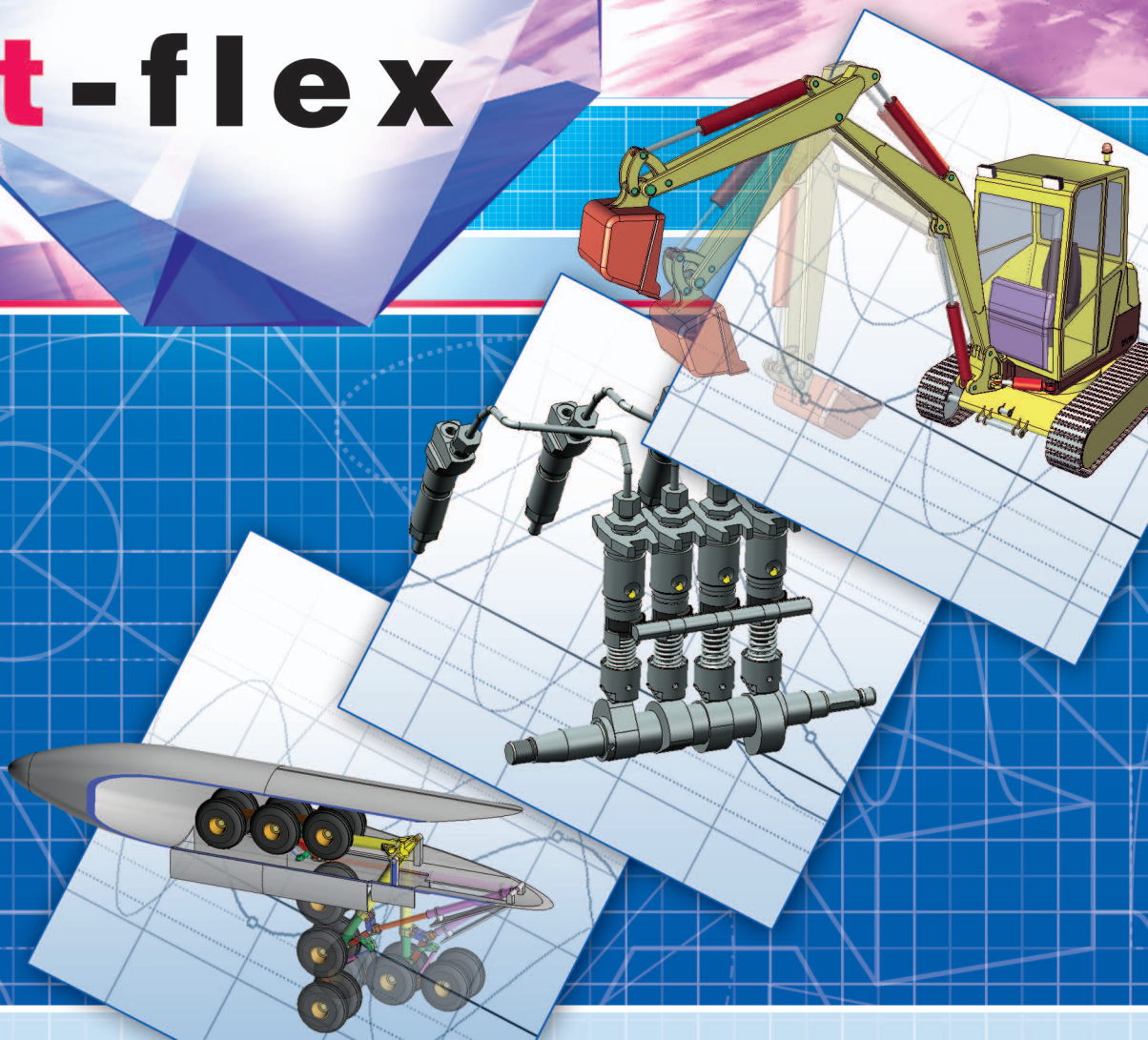


T-FLEX Динамика

Руководство
пользователя

The logo for t-flex, featuring a stylized 't' in red and 'flex' in black, positioned below a graphic of three curved lines (two black, one red) that suggest motion or a signal. The logo is set against a large, translucent blue and purple geometric shape that resembles a crystal or a stylized 'X'.

Топ Системы



T-FLEX ДИНАМИКА

ПОСОБИЕ ПО РАБОТЕ С СИСТЕМОЙ

©Авторское право 2008 АО «Топ Системы»

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

АО «Топ Системы» не несет ответственности за ошибки, которые могут быть в этой книге. Также не предполагается никаких обязательств за повреждения, обусловленные использованием содержащейся здесь информации.

Содержание настоящего документа может быть изменено без предварительного уведомления.

Торговые марки T-FLEX Parametric CAD, T-FLEX Parametric Pro, T-FLEX CAD, T-FLEX CAD 3D, T-FLEX Анализ, T-FLEX Динамика являются собственностью АО «Топ Системы».

Все названия программных и аппаратных средств и названия компаний, упомянутые в настоящей публикации, являются торговыми марками или зарегистрированными торговыми марками соответствующих владельцев.

