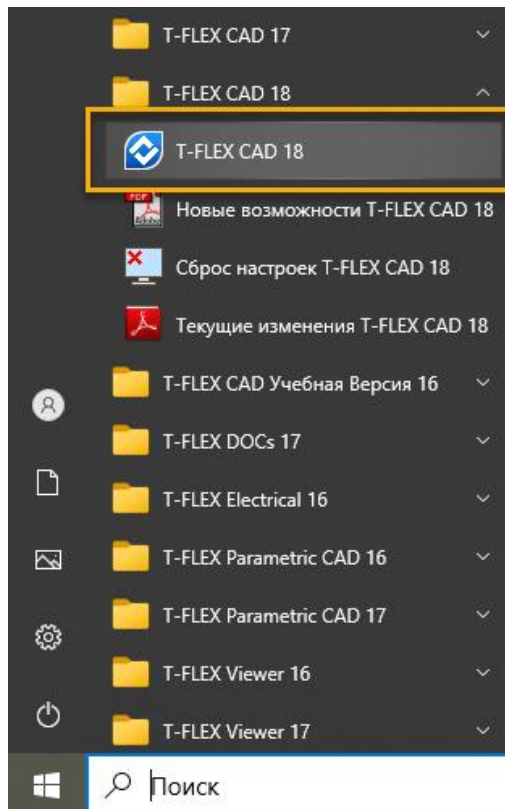
учитывает масс-инерционные характеристики тел трёхмерной модели. Данные для анализа автоматически берутся непосредственно от созданной в системе T-FLEX CAD геометрической модели. При моделировании используются обычные инструменты T-FLEX CAD, для задания связей между трёхмерными телами используются сопряжения и степени свободы. В системе также имеются средства моделирования контактов между любыми твёрдыми телами, способные обрабатывать одновременное контактное взаимодействие сотен и тысяч твёрдых тел произвольной формы.

В качестве нагрузок для тел можно задать начальные линейные и угловые скорости, силы, моменты, пружины, гравитацию и т.д. Для считывания результатов используются специальные элементы-датчики. Работа с результатами расчёта ограничена для бесплатной конфигурации (отсутствуют инструменты для получения численных результатов расчёта). В коммерческой конфигурации результаты расчёта выдаются в виде графиков, динамических векторов-стрелок и в виде массива чисел (точки графика). Для анализа доступны многие величины: координаты, скорости, ускорения, силы реакций в шарнирах, усилия в пружинах и т.д. Непосредственно в процессе расчёта пользователь может наблюдать за поведением модели с любой точки. По готовым результатам динамического расчёта можно создавать анимационные ролики.

## 2. ЗАПУСК T-FLEX ДИНАМИКА

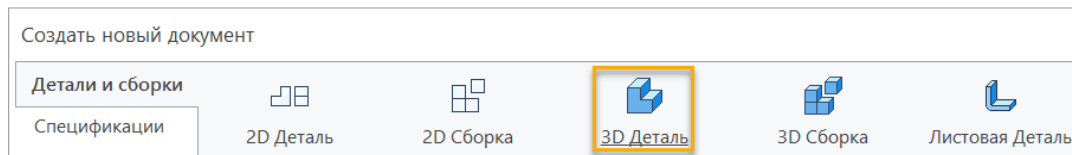
Для запуска ПО T-FLEX Динамика нужно выполнить следующие действия.

1) Запустить CAD-систему T-FLEX CAD 18

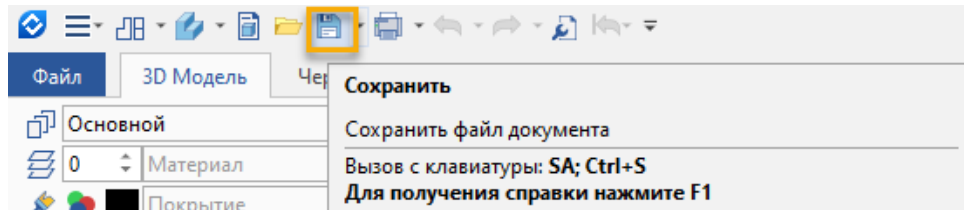


2) Создать и сохранить новый документ

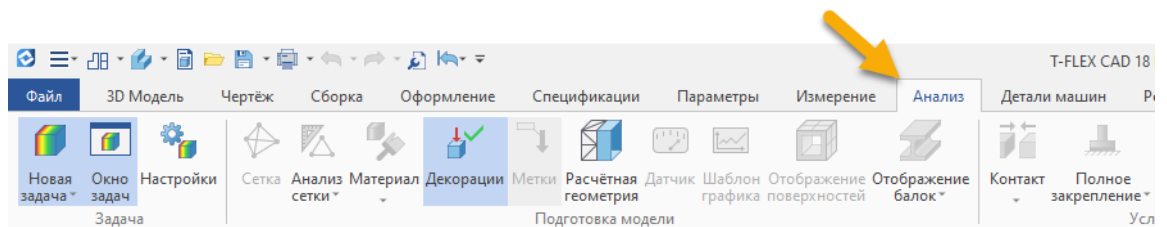
Создание:



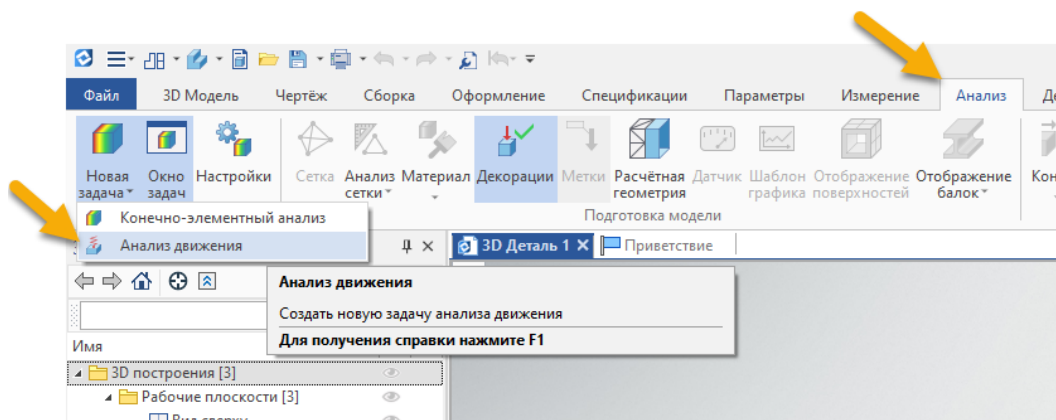
Сохранение документа:



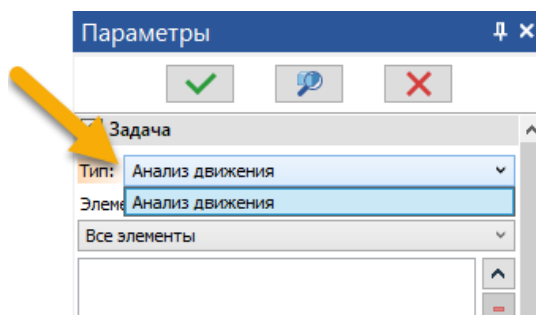
3) Открыть в Ленте закладку «Анализ»:



4) Создать задачу «Анализ движения»:



В момент создания задачи убедиться, что доступен одноимённый тип задачи «Анализ движения»:



### 3. СТРУКТУРА ЗАДАЧИ ДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЁТА

Команды динамического анализа доступны на закладке **Анализ** панели Лента. На данной закладке также присутствуют команды для конечно-элементного анализа. Некоторые из них являются общими для обоих типов задач.

Для выполнения динамического расчёта необходимо создать задачу **Анализ движения**. Она формируется из следующих компонентов:

- тела задачи;
- параметры задачи;
- шарниры;
- датчики;
- нагрузки;
- результаты.

#### Контакты

Одной из главных особенностей системы является реалистичное моделирование контактов между телами сборки. Пользователь избавлен от необходимости задавать точки контакта вручную. В задаче анализа движения имеется возможность задания расчёта контактов отдельных пар тел, а также параметров удара и трения отдельно для каждой пары тел. Все расчёты производятся в системе автоматически.

#### Параметры трения и удара

Система может моделировать свойства взаимодействия между элементами системы.

Для шарниров:

- **Коэффициенты трения** покоя, трения движения и вязкого трения.
- **Натяг**. Для некоторых типов шарниров можно учесть соединение деталей с натягом. Это означает, что соединение деталей производится с некоторым дополнительным усилием и упругими деформациями, вызванными несовпадением посадочных размеров. Параметр имеет размерность силы. Он определяет дополнительную реакцию в шарнире, которая будет учитываться при расчёте сил трения.
- **Геометрические размеры** шарнира учитываются при расчёте трения в шарнире.

Для контактов:

- **Коэффициенты трения** покоя, движения, качения и вращения.
- **Коэффициент восстановления** при ударе характеризует степень сохранения механической энергии тел после соударения.
- **Минимальную скорость**, с которой начинает действовать упругое соударение (слабый удар считается неупругим).

#### Результаты

Результаты записываются на основе считанных датчиками показаний или отображаются в виде графических знаков (стрелок) непосредственно во время выполнения расчёта. Результаты обычно хранятся в виде графиков.

Расчёт выполняется методом вычисления состояния системы по кадрам. Для каждого кадра запоминается информация о состоянии системы. Для расчёта каждого кадра записи система совершает некоторое количество шагов моделирования. Это может быть один шаг на каждый кадр, а может быть тысяча. Допускается задать штатное количество шагов, которое система будет использовать. В случае если штатного количества шагов в кадре не хватает для обеспечения точности, система будет их увеличивать вплоть до заданного максимального значения.


Система автоматического определения нужного количества шагов (от штатного до максимального) в некоторых случаях может не определить оптимальное значение. Поэтому в некоторых примерах, например, где сталкиваются мелкие и быстро движущиеся тела, штатное количество шагов в кадре должно быть достаточно высоким.

## 4. ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЁТА

Динамический расчёт базируется на специальном объекте системы – **задаче**. Задача объединяет в себе данные и элементы, необходимые для выполнения одного расчёта модели. Она содержит данные, задающие направление силы тяжести, параметры элементов задачи по умолчанию (параметры шарниров, силы трения, контактные параметры), временные характеристики моделируемого процесса, а также информацию об используемых телах, нагрузках, параметрах связей между отдельными компонентами и т.д. После выполнения вычислений задача также содержит результаты расчёта. Задача ассоциативно связана с трёхмерной моделью. При изменении параметров или состава модели автоматически происходят соответствующие изменения и в задаче.

### 4.1. СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ ЗАДАЧАМИ

Для отображения списка задач модели служит специальное окно **Задачи**. В нём содержится часть дерева текущей модели, отвечающая за состав задач инженерного анализа (в общем служебном окне **3D модель** имеются аналогичные функции). Через окно задач можно осуществлять быстрый доступ к элементам каждой задачи. Элементы задачи (шарниры, нагрузки, датчики, результаты) объединены в группы. Служебное окно задач является общим для задач конечно-элементного и динамического расчёта. Команда для открытия этого окна запускается следующим образом:

Пиктограмма	Лента
	Анализ → Задача → Окно задач
Клавиатура	Текстовое меню
<3MW>	Анализ > Показать окно задач

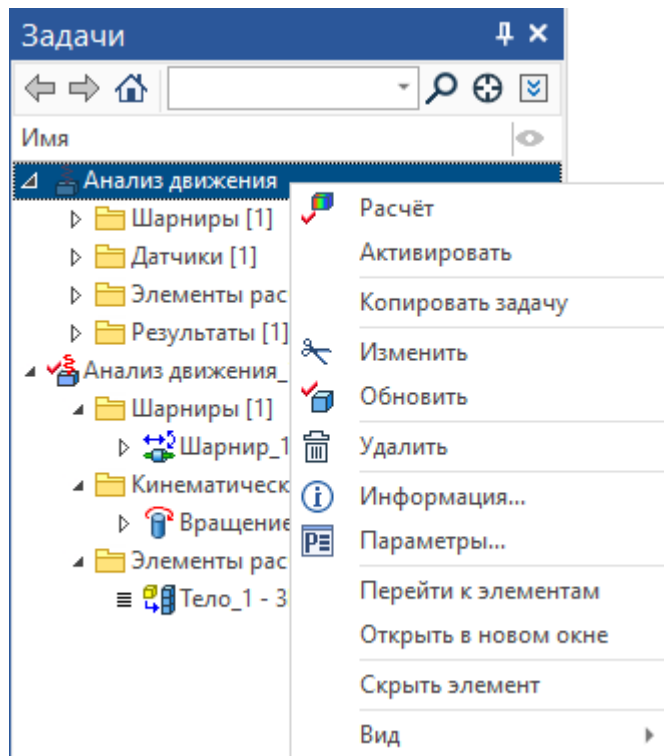
Задач анализа движения может быть несколько в одном документе. Каждая из них может содержать свой набор элементов и граничных условий для нахождения решения в различных постановках или при различных нагрузках.

Большинство команд по управлению задачами доступно из контекстного меню, которое можно вызвать, стоя на задаче.

Задача, с которой в данный момент ведётся работа, называется активной. Иконка активной задачи помечается красной галочкой в окне задач. Для того чтобы сделать активной другую задачу, нужно воспользоваться опцией контекстного меню **Активировать**.

В контекстном меню при выборе задачи доступна опция **Обновить**. Она используется для оперативного обновления данных задачи после внесения каких-либо изменений в модель, если полный пересчёт модели не выполнялся.

