



Инженерный анализ средствами T-FLEX

Актуальность систем инженерного анализа

В современном мире инженерное программное обеспечение (ПО) стало неотъемлемой частью проектной деятельности. Оно используется на всех стадиях управления жизненным циклом изделия, PLM (Product Lifecycle Management), при этом реализуется простое требование: быть конкурентоспособным. В проектной деятельности инженерное ПО применяется непосредственно для проектирования, при проведении расчетно-конструкторских работ, при виртуальных испытаниях, исследованиях и проработке дизайна. При этом наиболее трудоемкой является задача рационального (и уж тем более — оптимального) проектирования, где необ-

ходима кропотливая работа над проектом по подбору различных параметров, многократные проверки и корректировки.

Часто требуется подтверждение работоспособности или проверка определенных эксплуатационных характеристик, особенно там, где это связано с безопасностью людей и/или цена инженерной ошибки слишком высока. В таких случаях наиболее простым способом проверки работоспособности и надежности является создание опытных образцов или макетов с последующим испытанием в условиях, приближенных к реальным. Однако натурные испытания с помощью физических прототипов являются длительными и затратными, поэтому наиболее эффективным считается проведение виртуальных испытаний с применением современных систем инженерного анализа, CAE

(Computer-Aided Engineering), позволяющих численными методами решать различные задачи механики: механики деформируемого твердого тела, теплообмена, гидро-, газодинамики и других дисциплин.

Часто имитационное моделирование полностью избавляет от проведения натурных экспериментов. Там же, где без подтверждения на физических образцах не обойтись, имитационное моделирование позволяет существенно сократить количество экспериментов, подобрав оптимальные параметры конструкции, тем самым сократив издержки на апробацию результатов или сертификацию изделия. Зачастую результаты виртуальных испытаний дают более широкую картину происходящих процессов, чем натуральный эксперимент, предоставляя больше возможностей для



Сергей Бабичев, системный аналитик, менеджер продуктов T-FLEX Анализ, T-FLEX Динамика

оптимизации и улучшения эксплуатационных характеристик, экономя при этом значительные средства и время (рис. 1). Кроме того, практикуется применение численно-экспериментальных методов исследований, когда



Рис. 1. Расчетная модель (а) и результат решения задачи (б)

результаты натуральных испытаний дополняются результатами имитационного моделирования, которые недостижимы в натурном эксперименте [4]. В этом случае достоверность результатов автоматически подтверждается корреляцией полученного решения с экспериментальным. В целом для CAE-систем достоверность результатов расчета подтверждается как сертификацией ПО в соответствующих инстанциях, так и результатами решения верификационных задач в сопоставлении с точным аналитическим решением.

CAE относятся к разряду наукоемких систем, которые непрерывно развиваются. Для этого разрабатываются более совершенные алгоритмы вычислений, оптимизируются и упрощаются работа и т.д. Во многом этому способствует развитие вычислительной техники. При этом наблюдается одновременное упрощение пользовательских инструментов и расширение функциональных возможностей систем. Всё это способствует более широкому распространению CAE-инструментов среди проектировщиков, напрямую не связанных в своей основной деятельности с расчетами. Применение относительно простых расчетных инструментов позволяет им более эффективно решать задачи рационального проектирования.

Несмотря на кажущуюся простоту, специалисты-расчетчики предупреждают от чрезмерного упрощения задач. Понимание задачи, ее правильная постановка и правильное интерпретирование результатов является ключевым фактором, которым должен руководствоваться проектировщик.

Системы инженерного анализа комплекса T-FLEX PLM

T-FLEX PLM — это программный комплекс для управления

жизненным циклом изделий, разработанный компанией «Топ Системы». В состав комплекса программ (T-FLEX CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM/CRM/...) входят системы инженерного анализа, представленные продуктами T-FLEX Анализ и T-FLEX Динамика (рис. 2).

