

**КОМПЛЕКСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ВИРТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
И ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА**



4675 MacArthur Court,
Suite 900, Newport Beach,
California 92660, USA

Революционные изменения на рынке высоконаучных технологий инженерного анализа

MSC Software Corporation делает доступными для предприятий с ограниченным бюджетом самые современные технологии инженерных расчетов, использование которых прежде могли себе позволить только ведущие мировые компании-гиганты

Вы можете получить дополнительную информацию по любым вопросам, касающимся тематики этого сборника в офисе MSC Software RUS:

123022, Москва, ул. 2-я Звенигородская 13, стр. 43, оф. 521
Телефон: +7 (495) 363-06-83, 363-62-48, Факс: +7 (495) 787-76-06,
Internet: www.mscsoftware.ru, www.mscsoftware.com

Мировой лидер в области Виртуальной Разработки Изделий	2
Инженерные технологии MSC Software – многодисциплинарная интегрированная среда для Виртуальной Разработки Изделий и инженерных расчётов	4
MSC Nastran. Расчёт и оптимизация конструкций	4
Patran. Интегрирующая среда для систем анализа, моделирования и проектирования на основе универсального графического пользовательского интерфейса	9
MSC Apex. Реализация перспективных технологий инженерного компьютерного моделирования и анализа	11
Adams. Инструмент виртуального моделирования машин, механизмов и изделий в сборе	16
EASY5. Система моделирования и расчета гетерогенных технических систем и устройств	20
Marc. Комплексный нелинейный анализ конструкций, моделирование технологических процессов	21
Dytran. Система анализа существенно нелинейных быстропротекающих процессов	24
MSC Fatigue. Технологии расчета долговечности конструкции	25
FlightLoads and Dynamics. Комплексный анализ аэроупругих, динамических и прочностных характеристик летательных аппаратов	27
Sinda. Специализированный комплекс программных продуктов для решения тепловых задач	28
MSC Nastran Desktop. Современный мультидисциплинарный расчётный комплекс для предприятий малого и среднего бизнеса	30
Actran. Программный комплекс для анализа акустики	31
Digimat. Виртуальная лаборатория для нелинейного многоуровневого моделирования многофазных материалов и конструкций из них	33
Simufact. Компьютерное моделирование технологических процессов обработки металлов давлением и сварки	37
Организация современного инновационного процесса виртуального моделирования, анализа и оптимизации продукции в рамках всего предприятия	39
SimXpert. Интегрированная среда автоматизации сквозного многодисциплинарного моделирования и инженерного анализа	41
SimDesigner Workbench Edition for CATIA. Интеграция VPD технологий в среду системы проектирования CATIA	44
SimManager. Высший уровень организации инженерных работ на предприятии	45
MSC MaterialCenter. Система управления данными о материалах	47
Обеспечение высокой эффективности внедрения современных технологий Виртуальной Разработки Изделий	49
Лицензирование программных продуктов MSC	49
Обучение	50
Поддержка и сопровождение	50
Обладатели лицензий на системы MSC в России, странах СНГ и Балтии	50
Приобретение лицензий на использование систем MSC	51
Учебно-методическая литература MSC Software Corporation на русском языке	51
Семинары MSC Software Corporation – гарантия высокой эффективности внедрения современных компьютерных технологий	55
Выездные бесплатные лекции MSC Software	64

Каждый день сотни тысяч специалистов в самых разных уголках мира обращаются к главному продукту MSC Software Corporation – MSC Nastran. Среди них не только сотрудники авиационных и космических предприятий, где эта система фактически является мировым стандартом сертификации. С ней работают автомобилестроители и судостроители, железнодорожники и двигателисты, специалисты в нефтегазовой отрасли, в области машиностроения и электроники, приборостроения и строительства, робототехники и медицины, и в ряде других отраслей.

Компьютерные технологии MSC обеспечивают сегодня не только самый широкий спектр наукоемких инженерных расчетов: прочности, динамики, кинематики, теплопередачи, акустики, аэроупругости, долговечности, ресурса и т.д., но также позволяют виртуально моделировать технологические процессы изготовления, сборки изделий, их работу в условиях реальной эксплуатации. **Такие технологии обеспечивают создание подробных компьютерных моделей сложных машин и механизмов, а также проведение детального анализа их функционирования в различных условиях. Таким образом, еще на ранних стадиях проектирования создаются высокоточные компьютерные модели. Применение данных моделей существенно сокращает сроки проектирования и изготовления изделий при весомом повышении их качества, что обеспечивает быстрый выход на рынок с новой продукцией и получение высокой отдачи от вложенных инвестиций.**

При этом значительно сокращается число натурных экспериментов путем замены их на быстрое, эффективное и точное компьютерное моделирование на основе создаваемых виртуальных моделей сложных машин и механизмов. Компьютерные модели не только позволяют создавать новейшие изделия в самые сжатые сроки, но и сопровождают их на всем жизненном цикле, позволяя решать различные эксплуатационные задачи, включая аварийные ситуации, и проводить оперативные модификации, обеспечивая постоянный высокий уровень эксплуатационных характеристик, большой ресурс, безопасность, надёжность и качество изделий.

Что бы ни выпускала Ваша фирма – авиационную или автомобильную технику, электронное оборудование или медицинские приборы, или, к примеру, высококачественный спортивный инвентарь; какие бы расчетные или исследовательские задачи Вы и Ваши коллеги ни решали, можете быть уверены: применение продуктов MSC

Software Corporation даст Вам ту надежность и функциональность, о которой Вы всегда мечтали, обеспечит экономическую эффективность, без которой невозможен успех в современных условиях рыночной экономики.

Эти качества программных продуктов MSC используют ведущие фирмы практически всех стран мира. С 1992 года они доступны в России и странах СНГ.

MSC Software с 1963 г. является лидером в разработке и поставке компьютерных систем инженерного анализа (CAE – Computer Aided Engineering). В 60-е годы MSC разработала и успешно сдала по заказу NASA и правительства США суперсистему того времени NASTRAN (NASA STRuctural ANalysis). С начала 70-х годов MSC не только активно продолжает совершенствование системы NASTRAN в виде собственной версии MSC Nastran, но и ведет разработку широкого спектра инженерных систем, интегрируя их с MSC Nastran, постоянно вкладывая большие средства в исследования и разработки. Эти вложения обеспечивают компьютерным технологиям MSC самый высокий уровень и ведущее место в отрасли, а также дальнейшее ускоренное развитие продуктов MSC, позволяя им вбирать в себя все новейшие технологии, методы, алгоритмы, тем самым укрепляя авторитет MSC как признанного мирового лидера и самого надежного партнера.

В конце 90-х годов ведущие мировые производители авиационно-космической и автомобильной техники поставили перед MSC, как перед лидером CAE рынка, задачу по разработке и поставке инженерных компьютерных технологий нового уровня, применение которых позволило бы компаниям достичь повышения качества и надежности изделий при значительном сокращении сроков цикла «проектирование – производство», существенном уменьшении количества опытных образцов и натурных испытаний, сокращении затрат и увеличении прибыли. Компания Boeing так сформулировала данную задачу: «Цель состоит в том, чтобы перейти от 60-месячного цикла создания изделия к 12-месячному и сделать за 1 млрд. долларов то, что мы делали за 6 или 7 млрд. долларов».

Выполнение данного заказа промышленности требует концентрации всех возможных ресурсов. С этой целью MSC не только ежегодно делает самые крупные инвестиции в разработку новых инженерных компьютерных технологий, но и, как лидер рынка, приобретает и интегрирует в свою структуру ряд компаний, которые выделились собственными разработками высокого уров-

ня: MDI Inc., Marc Inc., CSAR, UAI, PDA, Knowledge Revolution, FFT, e-Xstream Engineering, Simufact Engineering и др. Для дальнейшего развития новейших технологий MSC создаёт стратегические альянсы и развивает кооперацию с разработчиками передовых CAD/CAM систем. Кроме того, MSC осуществляет много совместных разработок с другими передовыми в своей области компаниями, такими как nCode, FEV, LSTC, VI grade и др. Все эти усилия концентрируются на создании и поставке самого мощного комплекса глубоко интегрированных систем инженерного анализа. При этом указанный комплекс является открытым и позволяет применять в своем составе расчетные системы других компаний, например, ABAQUS, ANSYS, LS-DYNA, PAMCRASH, Fluent и т.п., интегрироваться с ведущими CAD/CAM системами: CATIA, Unigraphics, Creo, SolidWorks а также с другими системами на основе стандартных конечн-элементных и геометрических интерфейсов MSC Nastran, Patran, Marc, IGES, STEP, VDA, Parasolid и ACIS.

Такая высокая концентрация финансов и ресурсов позволила создать и развить новый уровень инженерных компьютерных систем – VPD технологии (Virtual Product Development – Виртуальная Разработка Изделий).

Начиная с 2003 года, корпорация MSC Software приступила к практической поставке, комплексной коммерческой и лицензионной реализации технологий VPD.

Главной особенностью VPD технологий является то, что корпорация MSC сделала доступным для широкого использования самый высокий уровень компьютерных технологий, который до этого был доступен только ведущим мировым компаниям, и то в ограниченном объеме. Это стало возможным на основе разработки и поставки самого широкого комплекса глубоко интегрированных систем MSC, новой системы лицензирования и новых коммерческих подходов.

Новый коммерческий подход MSC и универсальные «жетонные» системы лицензирования MasterKey Plus и MSC One позволяют, практически, на один-два порядка снизить расходы, которые несут предприятия при внедрении большого количества отдельных компьютерных систем инженерного анализа на традиционной основе. А построенная на принципиально новых подходах к моделированию, CAE-система нового поколения MSC Apex, которая поставляется с декабря 2014 года, предоставляет уникальную возможность в 3-10 раз сократить время на подготовку расчётных моделей.

При этом в рамках VPD технологий MSC решены проблемы интеграции, обслуживания и сопровождения большого числа различных систем, а также проблемы обеспечения постоянной загруженности и эффективности применения этих систем.

Это действительно революционные изменения на рынке программных систем инженерного анализа. Ведущие компании получают возможность более активно применять эти системы и наращивать отдачу от их

применения, а малые и средние предприятия получают доступ к технологиям, к масштабам и эффективности их применения, которые ранее не были им доступны.

Продолжая вкладывать значительные ресурсы в ускорение развития инженерных разработок, в 2006 году корпорация MSC объявила о создании нового уровня инженерных компьютерных технологий, предназначенных для организации инженерных процессов, расчетных работ, накопления и систематизации инженерных данных, опыта и знаний **на уровне всего предприятия.** Такие технологии не только создают единую среду для высокоэффективного взаимодействия отдельных инженеров и отделов предприятия, но и позволяют **партнерам и поставщикам взаимодействовать с предприятием в реальном масштабе времени,** адаптируя свои продукты к вносимым изменениям, и совместно оперативно вырабатывать новые технические требования. Наиболее важной при этом является тесная интеграция партнеров и поставщиков и расширение, за счет этого, самого процесса моделирования, анализа и оптимизации продукции предприятия.

Данный подход обеспечивает организацию высокоэффективного процесса виртуального моделирования, анализа и оптимизации продукции, а также реализует компьютерный подход к накоплению и систематизации опыта работ в рамках предприятий. Накопление в Базе Знаний предприятий шаблонов, фиксирующих процессы решения сложных комплексных задач высококвалифицированными специалистами, накопление в системном виде моделей, результатов исследований, технических отчетов и т.д., а также контроль и доступ к этим данным и процессам со стороны всех участников работ, возможность повторного многовариантного использования – обеспечивают сохранение накопленного опыта и его дальнейшее применение даже в различных форс-мажорных ситуациях, характерных для современных компаний: например, болезнь или увольнения ведущих высококвалифицированных специалистов, вынужденные сокращения, реорганизации предприятий, и т.п.

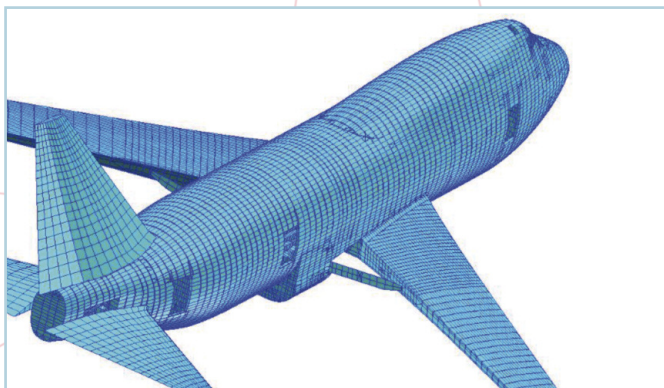
MSC предлагает гибкую и эффективную схему поэтапного внедрения VPD технологий в рамках всего предприятия, с учетом интересов всех инженерных отделов. Также имеются различные варианты реализации льготного перехода на VPD технологии как для компаний, уже являющихся пользователями систем MSC, так и для всех других предприятий, использующих иные (не принадлежащие MSC) расчетные системы, либо даже вовсе не использующих компьютерные технологии инженерного анализа в своей проектной практике.

Компании, применяющие VPD технологии, экономят сотни миллионов долларов на этапах исследований, проектирования, технологических разработок, производства и эксплуатации. Воспользовавшись предложениями MSC Software, предприятие может выйти на принципиально новый уровень разработки, производства и сопровождения конкурентоспособной продукции, который гарантирует высокую отдачу от вложенных средств!



MSC Nastran

Расчёт и оптимизация конструкций



Комплексная конечно-элементная модель грузового самолёта

Мировые лидеры в разработке перспективных изделий машиностроения используют **MSC Nastran** в качестве универсальной конечно-элементной системы для моделирования и оптимизации конструкций. Высочайший уровень функциональности, надёжности и производительности уже более 50 лет обеспечивает лидерство системы **MSC Nastran** во всём мире. С помощью **MSC Nastran** разрабатываются самые передовые образцы авиационной, автомобильной, космической техники, высокотехнологичные устройства и сооружения в других областях техники. В процессе постоянного развития и расширения функциональных возможностей **MSC Nastran** вместил в себя целый ряд ведущих систем анализа: Marc, Actran, Dytran, LS-DYNA, Sinda и др. Универсальность и многофункциональность в сочетании с высокой вычислительной эффективностью и открытой программной архитектурой позволяют инженерам проводить комплексный всесторонний многодисциплинарный анализ конструкций в единой расчётной среде.

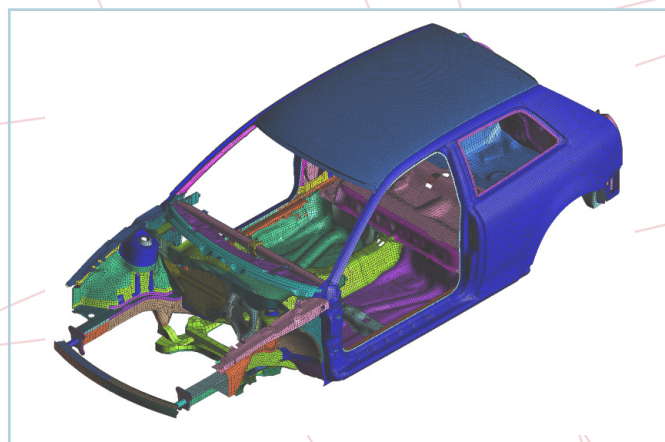
MSC Nastran демонстрирует высокую эффективность при проведении наиболее востребованных видов анализа:

- расчёт напряженно-деформированного состояния и запасов прочности;
- расчёт частот и форм собственных колебаний;
- расчёт устойчивости;
- расчёт характеристик статического и динамического нагружения изделия в линейной и нелинейной постановках;
- расчёт с учётом сложного контактного взаимодействия;
- расчёт теплопередачи;
- расчёт критических частот и вибраций роторных машин;
- расчёт частотных характеристик (передаточных функций) изделия;

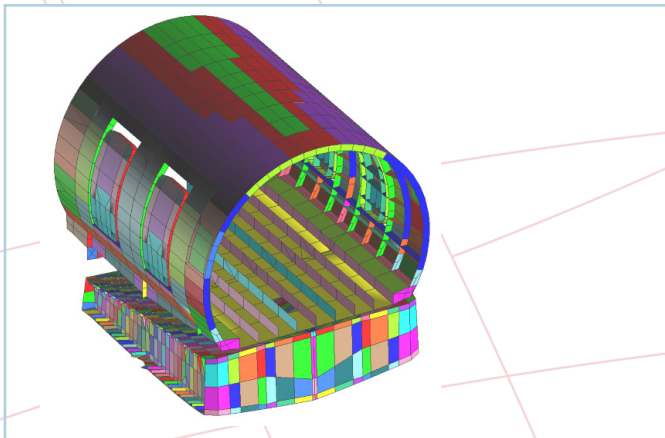
- расчёт отклика изделия на стационарные случайные нагрузки и импульсное широкополосное воздействие;
- исследование статического равновесия, динамического отклика и динамической устойчивости конструкций с учётом аэроупругости на дозвуковых и сверхзвуковых скоростях;
- моделирование совместной работы объекта управления и системы управления (в том числе систем терморегулирования);
- расчёт усталостной прочности и долговечности изделий и оптимизации изделия по ресурсу.

В **MSC Nastran** предусмотрена возможность моделирования широкого круга материалов с изотропными и анизотропными, линейными и нелинейными свойствами, которые могут зависеть от деформации, температуры, скорости деформирования и др. Широко применяются балочные (1D), оболочечные (2D), объёмные (3D) конечные элементы **MSC Nastran**, а также специальные элементы для моделирования точечной и шовной сварки, болтовых и заклепочных соединений, «жёсткие» элементы различных типов (кинематические связи между узлами расчётной модели), интерполирующие связи, и многие другие.

В состав расширенных функций **MSC Nastran** входят методы статической и динамической конденсации расчётных моделей, модальный синтез и метод Крейга–Бамптона. Метод суперэлементов (подконструкций) позволяет рассматривать сложные изделия по частям, передавать расчётные модели подконструкций в матричном виде между подразделениями и предприятиями с сохранением конфиденциальности исходной модели, при этом имея возможность вывода результатов по всем узлам и элементам модели. Технология суперэлементов **MSC Nastran** является де-факто стандар-



Конечно-элементная модель кузова легкового автомобиля



Фрагмент конечно-элементной модели фюзеляжа самолёта

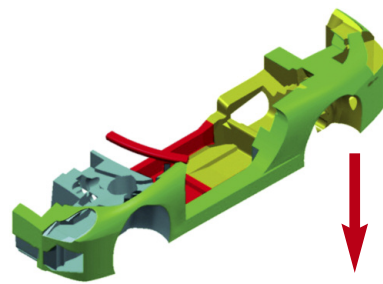
том в международной кооперации машиностроительных предприятий. Применение технологии суперэлементов **MSC Nastran** позволяет участникам проектов обмениваться моделями изделий, при этом сохраняя конфиденциальность внутренних размеров, свойств, материалов, способов соединения деталей и т.д.

Программный пакет **MSC Nastran** имеет открытую программную архитектуру, построенную на основе языка программирования DMAP – Direct Matrix Abstraction Program. Программный код всех структурированных последовательностей решения (SOL 101-200) написан на языке DMAP и доступен пользователям. Пользователи могут вносить изменения в существующий программный код, а также разрабатывать свои специализированные сценарии и исполнять их в среде **MSC Nastran**. Примером использования указанных возможностей является разработка на языке DMAP “пользовательской” процедуры, обеспечивающей оценку степени соответствия динамических характеристик изделия, получаемых в результате расчёта и модального эксперимента. Проведение соответствующих расчётов позволяет определять места расположения и ориентацию датчиков, обеспечивающих идентификацию динамических характеристик изделия и, тем самым, эффективно планировать его испытания.

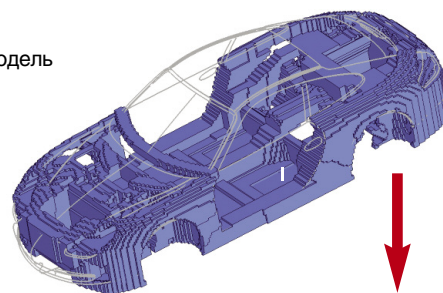
Дальнейшим развитием программного пакета **MSC Nastran** является внедрение в его структуру технологии User Defined Services (UDS), обеспечивающей возможность интеграции специально разработанных пользователями программных компонентов в **MSC Nastran**. В частности, система UDS позволяет разрабатывать подпрограммы пользователя для описания конечных элементов, материалов и контактного взаимодействия; взаимодействия **MSC Nastran** с CFD-системами и внешними оптимизационными программами, а также модули языка DMAP универсального назначения. Программы можно создавать на языках программирования Fortran и C++, присутствует ограниченный функционал и для других языков. В составе **MSC Nastran** поставляются библиотеки, программные компоненты и документация, требуемая для написания собственных программ. Также поставляются готовые к применению примеры таких программ.