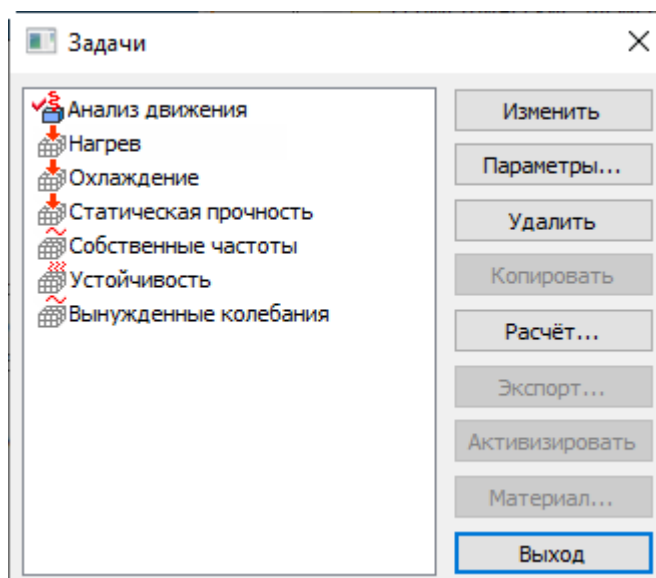
Для редактирования задачи или изменения её параметров необходимо воспользоваться опциями контекстного меню **Изменить** или **Параметры**.



Для работы со списком задач предусмотрен специализированный диалог:


Пиктограмма	Лента
	Анализ → Задача → Задачи
Клавиатура	Текстовое меню
<3ML>	Анализ > Задачи

В диалоговом окне отображается список всех существующих задач текущего документа. Это окно общее для задач динамического и конечно-элементного анализа. Справа от списка расположены кнопки для вызова основных команд. Для динамического расчёта команды экспорта, копирования и задания материала не применяются.



Если в системе создано несколько задач, то только одна из них является активной. Создание новых элементов и выполнение расчёта производится только для активной задачи.


## 4.2. ФИКСАЦИЯ ТЕЛА

Все добавленные или созданные в сцене тела можно зафиксировать. Для этого необходимо выбрать тело в сцене и в его контекстном меню активировать опцию **Зафиксировать положение** 

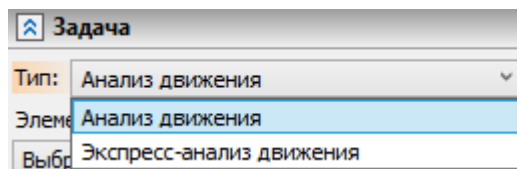
Управление фиксацией положения возможно только при наличии в документе хотя бы одного сопряжения, либо задачи анализа движения.


## 4.3. СОЗДАНИЕ ЗАДАЧИ

Для создания новой задачи динамического анализа предусмотрена команда:

Пиктограмма	Лента
	Анализ → Задача → Создать задачу → Анализ движения
Клавиатура	Текстовое меню
-	Анализ > Новая задача > Анализ движения

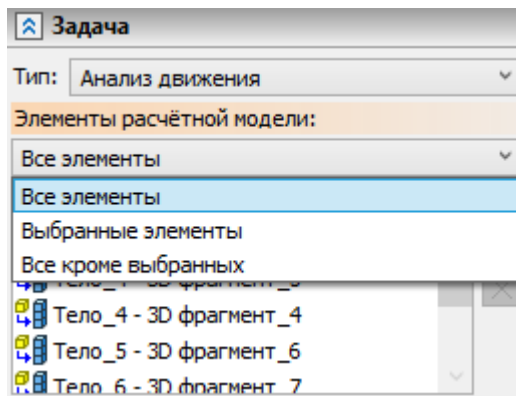
В данной команде возможно создание двух типов задач: **Анализ движения** и **Экспресс-анализ движения**.



Задача может создаваться «как есть», на основе данных 3D модели. Для создания такой задачи достаточно сразу воспользоваться опцией  в окне параметров или в автоменю. Контакты между телами по умолчанию не учитываются (трение по умолчанию включено). Необходимое количество шарниров автоматически создаётся на основе сопряжений и степеней свободы 3D модели.

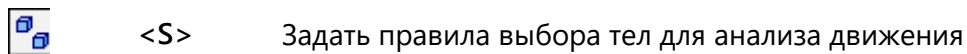
Окно параметров задачи имеет много параметров для более детальной настройки задачи. Для удобства пользователя окно разбито на блоки.



В блоке **Задача** допускается вручную указать объекты модели (тела, фрагменты), которые должны участвовать в расчёте. Данная настройка предназначена для случая, когда количество объектов в модели больше, чем нужно для выполнения расчёта. Таким образом сокращаются вычислительные ресурсы, если исключить несущественные в расчёте объекты.



По умолчанию в списке отображаются все объекты модели. Предусмотрено два варианта формирования списка расчётных объектов. В зависимости от того, с какой стороны удобнее выбирать, можно выбрать объекты, которые действительно участвуют в задаче (положение переключателя **Выбранные элементы**), либо переключиться в режим **Все кроме выбранных** и тогда в задаче будут участвовать все объекты модели, кроме выбранных.

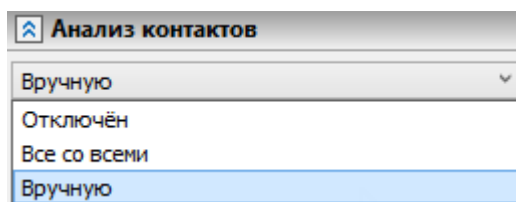
Выбор объектов модели осуществляется с помощью следующей опции автоменю:



Управление списком выбранных тел осуществляется с помощью кнопок **[Удалить элемент из списка]**  и **[Очистить]** .

Блок **Анализ контактов** предназначен для настройки учёта взаимного проникновения тел. Вверху блока расположен переключатель в виде выпадающего списка. Он имеет три положения:

- **Отключён** - учёт контактов между телами не производится, остальные параметры заблокированы.
- **Все со всеми** - автоматический режим, в котором производится анализ контактов между всеми телами, участвующими в расчёте, с возможностью задания индивидуальных настроек удара и трения для каждой контактирующей пары.

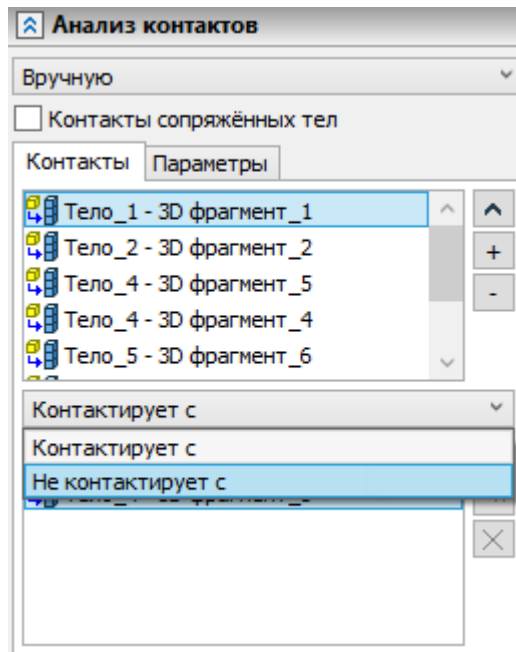


- **Вручную** - режим задания конкретных пар контактирующих тел с возможностью установки между ними индивидуальных настроек трения и удара. Также этот режим может быть полезен, если точно известно, что какие-то тела задачи ни при каких условиях не будут взаимодействовать, и их взаимный контакт можно не учитывать. Эта более точная настройка задачи позволяет иногда значительно экономить вычислительные ресурсы.

Параметр **Контакты сопряжённых тел** предназначен для учёта контактов сопряжённых тел.


Следует учитывать, что сопряжённые объекты обычно находятся близко друг к другу, в связи с чем есть существенный риск возникновения лишних контактов, способных привести к некорректным результатам динамического расчёта.

Ниже располагаются две вкладки **Контакты** и **Параметры**. На вкладке **Контакты** расположен перечень всех объектов задачи. Для каждого объекта перечня автоматически формируются два списка: объекты задачи, с которыми он контактирует и, наоборот, не контактирует. Эти списки попеременно отображаются под основным перечнем в зависимости от переключателя, имеющего два положения: **Контактирует с** и **Не контактирует с**. Первоначально система создаёт контакты между всеми объектами, участвующими в задаче. Допускается корректировать списки контактов для каждого тела.



Кнопки **[Контактируют все] +** и **[Нет контактирующих пар] -**, расположенные в перечне объектов задачи, предназначены для быстрого формирования и удаления всех возможных контактирующих пар соответственно.

Для задания контактов сначала выбирается нужный объект задачи в перечне. Затем переключатель ставится в требуемое положение и производится выбор объектов при помощи опции **автоменю**:

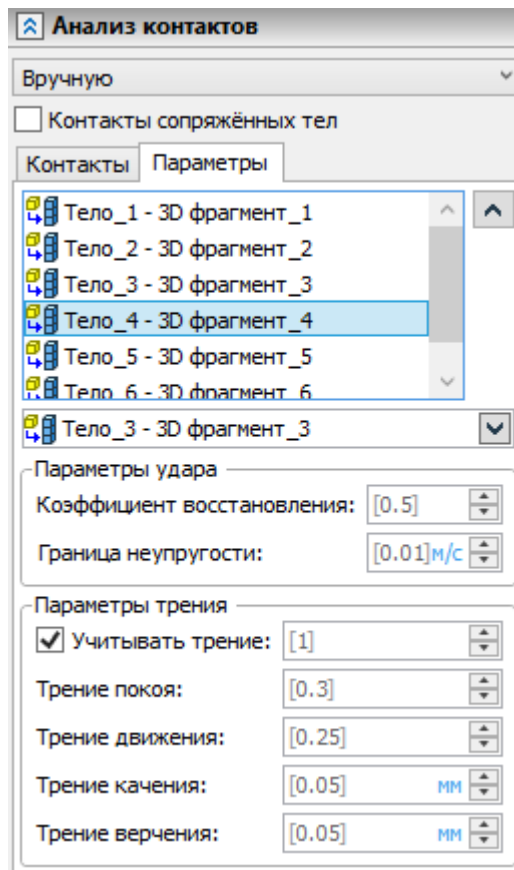
 **<R>** Задать правила анализа контактов

Выбранные объекты заносятся в список контактов. Указанная пара тел подсвечивается в 3D сцене разными цветами. Редактирование списка осуществляется при помощи кнопок **[Удалить элемент из списка] =x** и **[Очистить] X**.

Вкладка **Параметры** предназначена для установки индивидуальных параметров удара и трения для каждой пары взаимодействующих тел.

Изначально параметры для всех пар контактирующих тел установлены в положение **[по умолчанию]**, то есть их значения берутся из диалога **Параметры задачи**.

Для задания индивидуальных параметров контакта между двумя телами нужно выбрать данную пару. Первое тело выбирается в перечне всех объектов задачи. Второе тело выбирается в списке контактирующих объектов. Выбранные объекты подсвечиваются в 3D окне разными цветами. После выбора пары можно задать для неё индивидуальные свойства контакта в нижней части окна параметров.



Существует также альтернативный способ выбора пары с возможностью указания тел непосредственно в 3D окне. Для этого удобно использовать опции автоменю. После нажатия опции,



<C>      Задать параметры контактов

система входит в режим задания индивидуальных параметров контакта, и в автоменю появляются ещё две опции для выбора первого и второго тел:



<F>      Выбрать первое тело



<G>      Выбрать второе тело

Эти опции активизируются попеременно. Выбранные объекты помечаются в 3D сцене разными цветами.

#### 4.4. ПАРАМЕТРЫ ЗАДАЧИ



Опция вызывает диалог для задания временных и точностных параметров расчёта, а также геометрических характеристик некоторых объектов текущей задачи. Диалог параметров имеет три вкладки.

На вкладке **Базовые** можно задать (или изменить при редактировании) имя задачи.

Группа элементов управления **Время моделирования** задаёт параметры времени и шага моделирования для расчёта текущей задачи. Эти параметры можно задать двумя способами. Можно определить общую продолжительность и частоту кадров в секунду, либо задать длительность одного кадра и общее количество кадров.

Временные параметры моделирования можно изменять в параметрах расчёта непосредственно перед выполнением расчёта.

Параметры анализа движения

Базовые По умолчанию Моделирование

Имя: Анализ движения

Время моделирования

Время

Продолжительность (с): 30

Кадров в секунду: 50

Кадры

Длительность кадра (с): 0.02

Количество кадров: 180000

Шагов в кадре

Штатно: 100

Максимально: 5000

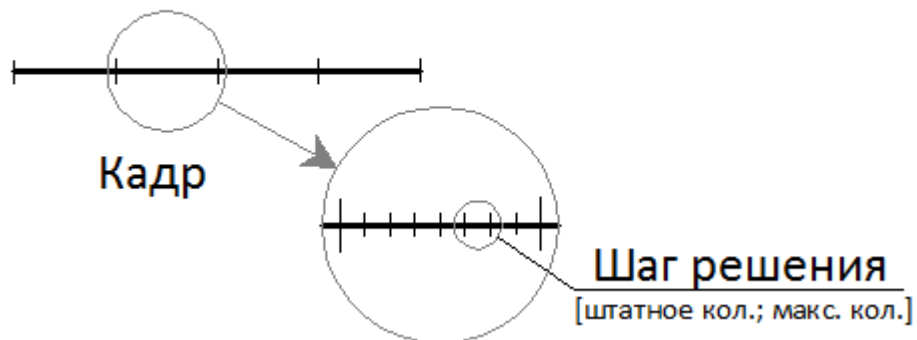
Определение контактов: Сетки

Внешнее хранение результатов расчёта

OK Отмена

Группа параметров **Шагов в кадре** определяет количество итераций, затрачиваемых системой на поиск решения для каждого кадра. Имеются два параметра: первый указывает штатное количество шагов для поиска точного решения, второй параметр ограничивает максимальное количество, которое использует система, если для поиска решения ей не хватает штатного количества.