СОДЕРЖАНИЕ

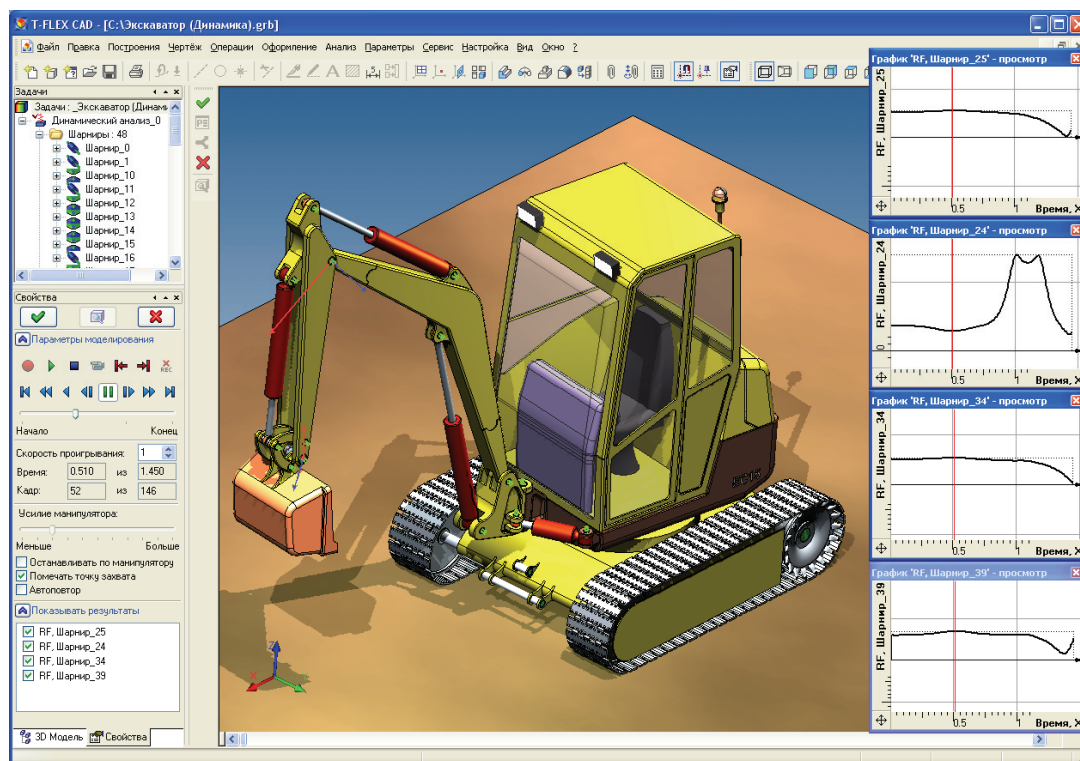
Общие сведения	4
Структура задачи динамического расчёта	5
Правила выполнения динамического расчёта	8
Средства управления задачами	8
Создание задачи	9
Параметры задачи	12
Шарниры	13
Создание нагрузжений	15
Создание датчиков	21
Создание результатов. Виды результатов	22
Выполнение расчёта	23
Ограничения модуля Экспресс-динамика	26

Общие сведения

Совместно с T-FLEX CAD 3D может работать модуль динамического анализа. Модуль основан на собственных алгоритмах разработчиков компании «Топ Системы» и позволяет производить исследование динамического поведения различных пространственных механических систем. В T-FLEX CAD 3D уже встроен модуль динамического экспресс – анализа. Он представляет собой бесплатную некоммерческую версию, предназначенную в основном для ознакомления с основным модулем. Модуль экспресс – динамики имеет некоторые ограничения по видам нагружений и по выводу результатов динамического анализа. В данной главе описаны возможности программы и правила работы с основным модулем, а также приведён список ограничений и отличия в работе для модуля экспресс – динамики.

Система динамического анализа может решать 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. 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 бесплатного модуля (отсутствуют инструменты для получения численных результатов расчёта). В коммерческом модуле 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.

Структура задачи динамического расчёта

Команды динамического анализа доступны в меню «Анализ». В этом меню также присутствуют команды для конечно-элементного анализа. Некоторые из них являются общими для обоих типов задач.

Для выполнения динамического расчёта пользователь создаёт задачу динамического анализа. Она формируется из следующих компонентов:

- свойства и настройки задачи;
- тела задачи;
- шарниры;
- датчики;
- нагружения;
- результаты.

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. Имитирует дверную петлю.
- **Цилиндрический шарнир.** Разрешено вращение вокруг определенной оси и перемещение вдоль неё.
- **Поступательный шарнир.** Разрешено только перемещение в определенном направлении.
- **Винтовой шарнир.** Имитирует винтовое соединение. Создаётся 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 учитывает задаче и превращает в неопределенный шарнир. Такие связи считаются идеальными. Для них нельзя задавать параметры трения или геометрические свойства.

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.

Контакты между телами. Одной из особенностей системы является реалистичное моделирование контактов между телами сборки. Пользователь освобождён от необходимости задавать точки контакта самостоятельно. Имеется возможность задавать системе, контакты каких тел она должна посчитать, а каких – нет, а также параметры удара и трения отдельно для каждой пары тел. Все расчёты производятся самой системой на основе точной геометрии тел (используются геометрические данные ядра Parasolid). Таким образом, система позволяет реалистичное моделирование контактов между абсолютно любыми Телами.

Нагрузки - это специальные объекты, создаваемые пользователем перед выполнением расчёта. В качестве нагрузок можно задавать 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.

- **Гравитация.** Система позволяет учесть в расчёте любое значение ускорения свободного падения в произвольном направлении.
- **Начальная скорость.** Пользователь имеет возможность задать начальную скорость для любых Тел задачи (скорость центра масс Тела и угловую). По умолчанию скорости тел в начале моделирования равны нулю.
- **Точечная сила.** Создаёт точечную силу, действующую в заданном направлении. Сила может быть задана значением или графиком. В последнем случае можно задать переменное значение, зависящее от времени или датчика.
- **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.
- **Вращение.** Позволяет создать привод, вращающий тело вокруг заданной оси с заданной угловой скоростью. Максимальный крутящий момент, развиваемый приводом, по желанию пользователя, может быть ограничен.
- **Момент.** Позволяет задать вектор внешнего момента, действующего на тело.

Параметры трения и удара. Система может моделировать свойства взаимодействия между элементами системы.

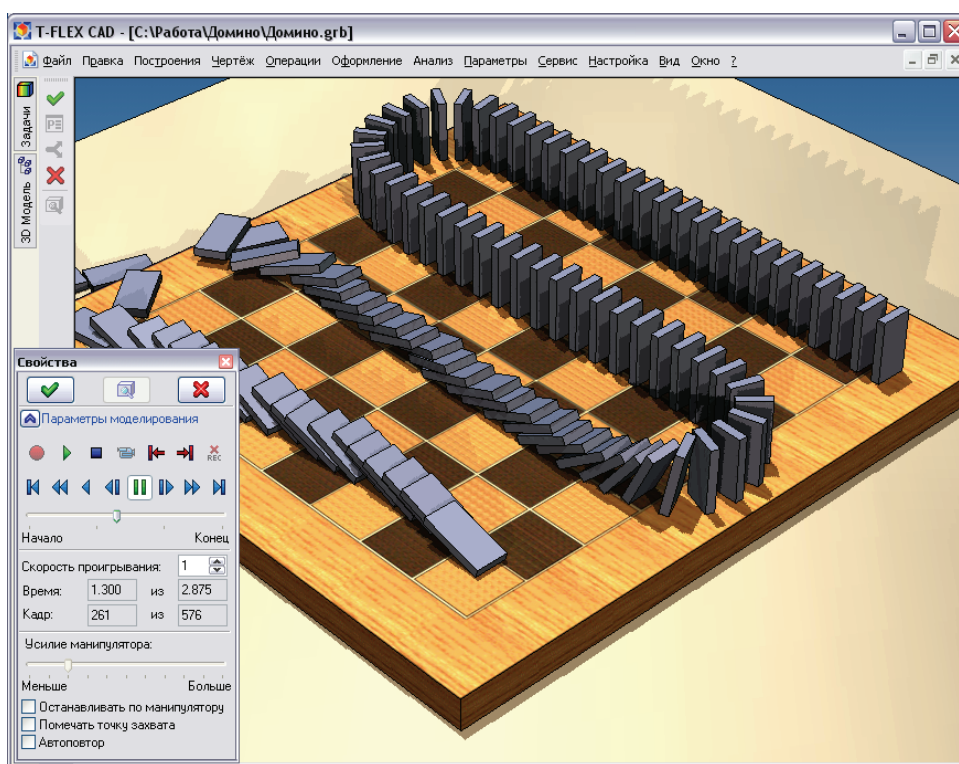
Для шарниров:

- **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 верчения.
- **Коэффициент восстановления** при ударе характеризует степень сохранения механической энергии Тел после соударения.
- **Минимальную скорость**, с которой начинает действовать упругое соударение (слабый удар считается неупругим).



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

- датчик в точке;
- датчик в шарнире;
- датчик на теле;
- датчик для измерения расстояний между двумя точками;
- датчик «Пара тел».

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. Пользователь может 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 максимального значения, также указываемого пользователем.


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

Правила выполнения динамического расчёта

Динамический расчёт базируется на специальном объекте системы – **задаче динамического анализа**. Задача объединяет в себе данные и элементы, необходимые для выполнения одного расчёта модели. Она содержит данные, задающие направление силы тяжести, свойства элементов задачи по умолчанию (свойства шарниров, силы трения, контактные свойства), 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 динамического анализа ассоциативно связана с трёхмерной моделью. При изменении параметров или состава модели автоматически происходят соответствующие изменения и в задаче.

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 динамического анализа (шарниры, нагрузки, датчики, результаты) объединены в группы. Служебное окно задач является общим для задач конечно-элементного и динамического анализа. Команда для открытия этого окна запускается следующим образом:

Клавиатура	Текстовое меню	Пиктограмма
<3MW>	«Анализ Показать окно задач»	

Аналогично другим видам инженерных задач, которые могут содержаться в модели T-FLEX CAD (конечно-элементные задачи), задач динамического анализа в одном файле может быть несколько. Каждая из задач 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 в данном окне.

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 командой контекстного меню «**Активизировать**».

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

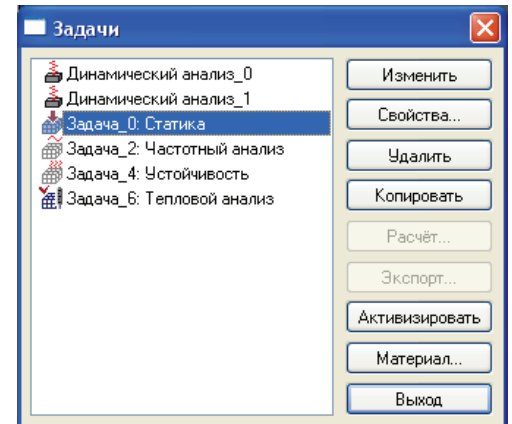
Для редактирования задачи или изменения её свойств используйте команду «**Изменить**» и «**Свойства**».

Для работы со списком задач есть специализированная команда:

Клавиатура	Текстовое меню	Пиктограмма
	«Анализ Задачи...»	


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

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



Создание задачи





Для создания новой задачи динамического анализа используйте команду:


Клавиатура	Текстовое меню	Пиктограмма
<3MN>	«Анализ Новая задача Динамический анализ»	

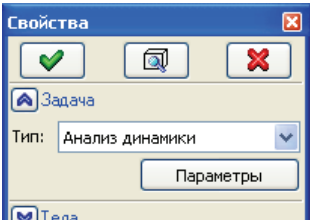
В этой команде возможно создание двух вариантов задач – «Экспресс-анализ динамики» или «Анализ динамики». Экспресс-анализ поставляется бесплатно вместе с программой T-FLEX CAD 3D

и имеет некоторые ограничения. Ограничения экспресс-модуля рассмотрены в отдельном параграфе этой главы.

После вызова команды создания задачи в автоменю появляются следующие опции:

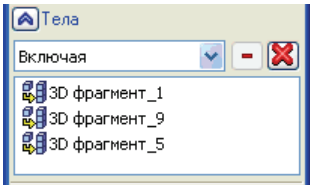
	<P>	Задать параметры динамического анализа
	<S>	Выбрать тела, участвующие в динамическом анализе
	<R>	Выбрать тела для задания правила анализа контактов
	<C>	Выбрать тела для задания параметров контакта

Задача может создаваться «как есть», на основе данных 3D модели. Для создания такой задачи достаточно сразу нажать  в окне свойств 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 свойств задачи имеет много параметров для более детальной настройки задачи. Для удобства пользователя окно разбито на блоки.

В блоке параметров **[Тела]** пользователь может вручную указать Тела модели, которые должны участвовать в задаче динамического анализа. Эта настройка нужна на тот случай, если модель состоит из большого количества тел, чем нужно выполнения для расчёта. Также это сокращает вычислительные ресурсы, если исключить несущественные в расчёте объекты.

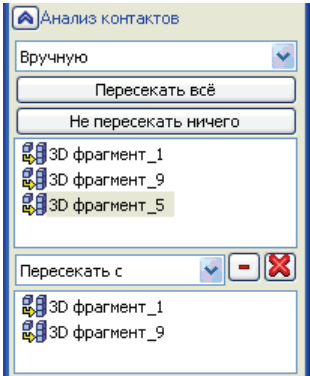
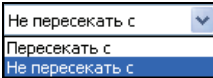
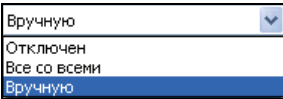


Изначально список пустой. Это означает, что система учитывает все тела, которые есть в 3D модели. Для удобства пользователя можно сформировать два типа списка. В зависимости от того, с какой стороны удобнее выбирать, можно сделать список из Тел, которые действительно участвуют в задаче (положение переключателя «**Включая**»), либо переключиться в режим «**Исключая**» и тогда в задаче будут участвовать все тела модели, кроме тех, что выбрал пользователь.

