

Павел Ануфриков, Сергей Козлов, Александр Суших  
ЗАО «Топ Системы»

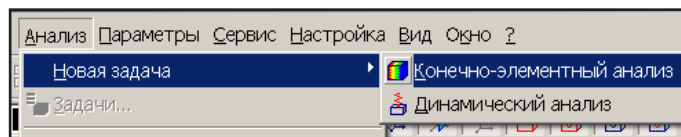
Наш журнал неоднократно рассказывал своим читателям о разработке T-FLEX Анализ компании «Топ Системы» и о различных расчетных модулях системы. В этой статье будут представлены новые возможности T-FLEX Анализ, доступные пользователям T-FLEX CAD 3D версии 10.

Прошло немногим более года с момента появления на отечественном рынке программного обеспечения САПР интегрированной системы конечно-элементных расчетов — T-FLEX Анализ. За этот период пользователи T-FLEX CAD 3D смогли по достоинству оценить преимущества интегрированного решения в области инженерных расчетов. В большинстве случаев для выполнения расчетов можно собственно использовать трехмерную модель спроектированного изделия. Все граничные условия (нагрузки, закрепления, температуры и т.д.) задаются непосредственно в T-FLEX CAD 3D в привычном для пользователя интерфейсе и не требуют от него глубоких знаний в специфической области конечно-элементного моделирования. Высокую оценку пользователей получила и надежность функционирования системы. Благодаря прямой интеграции геометрического моделиера T-FLEX CAD и расчетных модулей T-FLEX Анализ отсутствуют проблемы корректной передачи геометрии изделия для расчета, возникающие при использовании независимых систем инженерного анализа. Кроме того, значительно сокращается время подготовки конечно-элементной модели, не говоря уже об уникальных возможностях использования ассоциативной связи конечно-элементной задачи и геометрической модели изделия.

Пользователи системы отмечают также необычайную простоту освоения и работы с системой.

Десятки специалистов предприятий благодаря использованию T-FLEX Анализ получили возможность приобщиться к современным технологиям инженерного творчества, и в этом им в первую очередь помогли отечественные программисты и специалисты-внедренцы. У системы появились и иностранные пользователи, что свидетельствует о высоком уровне предлагаемых решений, сопоставимом с известными мировыми аналогами в области инженерных расчетов.

Круг решаемых в T-FLEX Анализ задач разнообразен и постоянно расширяется — это и статический анализ, и расчет резонансных частот, и задача устойчивости конструкций, и тепловые расчеты. В 10-й версии T-FLEX Анализ появились новые типы решаемых задач, новые сервисные и вычислительные функции, об основных из которых мы и расскажем в данной статье.



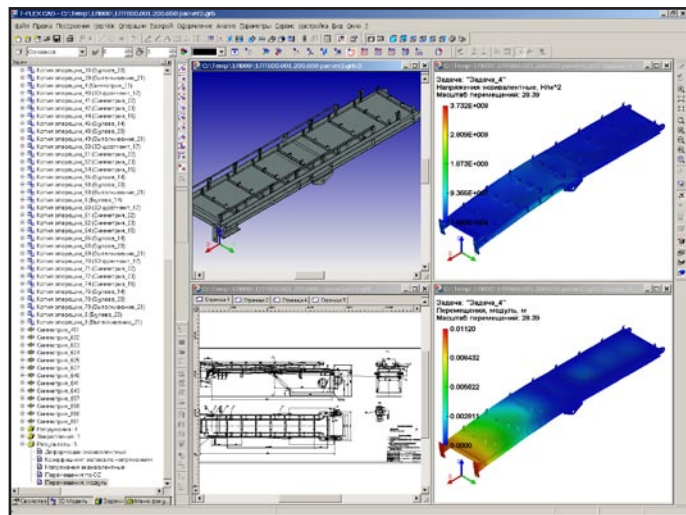
Команда создания задачи конечно-элементного анализа в 10-й версии T-FLEX CAD