## Задача



Параметр **Определение контактов** отображает предустановленный метод расчёта контактов между телами сборки. Метод расчёта выбирается в команде **ST: Параметры документа > 3D > Метод определения контактов**. На форму контактирующих тел при этом не накладывается никаких ограничений – тела могут быть абсолютно произвольными.

Параметр **Внешнее хранение результатов расчёта** включает режим, при котором все результаты расчёта сохраняются в отдельном файле вместе с моделью. Это позволяет анализировать результаты ранее посчитанной и сохранённой задачи без необходимости заново выполнять расчёт. Следует иметь в виду, что сохранение результатов расчёта в документе модели приводит к увеличению размера файла документа.

На вкладке **По умолчанию** задаются параметры по умолчанию для взаимодействующих компонентов задачи.

Параметры анализа движения

Базовые По умолчанию Моделирование

Размеры шарниров

Продольный: 50

Поперечный: 10

Параметры трения

Учитывать трение: 1

Трение покоя: 0.3

Трение движения: 0.25

Вязкое трение: 0

Трение качения: 0.05

Трение верчения: 0.05

Натяг: 0

Параметры удара

Кэф-т восстановления: 0.5

Граница неупругости: 10

OK Отмена

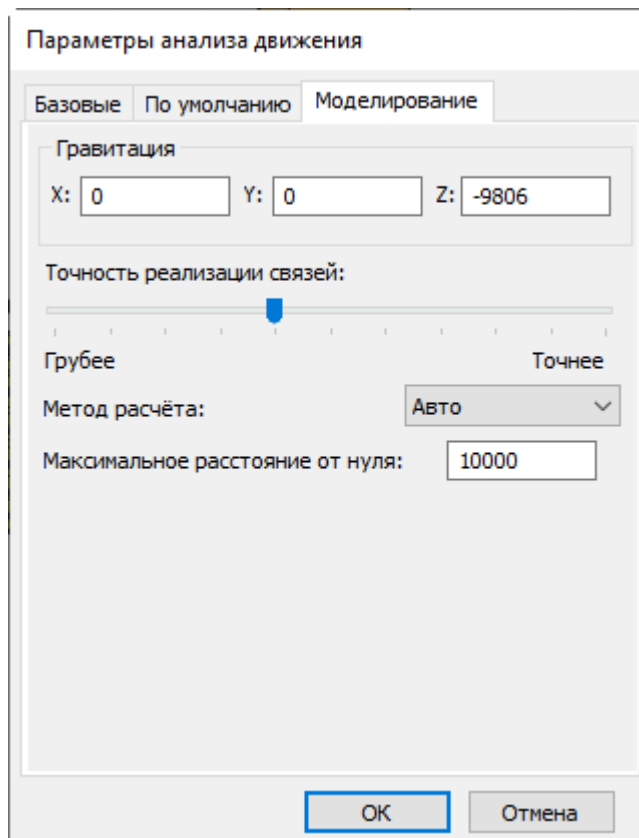
В группе **Размеры шарниров** задаются геометрические размеры для тех шарниров, размеры которых система не смогла определить, основываясь на данных сопряжений и степеней свободы. Допускается установить умолчания для двух размеров - **Продольный** и **Поперечный**.

В группе **Параметры трения** устанавливаются параметры трения по умолчанию. Эти параметры будут передаваться в различные шарниры при их создании. В различных полях устанавливаются коэффициенты трения покоя, трения движения (скольжения), вязкого трения (дополнительное трение, зависящее от скорости), трения качения, трения верчения. Два последних параметра берутся в расчёт только при учёте контактов тел.

Параметр **Натяг** имеет размерность силы. Он определяет дополнительную реакцию в шарнире, которая будет учитываться при расчёте сил трения.

В группе **Параметры удара** задаются настройки для расчёта соударений. **Коэффициент восстановления** определяет степень сохранения кинетической энергии после соударения. При значении «1» получается абсолютно упругое соударение, при «0» – абсолютно неупругое. Параметр **Граница неупругости** определяет скорость соударения, меньше которой удары считаются неупругими.

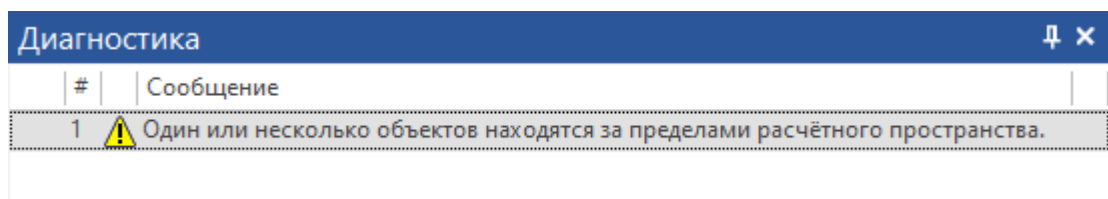
На вкладке **Моделирование** определяются параметры гравитации (по умолчанию ускорение свободного падения для Земли действует вдоль оси Z).



Параметр **Точность реализации связей** устанавливает некоторый относительный коридор, в пределах которого система находит решение. Параметр указывает системе, насколько точно будут соблюдены шарниры при моделировании. Чем точнее установка, тем качественнее результаты, но при этом система работает медленнее. Однако следует учесть, что если установить слишком жёсткие требования по точности, то в некоторых случаях система может просто перестать работать, так как не сможет найти решение.







Параметр **Метод расчёта** устанавливает один из двух доступных методов расчёта – **Точный** или **Быстрый**. **Точный** метод нужно применять для систем масштабом до нескольких десятков тел и шарниров. Чем больше порядок системы, тем медленнее будет работать расчёт. Для систем в сотни шарниров расчёт может работать неудовлетворительно медленно. В таких случаях следует применять **быстрый** метод, который одинаково хорошо справляется и с большими, и с маленькими системами. Режим **Авто** разрешает подобрать метод расчёта системе самостоятельно в зависимости от сложности модели.

Параметр **Максимальное расстояние от нуля** устанавливает пределы расчётного пространства. Таким образом если элементы задачи располагаются за пределами расчётного пространства (до начала либо в процессе расчёта), система выдаст соответствующее уведомление в окне диагностики с одновременной остановкой расчёта.



## 5. ШАРНИРЫ



Шарниры определяют связи и взаимодействия между отдельными телами в задаче динамического анализа. Они создаются в задаче автоматически на основе заданных в модели степеней свободы и сопряжений. В основных типах шарниров система позволяет моделировать трение, а в односторонних контактах также задавать параметры удара. На данный момент в системе реализованы следующие типы шарниров:






- **Сферический шарнир** . Разрешены повороты во всех направлениях и запрещены все перемещения.
- **Вращательный шарнир** . Разрешено только вращение вокруг определенной оси. Остальные перемещения и направления поворотов запрещены.
- **Поступательный шарнир** . Разрешено только перемещение в определенном направлении.
- **Цилиндрический шарнир** . Разрешено вращение вокруг определенной оси и перемещение вдоль неё.
- **Винтовой шарнир** . Имитирует винтовое соединение. Создается на основе передаточных связей. Разрешен поворот вокруг одной оси с одновременным перемещением вдоль нее.
- **Контактный шарнир** . Контактные шарниры задают отношение между парой элементов тел, связанных другими шарнирами. Контактные пары могут быть различными: точка-точка, точка-кривая, прямая-плоскость, плоскость-тело, плоскость-плоскость и т.д. Отношение может быть касанием, расстоянием, либо расстоянием с неравенством (в последнем случае контактный шарнир является односторонним).
- **Неопределенный шарнир** . Все остальные сочетания связей, которые система не смогла определить как известные ей шарниры она все равно в задаче учитывает и превращает в неопределенный шарнир. Такие связи считаются идеальными, для них нельзя задавать параметры трения.

Каждый тип шарнира имеет определенные свойства, которые пользователь может регулировать. Например, геометрические размеры, параметры трения и т.д.

Примечание: карданное соединение рассматривается как система трёх тел, а не как отдельный шарнир.



Шарниры создаются автоматически одновременно с созданием задачи на основе сопряжений и заданных степеней свободы элементов 3D модели. При внесении изменений в сопряжения модели состав шарниров поменяется также автоматически при обновлении задачи. Дополнительно допускается отрегулировать механические свойства, установив параметры трения. В шарнирах разного типа набор свойств может отличаться. В следующей таблице сведены настройки, которые можно регулировать для всех типов шарниров.

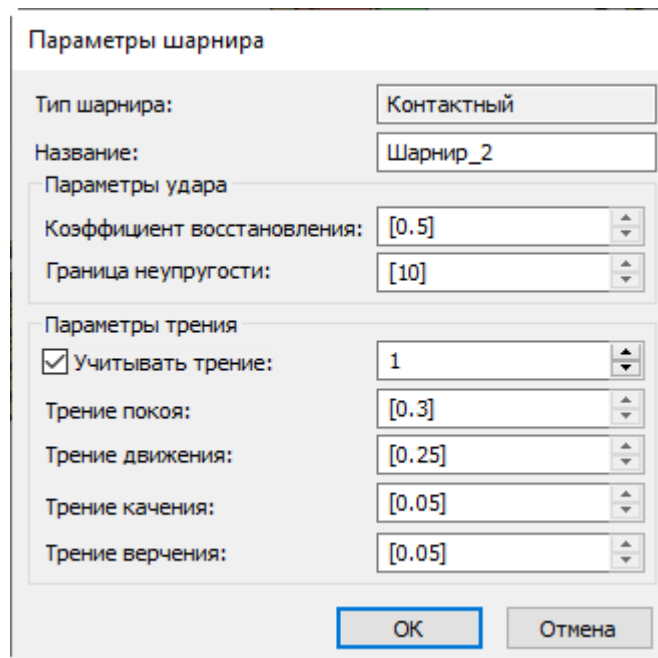
Тип шарнира	Геометрические параметры	Параметры трения и удара
 Сферический шарнир	<ul style="list-style-type: none"> <li>• радиус</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• трение покоя</li> <li>• трение движения</li> <li>• вязкое трение</li> <li>• натяг</li> </ul>
 Вращательный шарнир	<ul style="list-style-type: none"> <li>• радиус</li> <li>• длина</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• трение покоя</li> <li>• трение движения</li> </ul>

Тип шарнира	Геометрические параметры	Параметры трения и удара
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• смещение</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• вязкое трение</li> <li>• натяг</li> </ul>
 Поступательный шарнир	<ul style="list-style-type: none"> <li>• длина</li> <li>• ширина</li> <li>• толщина</li> <li>• поворот</li> <li>• смещение</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• трение покоя</li> <li>• трение движения</li> <li>• вязкое трение</li> <li>• натяг</li> </ul>
 Цилиндрический шарнир	<ul style="list-style-type: none"> <li>• радиус</li> <li>• длина</li> <li>• смещение</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• трение покоя</li> <li>• трение движения</li> <li>• вязкое трение</li> <li>• натяг</li> </ul>
 Винтовой шарнир	<ul style="list-style-type: none"> <li>• радиус</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• трение покоя</li> <li>• трение движения</li> <li>• вязкое трение</li> <li>• натяг</li> </ul>
 Контактный шарнир	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• коэффициент восстановления</li> <li>• граница неупругости</li> <li>• трение покоя</li> <li>• трение движения</li> <li>• трение верчения</li> <li>• трение качения</li> </ul>
 Неопределённый шарнир	-	-

От геометрических размеров и иногда от ориентации шарнира (для поступательного шарнира) зависит моделирование явлений трения в шарнире. У большинства шарниров имеются габаритные геометрические параметры (радиус, длина – для вращательного, цилиндрического и винтового шарниров, а также ширина и толщина - для поступательного). Они определяют физические размеры шарнира. К геометрическим параметрам относятся также смещение и поворот. Смещение определяет сдвиг шарнира относительно исходного положения геометрических элементов (поверхности граней, точки и т.д.), определяющих данный шарнир. Смещение производится вдоль оси шарнира. Поворот задаёт угол, на который повернут параллелепипед поступательного шарнира. Поворот осуществляется вокруг оси шарнира.

При создании любого шарнира его параметры заполняются данными из общих параметров задачи. Некоторые геометрические параметры (радиус, длина и т.д.) иногда могут быть получены от тех элементов 3D модели, которые определяют сопряжения. Если получить геометрию шарнира системе не удастся, то эти данные также берутся из общих параметров задачи.

При необходимости можно вызвать диалог параметров шарнира и задать оригинальные свойства. Диалог параметров вызывается при помощи   или из контекстного меню.



Диалог «Параметры шарнира» содержит следующие элементы:

- Тип шарнира: Контактный
- Название: Шарнир\_2
- Параметры удара:
  - Коэффициент восстановления: [0.5]
  - Граница неупругости: [10]
- Параметры трения:
  - Учитывать трение: 1
  - Трение покоя: [0.3]
  - Трение движения: [0.25]
  - Трение качения: [0.05]
  - Трение верчения: [0.05]

В нижней части диалога расположены кнопки «ОК» и «Отмена».