MSC Nastran предоставляет в распоряжение пользователя эффективный аппарат оптимизации конструкций, включая поддержку суперэлементов и нелинейности (физическая и геометрическая нелинейность, контакт). Оптимизацию можно проводить для задач статики, устойчивости, установившихся и неустойчившихся динамических процессов, собственных частот и форм колебаний, акустики, аэроупругости по отдельности или в комплексной многодис-

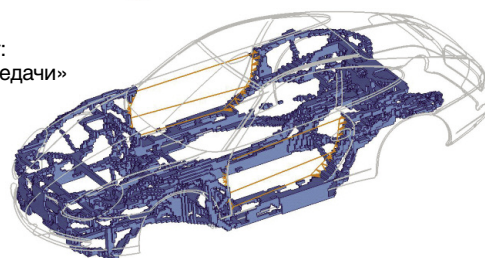
Пространство проектирования



«Исходная» расчётная модель

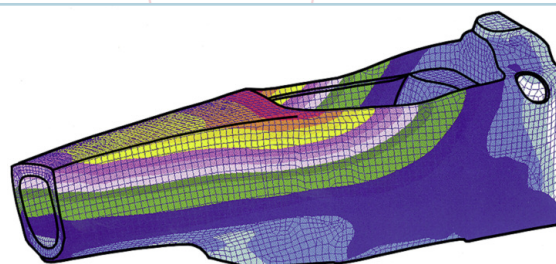


Результат: «пути передачи» нагрузок



Применение топологической оптимизации для поиска рациональной силовой схемы кузова легкового автомобиля

циплинарной постановке. В задачах многодисциплинарной оптимизации целевая функция зависит от выбранных откликов из всего комплекса решаемых задач. Оптимизация проводится на основе выбранных типов расчета путем вариации параметров формы, размеров и свойств конструкции. Количество варьируемых проектных параметров и применяемых ограничений в расчётной модели не ограничено и определяется постановкой задачи и мощностью используемых вычислительных средств. В процессе оптимизации проектные параметры меняются непрерывно в заданном диапазоне. Возможен автоматический выбор итоговых значений проектных параметров из набора заданных фиксированных значений (например, толщин листового проката). Масса, напряжения, перемещения, собственные частоты колебаний и многие другие виды отклика или их произвольные комбинации могут рассматриваться как в качестве целевых функций, так и в качестве ограничений. Алгоритмы анализа чув-



Композитный монокок гоночного автомобиля Формулы 1. Все команды Формулы 1 используют **MSC Nastran** и другие системы MSC для создания и совершенствования своих машин

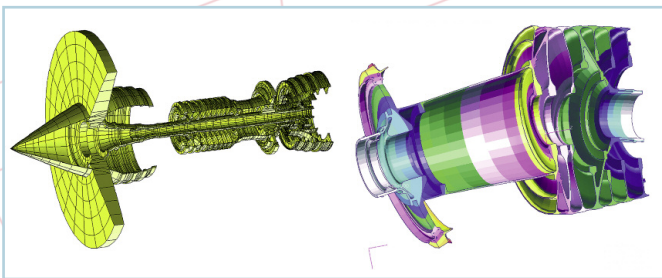


ствительности позволяют исследовать влияние различных параметров на поведение целевой функции и управлять процессом поиска оптимального решения.

Наряду с «обычной» параметрической оптимизацией (варьирование параметрами конечно-элементной модели) и оптимизацией формы (изменение формы конструкции путём изменения координат узлов конечно-элементной модели) **MSC Nastran** позволяет также выполнять следующие виды оптимизации: топологическую (изменение геометрической топологии объекта), топографическую (поиск формы и глубины выштамповок на детали из тонколистового материала) и топометрическую (поиск значения параметра, например – толщины, для каждого конечного элемента *по отдельности*). Эти функции значительно расширяют возможности применения **MSC Nastran** для автоматического проектирования силовых схем изделий наилучшим образом удовлетворяющих заданным требованиям.

Широкие возможности оптимизации позволяют использовать **MSC Nastran** для автоматической идентификации конечно-элементной расчетной модели, при этом целевая функция, подлежащая минимизации, определяется как величина рассогласования результатов расчета и эксперимента, а в качестве варьируемых параметров выбираются наименее достоверные расчетные параметры конструкции. Результат решения такой задачи – «новая» конечно-элементная модель, свойства которой приближены к свойствам физического образца.

MSC Nastran обладает широкими возможностями по моделированию, расчету и оптимизации композитных конструкций. Поддерживаемые в **MSC Nastran** 1D, 2D и 3D конечные элементы с различными моделями композиционных материалов (квазиизотропная, ортотропная, анизотропная, слоистая) позволяют выполнить расчёт с учётом особенностей композиционных материалов в реальной конструкции (анизотропия, нелинейность свойств материала, количество и ориентация слоев, характеристики волокна и матрицы, микроструктура, существующие дефекты и т.д.). Наиболее эффективно эти возможности реализуются при использовании **MSC Nastran** в сочетании со встроенным приложением Patran – Patran Laminate Modeler, обеспечивающим быструю подготовку высокоточных 2D конечно-элементных моделей из слоистых композиционных материалов с учетом техноло-



«Роторная динамика MSC Nastran позволяет моделировать нелинейные опоры (активные магнитные подшипники и др. узлы) в составе полноразмерных моделей «двигатель – планер». Эти модели используются для подробных исследований деталей и узлов изделия на различных режимах полета... Эти модели невероятно большие... MSC Nastran – единственная система, которая может редуцировать большие модели до меньшего размера, обеспечивая точность результатов... Натурные испытания обычно стоят десятки миллионов долларов и повторение их крайне нежелательно. Новые возможности роторной динамики MSC Nastran позволяют нам выполнять испытания в виртуальной среде и гарантировать, что физические испытания будут успешными с первой попытки...»

Dr. Charles Lawrence, Glenn Research Center, NASA.
«Alfa Magazine» #4, 2005

гии изготовления и при проведении в **MSC Nastran** связанного с **Digimat** конечно-элементного расчета, при котором нелинейная модель материала на микроуровне из **Digimat** описывает в каждой точке конструкции жесткость и прочность композиционного материала с учетом его реальной микроструктуры.

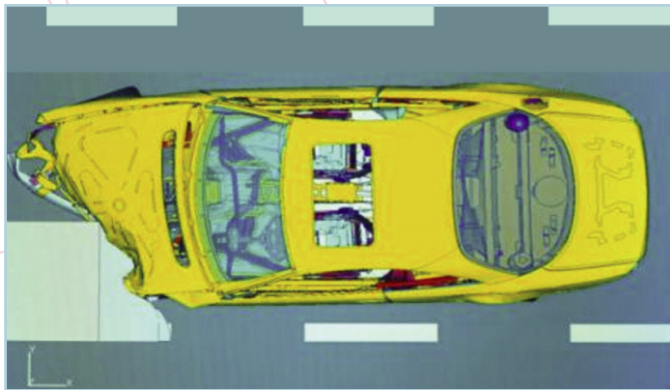
Для анализа разрушения композитной конструкции **MSC Nastran** обладает как базовыми возможностями (расчет индексов разрушения по наиболее известным теориям разрушения), так и продвинутыми возможностями (прогрессирующее разрушение, расслоение и рост трещин).

В составе **MSC Nastran** имеются специальные возможности моделирования динамики роторных машин в одномерной, двумерной осесимметричной и трёхмерной постановках:

- анализ установившихся и переходных динамических процессов;
- исследование спектров собственных частот и форм колебаний отдельных деталей и узлов в поле центробежных сил и при действии гироскопических моментов с анализом распределения относительных напряжений при колебаниях по собственным формам, построение диаграмм Кемпбелла и Найквиста;
- построение математических моделей динамического поведения роторных машин (в том числе многовальных) с учетом нелинейных характеристик опор;
- исследование критических частот вращения роторов, анализ условий возникновения и параметров прямой и обратной прецессий, изучение реакций на обрыв лопаток и касание ротора о статор;
- анализ вибрационных характеристик машин при моделировании дисбалансов роторов с учетом реальных условий закрепления на объекте.

Комплексный всесторонний анализ отклика изделий на внешние воздействия в линейной и нелинейной постановке в произвольной комбинации с автоматической передачей текущего состояния между видами анализа, полная нелинейная статическая или динамическая постановка задач, связанный тепло-прочностной анализ в **MSC Nastran** может осуществляться с применением наиболее совершенного модуля **SOL 400**. Модуль **SOL 400** – новый этап развития **MSC Nastran** в части повышения эффективности и точности решения статических и динамических задач, усовершенствования алгоритмов учёта 3D контактного взаимодействия частей расчётной модели, внедрения новых алгоритмов решения тепловых задач (алгоритмы, применяемые в программном пакете **Sinda**), проведения комплексного исследования работы изделия за один запуск модели на расчет, сокращения затрат времени на вычисления за счёт повышения эффективности решателей и др.

В полной мере использовать возможности **SOL 400** позволяет специализированный набор настроек (преференс) системы Patran. Интеграция **SOL 400** с другими видами анализа в **MSC Nastran**, с встроенными и внешними системами оптимизации, продвинутые итерационные методы решения нелинейных задач, расчёта трёхмерного контактного взаимодействия, механики разрушения, скорости роста трещин, моделирования композиционных материалов в одномерной, двумерной и трёхмерной постановках, анализ прогрессирующего разрушения композитов, и многое другое в полностью интегрированной инфраструктуре **MSC Nastran** даёт уникальные возможности создания высокоточных универсальных моделей функционирования изделий. На данный момент **SOL 400** – самый совершенный и функциональный модуль **MSC Nastran**, в который в приоритетном порядке внедряются все новые возможности.



Компьютерное моделирование столкновения легкового автомобиля с препятствием

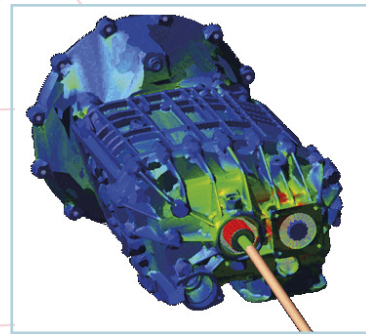
MSC Nastran SOL 600 представляет интеграцию решателя **Marc** в **MSC Nastran**. Преимущество использования **SOL 600** состоит в возможности доступа к эффективным инструментам решателя Marc путём создания расчётных моделей в формате **MSC Nastran**.

В состав программного пакета **MSC Nastran** входит последовательность решения **SOL 700**, объединяющая в себе возможности известных решателей LS-DYNA и Dytran, и предназначенная, преимущественно, для моделирования высокоскоростного нагружения изделий, включая их большие деформации и разрушение (например, соударения различных объектов, технологические процессы типа штамповки,ковки и т.п.), а также динамического взаимодействия изделия и газовой или жидкой среды (например, взаимодействие подушки безопасности и манекена в процессе столкновения автомобиля и т.п.). В **SOL 700** для решения нелинейных задач применяется высокоэффективная явная схема интегрирования. За счет интеграции решателей LS-DYNA и Dytran в **MSC Nastran** снижается время, требуемое для подготовки расчетной модели и повышается точность многодисциплинарного анализа. Производительность **SOL 700** особенно высока при решении задач на многопроцессорных вычислительных комплексах. Интеграция в **MSC Nastran** решателей, основанных на разных математических принципах (явных и неявных решателей) позволяет с высокой эффективностью моделировать процессы последовательных этапов функционирования изделий, характеризующихся существенно разными характерами протекающих процессов, например, “статическое преднагружение” – “кратковременное воздействие большой импульсной нагрузки” – “последствие приложения импульсной нагрузки”.

Среди возможностей **MSC Nastran** – решение акустических задач, причём задачи внутренней акустики решаются с применением “традиционных” конечно-элементных подходов, а для решения внешнеакустических задач предлагаются специальные алгоритмы, в основу которых положены “бесконечные” элементы. Комбинация этих методов позволяет решать достаточно широкий круг задач акустического анализа, однако ещё большей эффективности можно достичь при использовании возможностей интеграции **MSC Nastran** и специализированного программного пакета для акустических расчётов **Actran** для решения виброакустических задач с акустической средой малой плотности (например, с воздухом).

Оснащение **MSC Nastran** новыми решателями (**SOL 400**, **SOL 700**, интеграция с решателем **Actran**, технология **UDS** и др.), даёт пользователям возможность перейти от

узкоспециализированных инструментов моделирования и анализа к интегрированному решению в масштабах предприятия. Использование единой расчетной модели для многодисциплинарного моделирования позволяет минимизировать время, обычно затрачиваемое на подготовку множества расчетных моделей, преобразование и передачу данных от одной расчетной модели в одной системе инженерного анализа к другой модели в другой системе (решается проблема устранения вносимых при таких преобразованиях ошибок, тем самым повышается точность решения).

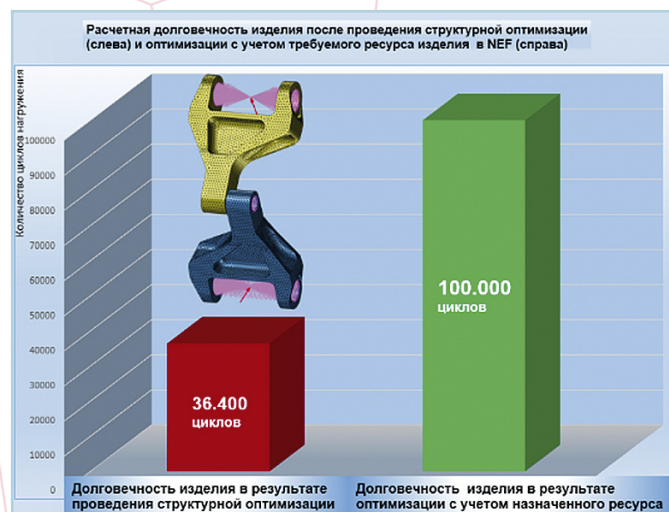


Компьютерное моделирование нагружения коробки перемены передач автомобиля в системе **Adams**. Конечно-элементная модель картера импортирована из пакета **MSC Nastran**

В **MSC Nastran** также имеется возможность передачи моделей упругих тел в систему **Adams** для дальнейшего использования их в этом программном комплексе при построении расчётных моделей машин, механизмов и изделий в сборе. Такой метод обеспечивает учёт упругих свойств тел, имеющих пространственную форму любой сложности, что позволяет выполнять точный анализ динамики изделий с учётом податливости их компонентов. Таким образом, интеграция двух мощных программных комплексов **MSC Nastran** и **Adams** позволяет моделировать и проводить точный анализ функционирования сложных современных изделий с учетом реальных условий их эксплуатации.

В состав **MSC Nastran** входит проблемно-ориентированный модуль **MSC Nastran Embedded Fatigue (NEF)** для расчёта усталостной прочности, долговечности и оптимизации изделий.

MSC Nastran Embedded Fatigue является принципиально новым этапом в интеграции структурных прочностных расчетов с анализом усталостной прочности и долговечности. Сущность реализованного в нем нового подхода состоит в том, что модуль **NEF** работает непосредственно в среде **MSC Nastran**. Специалисты **MSC Software** смогли максимально упростить рабочий процесс подго-



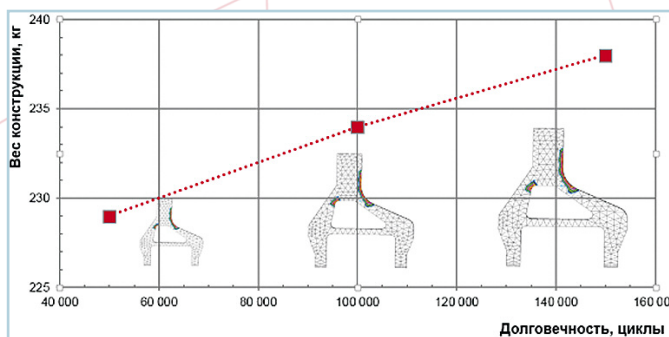
Сравнение результатов оптимизации по прочности (слева) и по прочности и долговечности (справа)

товки необходимых исходных данных и проведения анализа долговечности изделий, исключив многократную трансляцию больших объемов информации в графическую среду пользователя.

С появлением **MSC Nastran Embedded Fatigue** у инженеров появилась возможность провести одновременно прочностной расчет, расчет долговечности и решить задачу оптимизации за один запуск решателя **MSC Nastran**. В **MSC Nastran Embedded Fatigue** запрос на вывод результатов структурного прочностного расчета перед запуском анализа долговечности необязателен, что существенно экономит время и вычислительные ресурсы. Таким образом, задачи большой и сверхбольшой размерности (до нескольких десятков миллионов степеней свободы) теперь не являются проблемой с точки зрения вычислительных ресурсов и могут быть решены на обычных пользовательских рабочих станциях.

Кроме того, выполнение расчетной оценки долговечности непосредственно в среде **MSC Nastran**, предназначенной для расчета напряженно-деформированного состояния, обеспечивает возможность оптимизации расчетной модели по критериям долговечности. Так, если проводить оптимизацию изделия, руководствуясь лишь прочностными ограничениями, возможно снижение веса изделия, но, практически всегда, такой результат будет сопровождаться снижением ресурсных показателей. Попытки же повысить ресурс на более поздних этапах доводки либо эксплуатации уже готового изделия без использования NEF практически всегда приведут к росту массы и удорожанию конструкции.

Применение **MSC Nastran Embedded Fatigue**, обеспечивает



Оптимизация изделия по ресурсу традиционными методами без использования **MSC Nastran Embedded Fatigue**

печивает внедрение критериев долговечности в оптимизационный цикл на ранних этапах проектирования изделия, что позволяет избежать неоправданных финансовых затрат и рисков в будущем.

Seismic Toolkit – набор программных инструментов, реализующих расширенные возможности моделирования ударного широкополосного воздействия. Расчетный модуль **Seismic Toolkit** дополняет возможности **MSC Nastran** по анализу спектрального отклика и позво-

ляет более полно реализовать требования ряда нормативных документов по этому виду расчётов. Графический интерфейс **Seismic Toolkit** дополняет системы **Patran** и **SimXpert**.

Основу **MSC Nastran** составляют отработанная технология конечных элементов и надёжные численные методы. Численные методы разреженных матриц, используемые при любом типе расчетов, значительно повышают скорость вычислений и минимизируют объем требуемой дисковой памяти, что повышает эффективность обработки данных. **MSC Nastran** работает на персональных компьютерах, рабочих станциях, кластерах, суперкомпьютерах и предусматривает широкие возможности параллельных вычислений.

Тесная связь **MSC Nastran** с пре- и постпроцессорами **Patran**, **MSC Apex** и **SimXpert** обеспечивает полностью интегрированную среду для моделирования и анализа результатов. Все ведущие производители систем автоматизированного проектирования предусматривают интерфейсы к **MSC Nastran**, учитывая лидирующие позиции этой системы на рынке конечно-элементных продуктов. В результате **MSC Nastran** гибко интегрируется в любую имеющуюся среду проектирования.

MSC Nastran – это современная расчетная суперсистема. Тесная интеграция **MSC Nastran** через **Patran**, **MSC Apex**, **SimXpert** и **SimManager** с другими системами высокого уровня: **Adams**, **Fatigue**, **FlightLoads** and **Dynamics**, **Marc**, **Mvision**, **Dytran**, **Easy5**, **SimDesigner**, а также возможность интеграции со всеми распространёнными системами **CAD/CAM/CAE** реализует совершенно новый по своей широте и глубине системный уровень моделирования и междисциплинарного анализа. Практически, на компьютере создается точная виртуальная модель изделия и, еще до начала производства, всесторонне исследуется его функционирование в рабочих и экстремальных условиях, тем самым, совершенствуя изделие, повышая его качество, надежность, безопасность, технологичность и экономичность на основе “компьютерных испытаний”. Этот совершенно новый уровень интегрированной среды наукоемких инженерных компьютерных систем реализует современные технологии Виртуальной Разработки Изделий.

MSC Nastran закрывает “белые пятна” в существующих технологиях инженерного моделирования предприятий и тем самым сокращает долю затрат на системы инженерного анализа в общей сумме инвестиций в разработку. В планах корпорации **MSC Software** – продолжить интенсивное развитие **MSC Nastran** путем дополнения этой системы новыми модулями для междисциплинарного анализа. Мощные конкурентные преимущества, которые дает **MSC Nastran** предприятиям-разработчикам изделий, позволяют им разрабатывать и выпускать лучшие в своей отрасли изделия в самые короткие сроки с одновременным снижением затрат на разработку и повышением прибыли.

Patran

Интегрирующая среда для систем анализа, моделирования и проектирования на основе универсального графического пользовательского интерфейса

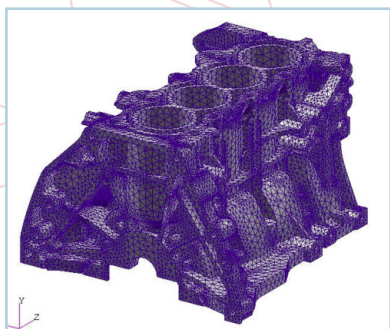
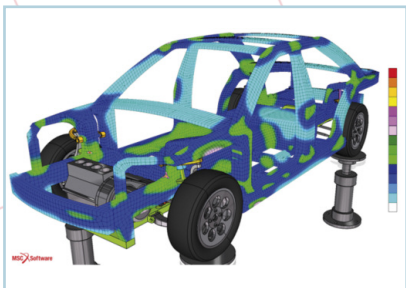
Программный комплекс **Patran** известен во всем мире как наиболее универсальный, надежный, эффективный и мощный универсальный графический интерфейс, предназначенный для подготовки расчетных моделей и обработки результатов расчета.