T-FLEX Анализ и T-FLEX Динамика имеют общие черты:

- оба приложения встроены в T-FLEX CAD, что обеспечивает «бесшовную» интеграцию платформы и программных модулей. Используются единые принципы и элементы пользовательского интерфейса, схожие принципы работы с объектами расчетной модели. Это упрощает восприятие и позволяет пользователю без труда переключаться между интерфейсами программ;
- используется единая геометрическая модель, данные о которой являются общими для обоих приложений. За счет этого обеспечивается полная ассоциативность расчетных данных с исходной моделью. Проектировщик имеет возможность быстро перейти от конструктивной модели к расчетной и обратно, в том числе параметрически изменяя геометрию;
- оба приложения являются относительно простыми универсальными решениями для наиболее распространенных видов инженерных задач. Причем пользователями программ являются и небольшие коллективы проектировщиков, и отделы крупных компаний, имеющих в штате как выделенных специалистов-расчетчиков, так и конструкторов, решающих более простые задачи;
- оба приложения являются полноценными компонентами комплекса T-FLEX PLM, что позволяет использовать программы при коллективной разработке в едином информационном пространстве, организованном на базе T-FLEX DOCs.

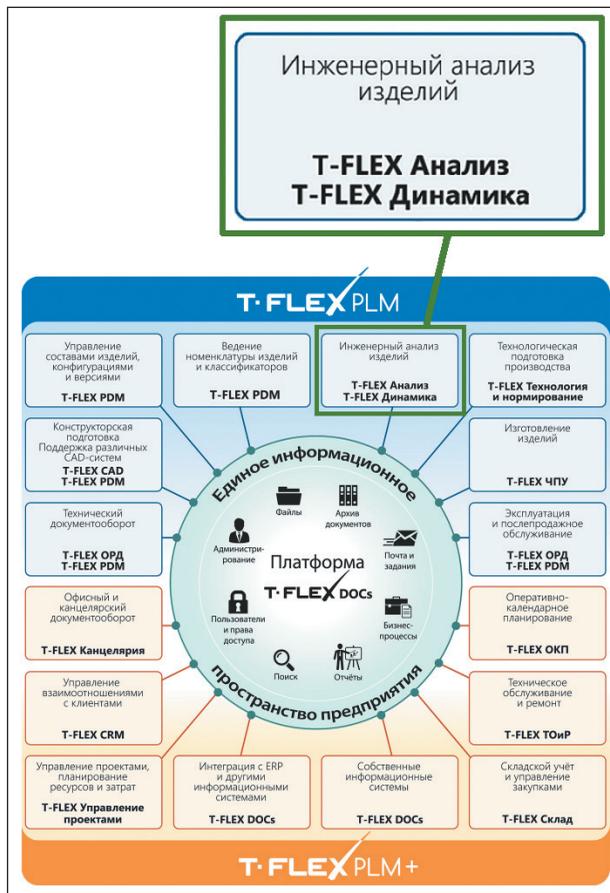


Рис. 2. Системы инженерного анализа в составе комплекса T-FLEX PLM

Характеризуя назначение T-FLEX Анализа и T-FLEX Динамики, следует отметить следующее:

- программы предназначены в первую очередь для проектировщиков, которым требуется быстрая проверка гипотез, понимание тенденций в поведении конструкции либо проработка различных вариантов, например, на этапе эскизного проекта. Подобные задачи зачастую возникают спонтанно в процессе проектирования, а оперативная проверка вариантов специалистами-расчетчиками не всегда возможна;
- системы T-FLEX идеально подходят для решения типовых задач, апробированных специалистами-расчетчиками, либо задач, предварительно отработанных по стандартным методикам. В случае применения регламентированных

расчетных методик универсальные программы T-FLEX используются для получения данных к эмпирическим зависимостям, и для подтверждения самих результатов расчетов.

