

# «T-FLEX Динамика» — новое приложение комплекса T-FLEX для решения задач динамического анализа

Сергей Козлов, Андрей Туганов

В 10-й версии программного комплекса T-FLEX CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM компания «Топ Системы» представила новый продукт «T-FLEX Динамика».

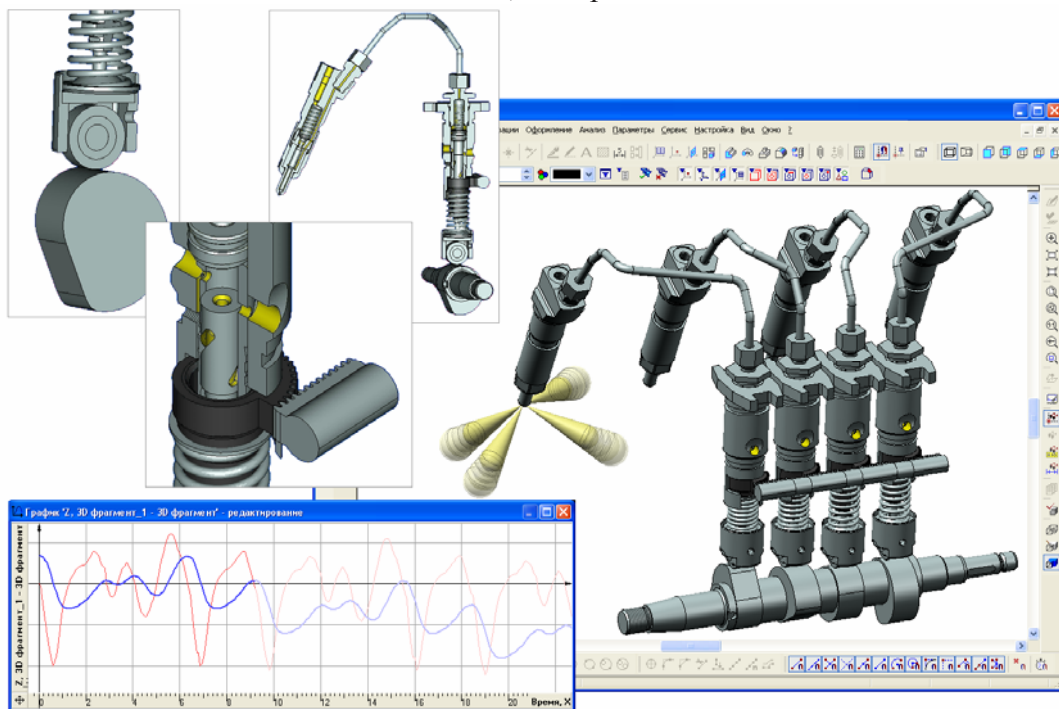
Этот модуль продолжает линию разработок компании, предназначенных для решения задач инженерного анализа. Приложение «T-FLEX Динамика» стало развитием разработок, проведенных в 9-й версии системы для реализации механизма сопряжений, и является собственной разработкой компании «Топ Системы». Напомним, что в предыдущих версиях комплекса были выпущены компоненты модуля «T-FLEX Анализ» для решения различных инженерных задач методами конечно-элементного анализа, и в настоящее время «T-FLEX Анализ» с успехом используется на ряде машиностроительных и оборонных предприятий.

Как и другие модули комплекса, предназначенные для проведения инженерного анализа, T-FLEX Динамика является приложением, встраиваемым в T-FLEX CAD. В этом модуле используется единые с T-FLEX CAD принципы и элементы пользовательского интерфейса, единая геометрическая модель, полная ассоциативность расчетных данных с исходной моделью, возможность использования результатов расчета для проведения дальнейших исследований при помощи других инструментов комплекса. Приложение «T-FLEX Динамика» ориентировано на инженеров, производящих анализ механических систем с учетом внешних и внутренних силовых факторов, масс-инерционных характеристик отдельных частей систем, а также характеристик взаимодействия компонентов механической системы.