## 6. НАГРУЖЕНИЯ

Нагрузки – это специальные объекты, создаваемые пользователем перед выполнением расчёта. В качестве нагрузок могут быть заданы силы, моменты и вращения. Для отдельных тел можно задавать линейную и угловую скорости, которые они имеют в начальный момент. Особый вид нагрузки – пружины. Благодаря возможности задания жёсткости при помощи графика этот вид нагрузки позволяет задавать в общем случае не только простейшие пружины с линейной зависимостью, но и биполярные силы с произвольными законами.

Основные типы нагрузок:

- **Сила.** Система создаёт точечную силу, действующую в заданном направлении. Сила может быть задана значением или графиком. В последнем случае допускается задать переменное значение, зависящее от времени или параметра датчика.
- **Линейная скорость.** Подразумевает линейное перемещение объекта с заданной постоянной скоростью в указанном направлении.
- **Вращение.** Предполагает создание привода, вращающего тело вокруг заданной оси с заданной угловой скоростью.
- **Крутящий момент.** Система задаёт вектор внешнего момента, действующего на тело.
- **Начальная скорость.** Предполагает задание начальной скорости для любых тел задачи (скорости центра масс тела и угловой). По умолчанию скорости тел в начале моделирования равны нулю.
- **Пружина (биполярный силовой элемент).** Позволяет создавать пружины, демпферы, или произвольные биполярные точечные силы, задаваемые графиком. Также при помощи данного нагружения можно моделировать линейный привод, толкающий два тела с заданной скоростью или ускорением. Это позволяет моделировать, например, работу гидроцилиндра.


- **Гравитация.** Система позволяет учесть в расчёте любое значение ускорения свободного падения в произвольном направлении.

Создание нагружений возможно только после создания задачи. Если в модели присутствует несколько задач, то все нагружения создаются только для активной задачи.

### 6.1. СИЛА **ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.**

Сила может быть приложена к любой точке пространства и при этом она связывается с конкретным телом, участвующим в задаче. Направление действия силы указывается отдельно. Направление может быть фиксировано в пространстве или может меняться в зависимости от положения любого тела динамической задачи. Для задания связи с направлением действия силы выбирается любое дополнительное тело из числа участвующих в задаче.

Для создания силы предназначена команда:

Пиктограмма	Лента
	Анализ → Условия → Сила
Клавиатура	Текстовое меню
<ЗМФ>	Анализ > Нагружение > Сила

Выбор тела, на которое воздействует сила, осуществляется при помощи опции автоменю:

 <В>      Выбрать тело

Система позволяет выбрать одновременно несколько тел, на которые воздействует сила. В этом случае нагрузка будет воздействовать с указанным значением на каждое тело.


Для задания точки приложения силы предназначена следующая опция автоменю:

 <Е>      Выбрать точку

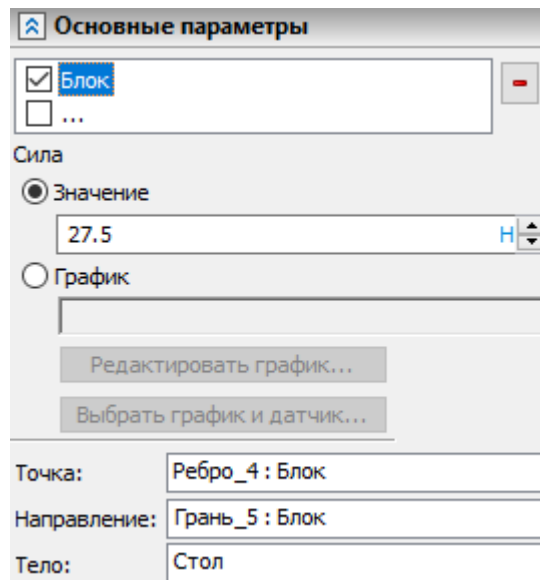
Выбор объекта, определяющего направление действия силы, осуществляется при помощи следующей опции автоменю:


 <D>      Выбрать направление

Для выбора тела, относительно которого фиксируется направление, предназначена следующая опция автоменю:

 <R>      Выбрать тело для привязки направления

Все выбранные объекты заносятся в соответствующие поля окна параметров. Флаг, расположенный рядом с выбранным нагружаемым объектом в списке, позволяет инвертировать направление действия силы на данный объект.



Удаление выбранного объекта из любого поля окна параметров при редактировании осуществляется при помощи горячей клавиши <Del> или кнопки [Удалить] . Для удаления объекта, задающего направление, предназначена отдельная опция автоменю:



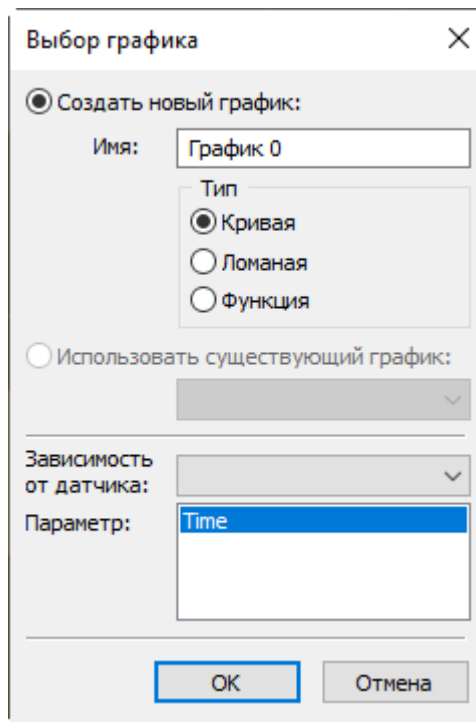
<U> Отменить выбор направления

Если не задана точка приложения силы, то нагрузка будет приложена к центру масс выбранного тела (набора тел).

В окне параметров задаются единицы измерения и численное значение силы. Для задания численного значения переключатель должен стоять в положении **Значение**.

Также сила может быть задана в виде графика (положение переключателя **График**). Её величина может зависеть от времени или от любых показаний любого датчика данной задачи. Для задания графической зависимости следует воспользоваться кнопкой **[Выбрать график и датчик...]**.

После нажатия на кнопку появляется диалог, в котором необходимо задать график. При этом имеется возможность создать новый график или использовать существующий в системе. Далее следует указать, какой параметр использовать системе в качестве аргумента для чтения графической зависимости. Для силы может использоваться либо счётчик времени «Time», либо одно из показаний любого существующего датчика. Выбор датчика осуществляется в выпадающем списке **Зависимость от датчика**. После выбора датчика выбирается один из его параметров в следующем поле. Если не выбран ни один из датчиков, то в качестве параметра допускается использовать только счётчик времени «Time».

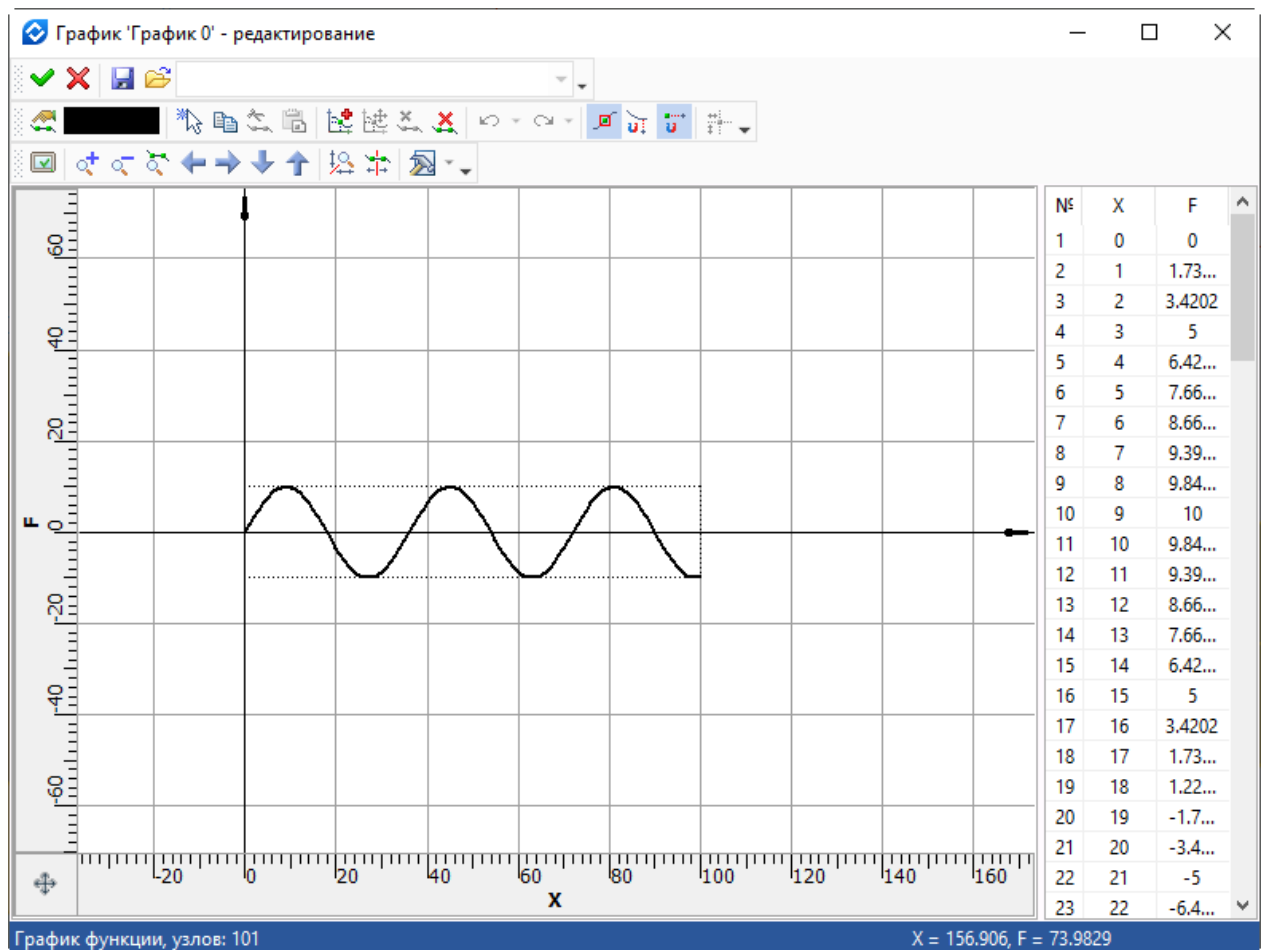


Для создания нового графика необходимо установить переключатель в положение **Создать новый график**, после чего в соответствующих полях задать имя нового графика и его тип. В нижней части диалога необходимо выбрать нужный параметр для чтения графической зависимости. После нажатия кнопки **[ОК]** откроется редактор графиков, в котором нужно задать новую графическую зависимость.

Более подробную информацию о создании и редактировании графиков можно найти в справке T-FLEX CAD, глава «Параметризация», раздел «Графики».

Для использования существующего графика следует установить переключатель в положение **Использовать существующий график** и выбрать график из списка. Также необходимо установить нужный параметр для чтения графика. Подтверждение выбора осуществляется по кнопке **[ОК]**.

В основном окне параметров, в специальном поле появится имя графика и в скобках читающий параметр. Также будет доступна кнопка **[Редактировать график]**, при помощи которой вызывается редактор графиков для изменения графической зависимости.



## 6.2. ЛИНЕЙНАЯ СКОРОСТЬ

Нагрузка «Линейная скорость» позволяет создать внешнее воздействие, обеспечивающее линейное перемещение выбранного тела с постоянной скоростью в заданном направлении. В качестве ограничителя допускается установить предельную силу, при достижении которой воздействие остановится на время действия встречной силы.

Для создания нагрузки предназначена команда:

Пиктограмма	Лента
	Анализ → Условия → Линейная скорость
Клавиатура	Текстовое меню
<3MR>	Анализ > Нагружение > Линейная скорость

Для выбора тела, на которое воздействует нагрузка, используется следующая опция автоменю:

<B> Выбрать тело

Система позволяет выбрать одновременно несколько тел. В этом случае нагрузка будет воздействовать с указанным значением на каждое из них. Нагрузка прикладывается к центру тяжести выбранного тела.

Для выбора тела, относительно которого фиксируется направление, предназначена следующая опция автоменю:



<R> Выбрать тело для привязки направления перемещения

Выбор объекта, определяющего направление вектора линейной скорости, осуществляется при помощи следующей опции автоменю:





<D> Выбрать направление линейного перемещения

Также для задания направления имеется возможность использовать локальную систему координат с последующим разложением вектора скорости по осям этой системы координат. Для выбора локальной системы координат предназначена следующая опция автоменю:



<C> Выбрать систему координат линейного перемещения

После выбора ЛСК становятся доступны поля для задания численных составляющих скорости вдоль каждой оси.

Все выбранные объекты отображаются в соответствующих полях окна параметров. Отмена выбора осуществляется с помощью клавиши <Del>, а также кнопок [Удалить элемент из списка]  и [Очистить] . Для отмены выбора элемента, задающего направление, и системы координат предназначены отдельные опции автоменю:




<U> Отменить выбор направления



<K> Отменить выбор системы координат


Задание значения линейной скорости и ограничительной силы осуществляется в соответствующих полях. Данные поля предусматривают возможность смены единицы измерения.

Помимо константы линейная скорость может быть задана в виде графика. Её величина может зависеть от времени или от любых показаний любого датчика данной задачи. Для этого необходимо воспользоваться кнопкой . Дальнейший алгоритм создания графика аналогичен действиям, описанным в разделе «Сила».