## Новые возможности препроцессора T-FLEX Анализ 10

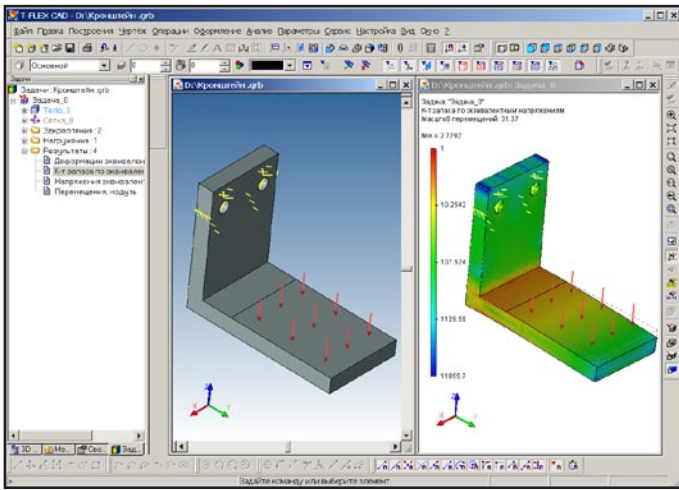
- Изменения в меню, непараметрическая ассоциативность

Первое, что обязательно заметит пользователь T-FLEX Анализ предыдущей, 9-й версии, — это расширение и изменение списка команд основного меню «Анализ» в T-FLEX CAD 3D, а в связи с появлением в линейке расчетных систем ЗАО «Топ Системы» модуля динамического анализа (см. № 3 '2006) при создании задачи пользователь теперь должен выбрать тип задачи «Конечно-элементный анализ».

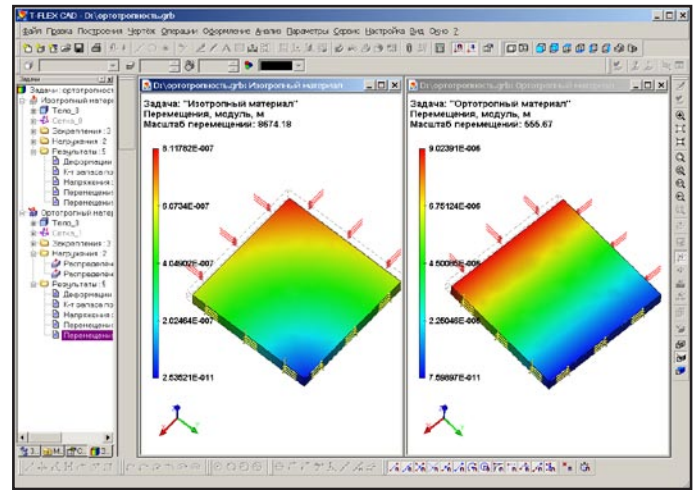
При создании конечно-элементной задачи пользователь может указать трехмерное тело или набор тел, участвующих в анализе. В T-FLEX Анализ версии 10 реализована весьма удобная для практики возможность: созданные для тел задачи конечно-элементного анализа понимают непараметрические изменения, вносимые пользователем в трехмерную модель. Это означает, что пользователь может, например, создать задачу для тела (или набора тел), задать граничные условия, рассчитать задачу. Затем он может выполнить с данным телами какие-либо операции трехмерного моделирования



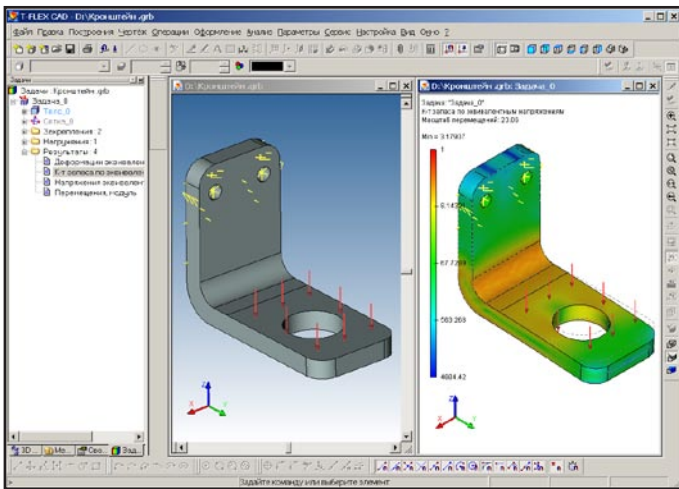
Пример расчета напряженного состояния сборочной конструкции в T-FLEX Анализ