Приложение предназначено для качественного и количественного анализа динамики

механизмов на основе 3D-сборки T-FLEX CAD, отличается высокой степенью автоматизации и высокой скоростью решения, полноценным использованием точных геометрических моделей тел сборки, занимая особую нишу полностью интегрированной в CAD автоматизированной системы динамического моделирования. T-FLEX Динамика не уступает в функциональности имеющимся встроенным аналогам других CAD-систем. Приложение позволяет оценить траектории движения, скорости и ускорения элементов исследуемой механической системы, временные характеристики системы, а также силы взаимодействия между элементами системы.

Модель рассчитываемого механизма в приложении «T-FLEX Динамика» описывается как система твердых тел, шарниров и нагрузок, создаваемая на основе трехмерной геометрической модели T-FLEX CAD и сопряжений. Решатель учитывает масс-инерционные характеристики тел трёхмерной модели. При моделировании используются обычные инструменты T-FLEX CAD. Для описания анализируемой механической системы введен специальный объект модели — «Задача динамического анализа», который является полноценным объ-



«T FLEX Динамика» позволяет анализировать поведение механических систем со сложными связями

ектом модели и содержит в себе набор элементов модели, нагрузок и других элементов, задающих их взаимодействие. В задаче содержатся данные, определяющие направление силы тяжести, свойства элементов задачи по умолчанию (свойства шарниров, силы трения, контактные свойства), временные характеристики моделируемого процесса. Аналогично другим видам инженерных задач, которые могут содержаться в модели T-FLEX CAD (конечно-элементные задачи), динамических задач может быть несколько, а каждая из них может содержать свой набор элементов и граничных условий для нахождения решения в различных постановках или при различных нагрузках. Задача динамического анализа ассоциативно связана с трехмерной моделью.

При изменении параметров или состава модели автоматически происходят соответствующие изменения и в задаче. Для отображения списка задач модели служит специальное окно «Задачи», где содержится часть дерева текущей модели, отвечающая за состав задач инженерного анализа. Большинство команд по управлению задачами доступно из контекстного меню, которое можно вызвать в данном окне.

Для задания связей между трехмерными телами используются сопряжения и степени свободы. На их основе система автоматически формирует список *шарниров*, которые наследуют геометрические характеристики объектов, использованных при создании соответствующих сопряжений. В основных типах шарниров система позволяет моделировать трение, а в односторонних контактах — 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 (имитирует дверную петлю) — разрешено только вращение вокруг определенной оси, а остальные перемещения и направления поворотов запрещены;
- цилиндрический шарнир — разрешено вращение вокруг определенной оси и перемещение вдоль нее;
- поступательный шарнир — разрешено только перемещение в определенном направлении;
- винтовой шарнир (имитирует винтовое соединение, создается на основе передаточных свя-

зей) — разрешен поворот вокруг одной оси с одновременным перемещением вдоль нее;

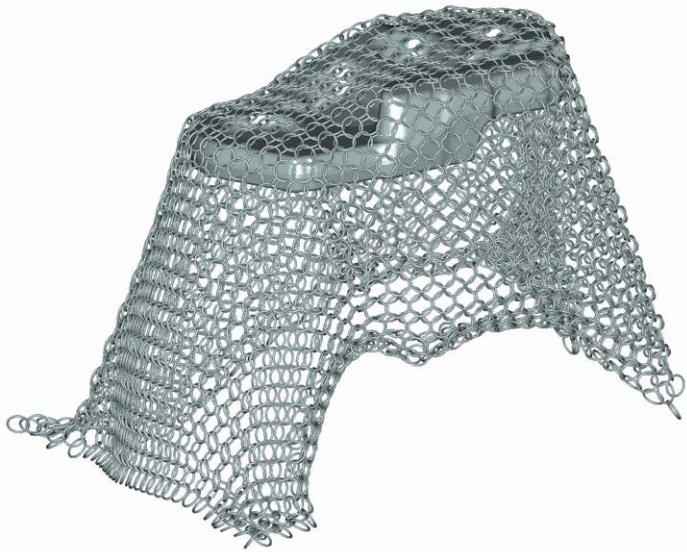
- контактные шарниры — задают отношение между парой элементов тел, связанных другими шарнирами. Контактные пары могут быть различными: точка—точка, точка—кривая, прямая—плоскость, плоскость—тело, плоскость—плоскость и т.д. Отношение может быть касанием, расстоянием либо расстоянием с неравенством (в последнем случае контактный шарнир является односторонним);
- неопределенный шарнир — все остальные сочетания связей, которые система не смогла определить как известные ей шарниры, все равно учитываются в задаче и превращаются в неопределенный шарнир. Такие связи считаются идеальными — для них нельзя задавать параметры трения.