### 6.3. ВРАЩЕНИЕ

Нагрузка «Вращение» позволяет создать внешнее воздействие, обеспечивающее вращение выбранного тела с постоянной угловой скоростью вокруг заданной оси. В качестве ограничителя допускается установить предельный крутящий момент, который нагрузка не сможет преодолеть и воздействие остановится на время действия встречного момента.

Для создания вращения предназначена команда:


Пиктограмма	Лента
	Анализ → Условия → Вращение
Клавиатура	Текстовое меню
<3RB>	Анализ > Нагружение > Вращение

Для выбора тела, на которое воздействует нагрузка, используется следующая опция автоменю:

 <B>      Выбрать тело


Система позволяет выбрать одновременно несколько тел. В этом случае нагрузка будет воздействовать с указанным значением на каждое из них.

Направление вращения (вектор) задаётся при помощи опции автоменю:

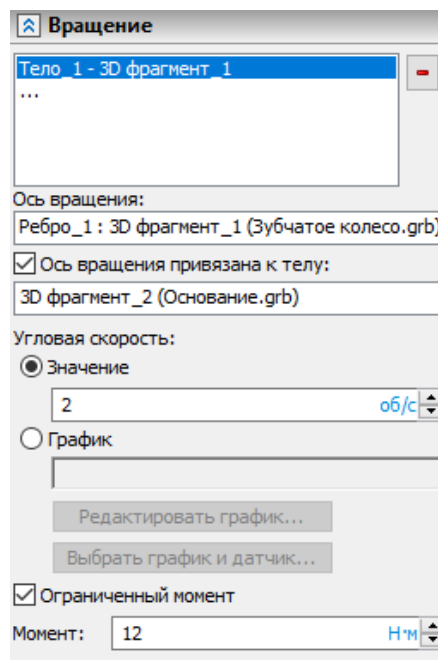
 <A>      Выбрать ось вращения


В качестве оси может быть выбран любой 3D объект, способный определить направление.

Направление вращения допускается связать (зафиксировать) с любым подвижным или неподвижным телом задачи при помощи опции автоменю:

 <R>      Выбрать тело для привязки оси вращения

Все выбранные объекты заносятся в соответствующие поля окна параметров.



Удаление выбранного объекта из любого поля окна параметров при редактировании осуществляется при помощи горячей клавиши <Del> или кнопки [Удалить] . Для удаления объекта, задающего ось вращения, предназначена отдельная опция автоменю:


 <C>      Отменить выбор оси

Численное значение угловой скорости и единицы измерения задаются в окне параметров. При необходимости допускается отдельно задать величину максимального крутящего момента. Для этого необходимо включить параметр **Ограничительный момент** и задать соответствующее значение.

#### 6.4. КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ

Данный вид нагрузки имитирует воздействие момента на выбранное тело или набор тел.

Для создания момента предназначена команда:

Пиктограмма	Лента
	Анализ → Условия → Крутящий момент
Клавиатура	Текстовое меню
<ЗМQ>	Анализ > Нагружение > Крутящий момент

Выбор объекта, на которое воздействует нагрузка, осуществляется при помощи опции автоменю:



<E>      Выбрать элемент для нагружения

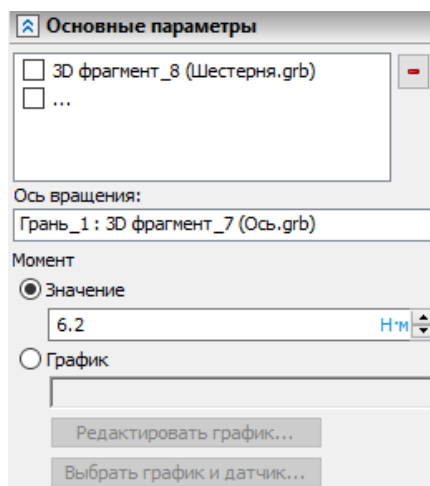
Система позволяет выбрать одновременно несколько объектов. В этом случае нагрузка будет воздействовать с указанным значением на каждый из них.


Направление действия момента (вектор) задаётся при помощи опции автоменю:



<D>      Выбрать ось вращения

Все выбранные объекты заносятся в соответствующие поля окна параметров. Флаг, расположенный рядом с выбранным нагружаемым объектом в списке, позволяет инвертировать нагрузку. Таким образом обеспечивается возможность создания момента между телами.



Удаление выбранного объекта из любого поля окна параметров при редактировании осуществляется при помощи горячей клавиши <Del> или кнопки [Удалить] . Для удаления объекта, задающего ось вращения, предназначена отдельная опция автоменю:




<U>      Отменить выбор оси

Величина крутящего момента и единицы измерения задаются в окне параметров. Величина крутящего момента может быть задана при помощи графика. Например, можно задать зависимость величины момента от угловой скорости вращения, используя датчик, измеряющий угловую скорость. Действия по заданию графика для крутящего момента полностью аналогичны действиям, описанным для нагрузки «Сила».

#### 6.5. НАЧАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ **ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.**

Нагрузка «Начальная скорость» создает начальный импульс, приложенный к выбранному телу. Для создания начальной скорости предназначена команда:

Пиктограмма	Лента
	Анализ → Условия → Начальная скорость
Клавиатура	Текстовое меню
<3MV>	Анализ > Нагружение > Начальная скорость


Для выбора тела, на которое воздействует нагрузка, используется следующая опция автоменю:


 <B>      Выбрать тело

Система позволяет выбрать одновременно несколько тел. В этом случае нагрузка будет воздействовать с указанным значением на каждое из них. Данная нагрузка прикладывается к центру тяжести выбранного тела.

В системе предусмотрена возможность создания линейной или угловой начальной скорости. Для задания начальной скорости каждого типа в окне параметров имеются две вкладки с одинаковым набором параметров.

Выбор направления осуществляется при помощи опции автоменю:


 <D>      Выбрать направление линейного перемещения

 <D>      Выбрать ось вращения

После задания направления необходимо задать численное значение скорости в поле **Величина**.

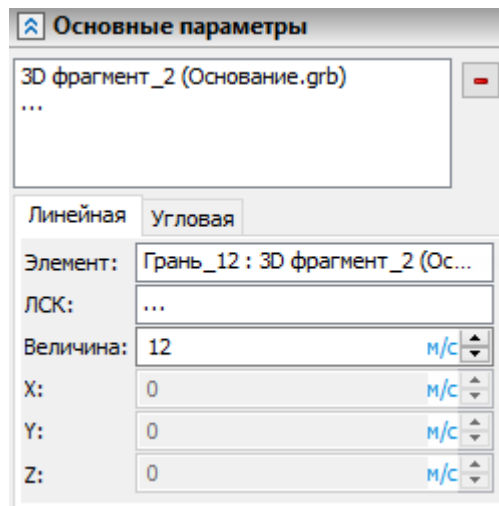
Также для задания направления скорости имеется возможность использовать локальную систему координат и при этом разложить направление и величину скорости по осям этой системы координат. Для выбора локальных систем координат предназначены следующие опции автоменю:


 <C>      Выбрать систему координат линейного перемещения

 <C>      Выбрать систему координат вращения

После выбора ЛСК становятся доступны поля для задания численных составляющих скорости вдоль каждой оси.

Все выбранные объекты заносятся в соответствующие поля окна параметров.



Удаление выбранного объекта из любого поля окна параметров при редактировании осуществляется при помощи горячей клавиши **<Del>** или кнопки **[Удалить]** . Для удаления объектов, задающих направление и ось вращения соответственно, предназначены отдельные опции автоменю:



**<U>** Отменить выбор направления



**<U>** Отменить выбор оси

Отмена выбранных систем координат осуществляется при помощи следующих опций автоменю:



**<K>** Отменить выбор системы координат линейного перемещения




**<K>** Отменить выбор системы координат вращения

## 6.6. ПРУЖИНА

Данный тип нагрузки позволяет создавать линейную пружину или биполярный силовой элемент (пружина с нелинейными свойствами) между двумя точками двух тел, включенных в задачу динамического анализа. Также данная нагрузка позволяет моделировать линейный привод, обеспечивающий взаимное движение двух точек разных тел с заданной скоростью, ускорением или на заданное расстояние. При помощи линейного привода можно моделировать работу, например, гидроцилиндра.

Для создания пружины предназначена команда:

Пиктограмма	Лента
	Анализ → Условия → Пружина
Клавиатура	Текстовое меню
<b>&lt;3MG&gt;</b>	Анализ > Нагружение > Пружина

Выбор первой и второй точек приложения нагрузки осуществляется при помощи опции автоменю:



**<1>** Выбрать вершину



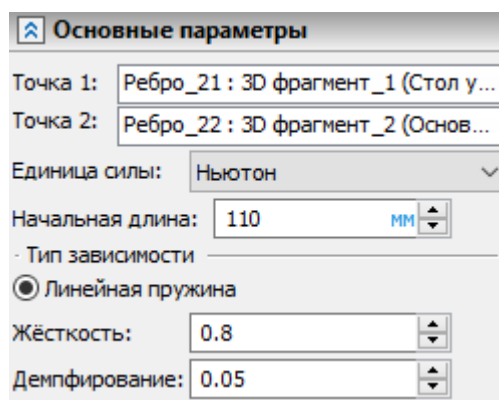
**<2>** Выбрать вершину

В качестве места приложения данной нагрузки могут быть использованы две любые характерные точки на двух телах, включенных в задачу. Выбранные элементы заносятся в поля **Точка 1** и **Точка 2** окна параметров.

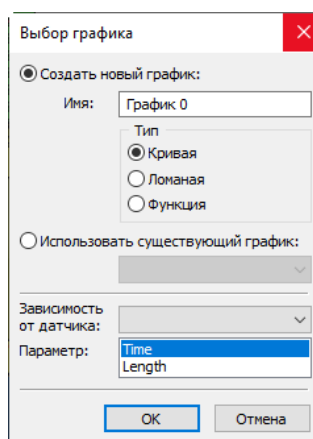
Параметр **Начальная длина** указывает расстояние между точками пружины, при котором нагрузка не действует (расслабленное состояние). Расстояние указывается в единицах модели. При любом изменении расстояния пружина будет оказывать соответствующее сопротивление (сжатие или растяжение), в соответствии с установленной жесткостью, пропорционально удлинению.

Для задания характеристик линейной пружины необходимо установить переключатель в положение **Линейная пружина** и задать коэффициент жесткости и демпфирования.

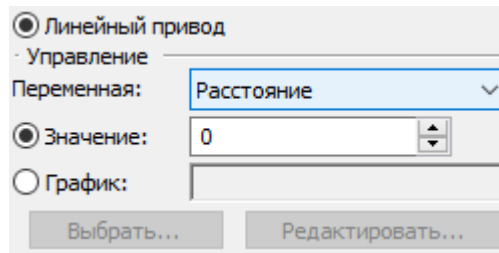
**Жёсткость** определяет усилие, которое развивает пружина в зависимости от удлинения. Параметр имеет размерность [Сила/Длина]. **Демпфирование** зависит от скорости растяжения/сжатия и имеет размерность [Сила\*Секунда/Расстояние]. Единицы измерения силы выбираются при помощи параметра **Единицы силы**. Другие единицы измерения зависят от настроек документа (команда **ST:Задать параметры документа**).



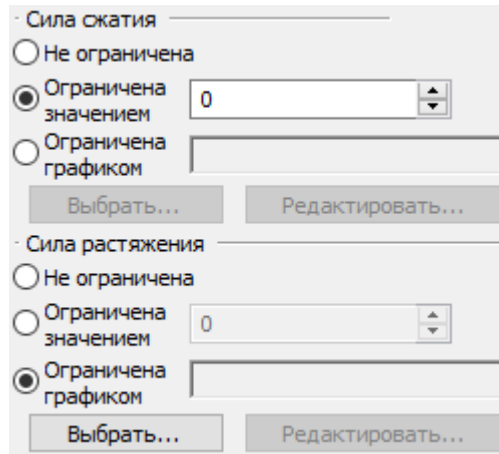
Для задания графической зависимости развиваемого пружиной усилия от удлинения необходимо установить переключатель в положение **Биполярная сила**. Остальные действия по заданию графика для пружины аналогичны действиям, описанным для нагрузки «Сила». Для пружин предназначен дополнительный считывающий параметр **Length**, который позволяет для чтения графика использовать текущее удлинение пружины.



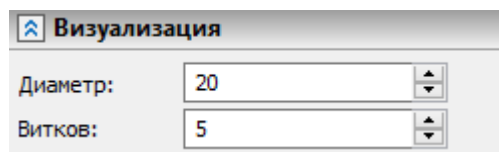
Для задания линейного привода необходимо установить переключатель в положение **Линейный привод**. В качестве управляющего параметра может быть выбрано **Расстояние**, **Скорость** или **Ускорение**. Для управляющего параметра задаётся постоянное **Значение** или **График**.



Для линейного привода может быть задана ограничивающая сила растяжения или сжатия, в зависимости от направления работы привода. По умолчанию ограничитель стоит в положении **Не ограничена**. При необходимости может быть задано постоянное значение или график изменения ограничивающей силы во времени.



В окне параметров в отдельном разделе устанавливаются параметры визуализации для отображения специальных декораций в виде пружин при работе с задачей - **Диаметр пружины** и **Количество витков**.