Исходная модель кронштейна, для которой была создана КЭ-задача



Деформированное состояние твёрдого тела из изотропного (слева) и ортотропного (справа) материалов



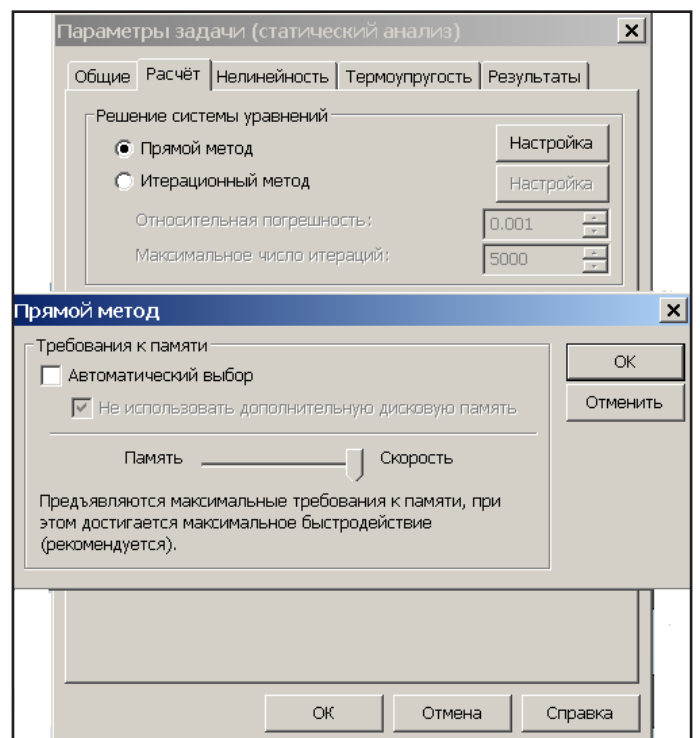
Измененная модель того же кронштейна: все данные КЭ-задачи автоматически переносятся на новую геометрию; повторный ввод граничных условий не требуется

(сглаживание, создание отверстий и т.п.). Другими словами, можно получить из имеющейся детали новую — другой формы и топологии. И созданная для этого изделия КЭ-задача остается полностью работоспособной — требуется лишь обновить конечно-элементную сетку, чтобы получить расчет для новой детали другой геометрии. Очевидно, что такая возможность очень удобна для пользователя, поскольку позволяет ему многократно осуществлять расчеты непосредственно в процессе моделирования разрабатываемого изделия.

- **Ортотропные материалы**  
 Расширены возможности системы в плане применения различных моделей материалов. В препроцессор T-FLEX Анализ добавлена возможность задания анизотропной (ортотропной) модели материала. У ортотропного материала механические свойства материала (жесткость, коэффициент Пуассона) различаются по направлениям координат, и этот функционал позволяет рассчитывать конструкции из часто применяемых в современном производстве композитных материалов.

## Новые возможности процессора T-FLEX Анализ 10

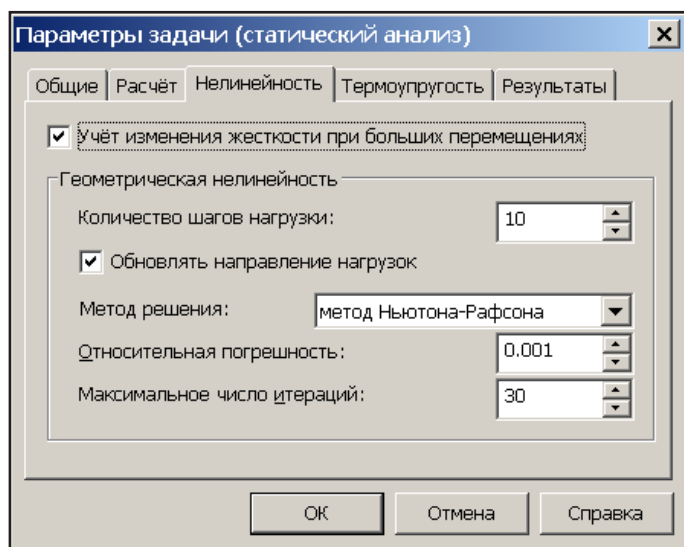
- **Дополнительные возможности по настройке методов решения уравнений**  
 В новой версии T-FLEX Анализ имеются гибкие инструменты по управлению производительностью процесса решения систем уравнений. У пользователя теперь есть возможность не только выбрать прямой или итерационный метод решения уравнений, но и варьировать внутри каждой группы методов алгоритм решения уравнений с целью более рационального использования памяти вычислительной системы или для повышения устойчивости решения. Данная опция предназначена в основном для специалистов-расчетчиков, но может пригодиться и в некоторых особых случаях решения задач, возникающих в практике моделирования.