Пользователь может управлять различными свойствами шарниров, к которым относятся:

- коэффициенты трения покоя, трения движения и вязкого трения;
- натяг — для некоторых типов шарниров можно учесть соединение деталей с натягом, то есть соединение деталей производится с некоторым дополнительным усилием и упругими деформациями, вызванными несовпадением посадочных размеров. Параметр имеет размерность силы, и определяет дополнительную реакцию в шарнире, которая будет учитываться при расчете сил трения;
- геометрические размеры шарнира — учитываются при расчете трения в шарнире.

Одной из главных особенностей системы является реалистичное моделирование *контактов* между телами сборки. Пользователь избавлен от необходимости задавать точки контакта вручную. В задаче динамического анализа имеется возможность задания необходимости расчета контактов отдельных пар тел, а также параметры удара и трения отдельно для каждой пары тел. Все расчеты производятся в системе автоматически на основе точной геометрии тел. В приложение входит набор функций анализа контактов и пересечений тел на основе ядра Parasolid, который позволяет производить точный анализ геометрии в области (или нескольких областях) контакта, что дает системе возможности для реалистичного моделирования контактов и ударов тел. На форму контактирующих тел при этом не налагается никаких ограничений — тела могут быть абсолютно произвольными.





Система анализирует контакт тел произвольной формы. Контакт имеет следующие параметры, учитываемые в расчете:

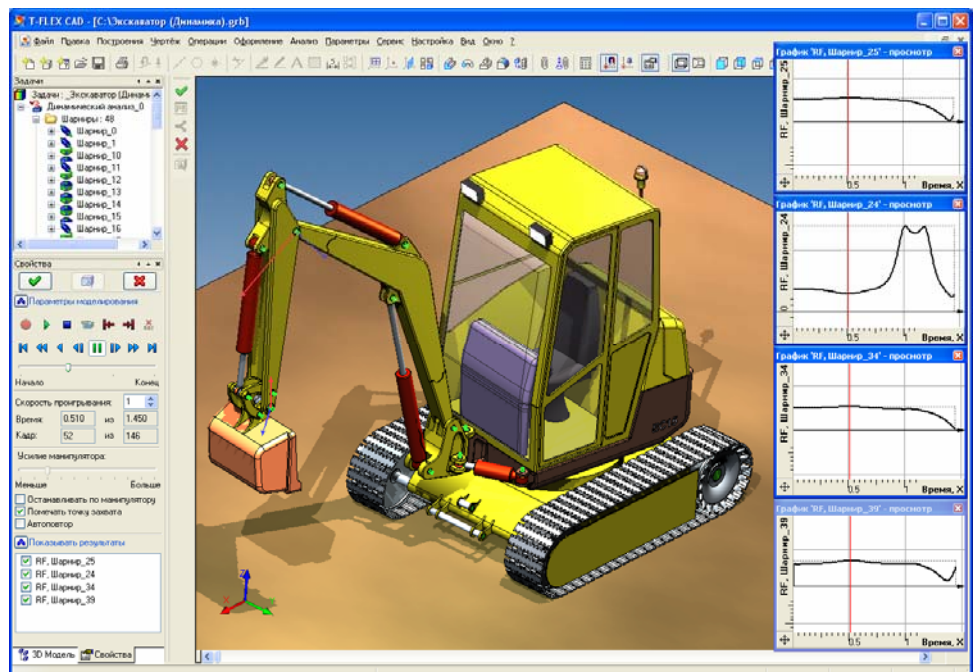
- коэффициенты трения покоя, движения, качения и вращения;
- коэффициент восстановления при ударе, который характеризует степень сохранения кинетической энергии тел после соударения;
- минимальную скорость, начиная с которой начинает действовать соударение с заданным коэффициентом восстановления (слабый удар считается неупругим).