## 7. ДАТЧИКИ

Датчики – специальные объекты задачи, предназначенные для считывания и передачи результатов расчёта на средства отображения результатов. Датчики могут быть нескольких типов, в зависимости от объекта измерения:

- датчик **Тело**. Предназначен для измерения координат, линейных и угловых скоростей и ускорений, а также активной силы и момента, действующих на тело. Активной силой или моментом называется сумма всех внешних воздействий на тело.
- датчик **Точка**. Предназначен для измерения координат, линейных скоростей и ускорений любой точки механической системы.
- датчик **Шарнир**. Предназначен для измерения сил и моментов реакции в шарнире, сил трения, скоростей, ускорения и координат шарнира. В качестве объекта, на котором строится датчик, выбирается один из шарниров задачи.
- датчик **Силовой элемент**. Предназначен для измерения фактических значений силы и/или момента, прикладываемых к телу.






- датчик **Расстояние**. Предназначен для фиксирования дистанции между двумя точками, связанными с любыми телами задачи, скорость изменения дистанции, ускорение. В качестве объектов, на основе которых строится этот датчик, выбираются две точки модели. Для каждой точки дополнительно выбирается тело задачи, вместе с которым она перемещается при движении механической системы.
- датчик **Пара тел**. Предназначен для измерения сил реакции и трения при контакте двух тел. В качестве основы для построения датчика выбирается два тела задачи.

Датчики разрешается создавать только для активной задачи динамического анализа при помощи команды:


Пиктограмма	Лента
	Анализ → Условия → Создать датчик
Клавиатура	Текстовое меню
<3MD>	Анализ > Создать датчик

В окне параметров необходимо установить тип создаваемого датчика.

После вызова команды создания датчика в автоменю появляются различные опции для помощи в выборе объектов. Набор опций зависит от типа создаваемого датчика:

-  <B> Выбрать тело
-  <G> Выбрать второе тело
-  <V> Выбрать точку
-  <F> Выбрать вторую точку
-  <C> Отменить выбор

В 3D окне датчики отображаются в виде сферических графических объектов. В окне параметров имеется набор полей (**Операция**, **Элемент**, **Вторая операция**, **Второй элемент**), в которые заносятся имена выбранных объектов. Удаление выбранного объекта из любого поля окна параметров при редактировании осуществляется при помощи горячей клавиши <Del>.

 Датчик

Тип датчика:  
Точка ▼

Операция:  
3D фрагмент\_2

Элемент:  
Ребро\_12

Вторая операция:

Второй элемент:

ЛСК:  
ЛСК\_8

По умолчанию все измерения производятся в глобальной системе координат модели. При необходимости для датчиков (за исключением типов датчиков **Силовой элемент** и **Пара тел**) допускается задать ЛСК, в которой необходимо производить измерения, используя опцию автоменю:



<L>      Выбрать систему координат

Выбранная ЛСК отображается в соответствующем поле окна параметров. Отмена выбора осуществляется при помощи следующей опции автоменю:

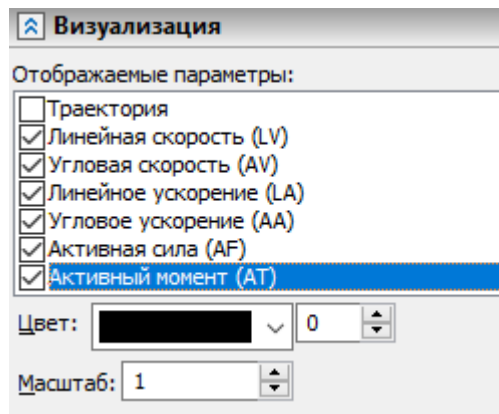


<D>      Отменить выбор системы координат

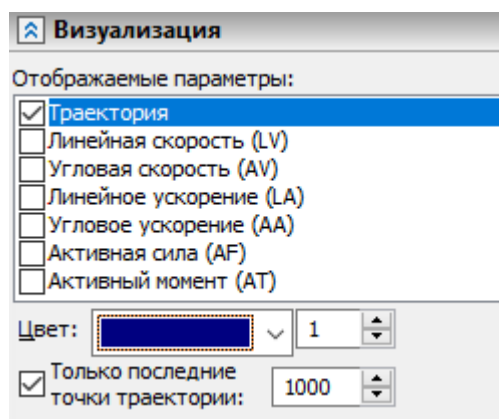
В блоке **Визуализация** можно настроить вывод вспомогательных графических объектов, которые будут отображать в процессе расчёта определенные показания датчиков (см. таблицу ниже).

Параметр	Отображение	Датчик
Траектория	Пространственная кривая	Точка, Тело, Шарнир <sup>а</sup>
Сила реакции	Вектор	Шарнир <sup>а</sup> , Пара тел <sup>б</sup>
Момент реакции	Вектор	Шарнир <sup>а</sup> , Пара тел <sup>б</sup>
Сила трения	Вектор	Шарнир <sup>а</sup> , Пара тел <sup>б</sup>
Момент трения	Вектор	Шарнир <sup>а</sup> , Пара тел <sup>б</sup>
Линейная скорость	Вектор	Тело
Угловая скорость	Вектор	Тело
Линейное ускорение	Вектор	Тело
Угловое ускорение	Вектор	Тело
Активная сила	Вектор	Тело
Активный момент	Вектор	Тело
Скорость	Вектор	Точка
Ускорение	Вектор	Точка
Примечание: <sup>а</sup> вычисляются координаты, и отображается траектория некоторой точки, находящейся в центре области контакта двух тел; <sup>б</sup> вычисляются координаты центра шарнира.		

Для графических объектов в виде стрелки-вектора допускается установить настройки масштаба и цвета.




Для объектов в виде пространственной кривой допускается помимо цвета ограничивать длину кривой, устанавливая фиксированное количество последних рассчитанных точек при помощи параметра **Только последние точки траектории**.



## 8. РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты - специальные объекты задачи, предназначенные для считывания показаний датчиков в ходе динамического расчёта.

Для создания результата предназначена команда:

Пиктограмма	Лента
	Анализ → Расчёт → Создать результат
Клавиатура	Текстовое меню
<3MZ>	Анализ > Создать результат

Также данную команду допускается вызвать из контекстного меню при выборе датчика в дереве 3D модели или в окне задач. Команда доступна при наличии в задаче хотя бы одного датчика.

После вызова команды появляется диалог параметров для создания результата.

Результаты задачи

Датчик: Датчик\_1 [Точка]

Создать график: Время

Ограничение сверху: 0  Учитывать в модели

Ограничение снизу: 0  Учитывать в модели

Показатели:

Показатель	Единица измерения
<input type="checkbox"/> Скорость (Z), VZ	мм/с
<input checked="" type="checkbox"/> Скорость (модуль), V	мм/с
<input type="checkbox"/> Ускорение (X), AX	мм/с <sup>2</sup>
<input type="checkbox"/> Ускорение (Y), AY	мм/с <sup>2</sup>
<input type="checkbox"/> Ускорение (Z), AZ	мм/с <sup>2</sup>
<input checked="" type="checkbox"/> Ускорение (модуль), A	мм/с <sup>2</sup>




OK Отмена

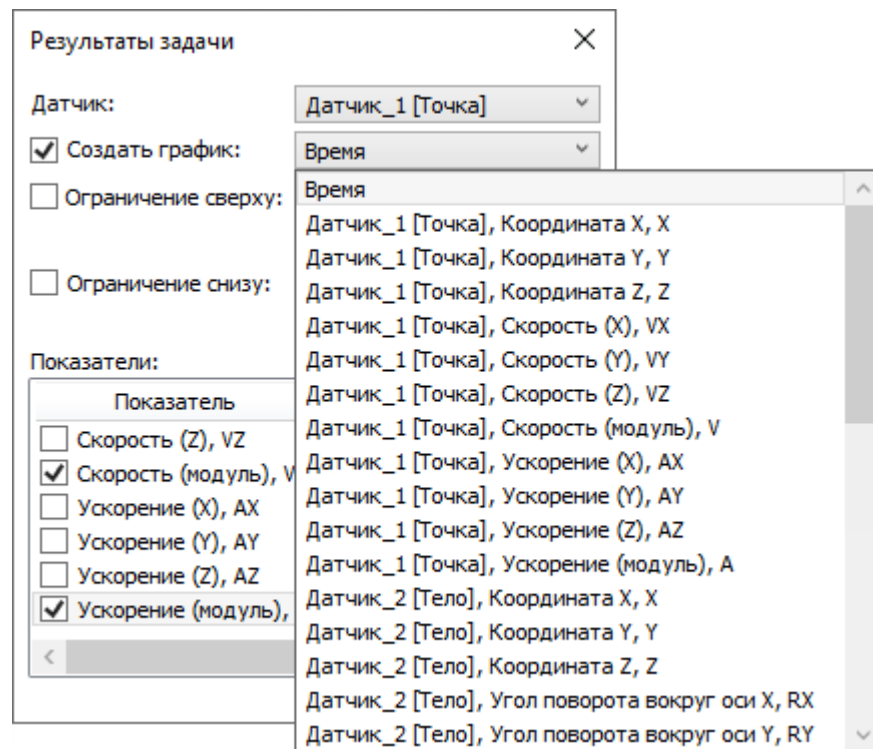
Результат создаётся по показателям конкретного датчика, набор которых зависит от его типа. Набор показателей представлен в таблице ниже.

Показатель	Единица измерения	Датчик
Координата	мм	Тело, Точка, Шарнир, Пара тел
Угол поворота вокруг оси	рад	Тело
Вектор	мм	Расстояние
Расстояние	мм	Расстояние
Скорость	мм/с	Точка, Расстояние
Линейная скорость	мм/с	Тело
Угловая скорость	рад/с	Тело
Ускорение	мм/с <sup>2</sup>	Точка, Расстояние
Линейное ускорение	мм/с <sup>2</sup>	Тело
Угловое ускорение	рад/с <sup>2</sup>	Тело
Активная сила	Н	Тело, Силовой элемент
Активный момент	Н*мм	Тело, Силовой элемент
Сила реакции	Н	Шарнир, Пара тел
Момент реакции	Н*мм	Шарнир, Пара тел
Сила трения	Н	Шарнир, Пара тел

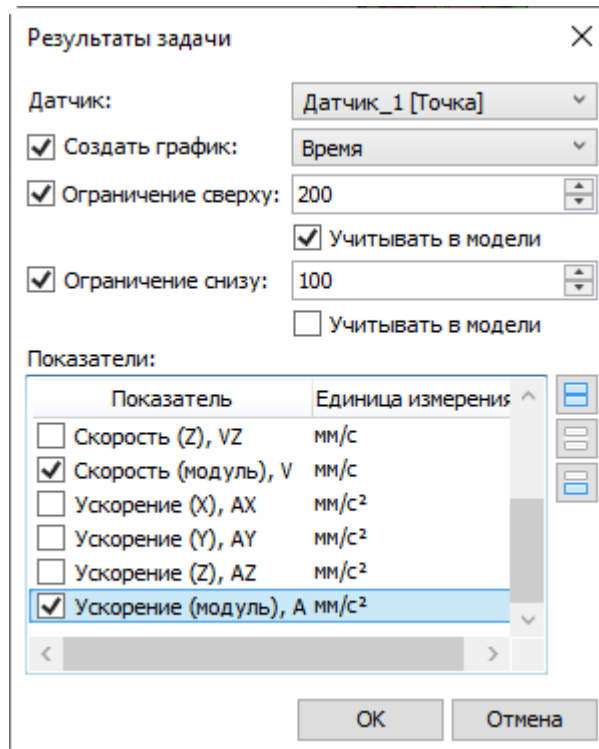
Показатель	Единица измерения	Датчик
Момент трения	Н*мм	Шарнир, Пара тел
Кинетическая энергия	Дж	Тело

Дополнительно возможно выделение X,Y,Z – составляющих в виде отдельного результата для каждого показателя.

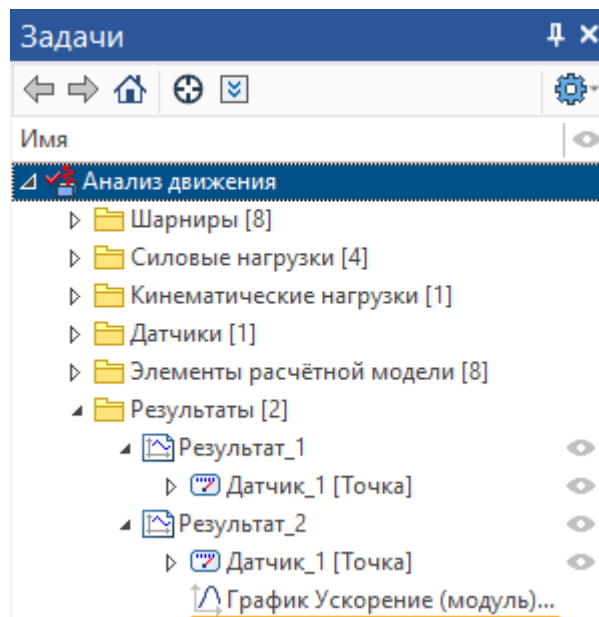
В выпадающем списке **Датчик** выбирается датчик из числа существующих в задаче. В поле **Показатели** необходимо установить метки напротив тех показателей, на основе которых требуется создать результаты. Комплексное управление показателями достигается за счёт использования кнопок **[Выбрать всё]** , **[Снять выбор]** , **[Инvertировать выбор]** . Параметр **Создать график** позволяет сформировать результат в виде графической зависимости текущего показателя от времени либо показателя одного из существующих датчиков.



Также для каждого показателя предусмотрена возможность определения диапазона допустимых значений путём задания ограничений. Таким образом в ходе динамического расчёта система информирует пользователя о достижении заданных ограничений, отображая знак «!» в окне **Текущие значения**. Параметры **Учитывать в модели** предназначены для прекращения движения механизма при достижении установленного значения ограничения.