Окно настроек методов решения уравнений

## Нелинейный статический анализ

Специалистам-расчетчикам будет интересно узнать о расширении функциональных возможностей T-FLEX Анализ в плане решения задач с геометрической нелинейностью. В диалоге свойств задачи типа «Статический анализ» появилась специальная закладка, на которой можно включить режим расчета с учетом нелинейной зависимости деформаций и напряжений. Необходимость использования этого режима возникает в случаях, когда анализируемая конструкция испытывает под действием приложенных сил большие перемещения. Жесткость конструкции также изменяется под действием приложенных сил. Для учета указанных изменений и осуществляют расчет с учетом геометрической нелинейности.



Диалог настройки решателя нелинейных статических задач

## Расширение возможностей модуля частотного анализа

Значительному расширению подвергся функционал модуля расчета резонансных частот конструкций.

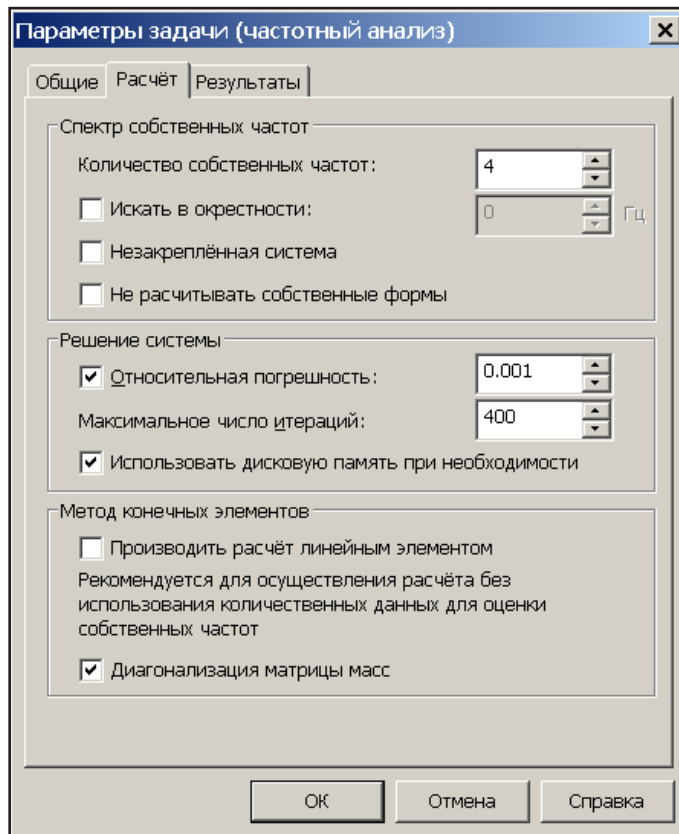
В модуле «Частотный анализ» добавлены следующие новые возможности:

- расчет резонансных частот незакрепленной системы;
- расчет частот в заданной пользователем окрестности;
- расчет частот без расчета форм колебаний конструкций.

Кроме того, оптимизирован процесс формирования систем алгебраических уравнений частотного анализа, что позволяет поднять эффективность работы и повысить размерность решаемых задач.