Для выбора Тел, участвующих в задаче, используется опция автоменю:

	<S>	Выбрать тела, участвующие в динамическом анализе
---	-----	--

В блоке параметров **[Анализ контактов]** можно включить учёт взаимного проникновения тел. Вверху блока параметров имеется переключатель в виде выпадающего списка. Он имеет три положения. В положении «**Отключен**» учет контактов между телами не производится, и остальные параметры заблокированы. В положении «**Все со всеми**» включается автоматический режим, в котором производится анализ контактов между всеми телами, участвующими в расчёте. Остальные поля в этом



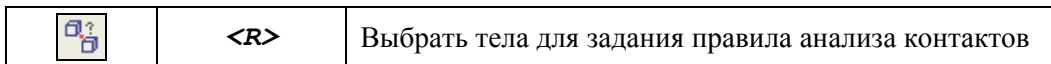
режиме тоже заблокированы.

Третий режим «Вручную» позволяет выбрать конкретные пары контактирующих тел и при необходимости установить между ними индивидуальные настройки трения и удара (см. ниже). Также этот режим может быть полезен, если пользователю 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.

Ниже переключателя имеются две кнопки **[Пересекать все]** и **[Не пересекать ничего]** для быстрого формирования всех возможных пар и удаления всех контактирующих пар.

Далее находятся два поля для формирования списков Тел. В первое поле заносятся все Тела задачи. Для каждого из них автоматически формируются два списка: Тела задачи, с которыми оно контактирует и, наоборот, не контактирует. Эти списки попеременно отображаются во втором поле. Первоначально система создает контакты между всеми Телами, участвующими в задаче. Пользователь может корректировать списки контактов для каждого Тела. Для отображения разных списков во втором поле используется переключатель, который имеет два положения «Не пересекать с» и «Пересекать с».

Для задания контактов сначала выбирается нужное Тело в первом поле. Затем переключатель ставится в требуемое положение и производится выбор объектов при помощи опции автоменю:

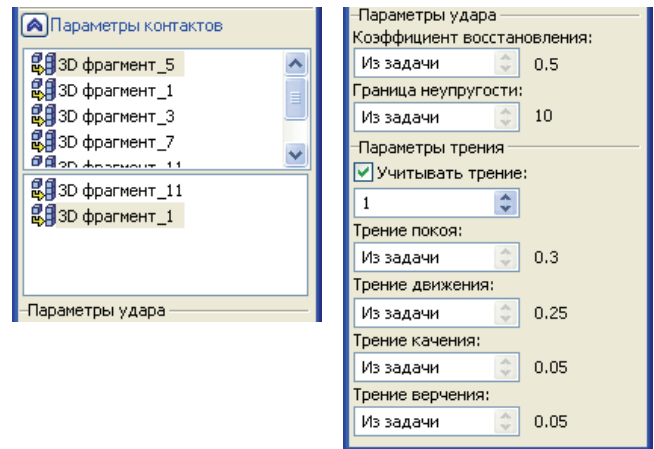


Выбранные объекты заносятся в соответствующий список во втором поле. Указанная пара Тел подсвечивается в 3D сцене разными цветами.

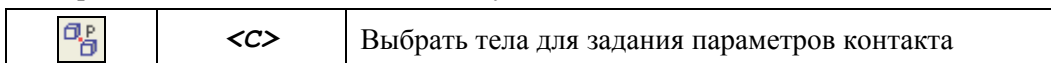
В блоке **[Параметры контактов]** при необходимости можно вручную установить индивидуальные настройки удара и трения для каждой пары взаимодействующих Тел.

Изначально система все параметры для всех пар тел устанавливает в положение «Из задачи», то есть их значения берутся из диалога «Параметры задачи».



Для задания индивидуальных параметров контакта между двумя Телами эту пару нужно выбрать в полях окна свойств. Первое Тело выбирается в верхнем поле. В нижнем поле появляется список всех Тел, с которым может или, наоборот, не может контактировать первое. Из этого списка выбирается второе Тело. Выбранные объекты подсвечиваются в 3D окне разными цветами. После выбора пары можно задать для нее индивидуальные свойства контакта в нижней части окна свойств.



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




Система входит в режим задания индивидуальных параметров контакта, и в автоменю появляются еще две опции для выбора первого и второго Тел:

	<F>	Выбрать первое Тело
	<G>	Выбрать второе Тело

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

Параметры задачи

Опция  вызывает диалог для задания временных и точностных параметров расчёта, а также геометрических характеристик некоторых объектов текущей задачи динамического анализа. Этот же диалог можно вызвать нажатием кнопки **[Параметры]** из окна свойств. Диалог параметров имеет 3 закладки.

На закладке **[Базовые]** можно задать (или изменить при редактировании) имя задачи динамического анализа.

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 можно изменять в параметрах расчёта непосредственно перед выполнением расчёта.

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.

На закладке **[По умолчанию]** задаются параметры по умолчанию для взаимодействующих компонентов задачи.

В группе **«Размеры шарниров»** задаются геометрические размеры для тех шарниров, размеры которых система не смогла определить, основываясь на данных сопряжений и степеней свободы. Можно 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.

Параметры динамического анализа

Базовые По умолчанию Моделирование

Имя: Динамический анализ_0

Время моделирования

☒ **Время**

Продолжительность (с): 3600

Кадров в секунду: 50

☐ **Кадры**

Длительность кадра (с): 0.02

Количество кадров: 180000

Шагов в кадре

Штатно: 100

Максимально: 5000

OK Отмена

Параметры динамического анализа

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

Козф-т восстановления: 0.5

Граница неупругости: 10

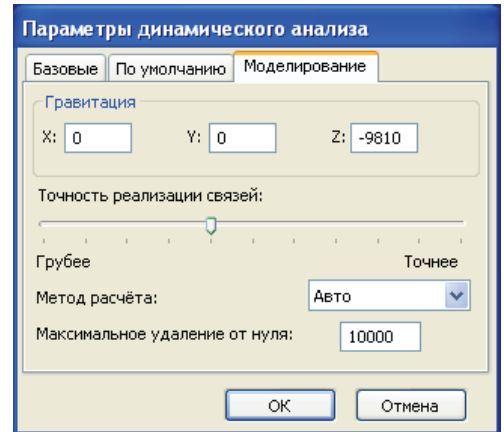
OK Отмена

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 закладке [Моделирование] определяются параметры **гравитации** (по умолчанию ускорение свободного падения для Земли действует вдоль оси Z).

«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.