Для адекватного описания поведения механической системы можно использовать специальные объекты, которые описывают силовые взаимодействия между телами. В первую очередь это *силы* и *крутящие моменты*. Для отдельных тел можно задавать *линейную* и *угловую скорости*, которые они имеют в начальный момент исследования. Особый вид нагрузок — *пружины*, и благодаря возможности задания жесткости, имеющей линейную или нелинейную характеристику, данный вид нагрузки позволяет в общем случае задавать не только пружины, но и другие биполярные силы с произвольными законами. Отдельным видом нагрузки является *сила гравитации* — система позволяет учесть в расчёте любое значение ускорения свободного падения в произвольном направлении. Большим достоинством системы является то, что нагрузки описываются теми же объектами и создают-

ся теми же средствами пользовательского интерфейса, которые используются для описания задач конечно-элементного анализа.

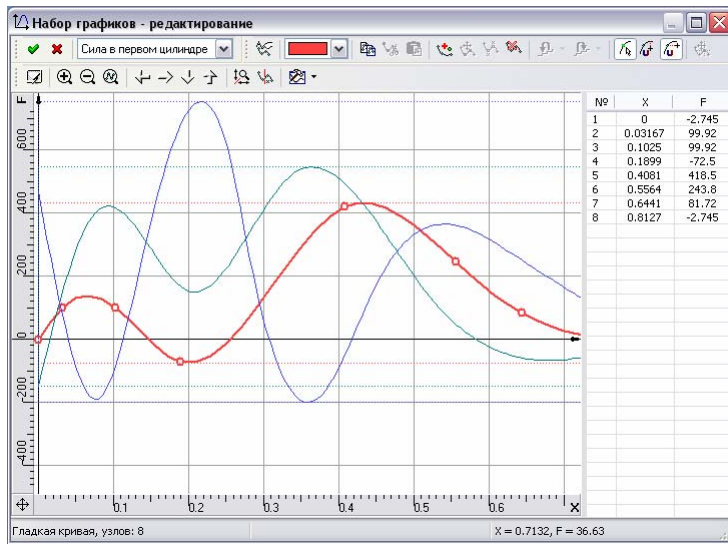
Для исследования результатов динамического анализа введены в системе специальные элементы — *датчики*, которые могут измерять физические величины в конкретной точке модели, в центре тяжести тела, нагрузки и силы реакции в шарнирах и т.д. Можно также использовать датчик, измеряющий относительное положение или относительную скорость любых точек модели. При необходимости датчик может отображать измеряемые параметры в графическом виде (в виде векторов) при расчете задачи, что позволяет пользователю наглядно представить процессы, происходящие при динамическом анализе. Уникальной функцией системы является возможность использования датчика «пара тел», измеряющего силы реакции и трения в области контакта между телами.

Численные результаты динамического анализа могут быть представлены в виде *графиков*, которые показывают зависимость измеряемых величин от времени и которые могут быть созданы пользователем для снятия показаний датчиков. Графики можно просматривать в специальных окнах в процессе расчета или после завершения расчета в команде «Графики», предназначенной для их редактирования и просмотра. Пользователь имеет возможность экспортировать рассчитанные данные в другие системы при помощи сохранения данных графика в буфер обмена или в текстовый файл.



Анализ механической системы под воздействием переменных нагрузок

Графики могут быть использованы и для описания любых входных параметров динамической системы. При помощи графика можно, например, задать значение силы, действующей на объект, в зависимости от времени или задать величину силы упругости пружины в зависимости от ее длины. Кроме этого, можно задавать зависимость величины нагрузки от значения, измеряемого датчиком. К примеру, можно задать зависимость крутящего момента мотора от скорости его вращения. Все это позволяет описывать динамическую систему наиболее реалистично, так как реально большинство взаимосвязей в реальных механических системах являются нелинейными.