T-FLEX Анализ: функциональные возможности программы

T-FLEX Анализ — это среда для проведения инженерного анализа методом конечных элементов. Пользователь имеет возможность осуществлять моделирование распространенных физических явлений и решать важные практические задачи, возникающие в повседневной деятельности проектировщика (рис. 3).

T-FLEX Анализ имеет модульную структуру.

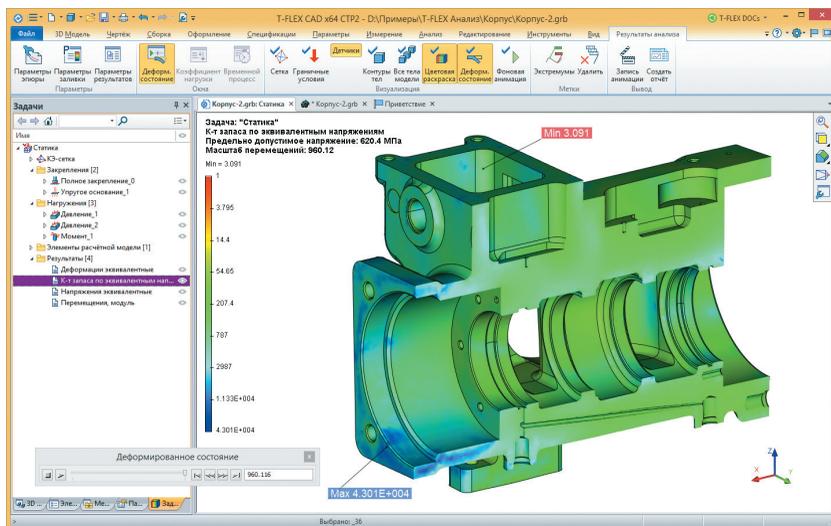


Рис. 3. T-FLEX Анализ позволяет автоматически генерировать сетку, воспользоваться настроенным в программе методом решения задачи и получить наглядные графические результаты

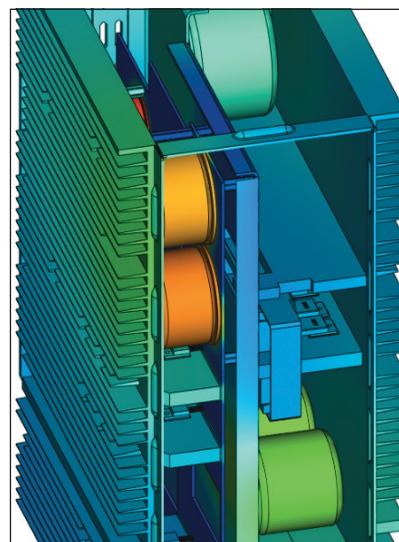


Рис. 4. Оценка эффективности радиаторов охлаждения

Модули статического анализа

- **Анализ напряженно-деформированного состояния** — позволяет производить расчет напряженно-деформированного состояния конструкций под действием приложенных к системе постоянных во времени нагрузок. Учитываются напряжения, возникающие вследствие температурного расширения/сжатия материала. По результатам расчета оценивается прочность конструкции, определяются наиболее уязвимые места конструкции;
- **Анализ устойчивости** — позволяет оценить запас прочности и формы потери устойчивости по критической нагрузке. Критическая нагрузка, при которой конструкция может потерять устойчивость, и форма потери устойчивости позволяют оптимизировать конструкцию путем изменения геометрических параметров либо создания дополнительных ребер жесткости;
- **Анализ усталостной прочности** — позволяет оценить прочность материала при действии переменных нагрузок. По результатам анализа делается заключение об усталостной прочности конструкции при заданном цикле нагружения.