«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 удаление от нуля» устанавливает максимальное расстояние, на которое могут удаляться тела. Это важно для сохранения рабочих настроек 3D сцены в те моменты расчёта, когда отдельные тела оказываются в свободном падении.

Шарниры


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. Пользователь может дополнительно 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.

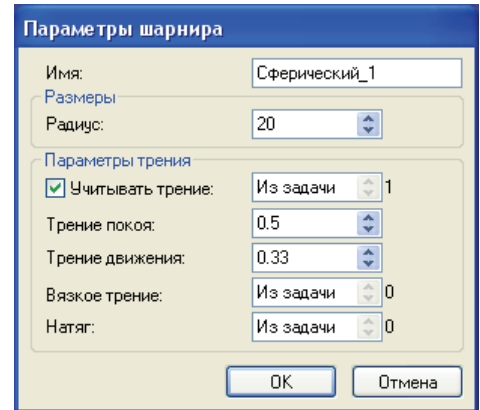
Тип шарнира	Геометрические параметры	Параметры трения и удара
 Сферический шарнир	<ul style="list-style-type: none"> радиус 	<ul style="list-style-type: none"> трение покоя трение движения вязкое трение натяг

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

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 свойств 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 удаётся, то эти данные также берутся из общих свойств задачи.

При необходимости можно вызвать диалог свойств шарнира и задать оригинальные свойства. Диалог свойств можно вызвать при выборе шарнира в окне задач нажатием  или из контекстного меню.




Создание нагружений

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


Сила

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 используйте команду:


Клавиатура	Текстовое меню	Пиктограмма
<3MF>	«Анализ Нагружение Сила»	

Для выбора тела, на которое воздействует сила, используйте окно свойств или опцию автоменю:

		Выбрать тело
---	-----	--------------


Система позволяет выбрать одновременно несколько тел, на которые воздействует сила. В этом случае нагрузка будет воздействовать с указанным значением на каждое тело. Выбранные объекты заносятся в список окна свойств.

Для задания точки приложения силы используйте опцию автоменю

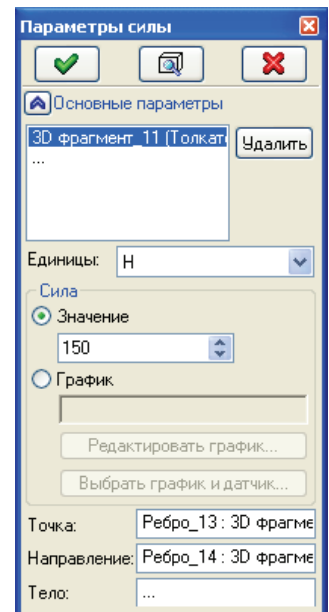
	<R>	Выбрать точку приложения силы
---	-----	-------------------------------

Выбранный объект заносится в поле «точка» окна свойств.


Для выбора объекта, определяющего направления действия силы, используйте опцию автоменю:

	<D>	Выбрать направление
---	-----	---------------------

Выбранный объект заносится в поле «Направление» окна свойств



Для выбора тела, относительно которого фиксируется направление, используйте опцию автоменю:

	$\langle \rangle$	Выбрать тело для привязки направления
---	-------------------	---------------------------------------

Выбранное тело заносится в поле «Тело» окна свойств.

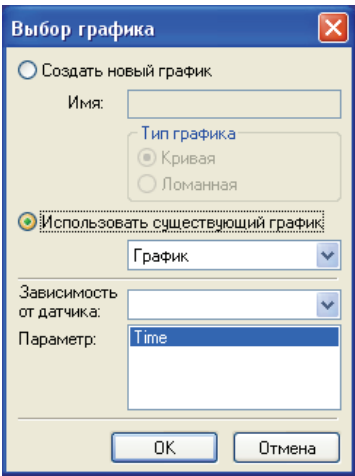
Для удаления выбранного объекта из любого поля окна свойств при редактировании используйте **** или кнопку **[Удалить]**. Для удаления объекта, задающего направление, используйте опцию автоменю:

	$\langle U \rangle$	Отменить выбор направления
---	---------------------	----------------------------

Для силы допускается не задавать точку её приложения. В таком случае нагрузка прикладывается в точку с координатами $\langle 0,0,0 \rangle$. Также для силы может специально не указываться направление. В этом случае сила будет направлена вдоль оси X глобальной системы координат.

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

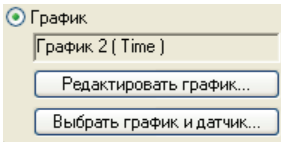
Также сила может быть задана в виде графика (положение переключателя «График»). Её величина может зависеть от времени или от любых показаний любого датчика данной задачи динамического анализа. Для задания графической зависимости нажмите кнопку **[Выбрать график и датчик...]**. После нажатия на кнопку появляется диалог, в котором нужно задать график. При этом имеется возможность создать новый график или использовать существующий в системе. Далее нужно указать, какой параметр использовать системе в качестве аргумента для чтения графической зависимости. Для силы может использоваться либо счетчик времени «Time», либо одно из показаний любого существующего датчика. Выбор датчика осуществляется в выпадающем списке «Зависимость от датчика». После выбора датчика можно выбрать один из его параметров в соседнем поле. Если не выбран ни один из датчиков, то в качестве параметра можно использовать только счетчик времени «Time».

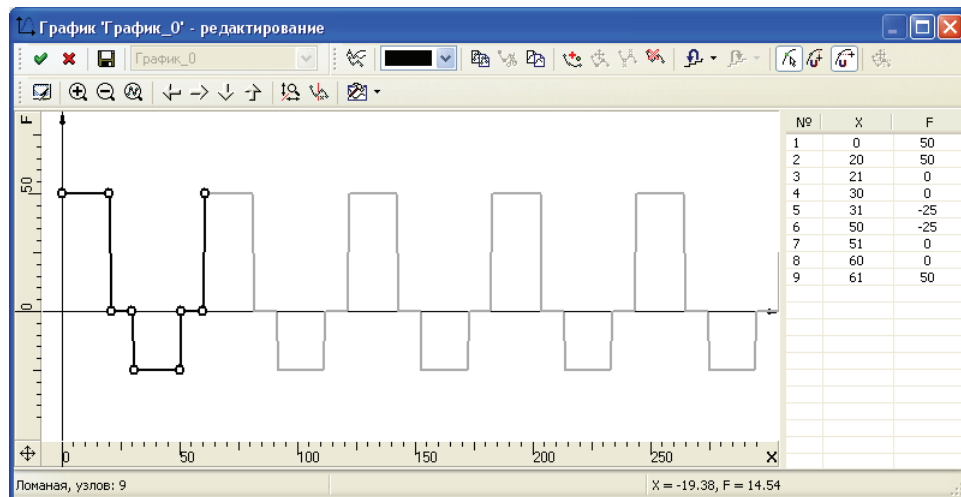


Для создания нового графика установите переключатель в положение «Создать новый график», после чего в соответствующих полях можно задать имя нового графика и его тип. В нижней части диалога выберите нужный параметр для чтения графической зависимости. После нажатия **[ОК]** откроется редактор графиков,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

Для использования существующего графика установите переключатель в положение «Использовать существующий график» и выберите график из списка. Также установите нужный параметр для чтения графика. Для подтверждения выбора нажмите кнопку **[ОК]**.