Patran обеспечивает интеграцию систем геометрического и конечно-элементного моделирования, анализа и обработки результатов расчета и предназначен для углубленных исследований работоспособности и оптимизаций изделий на стадиях проектирования, производства и эксплуатации.

Patran с помощью настраиваемого графического интерфейса и интерактивной справочной системы предоставляет эффективные возможности по импорту геометрических моделей из CAD систем, созданию и редактированию геометрии, генерации конечно-элементных сеток, подготовке и настройке расчетных моделей и обработке результатов расчета.

Patran включает в себя обширные функции по созданию и модификации геометрических моделей, в том числе твердотельное моделирование и Булевы операции, создание срединных поверхностей, автоматическое распознавание и параметризацию отверстий, скруглений и фасок.

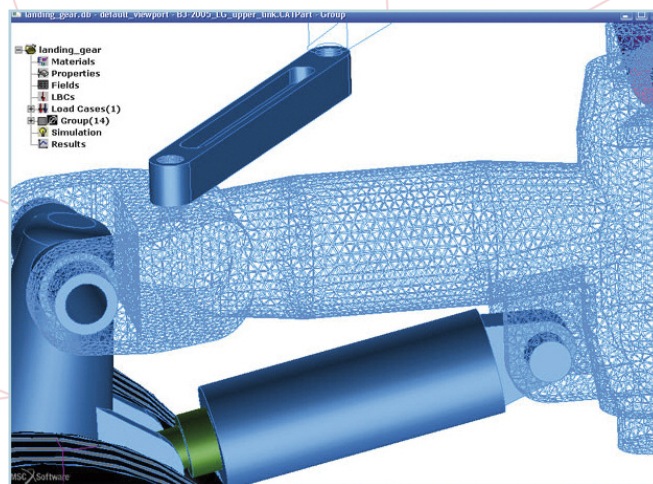
Наличие мощного инструментария для быстрого создания, редактирования, контроля качества и оптимизации конечно-элементных (КЭ) сеток позволяет в короткое время создавать требуемые расчетные модели. Наряду со стандартными генераторами КЭ сеток в **Patran** присутствуют специализированные генераторы сеток на 2D поверхностях: *Advanced Surface Mesher*, *Midsurface* и *Sheet Body Mesher*, позволяющие создавать высококачественные КЭ сетки на наборе поверхностей любой степени сложности и «плохого» с точки зрения генерации КЭ-сеток качества. Геометрические модели такого типа часто встречаются при моделировании самолетов, автомобилей, судов, ж/д транспорта и других, преимущественно оболочечных изделий сложной формы. Для работы с сетками на твердотельной 3D-геометрии, в **Patran** существует обширный список инструментов, позволяющий получить в кратчайшие сроки расчетную КЭ модель, которая учитывает все множество конструктивных элементов, включая фаски, скругления,



углубления, отверстия и т.д. Кроме этого, **Patran** обладает и другими уникальными возможностями в области работы с КЭ сетками. Например, это генерация КЭ сеток на основе других КЭ сеток без использования геометрических моделей, а также создание геометрии на оболочечных КЭ сетках (операция обратная созданию КЭ сеток на поверхностях).

Patran предоставляет обширный и удобный в использовании набор возможностей для задания различных нагрузок, граничных условий, свойств материалов и конечных элементов, параметров расчета, а также для обработки, преобразования и визуализации результатов счета. Нагрузки, граничные условия и свойства конечных элементов могут быть привязаны как к геометрии, так и непосредственно к КЭ сетке.

Встроенный инструмент **Patran** для работы с расчетной моделью в графическом интерактивном режиме – Model Browser («дерево модели») позволяет наиболее эффективно и быстро управлять геометрией, свойствами материалов и элементов, нагрузками и граничными усло-



виями и расчетными случаями. Простая и «наглядная» работа с моделью при помощи Model Browser существенно повышает эффективность и скорость создания расчетных моделей и позволяет устранить ошибки при подготовке сложных расчетных случаев, например при формировании цепочек из различных типов расчета для комплексного или мультидисциплинарного анализа.

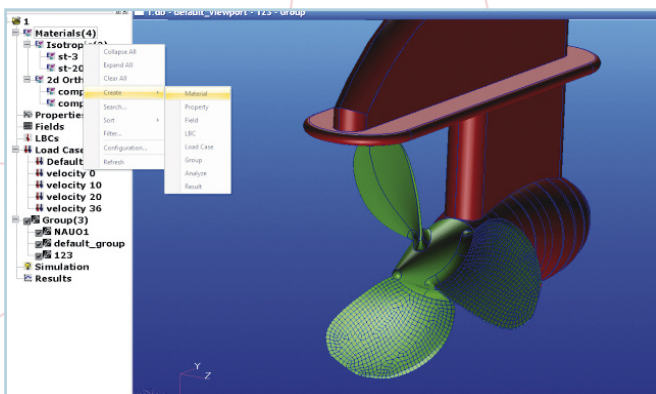
Функции «Групп», «Списков» и «Суперэлементов» позволяют создавать и обрабатывать полноразмерные подробные модели сложных конструкций, таких как самолет, автомобиль и т.д. на основе миллионов конечных элементов. Эти функции, также как и стандартные интерфейсы **Patran**, широко используются при ведении международных проектов одновременно несколькими компаниями или при организации работ на распределенных рабочих местах при ведении больших проектов в рамках одного предприятия.

Широкие возможности внутреннего встроенного языка **Patran** – Patran Command Language (PCL) по созданию под-

программ (утилит) позволяют пользователю самостоятельно доработать и настроить **Patran** под свои требования для решения конкретных задач.

Patran предлагает различные настройки по запуску решателей на счёт, в том числе и на удалённых серверах и гетерогенных компьютерных сетях, как в однопроцессорных так и в многопроцессорных режимах работы. Предусмотрен инструмент для отслеживания и контроля процессов решения задач.

Отображение результатов расчета с помощью усовершенствованных средств визуализации в виде заливок, изоповерхностей, векторов, тензоров, деформированного состояния, графиков, отчетов и других встроенных средств визуализации помогают ускорить оценку результатов расчёта и повысить ее качество. **Patran** предоставляет возможность приведения результатов к любой локальной



системе координат, как декартовой, так и цилиндрической или сферической. Результаты расчета в **Patran** можно складывать, вычитать, умножать на любое число, получать их линейную комбинацию, находить минимальные и максимальные значения и т.д. Это позволяет пользователю на основе существующих результатов расчета без дополнительного запуска решателя создать в **Patran** новые результаты. Кроме того, внутренние средства **Patran** позволяют выполнять математические операции над компонентами результатов расчёта. Например, можно по компонентам тензора напряжений просчитать эквивалентные значения напряжений по любой формуле.

Интеграция с CAD-системами: помимо доступа к стандартным геометрическим форматам, таким как Parasolid, ACIS, STEP, IGES, STL, VDA и др., **Patran** предоставляет прямой доступ к наиболее популярным в мире программным пакетам автоматизированного проектирования: CATIA v4 и v5, Unigraphics-NX, Pro/ENGINEER / Creo и I-DEAS. При использовании **Patran**, как правило, именно CAD-геометрия становится основой конечно-элементной модели. Поэтому **Patran** включает в себя специальные методы и функции для контроля и автоматизированного исправления дефектов импортированных из CAD-систем геометрических моделей, что при современном уровне сложности и подробности компьютерных моделей существенно облегчает работу конструкторов и расчетчиков. **Patran** обеспечивает доступ к геометрическим и конечным моделям, созданным в **MSC Apex**. Таким образом, возможно отредактировать геометрическую модель используя мощный функционал системы **MSC Apex**, построить в этой

системе КЭ сетку и экспортировать всё в **Patran**, сохранив там связь между геометрией и конечными элементами.

Интеграция с системами анализа: с помощью соответствующих настроек **Patran** обеспечивает подготовку модели и обработку результатов для большого количества расчетных систем. Интерфейсы для MSC Nastran, Marc, Dytran, MSC Fatigue, Sinda, Flightloads, Patran Thermal, LS-DYNA3D, PAMCRASH, ANSYS, ABAQUS и SAMCEF можно приобрести в MSC Software, а для других систем – у самих производителей. Существует возможность прямого экспорта расчетных моделей в пре-пост-процессор SimXpert непосредственно из текущей сессии **Patran**. Это существенно ускоряет обмен данными и исключает ошибки при трансляции расчетной модели. Мощные возможности языка PCL также позволяют пользователям включать свои системы анализа в среду **Patran**, создавать новые функции и разрабатывать собственные приложения, что делает **Patran** основой для разработки открытого MCAE окружения.

Patran предоставляет ряд дополнительных расширенных средств для работы с **MSC Nastran**, включая поддержку 400-й, 600-й и 700-й последовательностей решений.

Встроенные подсистемы: наряду с интерфейсами к ведущим конструкторским и расчетным системам **Patran** имеет целый ряд специальных встроенных приложений:

Patran Thermal – анализ тепловых процессов и гидравлических сетей,

Patran

Laminate Modeler –

инструмент конструктора,

расчетчика и

технолога для подготовки

моделей, их

оптимизации и

обработки результатов

расчета конструкций

из слоистых композиционных

материалов, **Patran ProCOR** –

специализированный

инструмент для проведения

модальной корреляции конечно-

элементных моделей на основании

расчётных и экспериментальных

данных, **Analysis Manager** –

многофункциональная

система, управляющая процессами

выполнения заданий.

Дополнительные инструменты: в меню **Tools** содержится

большой набор дополнительных

инструментов, которые, в частности

позволяют вычислять массово-инерционные

свойства как конструкции целиком, так и

любой её части; позволяют находить

свойства балочных сечений произвольной

формы; распознают и параметризуют

отверстия, фаски и скругления на 3D

телах, создают преднагруженные

болтовые соединения; автоматически

распознают контактные тела и

контактные пары на сборках, позволяют

создавать шаблоны по выводу

результатов и многое другое.

Интеграция с базами данных по материалам: **Patran**

обеспечивает возможность прямого

доступа к свойствам материалов, получая

все необходимые для расчета

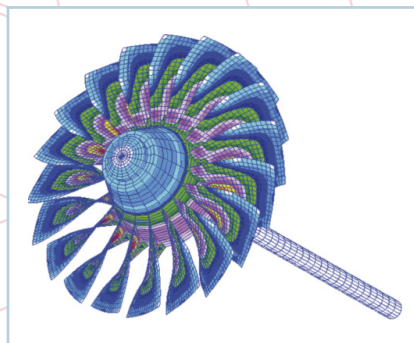
свойства из существующих банков

данных материалов систем Mvision

и Enterprise Mvision.

Patran – мощная интегрирующая

графическая среда для автоматизации





MSC Apex

Реализация перспективных технологий инженерного компьютерного моделирования и анализа

Компания MSC Software долгое время является одним из передовых разработчиков систем инженерного моделирования и анализа. Такие программные продукты, как **MSC Nastran, Marc, Dytran, Adams, Patran**, уже давно широко используются инженерами во всём мире для моделирования и анализа самых разнообразных конструкций изделий в различных отраслях промышленности.

MSC Software постоянно развивает свои технологии, воплощая в своих программных продуктах, по возможности, все передовые идеи и новейшие подходы.

Отслеживая и анализируя запросы и пожелания пользователей, специалисты компании пришли к выводу о необходимости создания принципиально новой CAE-среды, которая наилучшим образом сочетала бы весь накопленный опыт предыдущих разработок, и в то же время максимально использовала бы современные идеи и технологии. Целью разработки стало повышение эффективности труда инженера-расчетчика путем предоставления максимально комфортной рабочей среды, не перегруженной огромным числом программных инструментов, но обладающей минимально необходимым числом “умных”, интуитивно-понятных многофункциональных средств, каждое из которых позволяло бы в определенной степени автоматизировать рутинные операции.

Такой подход дает возможность существенно повысить не только производительность, но и качество работы инженера-расчетчика на одном из самых трудоемких и затратных этапов – на этапе подготовки и отладки расчетной модели. При этом, система должна оставаться простой в освоении. Это снизит затраты компании на подготовку специалистов и времени на их включение в процесс проектирования. Обладая такой системой, предприятие может существенно сократить расходы на использование инженерного программного обеспечения и повысить эффективность процесса проектирования в целом.

Результатом нескольких лет разработки такой среды стала CAE-система нового поколения, получившая название **MSC Apex**. Это совершенно новая программная платформа, являющаяся основой для реали-

зации новых возможностей в сфере CAE-моделирования и анализа, гибкая высокоэффективная компонентная среда для подготовки КЭ-моделей и их расчета методом конечных элементов (КЭ).

Каждая новая версия **MSC Apex** получает свое собственное имя – название животного, начинающееся со следующей буквы латинского алфавита. Так, первые версии имеют имена Arctic Wolf, Black Marlin, Cheetah, Diamond Python, Eagle, Fossa.

Состав компонентов **MSC Apex** расширяется от версии к версии. Для актуальной на момент выхода статьи версии **MSC Apex – Fossa** – доступны два модуля: **Modeler** и **Structure**.

MSC Apex Modeler

Основной многофункциональный модуль, предназначенный для эффективной работы с геометрическими моделями, полученными из CAD-систем, их доработки, упрощения для нужд CAE-анализа и, одновременно, для генерации конечно-элементной сетки.

MSC Apex Structure

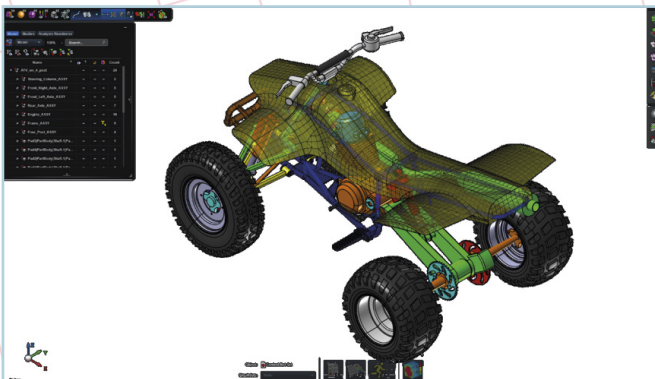
Дополнительный модуль, предоставляющий возможности подготовки модели к расчету – в частности, весь необходимый для этого набор инструментов задания граничных условий, нагрузок, свойств материалов, автоматизированной проверки готовности модели к расчету и непосредственного выполнения расчета.

Сочетание небольшого количества многофункциональных и интерактивных инструментов моделирования обеспечивает беспрецедентную эффективность освоения и использования программного комплекса.

Основные особенности MSC Apex

К числу основных особенностей системы можно отнести следующее:

- реализация технологии прямого геометрического моделирования (хорошо зарекомендовавшей себя в CAD-системах) в сочетании с синхронным перестроением КЭ-сетки (на данный момент не имеет аналогов среди конкурирующих программных комплексов);
- комплекс высокоавтоматизированных средств подготовки геометрической модели для нужд расчетчика, а также инструменты, позволяющие упростить и автоматизировать некоторые рутинные операции, характерные для этого этапа работы с моделью;
- применение технологии расчетных компонентов и сборок (Computational Parts and Assemblies™), что, по сути, является новым уровнем использования метода подконструкций (суперэлементов) для работы со сложными моделями сборок и подборок;
- интегрированные методы конечно-элементного решателя (в данном случае – **MSC Nastran**) позволяют выполнять расчеты конструкции непосредственно в среде **MSC Apex**, то есть приложение является и пре-/постпроцессором, и решателем одновременно.





Помимо этого, можно отметить такие свойства **MSC Apex**, как:

- интуитивность и простота – взаимодействие с компонентами геометрической модели осуществляется естественным и привычным для пользователя образом: перетаскиванием, достраиванием, заполнением отверстий и зазоров, масштабированием и т.д. За счет интуитивности действий над моделью освоение работы с системой происходит очень быстро: опытный пользователь CAE-систем способен изучить **MSC Apex** за 1–2 дня, а начинающий – за 3–4 дня;
- автоматизация работы с сеткой – геометрическое моделирование сопровождается синхронной генерацией КЭ-сетки. Если исходная модель уже содержала КЭ-сетку, эта сетка автоматически перестраивается, отслеживая изменения геометрии. Пользователь сразу может видеть, как его действия над геометрией влияют на качество КЭ-модели;
- минимизация затрат времени и усилий на освоение системы за счет наличия обучающих материалов. Интерактивные инструкции, примеры для пошагового выполнения, видеоуроки, система поиска нужных функций программы, а также возможности поиска по справочной системе поставляются в комплекте с системой и легко доступны из её интерфейса;
- наличие механизма подкурсорных контекстных подсказок. Инструменты графического интерфейса снабжены всплывающими подсказками и ссылками непосредственно на нужный урок или раздел справки. При выборе любого инструмента на любом шаге его использования под курсором появляется краткая подсказка о том, каких действий система требует от пользователя в данный момент.

Этап CAD-to-Mesh: подготовка расчетной модели в среде **MSC Apex**

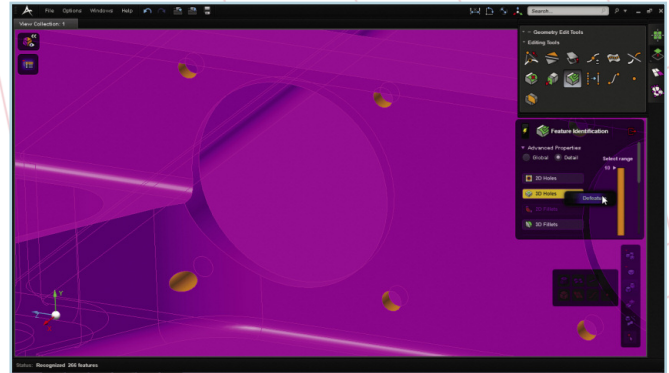
Геометрическую модель в **MSC Apex** можно импортировать из всех широко распространенных CAD-систем (NX, CATIA V4, CATIA V5, SolidWorks, Inventor, Creo и др.) в их родном формате, либо в одном из стандартных обменных форматов – таких, как STEP, IGES, ACIS, STL или Parasolid. Помимо этого, геометрические модели определенного уровня сложности можно создать и встроенными средствами геометрического моделирования, используя инструменты эскизирования из панели Geometry Create. Разумеется, возможности создания геометрии в **MSC Apex** уступают тем, которые предоставляются в CAD-среде, однако их вполне достаточно для выполнения вспомогательных построений или редактирования уже существующей геометрии после импортирования модели.

Рассмотрим типовой сценарий подготовки геометрической модели и генерации конечно-элементной сетки. При этом обратим внимание на задействованные инструменты **MSC Apex** и на способ их применения.

Шаг 1. Автоматическое удаление конструктивных элементов заданного размера

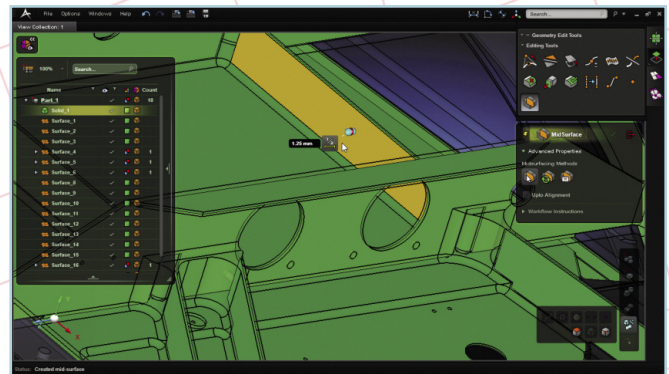
Пользователь может вручную удалять такие геометрические конструктивные элементы, как скругления, фаски, цилиндрические поверхности и отверстия, используя инструмент Defeature. Однако, когда речь идет о поиске и удалении десятков, сотен и даже тысяч экземпляров таких элементов, индивидуальный подход уже не годится. Для этого в **MSC Apex** реализован инструмент Feature Identification (из группы Defeature), позволяющий пользователю задать критерии поиска геометрических конструктивных элементов на нужной части модели.

Система автоматически распознаёт их и подсвечивает на модели в соответствии с поддиапазоном характерных размеров, которым они отвечают. Такие поддиапазоны можно интерактивно изменять и настраивать. После того как пользователь убедился в корректности выделения, он может удалить все эти конструктивные элементы одним нажатием клавиши мыши.



Шаг 2. Интерактивное построение срединных поверхностей

Для выполнения анализа конструкции, геометрическую модель, представленную в виде сплошных объемных тел (то есть твердотельную), зачастую преобразовывают в поверхностную – путем создания срединных поверхностей. Практически всегда это оказывается достаточно сложным делом из-за особенностей трехмерной геометрии, поверхностей и их стыков сложной формы. Как следствие, возникают трудности при создании срединных поверхностей на таких участках 3D-модели. Возможностей традиционных простых инструментов создания срединных поверхностей порой уже бывает недостаточно – необходим целый комплекс интеллектуальных интерактивных инструментов, и **MSC Apex** таким комплексом обладает.