Модули динамического анализа

- **Анализ собственных частот** — позволяет осуществлять расчет собственных (резонансных) частот конструкции и соответствующих форм колебаний. Результаты используются для повышения надежности и работоспособности изделия в

условиях, исключающих возникновение резонансов;

- **Анализ вынужденных колебаний** — позволяет получить зависимости отклика системы от частоты вынуждающих воздей-

ствий — силовых и/или кинематических, изменяющихся по гармоническому закону с учетом (или без) демпфирования системы. По результатам расчета для диапазона частот могут быть получены зависимости

Модель:	Конструктивные исполнения:	
Конструкторская модель Перестроение геометрии		
Расчетная модель Пересчет КЭ-сетки и обновление ГУ		
Результаты расчета Актуализация результатов		

Рис. 5. Ассоциативность конструкторско-расчетной модели

амплитуд и виброускорений от частоты вынуждающих воздействий, что важно при оценке виброустойчивости системы в заданном диапазоне частот;

- **Анализ динамических процессов** — позволяет рассчитать напряженно-деформированное состояние механической системы под действием изменяющихся во времени силовых и кинематических нагрузок. Модуль позволяет оценивать ударные и сейсмические воздействия на конструкции, а также ситуации падения объектов. Модуль включает два типа динамических задач: расчет линейной динамической задачи (суперпозиция мод) и расчет динамических нестационарных процессов (переходные процессы) [1].

Модули теплового анализа

- **Анализ тепловых установившихся процессов** — предназначен для решения задач теплопроводности и теплопередачи, обеспечивая возможность оценки температурного поведения изделия под действием источников тепла и излучения. Расчет распределения температурных полей и тепловых потоков производится в предположении бесконечно-длительного периода времени, прошедшего после приложения тепловых нагрузок;
- **Анализ тепловых нестационарных процессов** — его назначение аналогично предыдущему модулю с той разницей, что расчет температурных полей осуществляется в функции времени (рис. 4).
Одной из наиболее трудоемких задач, стоящих перед расчетчиком, является преобразование конструкторской модели в расчетную. Ситуация осложняется тем, что проверка модели часто приводит к доработкам конструкции, а это, в свою очередь, — к повтор-