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





Пример задания переменнo действующей силы при помощи графика.

Вращение

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

Для создания вращения используйте команду:

Клавиатура	Текстовое меню	Пиктограмма
<3MR>	«Анализ Нагружение Вращение»	

Для выбора тела, на которое воздействует нагрузка, используйте окно свойств или опцию автоменю:

		Выбрать тело
--	-----	--------------

Система позволяет выбрать одновременно несколько тел. В этом случае нагрузка будет воздействовать с указанным значением на каждое из них. Выбранные объекты заносятся в список окна свойств.

Направление вращения (вектор) задаётся при помощи опции автоменю:

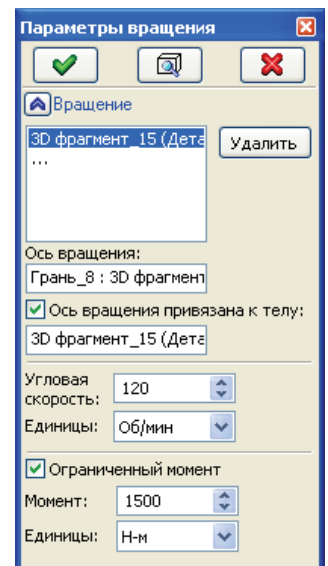
	<A>	Выбрать ось вращения
--	-----	----------------------

В качестве оси можно выбрать любой 3D объект, способный определить направление. Выбранный элемент заносится в поле «Ось вращения» окна свойств.

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

	<R>	Выбрать тело для привязки направления
--	-----	---------------------------------------

Выбранное тело заносится в соответствующее поле окна свойств и включается параметр «Ось вращения привязана к телу».




Численное значение угловой скорости и единицы измерения задаются в окне свойств. Единицы измерения можно выбрать из соседнего списка. При необходимости отдельно можно задать величину максимального крутящего момента. Если ограничение по моменту задавать не требуется, отключите параметр «Ограниченный момент».


Крутящий момент

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

Для создания момента используйте команду:


Клавиатура	Текстовое меню	Пиктограмма
<3MQ>	«Анализ Нагружение Крутящий момент»	

Для выбора тела, на которое воздействует нагрузка, используйте окно свойств или опцию автоменю:

		Выбрать тело
---	-----	--------------

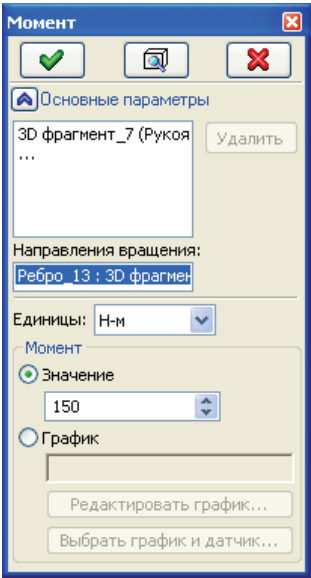
Система позволяет выбрать одновременно несколько тел. В этом случае нагрузка будет воздействовать с указанным значением на каждое из них. Выбранные объекты заносятся в список окна свойств.

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

	<A>	Выбрать направление
---	-----	---------------------


Выбранный элемент заносится в поле «Ось вращения» окна свойств.

Величина крутящего момента и единицы измерения задаются в окне свойств. Величину крутящего момента можно задать 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».




Начальная скорость

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

Клавиатура	Текстовое меню	Пиктограмма
<3MV>	«Анализ Нагружение Начальная скорость»	



Для выбора тела, на которое воздействует нагрузка, используйте окно свойств или опцию автоменю:

		Выбрать тело
---	------------------	--------------

Система позволяет выбрать одновременно несколько тел. В этом случае нагрузка будет воздействовать с указанным значением на каждое из них. Выбранные объекты заносятся в список окна свойств. Данная нагрузка действует на центр тяжести выбранного тела.



Пользователь может создать **линейную** или **угловую** начальную скорость. Для задания начальной скорости каждого типа в окне свойств имеются две закладки с одинаковым набором параметров.

Для выбора направления используйте опции автоменю:

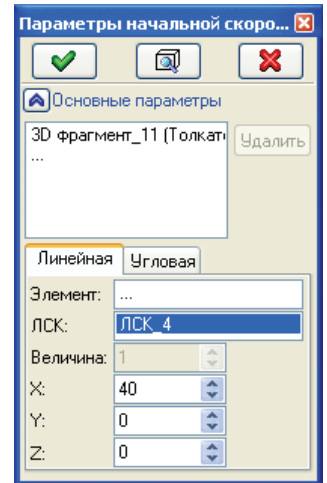
	<D>	Выбрать направление действия линейного перемещения
	<D>	Выбрать направление вращения

Элемент, задающий направление заносится в поле «**Элемент**» окна свойств. При задании направления можно задать численное значение скорости в поле «**Величина**».

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

	<C>	Выбрать систему координат линейного перемещения
	<C>	Выбрать систему координат вращения


Выбранные системы координат заносятся в поля «**ЛСК**». При этом становятся доступны поля для задания составляющих скорости вдоль каждой оси.