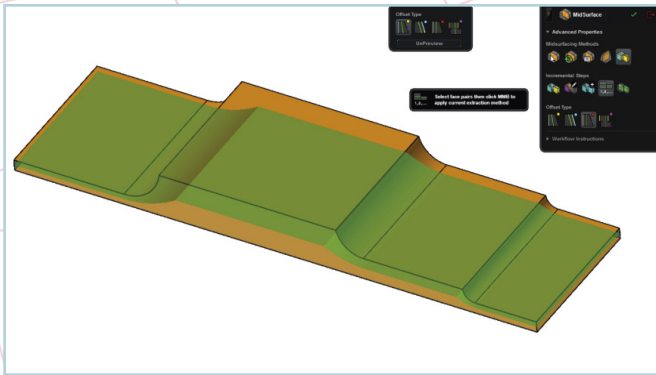


Инструменты создания срединных поверхностей включают:

- **Auto Offset** – автоматизированное создание срединных поверхностей с индивидуальным выбором позиции поверхности;
- **Constant Thickness** – массовое создание срединных поверхностей на объемных моделях с постоянной толщиной;
- **Distance Offset** – индивидуальное указание величины отступа явным образом;
- **Taper Midsurface Creation** – создание срединной поверхности на объемном ребре переменной толщины;
- **Upto Alignment** – быстрое выравнивание одной поверхности в плоскость другой поверхности;

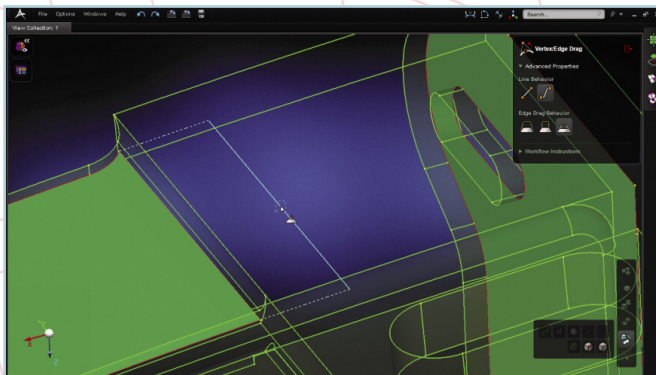


- **Incremental Midsurface** – интерактивный комплекс инструментов, использующий технологию автоматического отыскания пар граней и создания на них срединных поверхностей. При этом пользователь может вносить коррективы в конфигурацию пар, и в его распоряжении имеются средства визуализации будущей срединной поверхности уже на этапе подбора параметров.

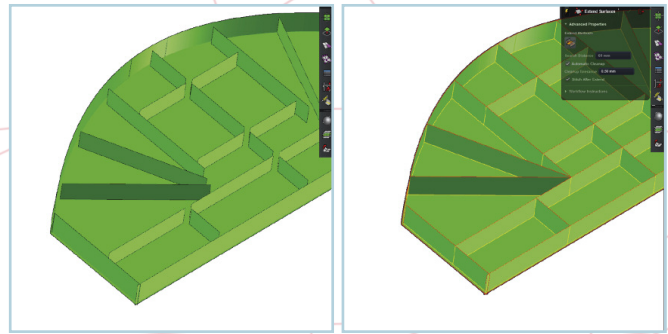


Шаг 3. Исправление поверхностей с помощью прямого редактирования геометрии

После создания набора срединных поверхностей далеко не все из них удается связать в единое оболочечное пространственное тело – между поверхностями могут оставаться зазоры. Это следствие работы простых алгоритмов создания срединных поверхностей (инструменты Incremental Midsurface фактически лишены такого недостатка, так как создают состыкованную по кромкам гладкую срединную поверхность). На этом этапе применяются средства прямого геометрического редактирования – Vertex/Edge Drag (свободное перетаскивание вершин и кромок геометрической модели с возможностью привязки к элементам геометрии) и Extend Surfaces (инструмент автоматического дотягивания срединных поверхностей до пересечения с прилегающими поверхностями с учетом требований пользователя).

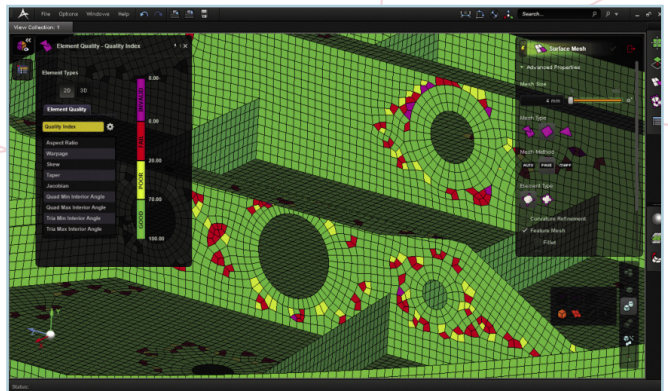


Первый инструмент применяется в случае индивидуального локального редактирования геометрии – пользователь просто перетаскивает необходимую вершину или кромку на нужное место, геометрическая модель перестраивается автоматически. Второй инструмент больше подходит для массового дотягивания кромок срединных поверхностей до пересечения. Пользователю достаточно ввести лишь один параметр – максимальный зазор, в пределах которого кромки будут стыковаться. Все остальные рутинные операции берет на себя система **MSC Apex**: отыскивает удовлетворяющие критерию кромки, дотягивает их до пересечения с соответствующей поверхностью и осуществляет корректную стыковку.



Шаг 4. Построение КЭ-сетки и отображение параметров качества сетки

На этом этапе пользователь создает КЭ-сетку на основе выбранного типа, характерного размера элемента, предварительной разметки (Mesh Seed) и с учетом особенностей геометрии. Поддерживаются все основные типы конечных элементов: одномерные, двумерные (как линейные, так и квадратичные), трехмерные (как линейные, так и квадратичные). При этом можно задавать фиксированную плотность сетки на заданных участках, а также, используя инструмент Feature Mesh Settings, правила генерации КЭ-сетки с учетом распознанных геометрических конструктивных элементов в локальных зонах. Пользователь имеет возможность предварительно назначать поддиапазоны характерных параметров таких геометрических конструктивных элементов, как скругления, фаски, цилиндры, полуцилиндры, отверстия – система будет учитывать заданные требования при создании сетки и сформирует вблизи распознанных конструктивных элементов сетку с указанными параметрами. Так, например, можно потребовать от генератора сетки, чтобы вокруг отверстий диаметром от 6 до 9 мм по периметру создавалось 14 конечных элементов правильной формы в два ряда, и при этом для отверстий диаметром от 9 до 12 мм предусмотреть другие правила.

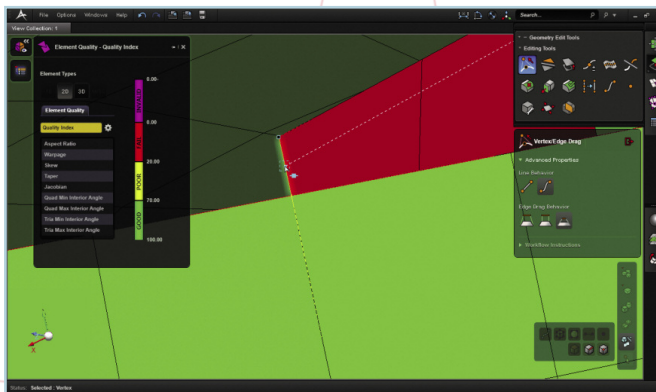


В результате применения такого подхода пользователь может сразу получить КЭ-сетку более высокого качества (особенно в зонах вероятной концентрации напряжений), что позволит существенно сократить период отладки модели.

Шаг 5. Завершение построения геометрической модели и генерация КЭ-сетки

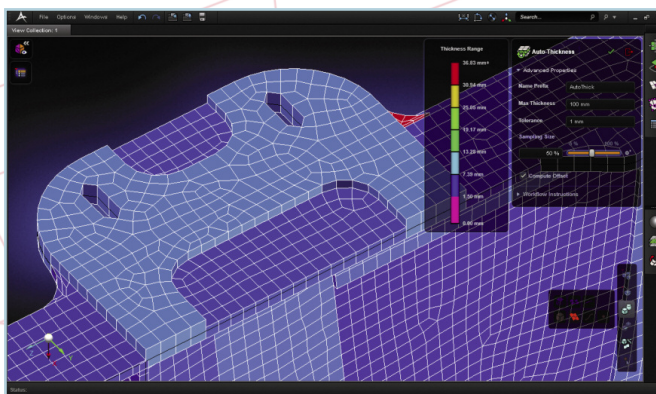
Используя удобные интерактивные инструменты прямого редактирования геометрической модели – Vertex/Edge Drag (Перетаскивание вершин/кромок), Filler (Заполнение зазоров и вырезов в поверхностях), Stitch Surfaces (Стыковка поверхностей), Add/Remove Vertex (Добавление/удаление вершин) для дальнейшего

улучшения геометрии, пользователь отлаживает модель, контролируя изменение качества КЭ-сетки после любых внесенных в геометрическую модель изменений. **MSC Apex** обладает уникальной возможностью синхронного перестроения сетки и одновременно отображения её качества при любых вносимых пользователем коррективах. Зазоры и вытянутые поверхности могут быть легко удалены из модели, при этом сетка перестраивается автоматически.



Шаг 6. Автоматическое назначение толщин и отступов

После отладки модели и контроля качества КЭ-сетки наступает этап атрибутирования модели, то есть назначения свойств материалов, конечных элементов (толщин, отступов от плоскости узлов для оболочечных элементов). Помимо возможности задавать свойства индивидуально на отдельных фрагментах модели, пользователь может автоматизировать этот процесс, применив инструмент Auto Thickness для автоматического задания толщин и отступов оболочечных элементов. При этом **MSC Apex** автоматически назначает необходимые значения с учетом исходной объемной геометрии. Если участки исходной объемной модели имеют переменную толщину, пользователь может выбрать опцию назначения переменных толщин на соответствующих участках оболочечной модели. При этом толщины на оболочечной сетке назначаются индивидуально для каждого узла и являются переменными для каждого конечного элемента.



Далее построенная конечно-элементная модель (как для отдельных деталей, так и сборки в целом) может быть экспортирована в формате входного файла **MSC Nastran** (*.bdf). Экспортированная в формате Parasolid отлаженная геометрическая модель и входной файл решателя позволяют продолжить работу в традиционной CAE-среде для завершения постановки задачи.

На сегодня существует уже немало примеров эффективного использования новой CAE-среды. Производительность

труда инженера в некоторых случаях возрастает в пять и более раз, по сравнению с применением традиционных CAE-систем. Один из таких примеров приведен ниже.

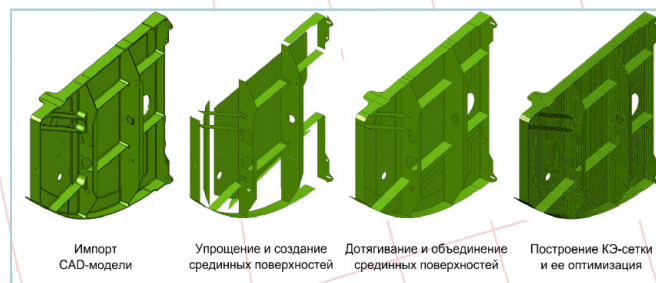


Табл. 1. Сравнение затрат времени на подготовку модели с помощью традиционных CAE-систем и **MSC Apex**

	Традиционный подход	Применение MSC Apex
Требуемый уровень опыта пользователя	Высокий	Низкий
Подготовка геометрической модели к расчетам	35 ч.	3 ч.
Генерация КЭ-сетки	3 ч.	2 ч.
Назначение свойств	12 ч.	0.5 ч.
Весь сценарий	50 ч.	5.5 ч.

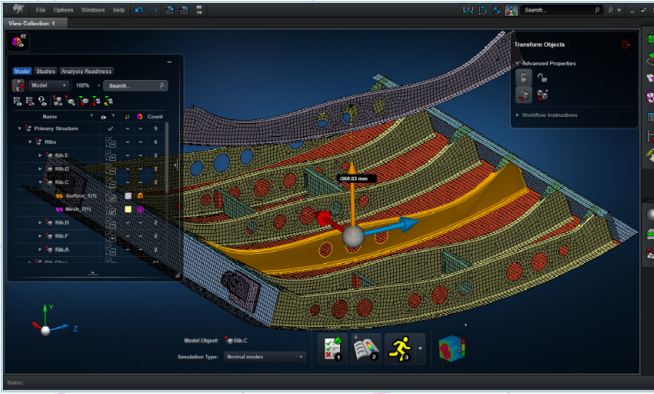
На разработку CAE-модели конструкции авиационного силового шпангоута (подготовка геометрической модели и генерация КЭ-сетки), представленной на рисунке выше, с помощью традиционного подхода было затрачено 50 часов. При использовании **MSC Apex Modeler** данный процесс занял всего 5.5 часов и потребовал гораздо меньше усилий. Этап подготовки геометрической модели и построения КЭ-сетки включал в себя четыре шага (табл. 1.):

- импорт геометрической модели из CAD-системы, чистка и “лечение” геометрии, то есть выявление проблемных участков модели (длинные вытянутые поверхности, короткие кромки, нестыковки кромок и т.п.) и их устранение;
- упрощение геометрической модели, удаление мелких геометрических подробностей, ненужных для построения сетки;
- создание срединных поверхностей и их стыковка;
- генерация КЭ-сетки, оптимизация её (с точки зрения качества), назначение толщин и отступов от плоскости узлов.

Модуль **MSC Apex Structures**

Этот дополнительный модуль расширяет функционал базового модуля **MSC Apex Modeler** возможностями проведения линейного структурного анализа конструкции и/или анализа её на собственные частоты и формы.

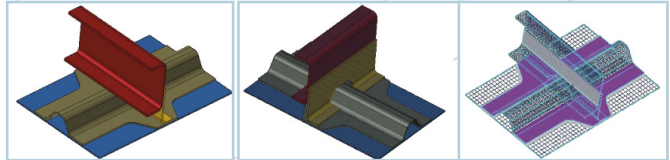
Модуль **MSC Apex Structures** предлагает как современный графический пользовательский интерфейс для задания различных сценариев расчета и обработки результатов, так и интегрированный решатель. Такой подход является уникальным, поскольку сочетает в себе технологию расчетных компонентов и сборок с высокопроизводительной средой моделирования, которая позволяет производить интерактивный и инкрементальный (поэтапный, пошаговый) анализ конструкции.



мируют “контекст решения” (Set Analysis Context). На сегодняшний момент доступны три типа решений – линейный статический анализ (Static), анализ на собственные частоты и формы колебаний (Normal Modes) и частотный отклик на гармоническое динамическое воздействие (Frequency Response). В дальнейшем число поддерживаемых типов решений будет расширено.

Поскольку расчетные компоненты и сборки являются полностью независимыми объектами, пользователь получает возможность проводить экспресс-анализ практически любых конфигураций деталей в сборке, а также предварительный анализ отдельных деталей (инкрементальная поддетальная валидация модели). Это позволяет отладить решаемую сложную задачу за гораздо меньшие сроки, чем при традиционном подходе, когда существует необходимость запуска на расчет полной модели – со всеми затратами времени и ресурсов на формирование сборки и её трансляцию в формат решателя.

Для реализации технологии расчетных компонентов и сборок в **MSC Apex** разработаны инструменты создания постоянного клеевого соединения между деталями. Пользователю достаточно выбрать детали, которые следует соединить и задать область поиска (Tolerance) зоны постоянного клеевого контакта. При этом система автоматически определяет те зоны сеток на деталях, которые будут связаны. В результате, благодаря использованию технологии независимого от сетки постоянного клеевого соединения, отпадает необходимость в выстраивании совпадающих узлов на КЭ-сетках стыкуемых деталей. Контактные зоны сетки автоматически определяются с учетом реальных толщин деталей.



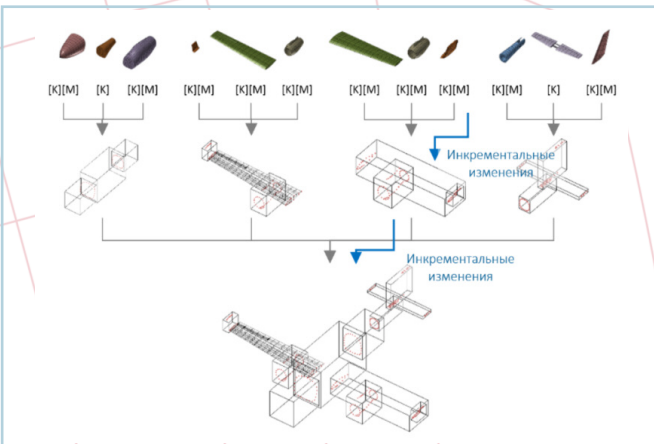
Технология расчетных компонентов и сборок видится перспективной для высокопроизводительной работы с большими сборками, а также в ситуации, когда в модель часто вносятся изменения. В этом случае достигается наибольший эффект, выражающийся в существенном сокращении затрат времени и усилий пользователя на расчет сложных сборок изделий. Новый подход позволяет проводить данный этап работ в несколько раз быстрее.

В заключение необходимо отметить, что **MSC Apex** – новый, активно развивающийся программный продукт компании MSC Software, обладает целым рядом качеств, которые на данный момент являются уникальными среди подобных CAE-систем.

Благодаря целому комплексу высокоэффективных универсальных и интуитивно понятных инструментов, автоматизирующих многие характерные рутинные операции (связанные, в первую очередь, с подготовкой геометрической модели к построению качественной КЭ-сетки и подготовкой расчетной модели), а также новейшим перспективным разработкам и ноу-хау, реализованным в продукте, достигается существенное (в несколько раз!) повышение эффективности труда инженера по сравнению с традиционными CAE-системами. Пользователю комфортно работает в среде **MSC Apex**, при этом затраты на освоение и повседневную эксплуатацию программного продукта уменьшаются. За счет этого растет эффективность процессов моделирования и анализа на предприятии в целом, что, безусловно, положительно сказывается на сроках проектирования изделий и ведет к снижению финансовых затрат на проектирование.

Интеграция современного пользовательского интерфейса с высокоэффективным решателем предоставляет пользователю уникальную возможность проводить интерактивную и инкрементальную валидацию модели, то есть отлаживать любые конфигурации частей изделия на ранних стадиях моделирования и подтверждать, что КЭ-модели готовы к проведению расчета модели всего изделия. По запросу пользователя может быть выполнена серия автоматических проверок (как на отдельных деталях, так и на всей сборке) с автоматической генерацией отчета на панели оценки готовности модели к расчету – Analysis Readiness. Реализованный подход с возможностью пошаговой валидации радикально отличается от затратного по времени и ресурсам традиционного подхода, где пре-/постпроцессор и решатель разделены.

Необходимо отметить, что модуль **MSC Apex Structures**, обладающий технологией расчетных компонентов и сборок, является решением, основанным на реальной структуре изделия, где представление поведения (жесткость, масса и демпфирование) каждой отдельной детали (компонента структуры изделия) может быть рассчитано заранее, сохранено и применено в расчете независимо. По сути, речь идет о новом уровне использования технологии суперэлементов (или подконструкций) с высоким уровнем автоматизации всех рутинных операций формирования и управления суперэлементами. Такой подход особенно эффективен, когда комбинируется с высокопроизводительной средой **MSC Apex**, где каждый последующий запуск решателя будет пересчитывать только ту часть модели, которая затронута изменениями. Мы называем такой подход инкрементальным решением. Особенно эффективна эта новая архитектура решения при выполнении множественных вариантных исследований модели.



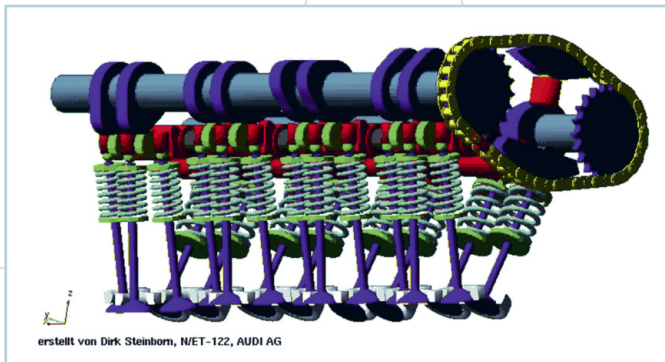
На следующем этапе пользователь выбирает тип решения задачи и конфигурацию деталей и подборок, которые будут рассчитываться. Все эти данные в совокупности формируют



Adams

Инструмент виртуального моделирования машин, механизмов и изделий в сборе

Программные продукты семейства **Adams** – наиболее широко используемое в мире программное обеспечение для виртуального моделирования сложных машин, механизмов и изделий в сборе.