*Редактор графиков позволяет задавать различные законы изменения входных параметров*

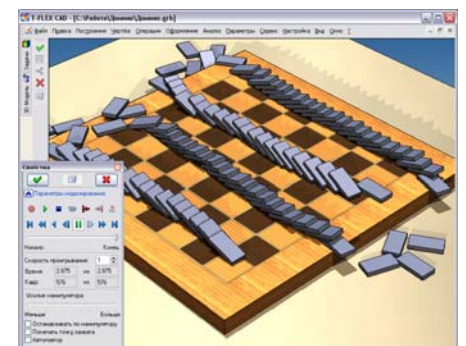
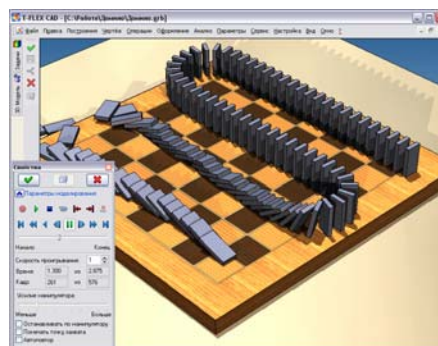
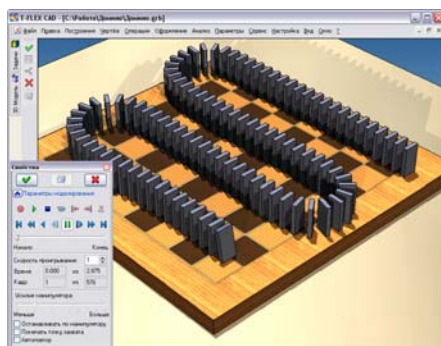
Для расчета задачи динамического анализа в системе разработана специальная команда, представляющая собой набор элементов управления и опций, управляющих расчетом.

Расчет выполняется методом вычисления состояния механической системы по кадрам.

Для каждого кадра запоминается информация о состоянии — положении элементов системы, силах, скоростях и ускорениях. В процессе расчета каждого кадра записи система совершает некото-

рое количество шагов моделирования — это может быть один шаг на каждый кадр, а может быть и множество шагов, в зависимости от решаемой задачи. Пользователь может задать штатное количество шагов, которое система будет использовать, а если штатного количества шагов в кадре не хватает для обеспечения точности, то система будет их увеличивать вплоть до максимального значения, также указываемого пользователем. Непосредственно в процессе расчета пользователь может наблюдать за поведением модели с любой точки. Результаты анализа сохраняются в рассчитанной модели и могут быть проиграны системой в любой момент времени без необходимости расчета. По готовым результатам динамического анализа можно создавать анимационные ролики в формате AVI с требуемой частотой кадров и масштабом времени, а затем такие ролики могут быть показаны при помощи соответствующих программ. Команда расчета позволяет приостанавливать и возобновлять расчет, проигрывать рассчитанную последовательность на экране, осуществлять покадровый просмотр, удалять часть рассчитанных данных и др. Интересной возможностью данной команды является интерактивное воздействие пользователя на процесс расчета при помощи манипулятора. Для этого пользователю необходимо кликнуть на одно из тел, участвующих в задаче динамического анализа, и потянуть курсор. Вследствие этого в системе возникает сила, приложенная к телу, которой пользователь может управлять при помощи мыши.

В заключение хотелось бы отметить, что приложение «T-FLEX Динамика» достойно продолжило путь развития расчетных систем в линейке продуктов марки T-FLEX. «T-FLEX Динамик» позволяет инженеру использовать привычные для него средства трехмерного моделирования при решении задач, возникающих в процессах синтеза и анализа механизмов в рамках единого комплекса.



*Команда расчёта динамики позволяет воспроизводить результаты*