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 эта 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 используйте команду:

Клавиатура	Текстовое меню	Пиктограмма
<3MG>	«Анализ Нагружение Пружина»	

Для выбора первой и второй точек приложения нагрузки используйте опции автоменю:

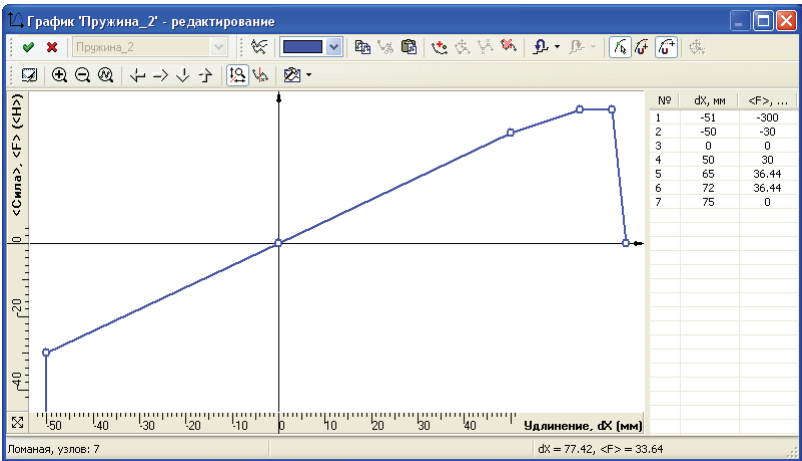
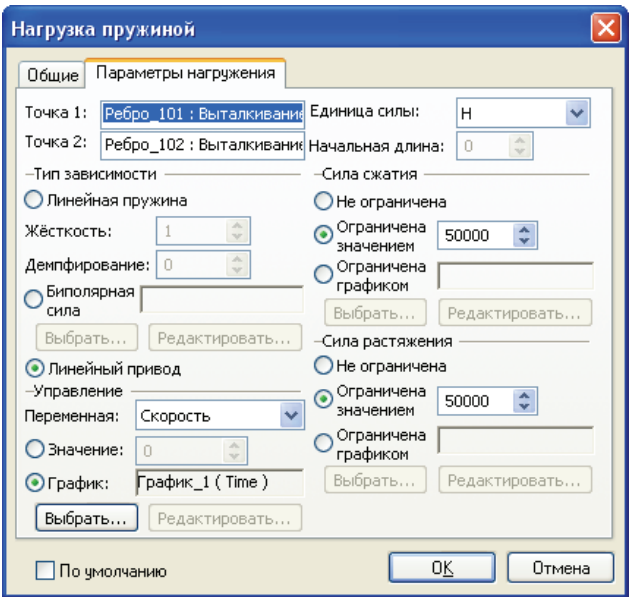
	<1>	Выбрать вершину
	<2>	Выбрать вершину

В качестве места приложения данной нагрузки можно использовать две любые характерные точки на двух телах, включенных в задачу динамического анализа. Выбранные элементы заносятся в поля «Точка 1» и «Точка 2» окна свойств.

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 установите переключатель в положение «Линейная пружина» и задайте коэффициент жесткости и демпфирования. **Жесткость** 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 установите переключатель в положение «Биполярная сила». Остальные действия по заданию графика для пружины аналогичны действиям, описанным для нагрузок «Сила» и «Крутящий момент». Дополнительно для пружин можно использовать считывающий параметр «Length», который позволяет для чтения графика использовать текущее удлинение пружины.



Пример задания характеристик пружины при помощи графика


Для задания линейного привода установите 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 можно задать постоянное значение или график изменения ограничивающей силы во времени.

В окне свойств в отдельном разделе устанавливаются **параметры визуализации** для отображения специальных декораций в виде пружин при работе с задачей динамического анализа. Можно установить **диаметр** пружины и **количество витков**.

Создание датчиков

Датчики можно создавать только для активной задачи динамического или прочностного анализа при помощи команды:

Клавиатура	Текстовое меню	Пиктограмма
<3MD>	«Анализ Создать датчик»	

В окне свойств можно установить тип создаваемого датчика.

Тело. Датчик 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.




Точка. Датчик предназначен для измерения координат, линейных скоростей и ускорений любой точки механической системы

Шарнир. Данный датчик предназначен также 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.

Расстояние. Данный датчик может фиксировать дистанцию 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.

Пара тел. Датчик предназначен для измерения сил реакции и трения при контакте двух тел. В качестве основы для построения датчика выбирается два тела задачи.

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

		Выбрать тело
	<V>	Выбрать точку
	<C>	Отменить выбор

Тип датчика:

Расстояние

Тело

Точка




Шарнир

Расстояние

КЭД-точка

Пара тел

Параметры датчика

Основные параметры

Тип датчика:

Расстояние

Операция:

3D фрагмент_11

Элемент:

Ребро_13

Вторая операция:

3D фрагмент_1


Второй элемент:

Ребро_15

Визуализация

Отображаемые параметры:

☐ Траектория

Цвет:  0

Показывать только последние точки траектории: 1000

Комментарий:

В окне свойств имеется набор полей (**Операция, Элемент, Вторая операция, Второй элемент**), в которые заносятся имена выбранных объектов.

В разделе «**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,
Сила реакции	Вектор	Шарнир, Пара тел
Момент реакции	Вектор	Шарнир, Пара тел
Сила трения	Вектор	Шарнир, Пара тел
Момент трения	Вектор	Шарнир, Пара тел
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

Пояснения к таблице: 1) Для датчика «Пара тел» вычисляются координаты, и отображается траектория некоторой точки, находящейся в центре области контакта двух тел. 2) Для датчика «Шарнир» вычисляются координаты центра шарнира.

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

Для траектории можно установить **цвет** и при необходимости ограничить длину кривой, установив для неё фиксированное количество последних рассчитанных точек.

Цвет: 0

Масштаб: 1

Цвет: 0

☒ Показывать только последние точки траектории: 100

В 3D окне датчики отображаются в виде сферических графических объектов.

Создание результатов. Виды результатов

В задаче динамического анализа можно создать график как запись каких-либо показаний любого датчика. График, отображающий показания какого-то датчика задачи динамического анализа, называется **результатом**.

Команду создания результата можно вызвать несколькими способами:

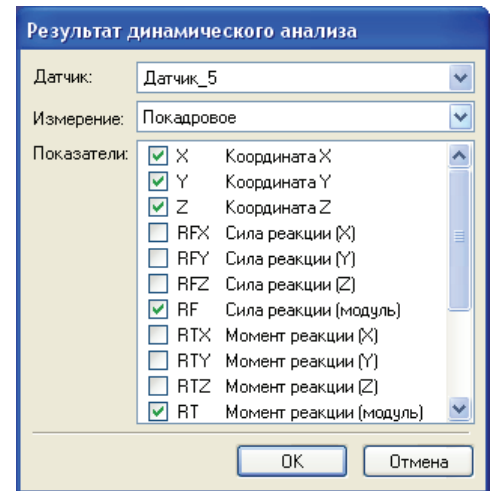
- 1. Из контекстного меню при выборе датчика в дереве 3D модели или в окне задач.
- 2. Из текстового меню или при помощи клавиатуры:

Клавиатура	Текстовое меню	Пиктограмма
<3MZ>	«Анализ Создать результат»	

Команда доступна при наличии в задаче хотя бы одного датчика.