После выбора необходимых показателей и закрытия диалога в системе создаются новые объекты типа **Результат**, которые наполняются данными в процессе выполнения расчёта задачи. Сформированные графики результатов могут просматриваться вне задачи динамического расчёта обычными средствами для работы с графиками.



## 9. ВЫПОЛНЕНИЕ РАСЧЁТА ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.

Выполнение расчёта осуществляется при помощи следующей команды:


Пиктограмма	Лента
	Анализ → Расчёт → Расчёт
Клавиатура	Текстовое меню
<ЗМУ>	Анализ > Расчёт

Также данную команду допускается вызвать из контекстного меню при выборе задачи в дереве 3D модели или в окне задач.

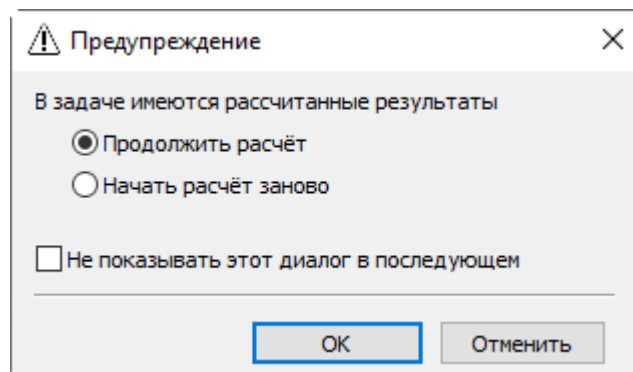
После вызова команды система переходит в режим ожидания расчёта или воспроизведения результатов расчёта. В окне параметров появляются параметры для управления процессом и просмотра результатов.

В данной команде можно работать в двух режимах – либо в режиме вычислений, либо в режиме просмотра готовых результатов. При первом запуске команды **Расчёт** система ещё не имеет никаких результатов. Об этом можно судить по заблокированным кнопкам для просмотра результатов. В этот момент допускается только запустить новые вычисления.

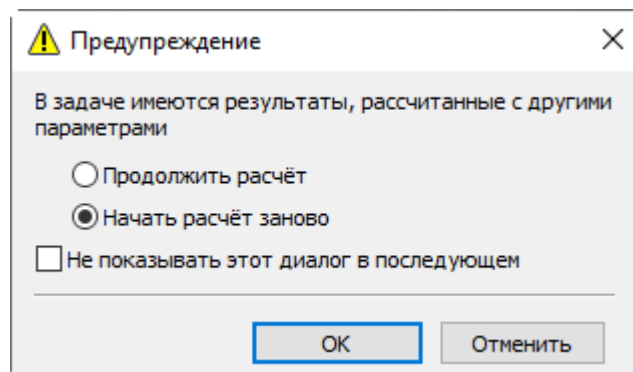
Управление процессом вычислений осуществляется через окно параметров, в котором находятся соответствующие элементы управления.


 - **Запись**. Кнопка запускает вычисления. В зависимости от текущих параметров задачи при наличии более ранних результатов расчёта система предлагает следующие варианты:

- **Продолжить расчёт**. Актуален при наличии ранее рассчитанных результатов по текущим параметрам задачи;



- **Начать расчёт заново**. Актуален для случаев, когда текущие параметры задачи отличаются от параметров ранее рассчитанных результатов.



 - **Пуск**. Кнопка запускает воспроизведение результата вычислений. Кнопка доступна при наличии сохранённых результатов расчёта.



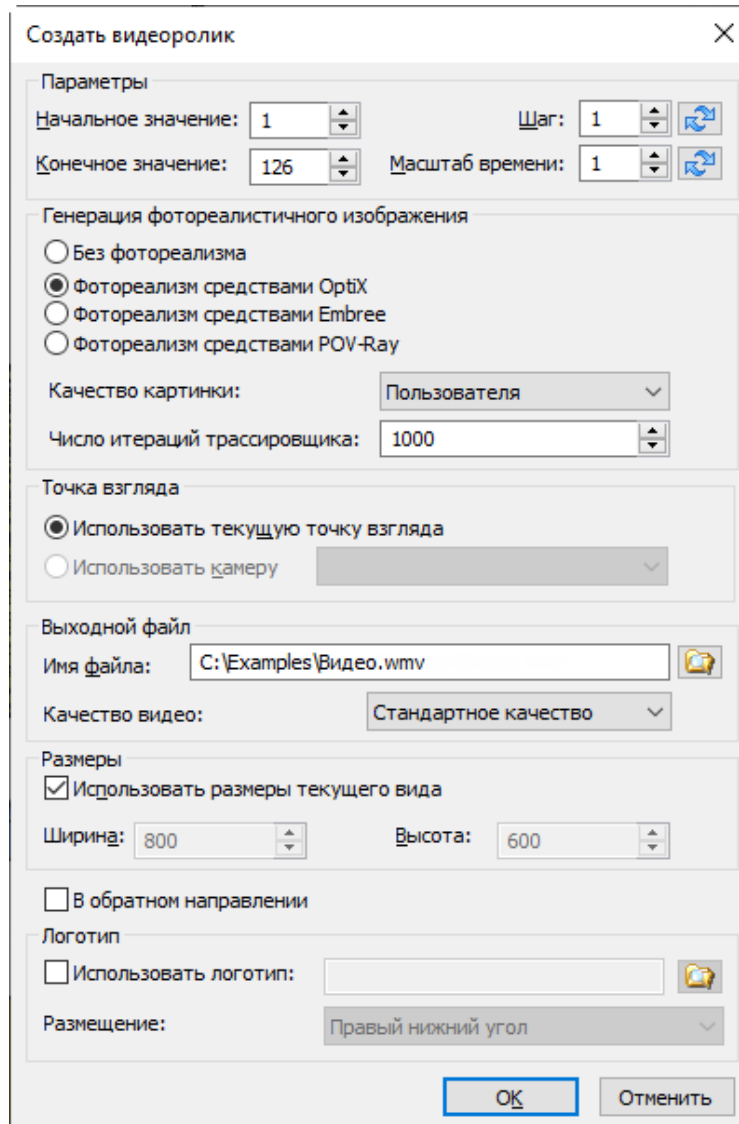
- **Пауза.** Кнопка приостанавливает воспроизведение результата вычислений. Доступна после запуска воспроизведения результата вычислений.



- **Стоп.** Кнопка останавливает процесс вычислений или воспроизведения результата.




- **Создать видеоролик****Ошибка! Закладка не определена..** Кнопка вызывает диалог параметров записи видео:




**Группа Параметры:**

- **Начальное значение.** Задаёт кадр, с которого начинается запись видео.
- **Конечное значение.** Задаёт кадр, на котором запись видео будет окончена.
- **Шаг.** Шаг записи видео.



Кнопка  позволяет подобрать оптимальное значение шага записи видео кадров без изменения длительности видео. Таким образом шаг будет увеличен и часть кадров использоваться не будет, но при этом видео не изменится.

- **Масштаб времени.** Задаёт коэффициент для времени записи видео. Используется в случае, когда на короткое видео (например, длительностью 1 секунда) приходится много кадров (например, 300 кадров).

Кнопка  позволяет подобрать оптимальную длительность видео без изменения количества кадров. Таким образом число кадров останется прежним, но длина видео изменится.

Время видео указано в окне параметров задачи анализа движения.

Параметры группы **Генерация фотореалистичного изображения** позволяют создавать фотореализм с помощью одного из доступных механизмов:

- **OptiX.** Механизм использует технологию NVidia OptiX. Для создания фотореалистичных изображений используются ресурсы видеокарты.
- **Embree.** Механизм использует технологию Embree - ядро трассировки лучей, разработанное Intel. Для создания фотореалистичных изображений используются ресурсы процессора.
- **POV-Ray.** Механизм использует технологию POV-Ray, применяющую метод трассировки луча.

Для фотореализма средствами Embree и OptiX доступен параметр **Качество картинки**, который позволяет задать количество итераций рендеринга для каждого кадра. Можно выбрать стандартный вариант из списка или выбрать **Пользователя** и задать значение вручную в поле **Число итераций трассировщика**.

Создание фотореалистичного изображения увеличивает время записи AVI файла, но позволяет значительно улучшить его качество.

Группа параметров **Точка взгляда** определяет положение и направление камеры, ведущей запись:

- **Использовать текущую точку взгляда.** Точка взгляда задаётся системной камерой, существующей в любом 3D окне по умолчанию.
- **Использовать камеру.** Другим вариантом является указание камеры, созданной пользователем.

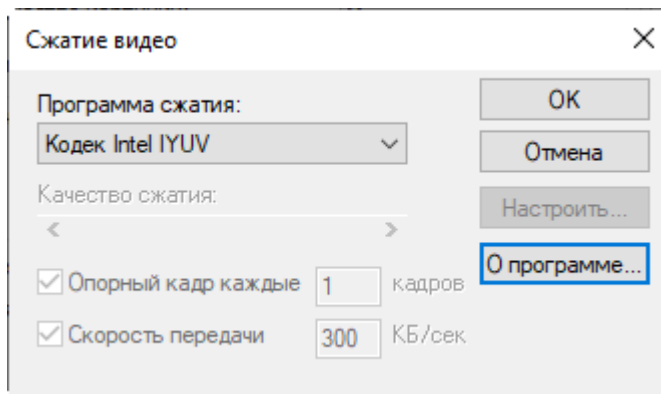
Группа параметров **Выходной файл:**

- **Имя файла.** Позволяет задать имя файла, директорию его сохранения, а также выбрать формат видеофайла - WMV или AVI.
- **Качество видео.** Задаёт качество видео для файлов формата WMV.

Графическая кнопка **[Сжатие...]** доступна для файлов формата AVI. Она вызывает окно настройки параметров сжатия мультимедиа файла:

- **Программа сжатия.** Выбор программы сжатия.
- **Качество сжатия.** Задаёт значение качества сжатия мультимедиа файла.
- **Опорный кадр.** Задаёт количество кадров между опорными кадрами.
- **Скорость передачи.** Задаёт значение скорости передачи (КБ/сек).

Графическая кнопка **[Настроить...]** выводит окно диалога для ввода соответствующих настроек выбранной программы сжатия.



Группа параметров **Размеры**:

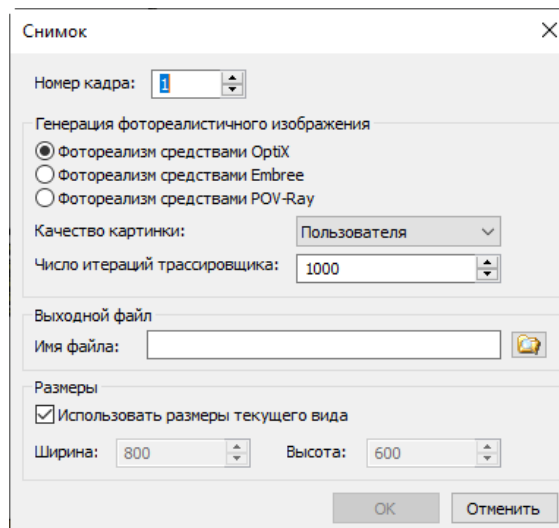
- **Использовать размеры текущего вида.** При включённом флаге записывается содержимое текущего окна 3D вида. При отключённом флаге пользователь может задать собственные значения ширины и высоты сохраняемого изображения. Параметр **В обратном направлении** позволяет записать видео в обратном направлении.

Группа параметров **Логотип** предназначены для наложения логотипа на видео с указанием его положения.



**Сделать снимок.** Кнопка позволяет сохранить фотореалистичный снимок текущего или указанного кадра в формате PNG, JPG или BMP.

Для настройки снимка служит специальный диалог:




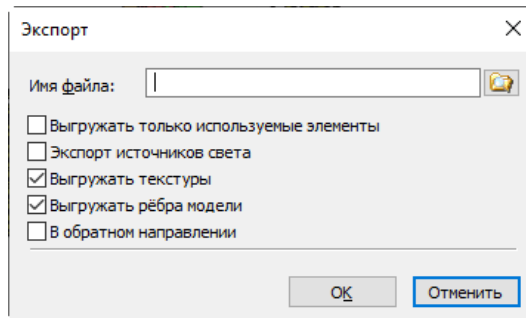
Параметр **Номер кадра** позволяет задать порядковый номер кадра, на основе которого будет сделан снимок.

Остальные параметры аналогичны диалогу настройки записи видеоролика.



**Экспортировать результаты.** Кнопка содержит выпадающий список со следующими опциями:

- **Экспортировать анимацию** . Опция позволяет экспортировать анимацию, получаемую при анализе движения, в сеточные форматы: WRL, X3D, 3D PDF, U3D, POV. После вызова появляется следующий диалог:



**Имя файла.** Позволяет задать имя файла, директорию его сохранения, а также выбрать сеточный формат.


**Выгружать только используемые элементы.** При установленном флаге, все элементы, не участвующие в задаче, не будут загружены в файл.


**Экспорт источников света.** В экспортируемый файл будут включены источники света.


**Выгружать текстуры.** В файл будут выгружены текстуры объектов. В противном случае текстуры не будут добавлены в файл, и вместо них будет отображаться материал тела.

**Выгружать рёбра модели.** При установленном флаге выгружаются рёбра модели. Когда флаг снят, экспортируется безрёберное изображение. Этот флаг доступен только для форматов WRL и X3D.

**В обратном направлении.** Анимация будет экспортирована в обратном направлении.


- **Выгрузить геометрию в файл** . Опция позволяет выгрузить модель в состоянии, соответствующем текущему кадру динамического анализа, в отдельный файл. После вызова данной опции появляется стандартный диалог экспорта с выбором директории сохранения.