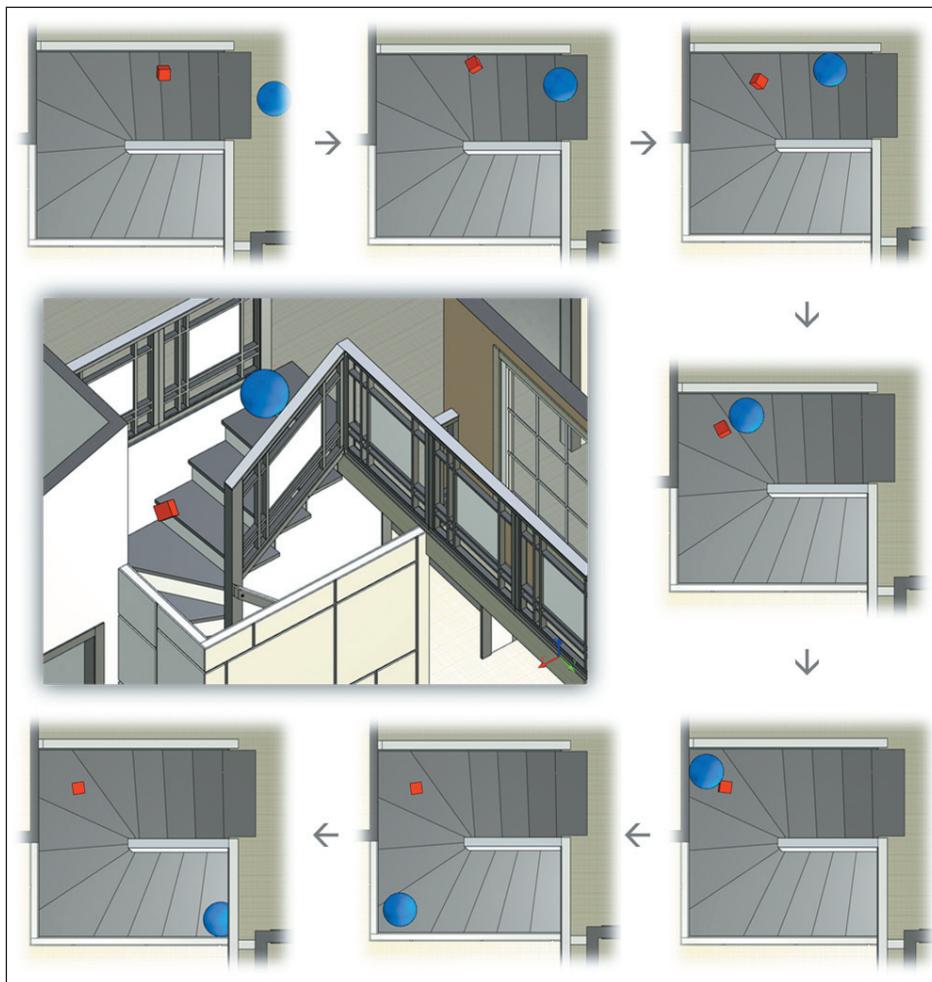


Рис. 6. Имитация падения предметов с лестницы

ному созданию расчетной модели. Оптимальным выходом из такой ситуации является ассоциативное перестроение конструкторской и расчетной модели. T-FLEX Анализ в полной мере поддерживает такую ассоциативность. На рис. 5 показана схема ассоциативного перестроения конструкторско-расчетной модели. Для ее использования достаточно один раз создать расчетную модель на основе конструкторской — то есть упростить геометрию, сгенерировать конечно-элементную (КЭ) сетку, задать граничные условия (ГУ) — и определить набор необходимых перестроениях конструкторской модели перезадавание расчетной модели не потребуется (напри-

мер, когда изменились типоразмеры или была произведена незначительная доработка конструкции).

Другой особенностью программы является возможность оптимизации конструкций. Например, для подбора геометрических параметров сечения несущей балки при заданных условиях нагружения. Программа позволяет в итерационном режиме решать задачу несколькими алгоритмами, сравнивая получаемый результат с необходимым в предварительно заданном диапазоне.

Ассоциативное перестроение моделей и оптимизация основаны на параметрических возможностях T-FLEX CAD, предоставляющих пользователям системы неоспоримые преимущества

задач рационального проектирования.

T-FLEX Динамика: функциональные возможности программы

T-FLEX Динамика предназначена для качественного и количественного анализа кинематики и динамики механизмов. Программа ориентирована на проведение анализа механических систем с учетом внешних и внутренних силовых факторов, масс-инерционных характеристик отдельных частей системы и взаимодействия компонентов механической системы. Используется, к примеру, при проектировании новой техники или оборудования для имитации

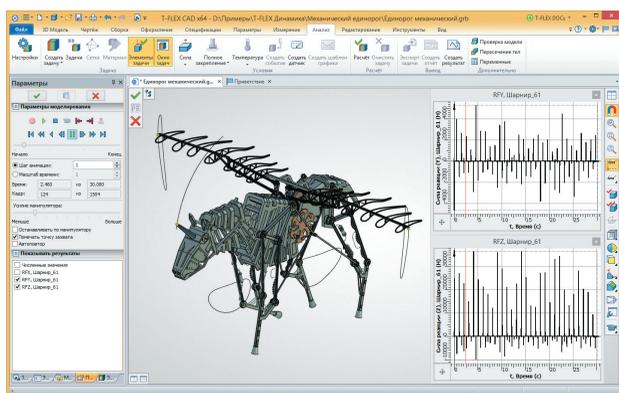
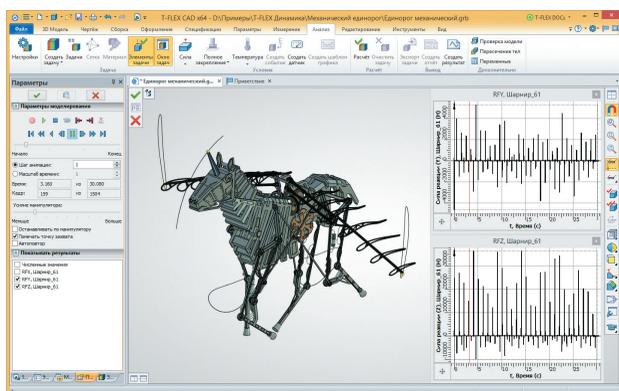