Модель газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания

Программы семейства **Adams** используются для разработки и совершенствования конструкций фактически всего, что движется – от простых механических и электромеханических устройств до автомобилей и самолетов, железнодорожной техники, космических аппаратов и т.д.

Характерной особенностью (и большим достоинством) программного пакета **Adams** является эффективный и чрезвычайно дружелюбный графический интерфейс пользователя. Используя этот интерфейс, пользователь пакета **Adams** имеет возможность быстро разработать расчётную модель изделия строя ее на базе геометрических примитивов, создаваемых непосредственно в препроцессоре или на базе геометрических моделей компонентов изделия, импортируемых из CAD-систем, задать связи компонентов модели (упругие, демпфирующие, кинематические и др.), приложить нагрузки, запустить расчет и проанализировать его результаты. Интерфейс пользователя пакета **Adams** включает эффективные средства анализа результатов, которые позволяют в сжатые сроки наметить пути к совершенствованию расчётной модели и добиться максимальной близости её свойств к характеристикам реального динамического процесса, изделия-прототипа или результатам испытаний физического образца разрабатываемой машины.

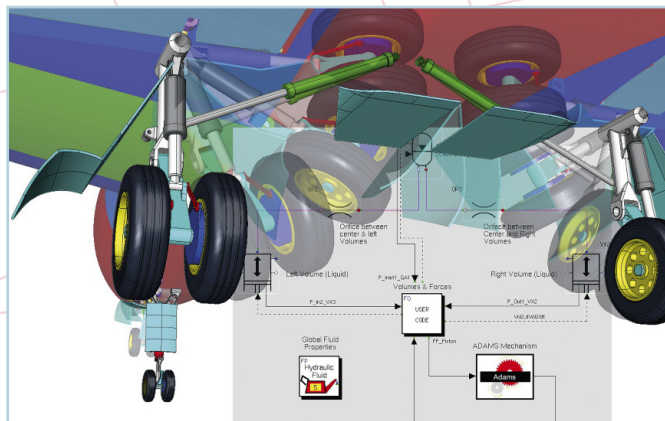
Раньше на получение сведений о характеристиках работы будущего изделия уходили недели, месяцы, а в некоторых случаях и годы, требовались огромные средства. Теперь же, используя **Adams**, можно получить представление о работе разрабатываемого изделия ещё до начала раскроя металла или отливки пластика для изготовления опытного образца. Начиная с самых ранних стадий проектирования, можно видеть, как будет работать машина и улучшать ее функционирование. Применение **Adams** позволяет исследовать десятки, сотни и даже тысячи вариантов конструкции, сравнивать и выбирать лучший, совершенствовать и совершенствовать будущее изделие, тратя на это во много раз меньше времени и средств, чем при использовании традиционных подходов.

Работая с **Adams** пользователь имеет возможность:

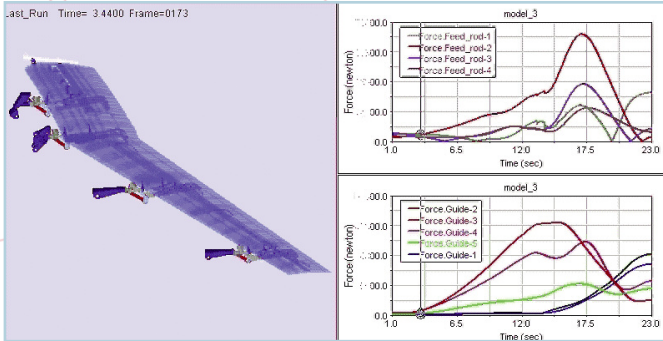
- разрабатывать расчётные модели исследуемых изделий, в максимальной степени учитывающих особенности их конструкции, включая высокую идентичность внешнего вида, что во многих случаях облегчает построение моделей, их отладку и анализ полученных результатов;
- выполнять расчёт параметров изделий, определяющих их работоспособность и точность (перемещения, скорости и ускорения компонентов изделия, действующие нагрузки, габариты пространства, необходимого для движущихся частей машины и т.п.);
- выполнять оптимизацию параметров изделия.

Отличительные особенности Adams:

- широкий набор видов кинематических связей, упругих и диссипативных звеньев с линейными и нелинейными характеристиками, нагрузок, кинематических воздействий и т.д., доступных пользователю для построения расчётной модели в максимальной степени воспроизводящей свойство реального изделия;
- лёгкость изучения и использования, так как исследование виртуального прототипа в **Adams** соответствует основным этапам работы с опытным образцом изделия (разработка – испытания – совершенствование);
- дружелюбный, интуитивно понятный интерфейс – если инженер знаком с другими программными средствами CAE, то быстро освоит работу и с **Adams**;
- эффективные средства визуализации результатов моделирования, включая анимацию и построение графиков;
- возможность параметризации расчётной модели – модификация параметров приводит к автоматическому изменению свойств модели и/или её конфигурации, параметры модели могут быть связаны функциональными зависимостями и т.п.;
- совместимость с программными средствами для моделирования систем автоматического регулирования и управления Easy5 и MATLAB/Simulink, с пользовательскими программами, что обеспечивает моделирование и исследование сложных гетерогенных динамических систем;



Комплексная модель шасси самолёта и системы управления им



Моделирование работы механизации крыла с учётом податливости упругих компонентов

- поддержка пакетом **Adams** работу через интерфейс взаимосвязи FMI, что позволяет моделировать мехатронную систему с использованием моделей управления из обширного перечня сторонних программных инструментов, поддерживающих этот открытый интерфейс.

Программный пакет **Adams** имеет модульную структуру, включающую:

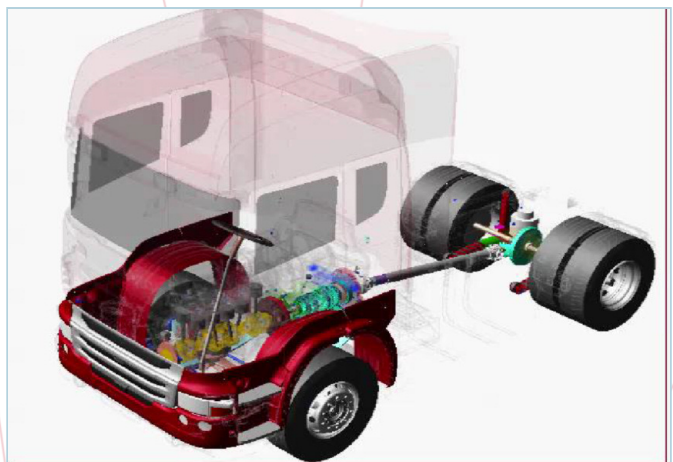
- Adams View – пре- и постпроцессор;
- Adams Solver – решатель;
- Adams Solver SMP – возможность запуска задачи в многопроцессорном режиме на одном компьютере (при использовании решателя C++ Solver);
- Adams Linear – модуль, обеспечивающий линеаризацию расчётной модели и расчёт параметров собственных колебаний;
- Adams PostProcessor – постпроцессор;
- Adams CAD Translators – модуль, обеспечивающий импорт геометрических моделей CAD-систем CATIA V4 и V5, Inventor, Pro/ENGINEER, SolidWorks, NX, а также геометрических моделей в стандартных форматах Parasolid, STEP, VDA-FS, ACIS и IGES;
- Adams Insight – модуль, позволяющий осуществлять планирование эксперимента и обработку результатов расчета и экспериментальных данных;
- Adams Controls – модуль, обеспечивающий интеграцию расчётных моделей системы управления (модели систем Easy5 и MATLAB/Simulink) и объекта управления (модели Adams);
- Adams Flex – модуль, обеспечивающий включение моделей упругих компонентов (импортируемых из конечно-элементных программных пакетов) в расчётную модель Adams;
- Adams View Flex – модуль, обеспечивающий генерацию модели упругого компонента изделия без использования внешнего конечно-элементного программного пакета с целью включения этой модели в расчётную модель Adams (с помощью модуля Adams Flex);
- Adams MaxFlex – модуль, обеспечивающий включение моделей нелинейных упругих компонентов в расчётную модель Adams;
- Adams Durability – модуль, позволяющий визуализировать напряжённо-деформированное состояние (НДС) упругих компонентов расчётной модели и экспортировать данные для расчета НДС в программном пакете MSC Nastran и долговечности в программном пакете MSC Fatigue;
- Adams/Vibration – модуль, позволяющий проводить расчет отклика расчётной модели на полигармоническое воздействие.

- Adams/ACSI – интерфейс взаимодействия с внешними решателями. Используя эту возможность, модель механической системы можно дополнить упругими компонентами из конечно-элементной системы Marc и проводить совместное моделирование на базе решателей Adams+Marc. Используя интерфейс ACSI возможно связать модель механизма Adams с моделями сыпучих веществ (грунты, порошки и т.п.), при этом механика сыпучего вещества в процессе совместной работы решателей считается в программном комплексе EDEM.

Наряду с основными (базовыми) модулями программного пакета **Adams** (Adams View и Adams/Solver, их использование обязательно при разработке и исследовании любой модели) необходимо особо выделить модули **Adams Flex**, **Adams MaxFlex** и **Adams Durability**. При современных тенденциях в разработке машин и механизмов, направленных на всемерное снижение массы изделий и повышение их функциональности, в подавляющем большинстве случаев при выполнении расчётов необходим учёт податливости упругих компонентов разрабатываемых изделий. Программный пакет **Adams** предоставляет такую возможность: конечно-элементная модель упругого компонента с применением соответствующего решателя (например, **MSC Nastran**) экспортируется в формат модуля Adams Flex и с помощью него включается в расчётную модель **Adams**. Использование такой модели позволяет не только учесть влияние податливости звеньев на динамику механизма, но также вычислить (с помощью модуля Adams Durability) и отобразить на экране компьютера непосредственно в среде **Adams** общий уровень напряжений в упругом компоненте. Результаты расчёта деформаций упругого компонента в **Adams** могут быть экспортированы в конечно-элементную систему (например, в MSC Nastran) для *точного* определения уровня напряжений с учётом всех особенностей его конфигурации. В дальнейшем эти данные могут быть использованы также для анализа долговечности детали с помощью системы MSC Fatigue. Такая технология обеспечивает точное моделирование современных, оптимизированных по массе, высокодинамичных механизмов.

Модуль **Adams MaxFlex** позволяет учесть нелинейные характеристики упругих звеньев, в том числе геометрическую (деформации) и физическую (материал) нелинейности в процессе работы механизма в Adams благодаря встроенному нелинейному конечно-элементному решателю.

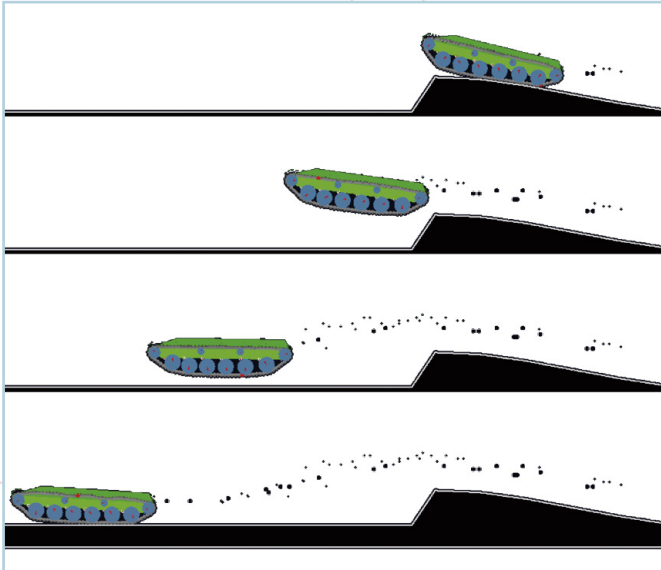
Из **Adams** в **MSC Nastran** можно экспортировать не только результаты деформации упругих компонентов, но также и результаты перемещения “твёрдых” частей расчётной модели



Параметризованная расчётная модель автомобиля с детализированной трансмиссией в **Adams Car**



под действием преднагрузки (например, результаты расчёта «осадки» подвески автомобиля под действием силы тяжести). Заменяя в полученной в результате экспорта из **Adams** модели **MSC Nastran** одну или несколько «твёрдых» частей на конечно-элементные модели, можно выполнить расчёт



Adams Tracked Vehicle: моделирование динамического воздействия на гусеничную машину («летающий танк»)

собственных частот и форм колебаний, а также передаточных функций изделия с учётом податливости упругих компонентов. Такой подход позволяет определять частотные характеристики расчётной модели в конфигурации, соответствующей действию преднагрузки и, соответственно, экономить время на моделирование в конечно-элементном пакете процесса преднагрузки изделия и, в тоже время, добиваться высокой точности получаемых результатов.

Наряду с развитием универсальных возможностей, разработчиками **Adams** созданы **проблемно-ориентированные модули**, обеспечивающие точное и быстрое моделирование таких сложнейших объектов как:

- зубчатые, ремённые, цепные, тросовые передачи, подшипники и электромоторы (пакет **Adams Machinery**, включающий модули Adams Gear, Adams Belt, Adams Chain, Adams Cables, Adams Bearing, Adams Electric Motor);
- автомобили (пакет **Adams Car**, включающий модули Adams Car Plugin, Adams 3D Road, Adams Tire Handling, Adams Car Suspension, Adams SmartDriver, Adams Vehicle Solver, Adams Chassis, Adams Car Ride, Adams Driveline, Adams Tire Ftire);
- гусеничная техника (пакет **Adams Tracked Vehicle – Adams/ATV**).

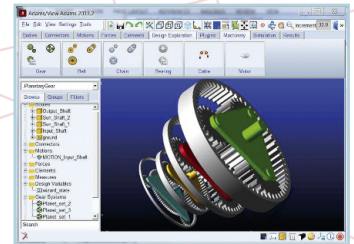
Проблемно-ориентированные модули включают параметризованные виртуальные модели узлов и изделий соответствующих видов машин и механизмов и инструменты их создания: модели шестерёнчатых редукторов, модели ремённых и цепных передач (**Adams Machinery**), модели подвески и трансмиссии автомобиля, модели шин и рельефа дороги (**Adams Car**), параметризованную модель гусеничного движителя (**Adams/ATV**). В сочетании с другими модулями пакета **Adams**, проблемно-ориентированные модули позволяют создавать полнофункциональные модели автомобилей и гусеничной техники, включающие систему управления, упругие тела и многое другое. Используя построитель параметризованных моделей (шаблонов или темплейтов), опыт-

ный пользователь может подготовить высокоэффективный инструмент для автоматизированного исследования и оптимизации параметров разрабатываемого изделия. Использование темплейтов, подготовленных высококвалифицированным специалистом, обеспечивает получение в короткие сроки надёжных результатов инженером-расчётчиком средней квалификации. На базе комплекса **Adams/Car** компании-пользователи разрабатывают свои специализированные приложения для **Adams** направленные на решение более узкого круга задач, таких как моделирование динамики спортивных и гоночных автомобилей и мотоциклов (**VI-SportsCar**, **VI-Motorcycle**), рельсового подвижного состава (**VI-Rail**), специализированное приложение (**VI-Aircraft**) для моделирования и расчёта динамики опор шасси летательных аппаратов.

В **Adams Machinery** входят следующие модули:

Gear – модуль зубчатых передач.

Данный модуль предназначен для исследования влияния на характеристики механической системы параметров шестерёнчатых передач, таких как передаточные числа, люфт, угол наклона косозубых шестерен и т.д.

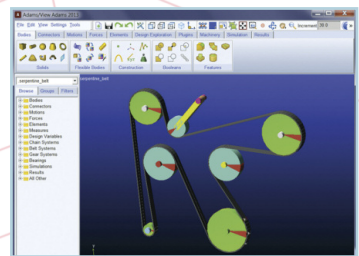


Поддерживаются различные типы шестерен и шестерёнчатых передач, таких как прямозубые, косозубые, конические, гипоидные и червячные передачи, передачи шестерня – рейка, доступен пошаговый сценарий для создания планетарного редуктора и т.д.

Детальный метод позволяет учесть контактное взаимодействие в соединении, включая трение а также смоделировать люфт.

Belt – модуль ремённых передач.

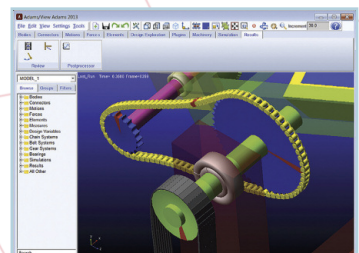
Данный модуль предназначен для моделирования поведения систем шкив-ремень. При этом, интересующие атрибуты это: передаточные отношения, натяжение и оценка нагружения деталей системы, податливость и общая динамика ремённых передач.



Возможно проведение исследований поведения систем шкив-ремень для целого набора различных типов ремней, включая такие типы, как: гладкий, поликлиновый – регулируемый, трапециевидный – зубчатый и т.д. Кроме того, шкивы могут размещаться со смещением, то есть находиться не в одной плоскости. С помощью пошаговых сценариев можно добавлять в систему натяжители различных типов, а так же приложить нагрузку в виде силы или движения к любому из шкивов.

Chain – модуль цепных передач.

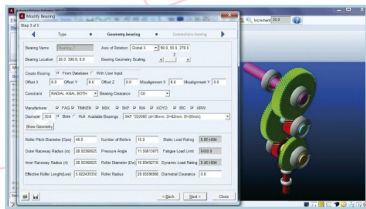
Данный модуль предназначен для исследования параметров систем с цепными передачами, учитывающая передаточное отношение, натяжение цепи, контактную силу и общую динамику системы цепь – шестерни (звездочки). Поддерживаются как роликовая, так и зубча-



тая (бесшумная) цепи. Может быть учтена податливость элементов цепи. Поддерживаются различные варианты направляющих: осевая, поступательно – подвижная или фиксированная. Есть возможность смоделировать не параллельность валов звёздочек – исследование трёхмерной цепной системы и т.д.

Bearing – модуль включения в модель параметризованных подшипников.

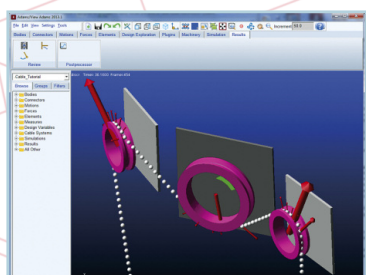
Данный модуль предоставляет доступ к параметризованной библиотеке реальных типовых подшипников ведущих мировых производителей. Этот модуль позволяет



рассчитать влияние конструкции и параметров подшипников на общие характеристики системы, включая точное представление жесткости подшипника, чувствительной к размерам, отступам, несоосностям и зазорам. Инженеры могут выполнить базовую оценку долговечности и срока эксплуатации подшипника в системе на основе стандартов, которые учитывают нагружение подшипника, смазку и скорость вращения вала. Обширная библиотека параметров подшипников – более 24000 наименований – от ведущих мировых производителей подшипников. Также возможен ввод пользовательских параметров подшипников напрямую.

Cables – модуль тросовых систем.

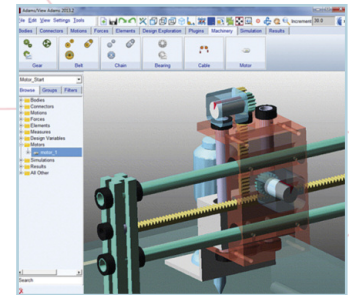
Данный модуль предназначен для моделирования систем с различного рода тросовыми приводами. С его помощью за короткое время (относительно прямого подхода с детальным моделированием) строится виртуальная модель тросовой системы в простой постановке – создание кинематических связей шкивов системы, при этом массово-инерционные характеристики тросов не учитываются. А также в точной постановке – детальное моделирование троса с учётом особенностей его взаимодействия со шкивами. Использование модуля Cables позволяет с высокой точностью анализировать вибрацию тросов, их напряжения, а так же получать историю нагружения шкивов для последующей оценки долговечности. Модуль позволяет исследовать влияние проскальзывания троса на общую динамику системы. При использовании инструментов для моделирования тросовых систем инженер получает широкие возможности по работе с моделью, а именно быстрое изменение геометрических, контактных параметров шкивов, параметров материалов, вариантов преднапряженного состояния для получения более точных результатов расчёта поведения исследуемого механизма и т.д.



Electric motor – модуль электромоторов.

Модуль Electric motor позволяет встраивать в создаваемую виртуальную систему любое количество моде-

лей электромоторов. В отличие от традиционных способов задания подобных компонентов в Adams, расширение Machinery Electric motor позволяет смоделировать электромотор детально и в то же время проще и быстрее, чем кинематическими связями и генераторами движения или заведомо сложными пользовательскими функциями и подпрограммами.

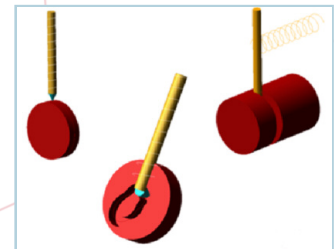


Моментные характеристики электродвигателя можно задавать напрямую (вводом табличных данных), а также использовать аналитические модели электродвигателей. Возможно использование параметров электродвигателей получаемых в пакетах системного моделирования (EASY5, Simulink) и проведение совместного решения. С помощью модуля Electric motor выполняется оценка необходимого размера мотора и его точного расположения, исследуется влияние выходного момента мотора на поведение системы в целом. Применение данного модуля позволяет за короткое время внедрять в систему реалистичную модель электродвигателя и проводить её детальные исследования.