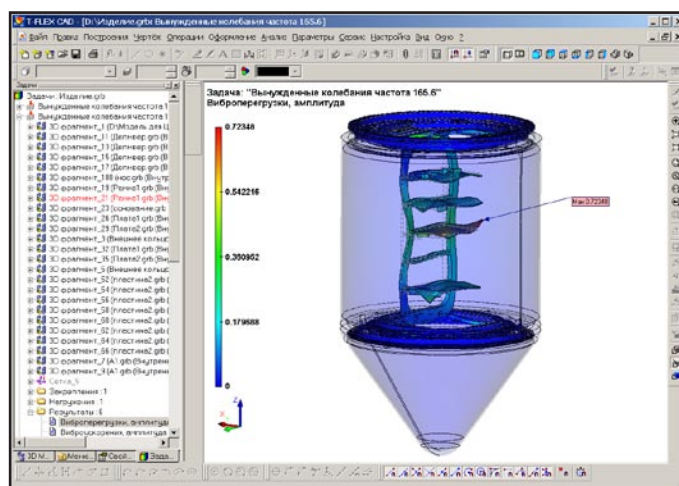
- Новый тип задачи - «Вынужденные колебания»

В 10-й версии T-FLEX Анализ, помимо уже известных расчетных модулей, пользователям предлагается совершенно новый тип задачи - «Вынуж-



Новый диалог настройки параметров модуля частотного анализа

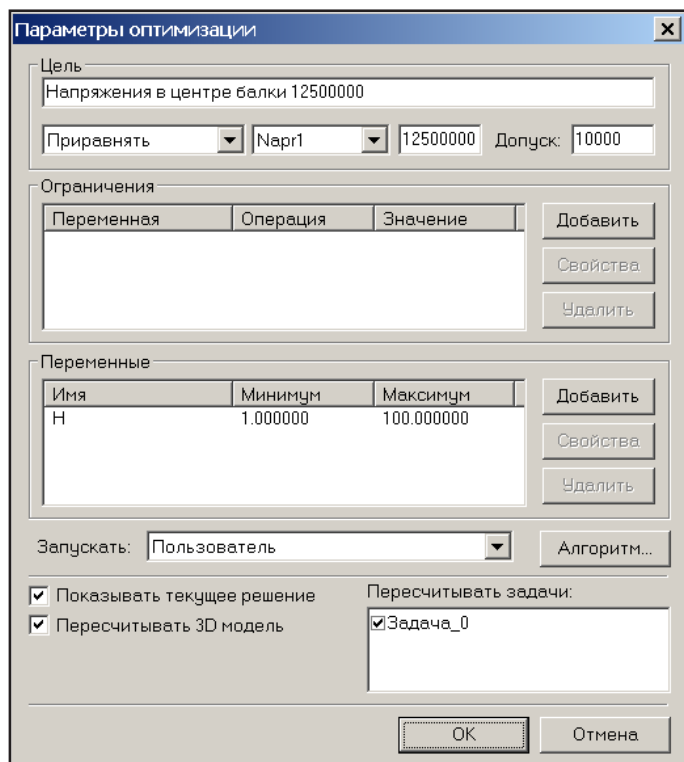
денные колебания», который позволяет оценить резонансные амплитуды, а также виброперегрузки и вибронпряжения в конструкции, под действием вынуждающей силы или кинематического воздействия гармонического характера. Результатами расчета являются амплитуды, виброперегрузки и виброускорения конструкции, находящейся под действием внешнего гармонического воздействия. Пользователь может также оценить напряжения, возникающие в конструкции под действием вибраций. Использование данного типа задачи поможет значительно сократить время, необходимое для разработки изделий, подверженных вибрационным воздействиям, так как позволяет уже до проведения натурных испытаний предсказать поведение изделия под действием вибраций и тем самым оптимизировать конструкцию.



Пример расчета задачи «Вынужденные колебания»

Оптимизация конструкции по результатам конечно-элементных расчетов

Появился специальный инструментарий для выполнения оптимизационных расчетов с использованием результатов конечно-элементных задач. Пользователь может назначить условие — «Целевую функцию», чтобы, например, напряжение или коэффициент запаса в заданной области конструкции лежали в допустимом диапазоне, определить варьируемые параметры конструкции, запустить оптимизационный расчет, а система в автоматическом режиме решит несколько вариантов задач и подберет конструктивный параметр, удовлетворяющий оптимизационному критерию.