Рис. 7. Анализ движения механизма и визуализация траекторий движения выбранных точек

движения механизмов со сложными связями, при проверке заклинивания, имитации падений и взаимодействия тел при столкновении (рис. 6). Приложение позволяет оценить траектории движения, скорости и ускорения элементов исследуемой механической системы, временные

характеристики, а также силы взаимодействия между элементами системы.

Приложение T FLEX Динамика основано на собственных алгоритмах разработчиков компании «Топ Системы». Расчетная модель создается на основе трехмерной моде-



Рис. 8. Пример анализа контакта для тел произвольной формы [2]

ли T-FLEX CAD и описывается как система твердых тел, шарниров и нагрузок. Решатель учитывает масс-инерционные характеристики модели. Для задания связей между трехмерными телами используются сопряжения и степени свободы. На их основе система автоматически формирует список шарниров, которые наследуют геометрические характеристики при создании соответствующих сопряжений. В основных типах шарниров система позволяет моделировать трение, а в контактах — задавать параметры удара (рис. 7).

Численные результаты анализа движения записываются в виде графиков, которые показывают зависимость измеряемых величин от времени или от показаний датчиков. Графики могут использоваться 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 того, можно задать зависимость величины нагрузки от значения, измеряемого датчиком, например, для задания зависимости крутящего момента мотора от скорости его вращения. Это позволяет смоделировать более реалистичное поведение механической системы.

T-FLEX Динамика дает возможность осуществлять реалистичное моделирование контактов между элементами расчетной модели. Анализ контактов выполняется автоматически, поэтому пользователь избавлен от необходимости задавать точки контакта вручную. При этом форма контактирующих тел может быть произвольной (рис. 8).

Другой важной особенностью программы является автоматическое создание кинематических связей на основе сопряжений и

назначенных степеней свободы. Если связи вручную не назначены, они будут созданы автоматически.

Совместное решение инженерных задач

«Бесшовность» интеграции платформы T-FLEX CAD с прикладными решениями также позволяет совместно решать задачи, когда результаты расчета в одной программе применяются в качестве исходных данных в другой. Примером решения такой задачи является исследовательская работа [3]. Исследования проводились исключительно средствами T-FLEX: трехмерная модель и обработка результатов выполнялись в T-FLEX CAD (рис. 9а и 9в), графики зависимости параметров получены в приложении T-FLEX Динамика (рис. 9б), оценка прочности — в приложении T-FLEX Анализ (рис. 9г).

Заключение

В заключение хотелось бы отметить, что функциональность приложений T-FLEX Анализ и T-FLEX Динамика постоянно развивается, совершенствуются пользовательские инструменты и сервисы. Отдельные доработки платформы T-FLEX CAD также находят отражение в прикладных решениях. Всё это наилучшим образом сказывается на процессе принятия проектных решений, а также помогает при выявлении потенциальных проблем, связанных с проектированием. В то же время, проектная организация решает свою основную задачу, заключающуюся в разработке конкурентоспособной продукции. ■

Список литературы

1. Суших А.Л. Новые возможности T-FLEX Анализ 15 // САПР и графика. 2016. № 8.