Cam – модуль кулачковых механизмов

Модуль Adams/Machinery

Cam предоставляет легкий в использовании инструмент для построения кулачковых систем. Эти системы могут включать в себя различные комбинации форм кулачков, движений, схем и геометрии толкателя. С помощью данного модуля для создания кулачковых механизмов требуется существенно меньше времени. При использовании Cam module значительно легче внести изменения в параметры моделируемого механизма и провести оптимизацию функции движения, например, для уменьшения или увеличения ускорения.



Основой **Adams** являются системы дифференциальных уравнений, описывающих динамику исследуемого объекта. Разработчики **Adams** постоянно прилагают усилия к повышению эффективности математической базы программного пакета. Применение устойчивых методов решения “жестких” систем дифференциальных уравнений обеспечивает получение необходимых результатов с минимальными затратами времени, компьютерных ресурсов и с большой надёжностью. В последних версиях программного пакета **Adams** применяются усовершенствованные алгоритмы моделирования контактного взаимодействия тел, существенно повышающие скорость счёта (“в несколько раз” в случае “контактно насыщенных” моделей), а также новые решатели, обеспечивающие значительное сокращение затрат времени на выполнение расчёта.

Программный пакет **Adams** работает как на рабочих станциях, так и на персональных компьютерах.



Easy5

Система моделирования и расчета гетерогенных технических систем и устройств

Специализированный продукт для моделирования сложных технических систем и устройств на схемном уровне

Easy5 предоставляет возможности для моделирования широкого круга сложных технических систем и устройств: цифровых и аналоговых систем управления, гидроприводов, пневматических, механических и электрических устройств. Моделирование в **Easy5** происходит на системном уровне посредством использования необходимых функциональных блоков, соединяемых между собой связями.

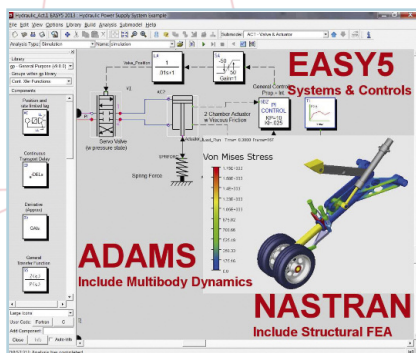
Easy5 легко интегрируется с **Adams**, что позволяет создавать полноценные виртуальные прототипы механических систем (с учетом податливости как всего механизма, так и отдельных его частей) с системой управления: в **Adams** моделируется механическая часть – механизмы, изделия в целом (например, автомобиль, гусеничная техника, робот, конвейер и т.п.), а в **Easy5** – система управления, гидравлика, пневматика, электрические системы и т.д. Создание полноценных виртуальных прототипов позволяет провести виртуальные испытания разрабатываемого изделия еще на ранних стадиях проектирования и выявить недостатки как механической системы, так и системы управления и принять необходимые решения до изготовления реального прототипа будущего изделия.

Таким образом, система **Easy5** является одной из самых уникальных и важнейших компонент современных технологий Виртуальной Разработки Изделий (Virtual Product Development – VPD).

Программный пакет **Easy5** включает большое количество готовых математических моделей в виде отдельных функциональных блоков (сумматоров, делителей, фильтров, интеграторов, клапанов, двигателей, теплообменников, редукторов, муфт сцепления и др.). Также пользователь имеет возможность создавать собственные функциональные блоки с помощью языков C или Fortran.

Пользователь **Easy5** – специалист в конкретной области техники соединяет эти функциональные блоки, моделируя изделие на уровне «устройства», и оптимизирует параметры разрабатываемых систем изделия.

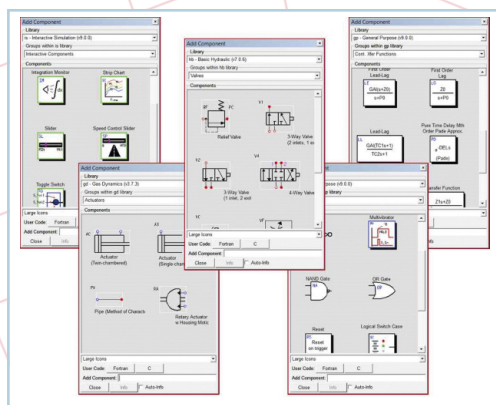
В **Easy5** имеется возможность экспортировать модель (например, модель системы управления) в модель **Adams**



или, наоборот, импортировать модель механизма из **Adams** в **Easy5**, а также проводить совместный расчёт, при котором каждая система будет считать свою подсистему, а управлять процессом будет **Easy5**. Кроме этого в модели **Easy5** можно встраивать (или экспортировать из **Easy5**) модели FMU с помощью интерфейса взаимодействия программных средств FMI interface. **Easy5** включает также модуль **Matrix Algebra Tool**, предназначенный для выполнения операций над матрицами (может использоваться для подготовки данных, анализа результатов и т.п.).

В состав **Easy5** входят библиотеки компонентов для многодисциплинарного анализа, включая специализированные наборы для аэрокосмической, автомобильной и других отраслей промышленности:

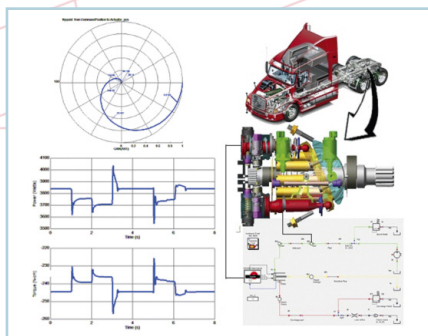
- Hydraulic Basic Library – библиотека компонентов для моделирования гидромеханических систем;
- Thermal Hydraulic Advanced Library – расширенная библиотека компонентов для моделирования гидромеханических систем с учетом температур;
- Gas Dynamics/Pneumatic Library – библиотека компонентов, включающих расчётные модели, учитывающие сжимаемость газа;
- Multiphase Fluid Library – библиотека компонентов устройств, основанных на фазовых превращениях.
- Electrical Systems Library – библиотека компонентов для моделирования электрических систем



Easy5 включает модуль **Library Developer Package**, позволяющий пользователям создавать свои собственные библиотеки компонентов.

На базе перечисленных возможностей системы **Easy5**, в интеграции с другими системами **MSC**, создаются полные функциональные модели самолетов, автомобилей, танков, экскаваторов, промышленного и производственного оборудования, приборов и т.д. и исследуется их работа при выполнении различных задач и в различных условиях эксплуатации, находя оптимальные решения на основе точного комплексного компьютерного моделирования.

Среди пользователей **Easy5** – ведущие мировые компании – разработчики и производители в авиационной, ракетно-космической, автомобильной, электронной, энергетической и других отраслях промышленности.

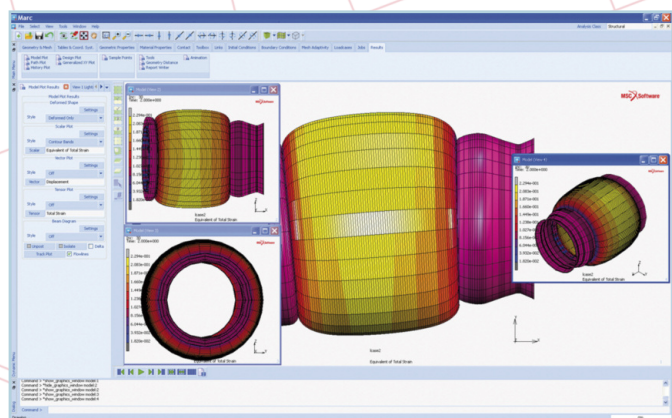




Marc

Комплексный нелинейный анализ конструкций, моделирование технологических процессов

Marc – система компьютерного инженерного анализа нелинейных процессов, основанная на методе конечных элементов. **Marc** позволяет моделировать явления деформации тел, образования и роста трещин, разрушения композиционных материалов, теплопередачи, фазовых превращений, термообработки, воздействия высоких температур на композиционные материалы, износа за счёт трения, а также явлений электростатики, магнитостатики, Джоулева тепла, акустики, пьезоэлектрические эффекты, течения вязких жидкостей и др. в полностью нелинейной



Программный комплекс Marc Mentat

постановке. Все вычисления могут производиться с учётом больших перемещений и деформаций, нелинейных свойств материала, трёхмерного контактного взаимодействия, больших поперечных смещений в контакте с вычислением сил трения и расчётом тепловыделения, и т.д. Большое количество связанных видов анализа – теплопрочностной, тепло-электро-прочность и др. – позволяют применять комплексные подходы для всестороннего и точного моделирования функционирования изделий и технологических процессов с возможностью последующего принятия оптимальных конструкторских решений.

Решение нелинейных задач осуществляется с применением итерационных методов. Основным является метод Ньютона-Рафсона и его модификации. Для моделирования процессов падения несущей способности конструкций (потеря устойчивости, выраженные пластические течения, и т.п.) используется группа методов длины дуги (Arc-length). Шаг приращения нагрузки назначается вручную или автоматически на основе скорости сходимости или по физическим критериям. При плохой сходимости с уменьшением шага до предельных величин применяются методы стабилизации решения.

Настройки **Marc** позволяют гибко управлять факторами нелинейности в расчёте, включать и выключать учёт геометрической нелинейности и контакта, а также отдельных опций, например, следящих сил.

Библиотека конечных элементов **Marc** содержит около 200 элементов различных типов для проведения прочностного, теплового, электростатического, магнитостатического, электромагнитного, акустического, и других видов анализа, а также для решения задач механики жидкости, задач диффузии и т.д. Имеется возможность создавать пользовательские конечные элементы.

Многоточечные связи в **Marc** работают в геометрически нелинейной постановке, могут совершать большие перемещения и вращения. Армирующие элементы широко используются при моделировании шин, железобетона и других армированных материалов в двумерной и трёхмерной постановках.

Во многих случаях решение задачи в двумерной постановке ускоряет счёт и даёт возможность поисковых исследований и вариантных расчётов. Реализованные в **Marc** элементы с плоско-напряжённой, плоско-деформированной и осесимметричной постановками широко применяются в практике проведения расчётов.

В **Marc** реализованы модели изотропных и анизотропных, линейных и нелинейных материалов с различными математическими моделями описания физических свойств.

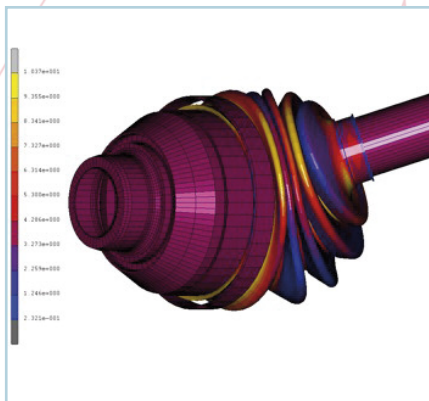
Композиционные материалы в **Marc** могут рассматриваться как в оболочечной, так и в объёмной постановке и могут быть как слоистыми, так и смешевыми. Прочность композиционных материалов оценивается на основе индексов разрушения, вычисляемых по наиболее известным теориям разрушения. Расчёт может производиться в геометрически и физически нелинейной постановке с учётом контактного взаимодействия деталей. Возможно моделирование прогрессирующего разрушения слоистых композиционных материалов с поэтапной деградацией свойств вплоть до полной деактивации разрушенных конечных элементов.

Учёт характеристик матрицы и наполнителя, локальной микроструктуры и прогрессирующего разрушения возможен при совместном применении **Marc** с программным комплексом **Digitat**, предназначенным для моделирования нелинейных свойств материалов на микроуровне.

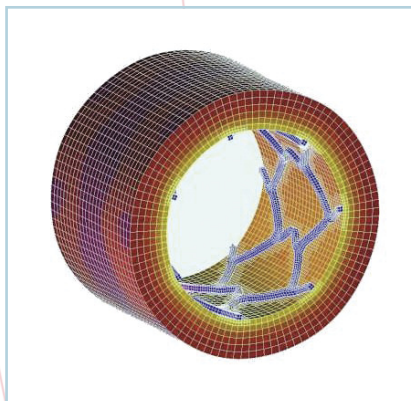
Гиперупругие материалы моделируются на базе современных теорий математического описания их свойств, таких как обобщённая модель Муни и её упрощённые варианты, модель Одена, Арруда-Бойс, Джент, и др. Вычисление коэффициентов для всех моделей осуществляется на основе экспериментальных данных с применением пре-процессоров **Patran** или **Mentat**. В процессе подбора коэффициентов пользователю демонстрируются экспериментальные и аналитические диаграммы испытаний материала для визуального контроля точности, а также выдаётся числовое значение погрешности подбора свойств. Допущение о несжимаемости, обычно принимаемое для гиперупругих материалов, корректно моделируется с помощью конечных элементов с формулировкой Германа.

Пластичные материалы моделируются в полной постановке, с возможным дополнительным учётом анизо-

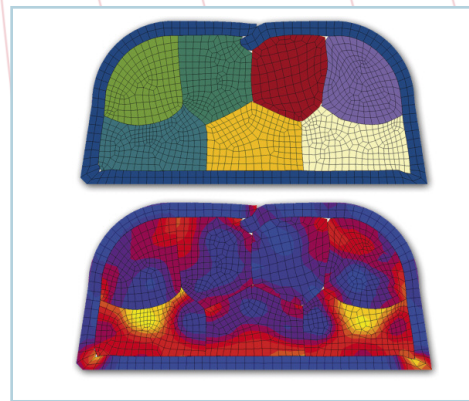




Моделирование конструкции из эластомеров



Моделирование установки стента в кровеносном сосуде



Моделирование напряжённо-деформированного состояния при контактном взаимодействии

тропии, законов упрочнения, температурных зависимостей свойств, тепловыделения при деформировании, вязкоупругости и вязкопластичности, ползучести, фазовых превращений, размера зерна. Возможно определение зон разрушения на основе диаграмм предельного разрушения. В случаях большого формоизменения применяется автоматическое перестроение конечно-элементной сетки.

Поддерживаются материалы с памятью формы, сыпучие материалы, специализированные виды свойств материала для электростатического, магнитостатического, пьезоэлектрического и других видов анализа.

В системе **Marc** реализованы мощные средства анализа механики разрушения: прогнозирование скорости роста трещин на основе расчёта J-интеграла и коэффициентов интенсивности напряжений, прогрессирующее разрушение и расслаивание материалов, накопление повреждений в эластомерах, и т.д. Моделирование возникновения и роста трещин возможно в полной постановке с определением направления роста трещин, скорости роста, автоматическим перестроением сетки в зоне вершины трещины. Трещины в модели могут возникать и расти, разделяя конечные элементы на части, разъединя элементы по узлам, или разрывая связи контактного взаимодействия. Пользователь может использовать как стандартные, так и собственные алгоритмы задания силовых характеристик раскрытия трещин. Возможно проведение расчета на многоцикловую усталость с учетом роста трещины, напрямую просчитанного на нескольких циклах нагружения.

Решатель **Marc** поддерживает большое количество граничных условий: закрепления, точечные и распределённые силы и моменты, контактные граничные условия (жёсткие и деформируемые контактные тела, самоконтакт, контакт балок, контакт пластин, контактные тела для моделирования симметрии и пр.), температурные граничные условия, точечные и распределённые тепловые потоки, тепловыделение от абляции, пиролиза, бомбардировки частицами поверхности тела, диффузии; акустические нагрузки, электростатические, магнитостатические, электромагнитные, граничные условия для организации глобально-локального анализа, и т.д.

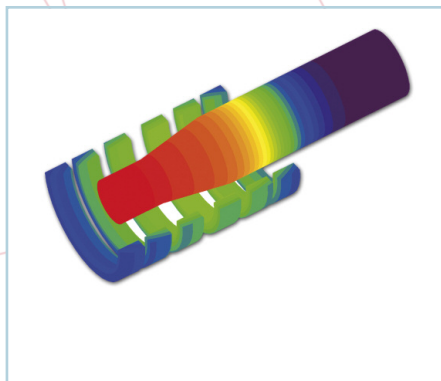
Основные виды анализа в Marc:

- статический анализ деформирования конструкций с учетом геометрической и физической нелинейности, нелинейных граничных условий, анализ потери устойчивости, моделирование явлений ползучести, вязкоупругости, сверхпластичности, механики грунтов и др.;

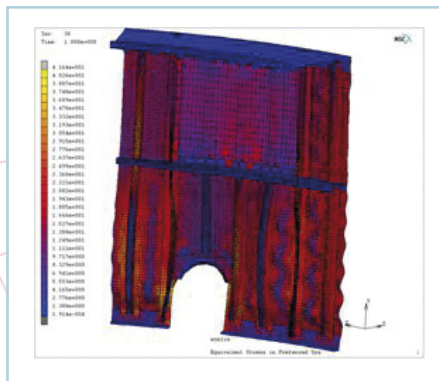
- динамический анализ: анализ переходных процессов в полностью нелинейной постановке, расчет собственных форм и частот, частотный отклик, спектральный отклик, случайные динамические воздействия и др.;
- расчёт установившихся и переходных процессов теплопередачи с учётом теплопроводности, конвекции, излучения, начальных и граничных условий различных типов;
- моделирование термообработки металлов;
- моделирование работы абляционной защиты с учётом явлений абляции, пиролиза, бомбардировки частицами, а также уноса вещества с поверхности деталей;
- связанный тепло-прочностной анализ с учётом механического и теплового контактного взаимодействия, тепловыделения в процессе трения и пластического деформирования;
- моделирование процессов сварки в связанной тепло-прочностной постановке;
- анализ динамической устойчивости механических тормозных систем колодка-диск в связанной тепло-прочностной постановке;
- моделирование явления ползучести;
- расчёт устойчивости конструкций в линейной и нелинейной постановках: определение критических нагрузок и форм потери устойчивости;
- исследование поведения конструкции после потери устойчивости её отдельных элементов;
- автоматический подбор временной зависимости давления при моделировании пневмотермической формовки металлов в состоянии сверхпластичности;
- анализ установившегося качения осесимметричных конструкций (таких, как автомобильная шина);
- глобально-локальный анализ (решение задачи на грубой сетке с последующим расчетом локальных ответственных зон с уточнением);
- и т.д.

Также поддерживаются другие виды анализа: анализ чувствительности и оптимизация; решение задач механики жидкостей; моделирование работы гидродинамических подшипников; электростатический, магнитостатический, электромагнитный, пьезоэлектрический анализ; акустика и вибро-акустика; анализ процессов диффузии. Связанные виды анализа: электростатический-механический, магнитостатический-тепловой-

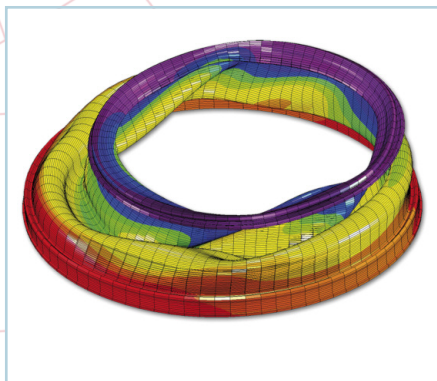




Решение задачи индукционного нагрева



Решение связанной задачи тепло-прочность



Деформирование эластомерной конструкции

механический; магнитодинамический-тепловой-механический; диффузионный-тепловой или механический; механика жидкости – тепловой – механический.

Моделирование технологических процессов – одна из основных специализаций **Marc**. Пользователи **Marc** решают широкий комплекс технологических задач для обеспечения выпуска деталей с заданными геометрическими характеристиками и свойствами материалов. Одновременно с этим моделирование в **Marc** позволяет существенно уменьшить объём дорогостоящих работ по доводке инструмента, подобрать выгодное количество технологических переходов, повысить стойкость инструмента, применить кузнечно-прессовое и прокатное оборудование оптимальной мощности и более простой конструкции, выбрать режимы термообработки. При серийном производстве продукции отладка даже одной технологической операции может полностью окупить приобретение и внедрение **Marc**.

Задачи с большим формоизменением деталей представляют особую сложность в связи с ухудшением формы конечных элементов и связанной с этим деградацией точности решения. **Marc** предлагает набор мощных алгоритмов автоматического локального и глобального перестроения сеток из оболочечных и объёмных элементов различных топологий и на основе

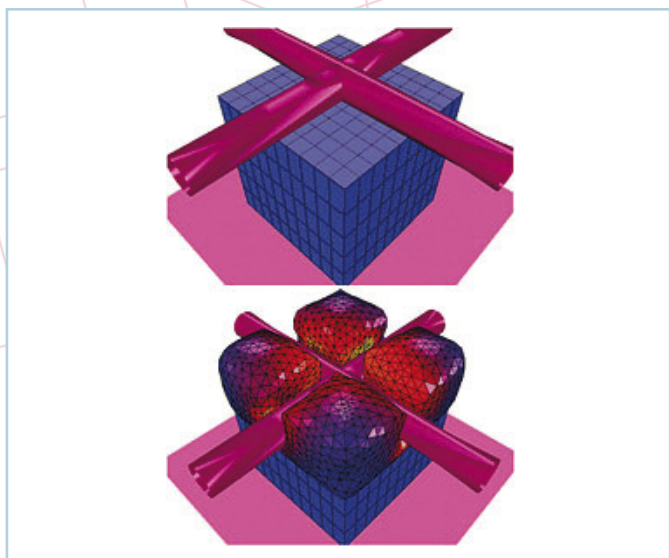
различных критериев. После перестроения сетки текущее деформированное состояние детали сохраняется, поле перемещений и НДС переносится на новую сетку улучшенного качества.