- **Выгрузить геометрию и создать задачу Анализа** . Опция позволяет выгрузить модель в состоянии, соответствующем текущему кадру динамического анализа, в отдельный файл совместно с созданной задачей конечно-элементного анализа. После вызова данной опции появляется стандартный диалог экспорта с выбором директории сохранения.

 - Обрезать до текущей позиции.

 - Обрезать после текущей позиции.

Данные кнопки используются для удаления ненужных фрагментов записи, позволяя обрезать запись сохранённого результата по текущему моменту воспроизведения.

 - **Удалить запись.** Кнопка предназначена для удаления сохранённых результатов перед выполнением нового расчёта.

Сохранённые вычисления воспроизводят поведение модели в том состоянии, в котором она находилась непосредственно в момент вычисления результатов. Если в модели произошли изменения, которые нужно учесть в расчёте (например, изменились параметры/количество шарниров, параметры нагрузок, условия задачи и т.д.), то следует удалить сохранённые результаты, используя кнопку , и запустить новые вычисления при помощи кнопки .



- **К началу.** Кнопка переноса анимации расчёта к началу воспроизведения.



- **Перемотать назад.** Кнопка, при удержании которой происходит перемотка анимации к началу воспроизведения.



- **Назад.** Кнопка запускает воспроизведение результатов вычислений в обратном направлении с текущего кадра.



- **Предыдущий кадр.** Кнопка перехода к предыдущему кадру.



- **Следующий кадр.** Кнопка перехода к следующему кадру.



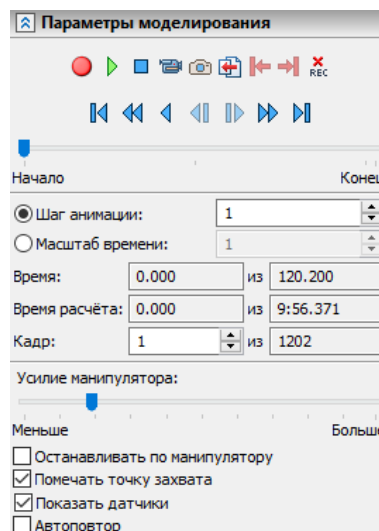
- **Перемотать вперёд.** Кнопка, при удержании которой происходит перемотка анимации к концу воспроизведения.






- **В конец.** Кнопка переноса анимации расчёта в конец воспроизведения.

Ниже панелей управления расчётом расположен специальный ползунок, предназначенный для установки счётчика времени в нужную позицию. На шкале ползунка по мере увеличения общего времени расчёта рисуется шкала с временными интервалами.

Параметр **Шаг анимации** позволяет установить скорость воспроизведения результата. Допускается вводить только целые числа. Данный параметр фактически задаёт шаг для отбора кадров из массива результатов. Его удобно использовать для создания анимационных роликов в реальном времени, в то время, когда расчёт вёлся с большей частотой кадров в секунду для получения более качественных результатов. Альтернативный способ управления скоростью воспроизведения доступен при использовании параметра **Масштаб времени**. Ниже отображаются параметры времени для каждого кадра, счётчик общего времени расчёта и счётчик кадров.



В момент расчёта пользователь может захватить курсором любую подвижную деталь и воздействовать на неё с относительным усилием, которое зависит от расстояния до точки захвата и от настройки параметра **Усилие манипулятора**. Захват осуществляется в момент паузы  при помощи . Далее, не отпуская , нужно «тянуть» деталь в нужную сторону.

**Усилие манипулятора** – специальный элемент управления, который устанавливает относительное усилие манипулятора для воздействия на модель в процессе выполнения расчёта.


Параметр **Останавливать по манипулятору** автоматически ставит процесс вычислений на паузу каждый раз после воздействия манипулятором. Его удобно включать, когда

динамический расчёт ведётся с использованием нагрузок, задаваемых манипулятором, и необходимо исключить моменты, когда модель находится без воздействия манипулятора.

Параметр **Помечать точку захвата** включает отображение специальной метки в виде крестика, которая обозначает точку приложения силы от манипулятора.

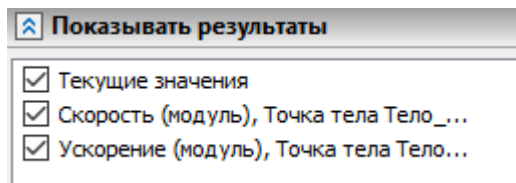
Параметр **Показать датчики** предназначен для отображения и, соответственно, скривания датчиков в 3D сцене в процессе расчёта.

Параметр **Автоповтор** включает автоматическое непрерывное повторение воспроизведения.

При выполнении расчёта часто бывает необходимо устанавливать различные интервалы для счётчика времени и параметры моделирования. В автоменю доступна опция  для вызова диалога, регулирующего некоторые общие параметры задачи. Этот диалог повторяет соответствующие части диалога [общих настроек задачи](#) и имеет две вкладки **Базовые** и **Моделирование**, что позволяет получить оперативный доступ к необходимым настройкам задачи непосредственно в команде выполнения расчёта. Например, группа параметров **Шагов в кадре** управляет количеством шагов расчёта. От этих настроек зависит скорость и точность расчёта. Иногда в целях проведения ряда экспериментальных, пробных расчётов нужно устанавливать более высокую скорость расчёта в ущерб точности.

## 9.1. СРЕДСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЁТА

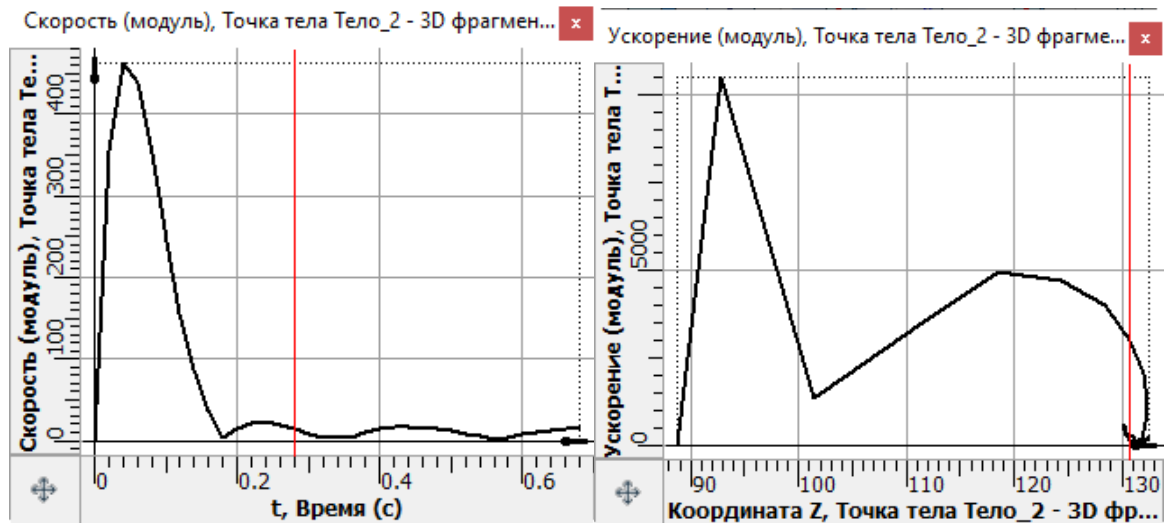
В ходе динамического расчёта допускается отображать все предварительно сформированные результаты задачи. Для этого в окне параметров расчёта предусмотрен блок **Показывать результаты**, содержащий соответствующий список.



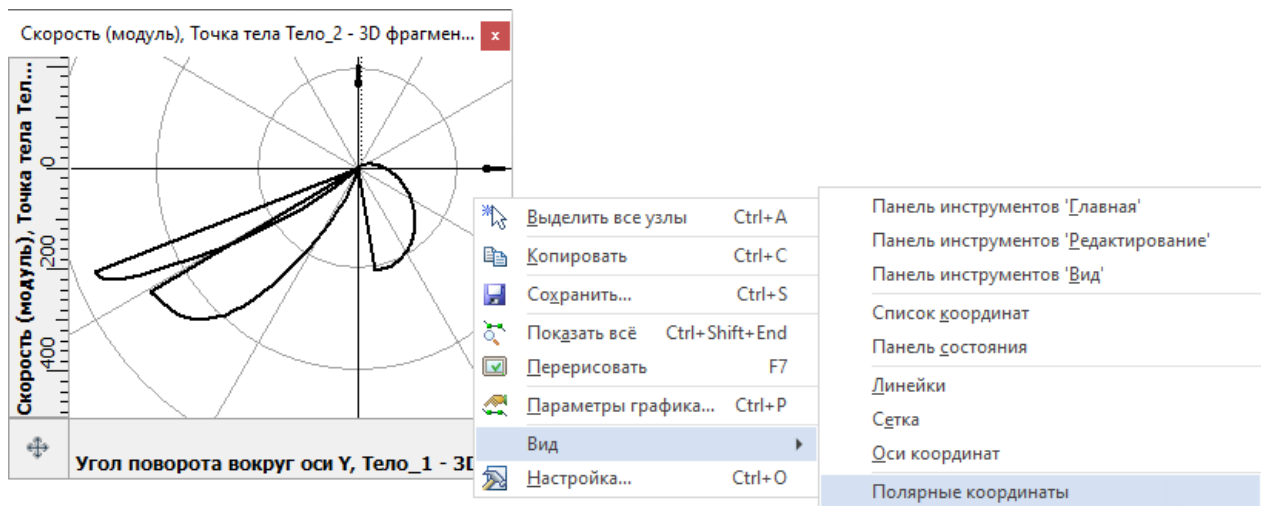
Окно **Текущие значения** предназначено для отображения текущих значений исходных показателей датчиков, а также точек экстремума, достигнутых в ходе расчёта. Если для какого-либо показателя установлено ограничение, тогда при достижении заданного значения в соответствующих колонках отображается знак «!».

Текущие значения <span style="float: right;">x</span>				
Имя	Значение	Минимум	Максимум	Единица измерения
Координата Z, Датчик_1, Точк...	130.567283	88.739247	132.505831	мм
Скорость (модуль), Датчик_1, ...	11.949335	! 100.000000	! 200.000000	мм/с
Ускорение (модуль), Датчик_1...	116.268921	0.000000	10528.856596	мм/с <sup>2</sup>

Остальные окна предназначены для отображения показателей датчиков, для которых результат сформирован в виде графика. Каждое динамическое окно с графиком имеет аналогичные функции по управлению графиками, что и штатный редактор графиков. Изображение графика в окне автоматически масштабируется для постоянного отображения активной области.



Для датчиков с показателями углов поворота оси результаты расчёта по умолчанию отображаются в полярных координатах. Переключение на отображение графика в декартовых координатах осуществляется через контекстное меню.

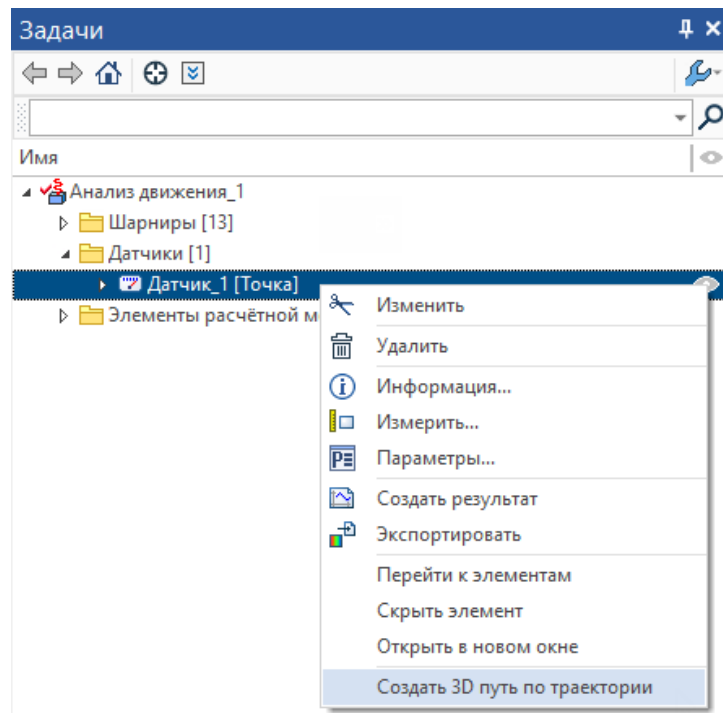


При воспроизведении результатов графики также отображаются. Для отображения текущего момента времени в каждом графике динамически перемещается специальная метка «Маркер позиции аргумента».

Пользователь может регулировать размер плавающих окон и масштаб отображения графиков на своё усмотрение. При необходимости каждый график может быть детально рассмотрен в специальном редакторе графиков.

Более подробную информацию по работе с графиками можно найти в справке T-FLEX CAD, глава «Параметризация», раздел «Графики».

Для датчиков типа **Точка**, **Тело**, **Шарнир** предусмотрена возможность создания 3D пути на основе траектории их движения. Таким образом решается задача получения траектории движения отдельных звеньев механизма. Создание траектории осуществляется при помощи соответствующей опции контекстного меню выбранного датчика.



Анализ полученной траектории может быть произведён с помощью штатной функции T-FLEX CAD **Измерить**.

После динамического расчёта допускается экспортировать показания датчиков в текстовый документ для использования в других системах. Экспорт осуществляется при помощи соответствующей опции контекстного меню выбранного датчика либо результата в окне задач или в дереве модели.