После вызова команды появляется диалог параметров для создания результата. Результат создаётся по показателям конкретного датчика, набор которых зависит от его типа. Набор показателей можно посмотреть в сводной таблице параграфа «Создание датчиков» (см. выше). Дополнительно при создании графика 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» нужно поставить метки напротив тех показателей, на основе которых нужно создать результаты. После установки меток и закрытия диалога в системе создаются новые объекты типа «график», которые наполняются данными после выполнения расчёта задачи.



Новые графики получают имена в соответствии с названием датчика и показателя, который они используют. Эти графики имеют системный атрибут «Только чтение» и тип «Ломаная». Их можно просматривать вне задачи динамического анализа обычными средствами для работы с графиками (см. главу «Графики»).

Выполнение расчёта

Команду выполнения расчёта можно запустить несколькими способами:

1. Из контекстного меню при выборе задачи в дереве 3D модели или в окне задач.
2. Из текстового меню или при помощи клавиатуры:

Клавиатура	Текстовое меню	Пиктограмма
<ЗМУ>	«Анализ Расчёт»	

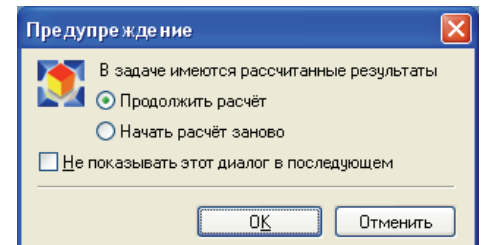
После вызова команды система переходит в режим ожидания расчёта или воспроизведения результатов расчёта. В окне свойств появляются параметры для управления процессом и просмотра результатов.


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

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


	Запись
--	--------

Запускает вычисления. При попытке запустить новые вычисления при наличии более ранних результатов система выдает вопрос-предупреждение.




	Пуск
---	------


Запускает воспроизведение результата вычислений. Кнопка доступна при наличии сохраненных результатов расчёта.


	Стоп
---	------

Остановка процесса вычислений или воспроизведения результата.


	Создать AVI
---	-------------

Включает режим записи видеоролика в момент воспроизведения результатов. При воспроизведении результатов каждый кадр видео берёт текущее изображение 3D сцены в соответствующий момент времени воспроизведения. Непосредственно при расчёте или при воспроизведении результатов пользователь может вращать 3D сцену как угодно, либо использовать любые существующие камеры для обзора. При нажатии на кнопку включения записи анимации выводится стандартный диалог «Анимация» для настройки параметров видеозаписи (подробности см. в главе «Анимация»).



	Обрезать до текущей позиции
---	-----------------------------

	Обрезать после текущей позиции
---	--------------------------------









Данные кнопки обрезают запись сохраненного результата по текущему моменту воспроизведения. Опции используются для удаления ненужных фрагментов записи.

	Удалить запись
---	----------------

Кнопка 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 свойства/количество шарниров, параметры нагрузок, условия задачи и т.д.), то следует удалить сохраненные результаты опцией  и запустить новые вычисления кнопкой .

Ниже в окне свойств имеется другая панель с кнопками для перемотки, поиска момента времени и воспроизведения результатов динамического расчёта.



	К началу
	Перемотать назад
	Назад
	Предыдущий кадр
	Пауза
	Следующий кадр
	Перемотать вперед
	В конец

Ниже панелей управления расчётом расположен специальный ползунок, при помощи которого можно устанавливать счетчик времени в любую позицию. На шкале ползунка по мере увеличения общего времени расчёта рисуется шкала с временными интервалами.

При помощи параметра «**Шаг анимации**» можно установить скорость воспроизведения результата. Здесь можно вводить только целые числа. Этот 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 и счётчик кадров.

В момент расчёта пользователь может захватить курсором любую подвижную деталь и воздействовать на нее 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 левой кнопки мыши, нужно «тянуть» деталь в нужную сторону.

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

Останавливать по манипулятору. Данная опция автоматически ставит процесс вычислений на паузу каждый раз после воздействия манипулятором. Её удобно включать, когда динамический расчёт ведётся с участием нагрузок, задаваемых манипулятором, и необходимо исключить моменты, когда модель находится без воздействия манипулятора.

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

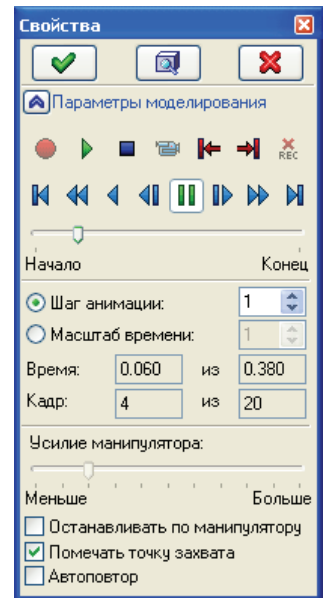
Автоповтор. Опция включает автоматическое непрерывное повторение воспроизведения.

При наличии в задаче результатов в окне свойств появляется раздел «Показывать результаты», в котором находится список всех графиков, созданных в задаче. Напротив каждого элемента имеется выключатель, который управляет их отображением в процессе расчёта. Во время расчёта каждый график выводится в отдельном плавающем окне. Кривая графика автоматически достраивается по мере появления новых данных расчёта.

Каждое плавающее окно с графиком имеет аналогичные функции по управлению графиками, что и штатный редактор графиков. Изображение каждого графика в каждом окне автоматически масштабируется для постоянного отображения активной области.

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 см. в главе «Графики».



При выполнении расчёта часто бывает необходимо устанавливать различные интервалы для счётчика времени и параметры моделирования. В автоменю доступна опция <P> для вызова диалога, регулирующего некоторые общие параметры задачи. Этот диалог повторяет соответствующие части диалога общих настроек задачи (см. выше) и имеет две закладки **[Базовые]** и **[Моделирование]**. Он 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 бывает нужно устанавливать более высокую скорость расчёта в ущерб точности.

Ограничения модуля Экспресс-динамика

1. Ограничены средства получения численных результатов. Не выводятся графики.
2. Ограничена возможность получения анимационных роликов.