Расширение алгоритмов решения задач в **Marc** осуществляется с помощью подпрограмм пользователя, которые можно создавать на языке программирования Fortran. Подпрограммы позволяют заменять стандартные алгоритмы вычислений в **Marc** на алгоритмы пользователя. Имеется возможность модифицировать все этапы решения задачи, включая вычисление свойств материалов и элементов, приращение нагрузок, контактное взаимодействие, формирование матриц, итерационные методы решения, вычисление результатов, и др. Удобные интерфейсы для автоматизированной компиляции программ пользователя, включения их в состав **Marc** и проведения вычислений встроены в пре-постпроцессоры **Mentat** и **Patran**.

Совместно с **Marc** разрабатывается графическая среда и пре-постпроцессор **Mentat**, служащий специализированным полнофункциональным инструментом для создания расчётных моделей и обработки результатов счёта в **Marc**. Активное совершенствование **Mentat** вывело эту систему в ряд наиболее удобных и функциональных среди аналогичных продуктов в отрасли. Мощные средства импорта и экспорта геометрических и конечно-элементных моделей, генераторы сеток, интерфейсы задания свойств и нагрузок, полный набор настроек анализа и высокопроизводительных вычислений в **Marc**, а также развитые инструменты обработки результатов и программирование на языке Python – всё это сделало **Mentat** основным рабочим инструментом для многих инженеров.

Marc и **Mentat** поставляются для операционных систем семейства Windows и Linux. Все этапы решения задач в **Marc** могут выполняться в параллельном режиме на многоядерных или многопроцессорных компьютерах. Современные матричные решатели в составе **Marc**, наряду с модулем кластерных вычислений, позволяют в разы ускорить проведение расчётов.

Marc и **Mentat** поставляются с полным комплектом документации, как в виде статей по всем аспектам инженерного анализа в **Marc**, так и в виде примеров и пошаговых инструкций. Кроме этого поставляются четыре учебных курса с примерами и большой набор входных файлов **Marc** и программ расширения **Marc** и **Mentat**, готовых к применению.



Моделирование технологического процесса горячей штамповки



Dytran

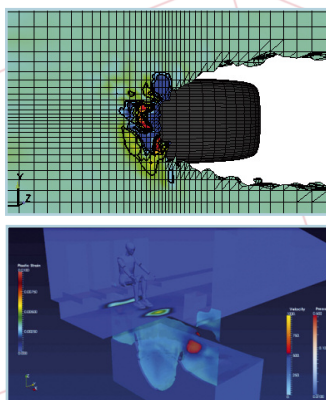
Система анализа существенно нелинейных быстропротекающих процессов

Столкновение конструкций с их разрушением, попадание птицы в авиадвигатель, обрыв лопатки ГТД, посадка вертолёта/самолёта на воду, срабатывание подушки безопасности, плескание жидкости в ёмкостях/баках («слошинг»), взрывы и их воздействие на конструкцию, штамповка металла и т.п.



Dytran – это система моделирования быстропротекающих существенно нелинейных процессов взаимодействия конструкции и жидкости (газа) или конструкции и конструкции, в том числе их разрушения.

Основой **Dytran** являются совместная работа решателей Лагранжа (моделирование твёрдых тел) и Эйлера (моделирование жидкости/газа), широкий спектр моделей материалов (включая гидродинамическую) и различные типы уравнений состояния жидкой среды (газа). Возможно моделирование работы материала со сдвиговой жёсткостью в эйлеровой постановке. Это позволяет **моделировать физические явления с присутствием неограниченных деформаций, различные гидродинамические процессы, в том числе гидроудары, а также решать задачи по моделированию и анализу специальных динамических воздействий на конструкцию (взрыв, пробитие и т.п.)**.



Типичные приложения **Dytran** – моделирование взаимодействия препятствия с автомобилем, водителя с наполняющейся подушкой безопасности, ремнями безопасности и другими средствами пассивной защиты. Используя **Dytran** можно решать такие мультифизические и многодисциплинарные задачи, как столкновение птиц или малых летательных аппаратов с планером самолета, попадание различных объектов в проточные части авиационных газотурбинных двигателей, в том числе частиц льда, града и т.д., аварийная посадка летательного аппарата на воду, столкновения судов и их взаимодействия с водой и дном (случай посадки судна на мель). Также можно производить расчет процессов высокоскоростного пробивания преград, глубокой листовой штамповки (с высокой степенью формоизменения), взаимодействия жидкости и конструкции, аквапланирования и т.д.

В **Dytran** поддерживается множество различных моделей разрушения материалов. Возможно моделирование процесса разрушения металлов, слоистых композиционных материалов, в т.ч. керамики.

Реализация абсолютно нового подхода к расчетному моделированию **Underwater Shock Explosion** позволяет моделировать такие сложные физические явления, как подводные взрывы (в т.ч. с распределенными в пространстве зарядами различной мощности и различным време-

нем срабатывания) и распространение ударных волн в жидкости.

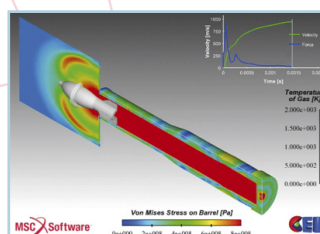
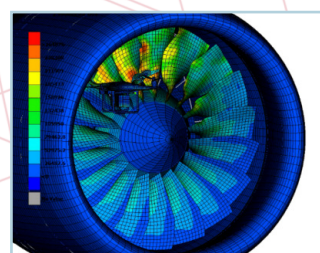
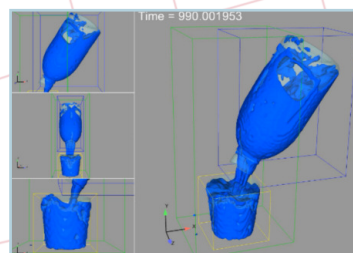
Отличительной особенностью **Dytran** является возможность особенно эффективно моделировать динамическое взаимодействие жидкости и конструкции: возможен учёт вязкости жидкости; несколько жидкостей с различными свойствами в одной модели; автоматическое построение эйлеровой сетки в процессе решения задачи и только в тех зонах пространства, куда устремляется жидкость и др.

Реализованные в **Dytran** методы, позволяющие работать с несовпадающими сетками (к одной грани элемента может присоединяться несколько элементов меньшего размера), с сетками с неоднородной плотностью и смешанными сетками (несовпадающие сетки + сетки с неоднородной плотностью), существенно сокращают затраты на создание расчетной модели. Кроме того, **Dytran** позволяет реализовывать расчетные случаи в одномерной постановке для эйлеровых задач со сферической симметрией и в двумерной постановке для задач с осевой симметрией.

Dytran использует новейшие “coupling” и “clumping” алгоритмы для моделирования контактного и ударного взаимодействия элементов конструкций, в том числе взаимодействия жидкости и конструкции – Fluid Structure Interaction (FSI).

В **Dytran** применяется явная схема интегрирования, не требующая декомпозиции матриц и, в силу этого, особенно эффективная для решения нелинейных задач при моделировании быстропротекающих процессов.

Специально для задач большой и сверхбольшой размерности **Dytran** поддерживает распараллеливание задачи по узлам кластера для FSI в режиме Distributed Memory Parallel (DMP). Новые алгоритмы для высокопроизводительных FSI вычислений в DMP режиме не требуют дополнительного лицензирования. Широкий спектр решаемых задач позволяет применять **Dytran** в аэрокосмической, оборонной, автомобильной, судостроительной, обрабатывающей и многих других отраслях промышленности.



F MSC Fatigue

Технологии расчета долговечности конструкций

Анализ усталостного разрушения конструкции в условиях длительного действия переменных во времени нагрузок, уникальные возможности проектирования и оптимизации конструкций, в том числе и по требованиям долговечности, срока работы изделия в нормальных и экстремальных условиях эксплуатации.

MSC Fatigue разработан в сотрудничестве корпорации MSC Software и nCode International Ltd, крупнейшего в мире поставщика коммерческих технологий и инженерных решений в области исследования долговечности и ресурса.

Основным источником исходных данных для выполнения расчета в **MSC Fatigue** являются результаты предшествующего конечно-элементного анализа конструкции или результаты натурных испытаний. Качество анализа долговечности в **MSC Fatigue**, таким образом, непосредственно зависит от качества результатов (напряжений или деформаций), полученных в структурном анализе или эксперименте.

Единой интегрирующей средой анализа долговечности является Patran. В Patran обрабатываются результаты предшествующего конечно-элементного анализа или вводятся результаты эксперимента, а также, определяются истории нагружения, свойства материалов и параметры задания на расчет **MSC Fatigue**, контролируется ход решения, визуализируются и анализируются результаты расчета.



Интерфейс MSC Fatigue

Конечно-элементный анализ изделия может быть выполнен во временной или частотной области.

Во временной области на вход подается временная история, например изменение во времени напряжений в изделии.

Однако часто истории нагружения сложны, длительны и по природе случайны. Анализ таких переходных динамических процессов может быть выполнен с помощью **MSC Nastran** или комплексного использования **MSC Nastran** и Adams. Но зачастую получение отклика во времени требует значительных вычислительных затрат. Для таких типов нагрузок используется другой подход, реализованный в **MSC Nastran** – исследование поведения структуры не во временной, а в частотной области. При этом спектры нагружения получаются очень компактными – до нескольких десятков килобайт, а время расчета в несколько раз меньше, чем при расчете долговечности во временной области прямыми методами.

Во временной процесс представляется в виде спектральной плотности (Power Spectral Density, PSD). Расчеты

MSC Fatigue в частотной области составляют предмет модуля **Fatigue Vibration**.

Усталостные характеристики материалов, используемых в анализе долговечности, могут быть взяты либо из поставляемой с **MSC Fatigue** базы данных материалов DTLib, либо импортированы из внешней базы данных (Mvision), либо получены пользователем из собственных источников. Если пользователь имеет информацию только о статических характеристиках материала (модуль упругости, предел прочности...), **MSC Fatigue** может сгенерировать необходимые для расчета долговечности усталостные характеристики по реализованным в нем эмпирическим зависимостям. При использовании принципиально нового решателя **DTLib** позволяющего реализовать процесс высокопроизводительных параллельных вычислений можно существенно сократить время расчета.

Усталостные характеристики материала могут быть функциями **температуры**. **MSC Fatigue** автоматически корректирует усталостную кривую материала по значениям температуры в исследуемых областях.



Работа с базой данных по усталостным характеристикам DTLib

MSC Fatigue предоставляет возможность использования следующих методов для анализа долговечности:

- Метод номинальных напряжений (**Stress Life**, S-N-анализ);
- Метод номинальных деформаций (**Strain Life**, E-N-анализ);
- Анализ скорости роста трещин (модуль **Fatigue Fracture**)

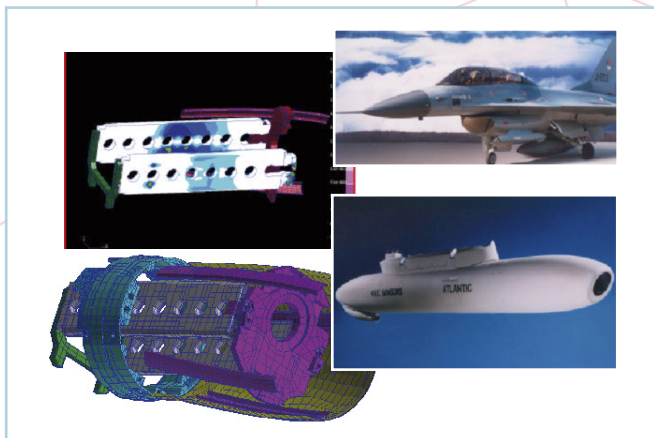
Stress Life анализ – исследуется полное время жизни структуры, без отдельного рассмотрения фаз образования и роста трещины. Используется кривая усталости (Велера) в пространстве «размах напряжений – число циклов до разрушения». Применим в случаях, когда структура деформируется в основном линейно; пластические деформации носят очень локализованный характер. Это так называемое многоцикловое усталостное разрушение (с числом циклов до разрушения больше 50.000 – 100.000). Может быть выполнен анализ долговечности **сварных соединений** для точечной и шовной сварки. **MSC Fatigue** имеет так же удобный модуль **Fatigue Wheels** – S-N анализ долговечности **вращающихся** структур (колес, дисков и т.п.).



Strain Life – анализ времени функционирования изделия до момента образования в ней трещин значительных, с точки зрения инженера, размеров. Используются циклическая кривая – материал и кривая усталости в пространстве «размах деформаций – число циклов до разрушения». Может применяться в условиях присутствия в конструкции пластических деформаций среднего уровня. Это т.н. малоцикловое усталостное разрушение конструкции с числом циклов до разрушения до 100.000. При выполнении расчета на многоцикловую усталость учитывается количество полных циклов, образующих гистерезисные петли, при этом циклы достаточно большой площади вносят наиболее существенный вклад в усталостную повреждаемость конструкций. Алгоритмы схематизации циклов по «методу дождя» в **MSC Fatigue** оптимальны для использования в расчетах повреждаемости конструкции по методу зарождения трещины.

В S-N и E-N расчетах могут учитываться:

- присутствие некоторого среднего (постоянного, фонового) уровня напряжений в структуре
- фактор концентрации напряжений;
- масштабный фактор;
- фактор типа напряженного состояния в исследуемой зоне;
- влияние качества обработки поверхности;
- влияние используемого поверхностного упрочнения;
- вероятностный характер используемой усталостной характеристики;



Fatigue Fracture – анализ развития трещин до заданных или до разрушающих размеров. Может быть задан начальный размер трещины. Используется диаграмма усталостного разрушения в координатах «скорость развития трещины – размах коэффициента интенсивности напряжений». Коэффициент интенсивности напряжений наиболее типичных зон машиностроительных конструкций может быть получен из поставляемой с **MSC Fatigue** библиотеки поправочных функций. Используется **эффективный** коэффициент интенсивности напряжений. В расчете учитываются:

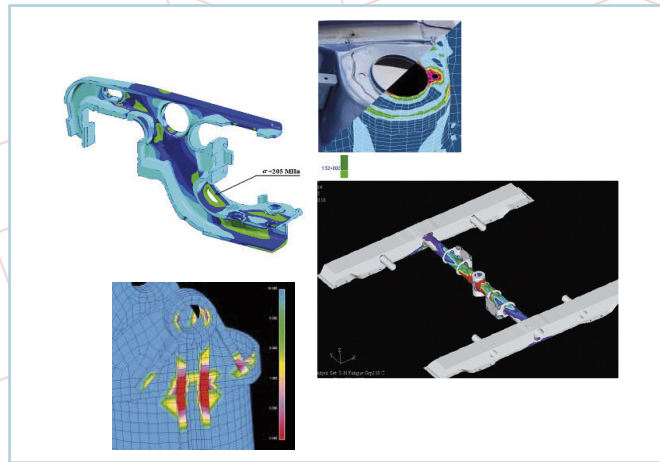
- явление закрытия трещины (эффект Элбера);
- эффекты «истории» (в т.ч. влияние единичных перегружающих нагрузок);
- вклад в процесс разрушения статических нагрузок;
- возможность роста трещины из предшествующего дефекта;
- влияние условий эксплуатации (окружающей среды);
- реальная последовательность циклов в истории нагружения.

Модуль **Fatigue Multiaxial**. Напряженное состояние в исследуемой точке не обязательно одноосно. В каждый момент времени для каждого узла на поверхности может быть вычис-

лен т.н. **коэффициент биаксиальности** $a = \sigma_1 / \sigma_2$, где σ_1, σ_2 – главные напряжения; а так же угол ϕ между σ_1 и локальной X-осью в исследуемой точке. В общем случае, a и ϕ меняются во времени, т.е. имеет место непропорциональное напряженное состояние. **MSC Fatigue** позволяет выполнять S-N и E-N расчеты и в этом сложном случае.

Моделирование датчиков деформаций, используемых в реальных испытаниях конструкции. В расчет в заданном месте, с заданной ориентацией, с заданной площадью накрытия, могут быть введены компьютерные модели реальных тензодатчиков. Положение, ориентация и размеры датчиков в модели не зависят от расположения узлов и ориентации конечных элементов. Датчики располагаются в любом месте на поверхности конечно-элементной модели, ориентация может быть любая, и один датчик может покрывать в модели несколько элементов.

Аппарат **Fatigue Software Strain Gauge** позволяет непосредственно сравнивать показания датчиков деформации, полученные в эксперименте, с историей деформирования, вычисленной в расчете и является мощным инструментом приведения к соответствию расчетной модели и реального объекта. С помощью виртуальных тензодатчиков можно не только проводить корреляцию между численными расчетами и экспериментальными данными, но и быстро подготавливать программу ускоренных испытаний конструкции. При этом, полученные результаты в виде напряжений и деформаций могут быть в дальнейшем использованы для: подсчета циклов нагружения, получения результирующей спектральной плотности отклика конструкции в напряжениях, а также для последующего расчета повреждаемости и долговечности изделия.



Помимо собственно расчетной части, **MSC Fatigue** располагает обширным набором сервисных **утилит**. Утилиты – это более 50 специальных процедур, каждая из которых может быть запущена как из среды Patran, так и независимо. Утилиты обеспечивают простоту и удобство задания, редактирования, исследования входных данных, различные режимы импорта, фильтрации и отображения сигналов, а так же широкий спектр возможностей по обработке получаемых результатов на самых разных этапах анализа долговечности конструкции.

Использование **MSC Fatigue** позволяет сократить время разработки изделия и исключить затраты на устранение усталостных повреждений и разрушений еще на ранних стадиях проектирования. Так же, в процессе эксплуатации изделия, при обнаружении усталостных повреждений, трещин, **MSC Fatigue** позволяет проанализировать влияние этих повреждений на ресурс конструкции, предотвращая аварии и катастрофы.

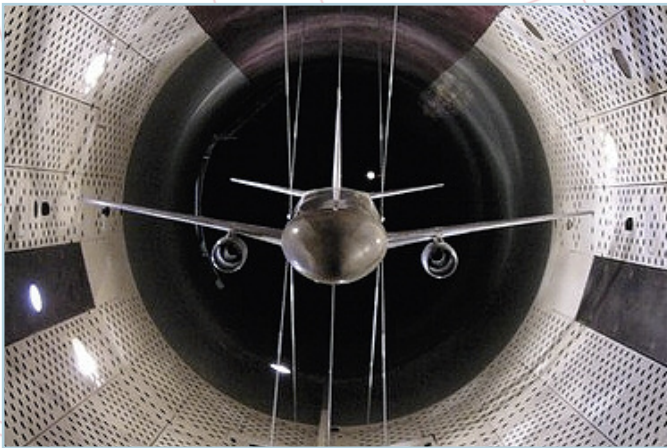


F_L FlightLoads and Dynamics

Комплексный анализ аэроупругих, динамических и прочностных характеристик летательных аппаратов

Специализированное приложение для аэрокосмической отрасли

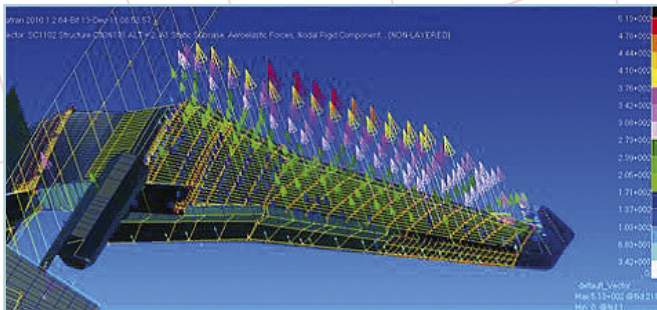
В авиастроении одним из основных критериев, по которым ведется оптимизация проекта, является масса летательного аппарата (ЛА). Облегчение конструкции ЛА повышает его экономические показатели, однако может приводить к снижению его жесткости, что оказывает влияние на аэродинамические характеристики, характеристики устойчивости и управляемости ЛА. Таким образом, исследование взаимодействия аэродинамических сил, сил упругости и инерции является важной и актуальной задачей.



FlightLoads and Dynamics – это приложение, предназначенное для решения дозвуковых, сверхзвуковых, стационарных и нестационарных задач аэроупругости. В качестве решателя используется программный пакет **MSC Nastran** с поддержкой опций Aeroelasticity I и Aeroelasticity II (расчет, соответственно, до- и сверхзвукового обтекания ЛА).