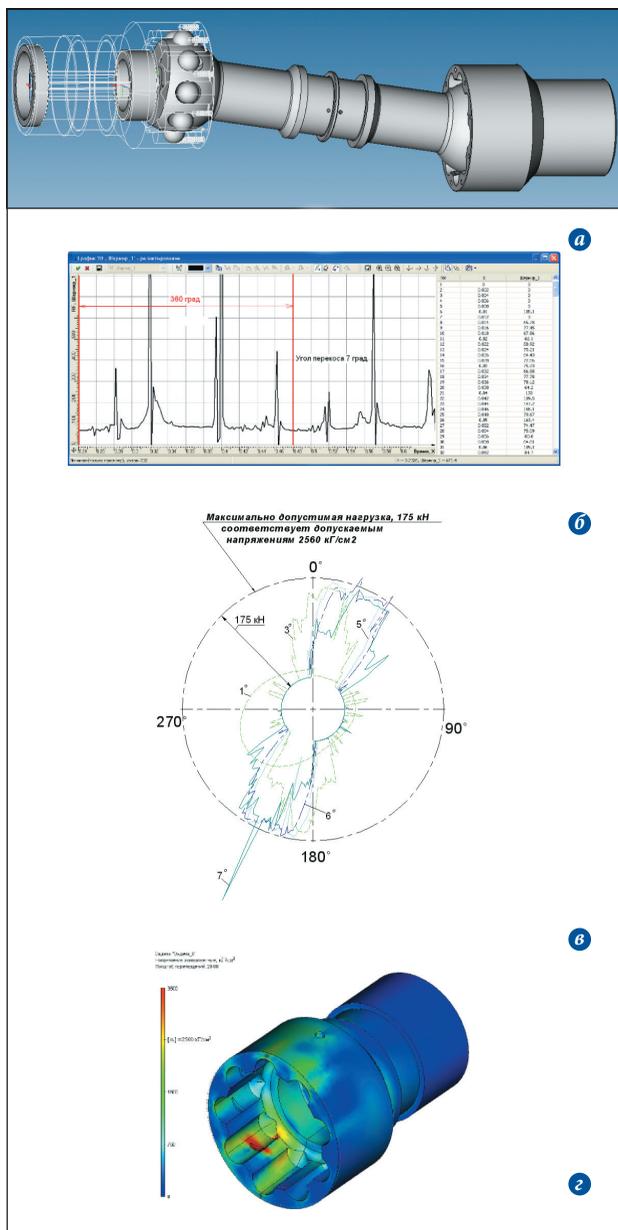


Рис. 9. Пример совместного решения задач инженерного анализа: а — параметрическая модель шпинделя; б — пример распределения нагрузки, действующей на шар за один оборот шпинделя; в — обобщение результатов: круговая диаграмма сил, действующих на шар, за один оборот шпинделя; г — распределение напряжений в обойме

2. Козлов С.Ю., Туганов А.Н. «Т-FLEX Динамика» — новое приложение комплекса T-FLEX для решения задач динамического анализа // САПР и графика. 2006. № 4.
3. Плахтин В.Д., Ивочкин М.Ю., Димитрюк С.О. Исследования шарнира шарового шпинделя стана 250 // САПР и графика. 2011. № 4.
4. Багмутов В.П., Бабичев С.В. Особенности организации вычислительного эксперимента по формированию шейки цилиндрического образца при растяжении // Известия ВолгГТУ. Серия «Материаловедение и прочность элементов конструкций». 2005. Выпуск 1. № 3 (12).

T-FLEX PLM

Компания «Топ Системы» приглашает принять участие в семинарах цикла «Территория САПР»

Передовые PLM-решения для российских предприятий

октябрь
ноябрь • 2016
декабрь

Цикл семинаров пройдет в следующих городах России:

- Ростов-на-Дону
- Волгоград
- Астрахань
- Казань
- Екатеринбург
- Нижний Новгород
- Ижевск

Участие в семинарах бесплатное. Подробная информация на нашем сайте.



www.topsystems.ru
+7 (499) 978-85-28, 978-86-28