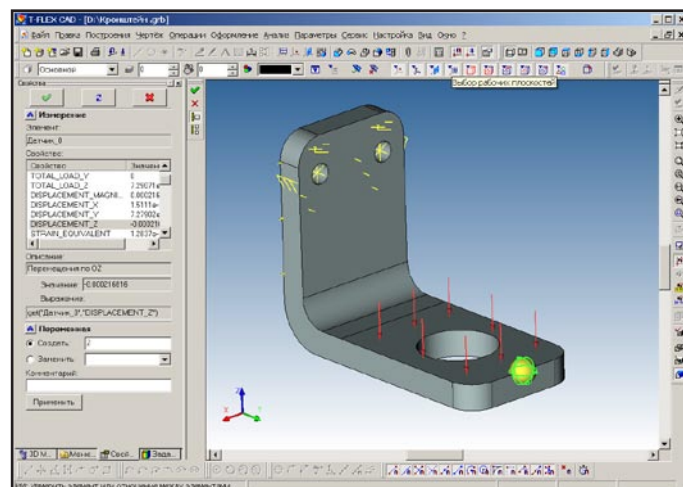
Диалог настройки оптимизации с использованием конечно-элементной задачи

## Новые возможности постпроцессора T-FLEX Анализ 10

### КЭ-датчики

В 10-й версии T-FLEX Анализ теперь возможно создавать так называемые датчики — специальные объекты в T-FLEX CAD 3D, которые ассоциируются с какой-либо характерной точкой модели изделия (например, с вершиной, серединой ребра, 3D-точкой). Главным назначением датчика является хранение информации о значении какой-либо функции (о перемещениях, напряжениях, температурах), получаемом в процессе расчета. Это значение может быть ассоциировано с переменной и впоследствии использовано для того, чтобы определить значение искомой функции в датчике в любой нужный момент. Механизм датчиков используется для автоматической оптимизации конструкций по результатам решения конечно-элементных задач,

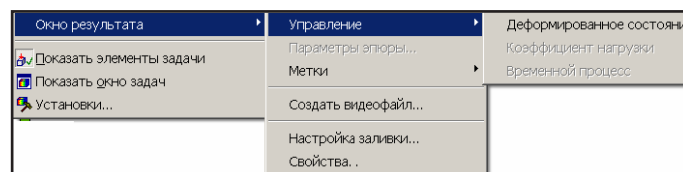
а также для сбора интегральной информации о результатах расчета. В частности, по результатам теплового анализа в T-FLEX Анализ может быть оценена мощность теплового излучения на заранее определенном наборе граней модели — далеко не каждая система конечно-элементного анализа предлагает пользователям такие возможности.



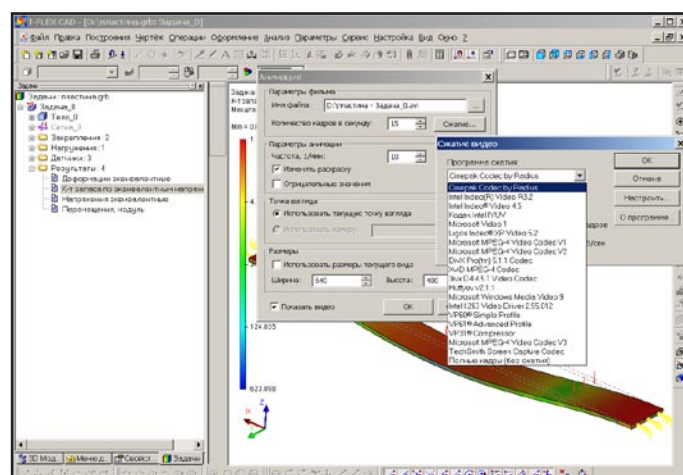
Создание датчика, ассоциированного с результатом, для конечно-элементной задачи

### Создание анимационных роликов в формате AVI

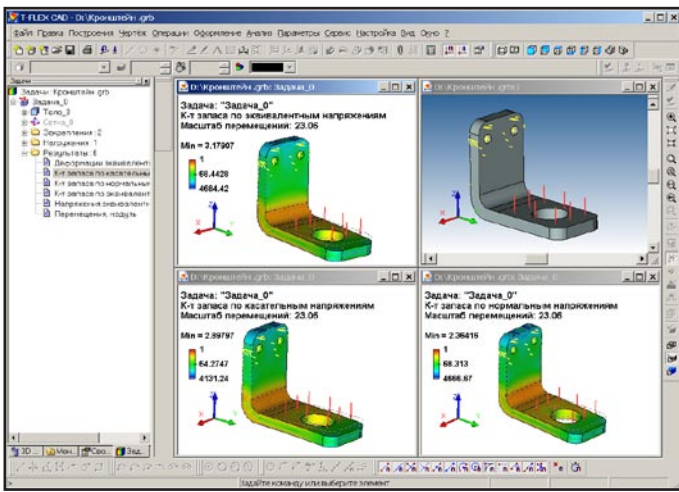
В меню «Анализ» появилась новая группа команд - «Окно результата», где находятся команды управления отображением результатов расчетов. Обращаем ваше внимание на новую команду создания анимационных роликов в формате .AVI. В предыдущей версии T-FLEX Анализ тоже присутствовала возможность анимации результатов, но для



Новая организация меню управления отображением результатов расчетов

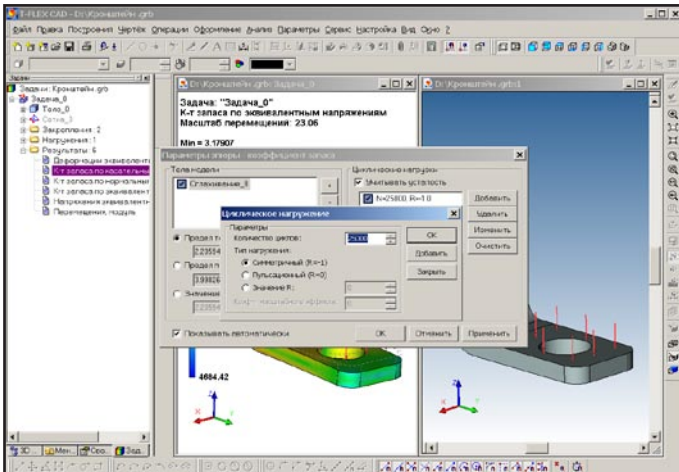


Диалоги настройки сервиса сохранения анимационных роликов окна визуализатора T-FLEX Анализ



*Использование различных критериев проверки прочности*

записи анимационного фильма необходимо было использовать внешние приложения, а сейчас для этого достаточно выбрать команду в меню «Анализ». Сохраненный анимационный ролик будет доступен для просмотра на любом компьютере с установленным Windows Media Player.



*Задание параметров циклического нагружения для оценки прочности с учетом усталостной выносливости материала*

- Оценка прочности по разным гипотезам прочности

В T-FLEX Анализ имеется специальный тип результата «Коэффициент запаса прочности», а в версии 10 добавлены дополнительные гипотезы оценки прочности. Сегодня пользователь может провести оценку прочности по трем различным критериям - по эквивалентным напряжениям, по максимальным касательным напряжениям и по нормальным напряжениям.

- Оценка прочности при циклическом нагружении (расчет на усталостную выносливость)

Во многих случаях при оценке прочности и надежности конструкции необходимо учитывать цикличность прилагаемых к системе нагрузений, которая обычно неблагоприятно влияет на долговечность изделия. В 10-й версии T-FLEX Анализ добавлен специальный инструмент для учета влияния циклических нагрузок на условие прочности изделия.

Таким образом, пользователи T-FLEX Анализ версии 10 найдут много нового в системе, в которой появились новые возможности как в решении задач (геометрическая нелинейность, ортотропные материалы, оптимизационные расчеты, вынужденные колебания), так и в анализе и обработке результатов получаемых решений (различные гипотезы прочности, создание анимационных роликов, оценка прочности с учетом циклических нагрузок).

Все это свидетельствует о позитивной динамике развития нового отечественного вычислительно-го комплекса, и мы надеемся, что новая версия с интересом будет принята пользователями системы.