В **FlightLoads** решаются задачи:

- балансировки упругого или «жесткого» ЛА;
- задача о флаттере;
- задача расчета отклика упругого ЛА на внешнее воздействие (порыв или удар);
- оптимизация конструкции по критериям аэроупругости.



Расчетная модель для решения задач аэроупругости создается в среде **Patran** с поддержкой модуля **FlightLoads and Dynamics**. Аэроупругая модель включает в себя две модели: упруго-массовую и аэродинамическую. Упруго-массовая модель создается с помощью средств **Patran**.

Аэродинамическая – в модуле **FlightLoads**. Связь двух моделей производится посредством сплайнов.

Для расчета аэродинамических нагрузок имеются следующие методы:

- Doublet-Lattice Method (DLM);
- ZONA51;
- Subsonic Wing-Body Interference Theory (Slender Bodies);
- Mach Box Method;
- Strip Theory;
- Piston Theory.

В системе **FlightLoads** решаются задачи статической аэроупругой устойчивости, определяются кинематические характеристики органов управления и исследуется влияние упругой деформации на перераспределение аэродинамических сил. Имеется возможность решать 3 типа задач:

- расчет балансировки «жесткого» ЛА;
- расчет изменений аэродинамических сил, обусловленных влиянием упругости ЛА – расчёт аэроупругих приращений;
- расчет балансировки упругого ЛА.

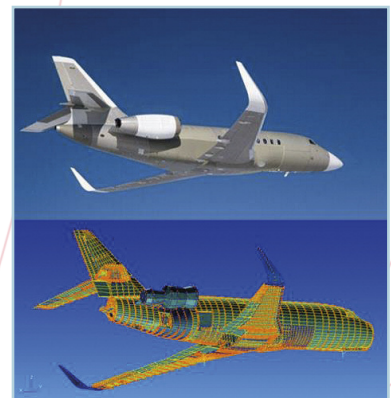
В результате решения задач статической аэроупругости, определяются неизвестные балансировочные переменные, шарнирные моменты, интегральные аэродинамические силы и производные устойчивости, как для жесткого, так и для упругого ЛА.

Для решения задач о флаттере в **FlightLoads** имеется возможность использовать следующие методы:

- РК – вычисляются собственные частоты и собственные формы колебаний упругого ЛА в потоке для скоростей, заданных пользователем;
- РКНЛ – детальное исследование флаттера (расчет производится для заданных комбинаций параметров);
- К и КЕ – рассчитываются собственные частоты и собственные формы колебаний упругого ЛА в потоке для заданных пользователем значений приведенной частоты к. Методы отличаются эффективностью и возможностью учета демпфирования;

В результате решения задачи о флаттере определяется величина критического скоростного напора и зависимость коэффициента демпфирования от скорости набегающего потока ($V-g$) или частоты от коэффициента демпфирования ($V-f$).

Анализ реакции на внешнее воздействие подразумевает расчет отклика сбалансированного ЛА на внешнее воздействие, которое может иметь как аэродинамическую природу воздействия (порыв), так и искусственное воздействие, например удар. В **FlightLoads** можно провести расчеты следующих видов:

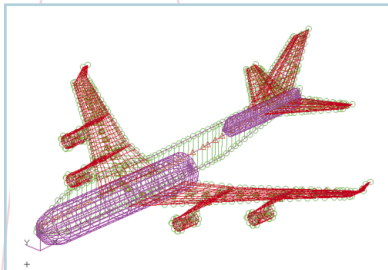




- расчет частотного отклика (решение задачи в частотной области);
- анализ переходного процесса (решение задачи во временной области);
- расчет отклика на случайное воздействие (решение задачи в частотной области).

Порыв в **FlightLoads** может быть задан в виде дискретного или широкополосного случайного воздействия.

В **FlightLoads** имеется возможность провести оптимизацию конструкции с учетом статической и динамической аэроупругости. Критериями оптимизации в задачах статической аэроупругости могут являться значения кинематических параметров (например, углы отклонения органов управления) и значения производных устойчивости, а в задаче о флаттере – значения коэффициента демпфирования (способность конструкции ЛА рассеивать энергию, поступающую из воздушного потока). Оптимизационные параметры выбираются пользователем. Например, для задачи о флаттере в качестве искомой величины можно задать жесткость лонжеронов крыла.

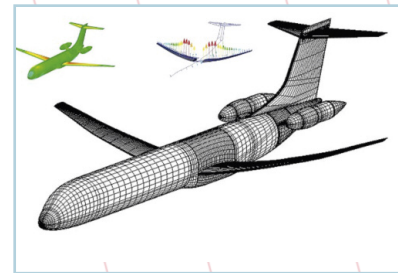


Hybrid Static Aeroelasticity Toolkit (HSA)

Набор инструментов **HSA** расширяет стандартные возможности **FlightLoads**, предоставляя возможность использовать данные газодинамических расчетов, полученные в пакетах CFD (Computational Fluid Dynamics – вычислительная гидрогазодинамика) совместно с возможностями **MSC Nastran** по решению задач аэроупругости.

Применяя набор инструментов **HSA**, можно моделировать аэродинамическое воздействие на конечно-элементные модели летательных аппаратов с повышенной точ-

ностью. **HSA** дает возможность проводить расчеты статической аэроупругости с учётом влияния кривизны и высоты профиля аэродинамических поверхностей и других поправок, связанных с уточненным



расчетом газовой динамики в специализированных приложениях – CFD. В итоге, имеется возможность в комплексном анализе статической аэроупругости учесть фюзеляж, двигатели и гондолы двигателей, элементы механизации, а также другие конструктивные элементы, влияющие на обтекание летательного аппарата.

MSC Nastran позволяет проводить расчёт без учёта и с учётом упругости конструкции. При этом генерируются «жесткие» аэродинамические нагрузки, посчитанные внешним пакетом гидрогазодинамики (CFD), на жесткую аэродинамическую сетку, в то время как аэроупругие приращения считаются методом дипольных решёток (Doublet-Lattice Method – DLM). Чтобы передавать CFD нагрузки на упруго-массовую модель в **HSA** используется методика, основанная на сплайн – элементах с 6-ю степенями свободы. Для проверки корректности приложения аэродинамических нагрузок, набор инструментов **HSA** даёт возможность пользователям определять аэродинамические и структурные контрольные точки, а так же отобразить их распределение на модели. В дополнение, сплайн – технология может использоваться для отображения смещений трёхмерной аэродинамической сетки (обтекаемой зоны).

Главным преимуществом использования инструмента **Hybrid Static Aeroelasticity** является существенное повышение точности расчёта статической аэроупругости за счёт более точного представления аэродинамических нагрузок при моделировании.



Специализированный комплекс программных продуктов для решения тепловых задач

Sinda – программный комплекс общего назначения для решения задач теплового анализа конструкций, анализа уровня излучения, воздействующего на конструкцию, моделирования и оценки тепловых нагрузок, возникающих в изделии при эксплуатации и т.д.

С середины 60-х годов и до 2008 года программный пакет разрабатывался компанией Network Analysis Inc. (США) под названием SINDA/G, с 2008 года – компанией MSC Software под названием Sinda. В настоящее время комплекс Sinda является промышленным стандартом в области сложных тепловых расчетов с использованием конечно-разностного метода и построения тепловых RC-сетей (от англ. *resistance* – сопротивление, *capacity* – емкость), а также тепловых подконструкций (суперэлементов) для анализа теплообмена излучением.

Область применения Sinda весьма обширна. Благодаря своим возможностям программный комплекс Sinda исполь-

зуется в самых разных отраслях промышленности для решения сложных задач теплового анализа конструкций:

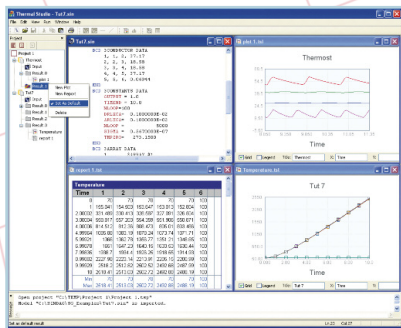
- электронное оборудование от отдельных устройств до сложных комплексов;
- оборудование для обработки электронных печатных плат;
- компоненты двигателя автомобиля, самолета и т.д.;
- системы охлаждения и кондиционирования;
- тепловые потери зданий и сооружений;
- космические аппараты, ракеты-носители, блоки управления;
- солнечные батареи;
- источники энергии, топливные элементы, генераторы;
- электронные приборы, авионика;
- малые и большие бытовые приборы;
- и т.д.

Программный комплекс Sinda имеет модульную структуру.



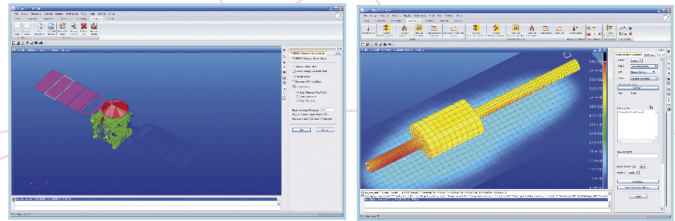
Собственно, тепловой решатель **Sinda** – осуществляет решение тепловых задач с использованием метода *сосредоточенных параметров (RC network)*, который в свою очередь использует метод конечных разностей. На вход решателю подается входной файл с описанием тепловой задачи, решатель выполняет решение задачи, в результате, на выходе получается набор файлов с результатами расчетов. Как модель, так и результаты расчета задачи решателем могут быть подготовлены и обработаны в пре- / постпроцессоре, в частности Sinda Thermal Studio или Patran. В решатель интегрированы различные алгоритмы решения тепловой задачи – 9 алгоритмов для анализа установившихся тепловых состояний (Steady State), 14 алгоритмов для анализа нестационарных тепловых состояний, развивающихся во времени (Transient).

Sinda Thermal Studio – собственный пре- / постпроцессор для теплового решателя Sinda, включающий в себя инструменты редактирования и отладки входных данных для решателя, средства организации расчетных проектов, а также средства обработки результатов, построения диаграмм и графиков, вывода результатов расчетов в табличной форме, экспорта в различных форматах.



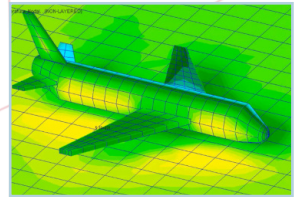
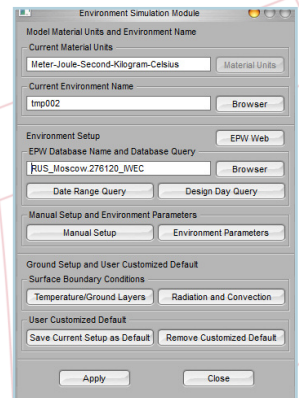
Sinda Library – расширяемая библиотека подпрограмм Sinda и Fortran, предварительно созданных и сгруппированных в классы, позволяющая гибко использовать подпрограммы для широкого круга задач, снижая затраты на программирование и моделирование. Практически неограниченные возможности для моделирования собственных расчетных алгоритмов и решения тепловых задач с их использованием доступны благодаря возможности вводить блоки программного кода на языке Fortran непосредственно во входной файл решателя Sinda. Имеется возможность создавать коммерческие подпрограммы. В частности, таким образом реализована подпрограмма теплового анализа и расчета характеристик тепловых трубок переменной теплопроводности. Доступны подпрограммы анализа тепловых режимов абляции, термоконтакта (с визуализацией в виде специализированных термопроводников в **Patran**).

Sinda Patran Plug-in – интегрированный в **Patran** модуль Sinda с полным набором инструментов построения тепловых моделей на базе импортированной из CAD-системы геометрической модели, поддержка программ – отраслевых стандартов по расчету коэффициентов излучения Thermica, TRASYS, NEVADA, TSS, SINDARad, работа с суперэлементами излучения, доступность всех возможностей по программированию собственных блоков и применения подпрограмм Sinda и Fortran – новые уравнения и программная логика могут быть легко добавлены в модель Sinda. Развитые средства Patran по обработке результатов и



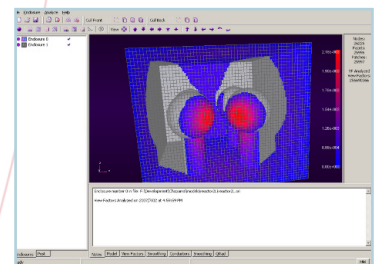
их визуализации существенно облегчают работу по тепловому моделированию и анализу конструкций.

В MSC Sinda Patran Plug-in введен вспомогательный статистический модуль Environment Simulation Module, предназначенный для более детального и простого в применении задания локальных условий окружающей среды (типовой температуры, влажности, облачности и т.п.) для конкретного момента времени и конкретного места. При этом используется доступ к открытой статистической информационной базе данных условий окружающей среды EnergyPlus (<https://energyplus.net>). Благодаря этому модулю пользователь может быстро получить подробную информацию по параметрам окружающей среды, учесть их в тепловом расчете и получить более точные результаты с привязкой размещения изделия на определенной местности в определенное время года и время дня. Возможные области применения модуля: детальный тепловой анализ ракеты-носителя с полезной нагрузкой на стартовой позиции, летательного аппарата на аэродроме или же тепловой анализ различных элементов зданий и сооружений.



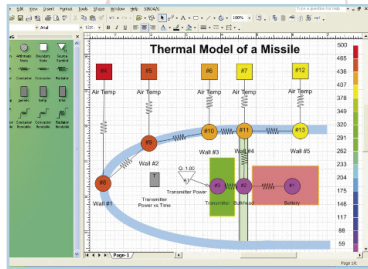
SINDARad – быстрый специализированный решатель для расчёта геометрических коэффициентов излучения (*view factor*, коэффициент облученности) с собственными оптимизированными и высокопроизводительными алгоритмами, позволяющий существенно сократить время анализа геометрических коэффициентов излучения.

Sinda Office Toolkit – модуль построения тепловых RC-сетей в программах Microsoft Visio и Excel, входящих в популярный пакет Microsoft Office. Модуль позволяет использовать библиотеку поставляемых компонентов и быстро строить тепловую сеть из типовых библиотечных блоков, соединяя их и задавая параметры. В результате модуль автоматически генерирует входной файл для решателя Sinda. Развитые возможности отображения результатов в виде диаграмм, графиков, таблиц, а также автоматизированной генерации отчетов, средства записи макросов и программирования VBA существенно расширяют возможности использования Sinda.

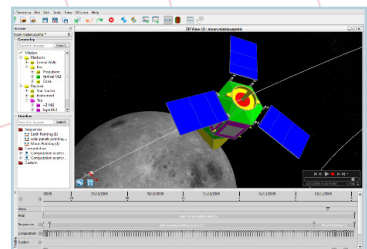
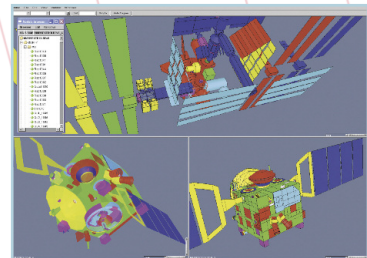




MSC Thermica (на базе программных продуктов Systema™ и Thermica™ разработанных EADS Astrium, Airbus Defense&Space) – комплекс специализированных программных продуктов для моделирования орбитального поведения космических аппаратов (КА), проектирования космических миссий, а также для анализа геометрических коэффициентов излучения поверхностей КА при движении по орбите, с учетом конкретного положения, ориентирования, альбедо (влияния вторичного излучения отраженной солнечной энергии от поверхностей планет и их спутников), времени года и т.д. MSC Thermica включает в себя Systema и, непосредственно, Thermica.



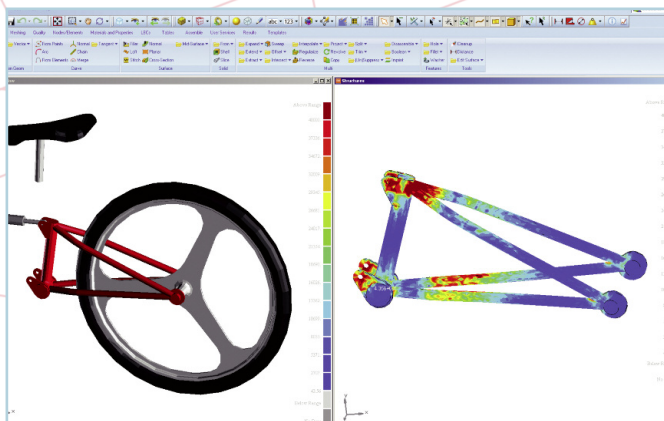
Thermica – прикладной модуль к Systema, предназначенный для трансформации геометрической модели из Systema в математическую модель для выполнения теплового расчета КА, движущегося по орбите или межпланетной траектории. Тепловым решателем для Thermica является Sinda. Модуль Sinda Patran Plug-in имеет интеграцию с MSC Thermica, поэтому, тепловые модели подготовленные в Patran, отправленные на расчет в Sinda, автоматически могут быть переданы в MSC Thermica для расчета геометрических коэффициентов излучения (*view factors*), в свою очередь, результаты расчета могут быть переданы в Sinda для теплового расчета.



MSC Nastran Desktop

Современный мультидисциплинарный расчётный комплекс для предприятий малого и среднего бизнеса

MSC Nastran Desktop – это инновационное решение от корпорации MSC Software, позволяющее сделать комплексный мультидисциплинарный анализ еще более доступным для предприятий малого и среднего бизнеса, занимающихся новыми разработками и нуждающихся в высококачественных технологиях моделирования и расчета для наиболее эффективного получения достоверных результатов. Компании, использующие **MSC Nastran Desktop** и работающие в кооперации с ведущими компаниями своей отрасли, могут быть уверены в том, что они полностью выполняют стандарты, принятые этими компаниями, приобретая, таким образом, дополнительные преимущества по сравнению со своими конкурентами.



MSC Nastran Desktop обеспечивает гибкий и наименее затратный доступ к обширным возможностям программных комплексов **MSC Nastran** и **Adams** через простой в использовании, гибкий и масштабируемый интерфейс SimXpert.

MSC предлагает готовые программные пакеты **MSC Nastran Desktop**, функционал которых, при необходимости, может быть расширен за счет подключения дополнительных расчетных модулей.

MSC Nastran Desktop Structures

Этот пакет предназначен для проведения статического и динамического анализа в линейной постановке. В **MSC Nastran Desktop Structures** также существует возможность учета контактного взаимодействия сопрягаемых деталей, что существенно упрощает задачу расчетного моделирования сборных конструкций.

MSC Nastran Desktop Structures & Motion

Пакет предназначен для проведения линейного структурного и динамического анализа, включая динамический анализ машин и механизмов, что обеспечивается современными программными комплексами **Adams** и **MSC Nastran**, которые включены в данный пакет.

MSC Nastran Desktop Advanced Dynamics

Этот пакет предназначен проведения динамического и акустического анализа конструкции, подвергающейся сложному комплексному нагружению.



MSC Nastran Desktop Advanced Dynamics имеет эффективные возможности решения задач большой размерности за счет применения метода суперэлементов с надежными алгоритмами статической и динамической конденсации, реализованными в **MSC Nastran**.

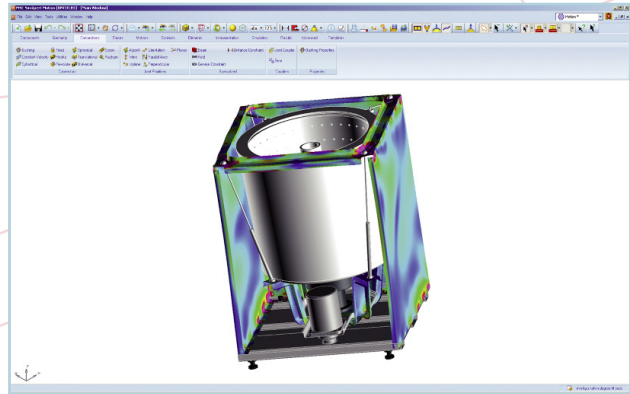
MSC Nastran Desktop Advanced Structures

Пакет предназначен для решения существенно нелинейных задач в комплексной постановке с использованием нелинейных моделей материалов, сложного нелинейного контакта, больших деформаций и перемещений. Кроме этого, **Advanced Structures Package** позволяет решать связанные тепло-прочностные задачи, предоставляя инженерам полный набор инструментов для решения нелинейных задач.

MSC Nastran Desktop Advanced Structures & Motion

Пакет сочетает в себе возможности **Adams** в области динамики и кинематики сложных многомассовых систем, машин и механизмов с возможностями **MSC Nastran** в линейном и нелинейном структурном анализе.

С использованием **MSC Nastran Desktop Advanced Structures & Motion** существенно упрощается задача точной передачи нагрузок, полученных после динамического анализа в **Adams** на последующий этап структурного расчета в **MSC Nastran**. Такая интеграция динамического и структурного анализа в единой среде моделирования и на единой расчетной модели существенно сокращает время расчета и повышает точность получаемых результатов.



Actran

Программный комплекс для анализа акустики

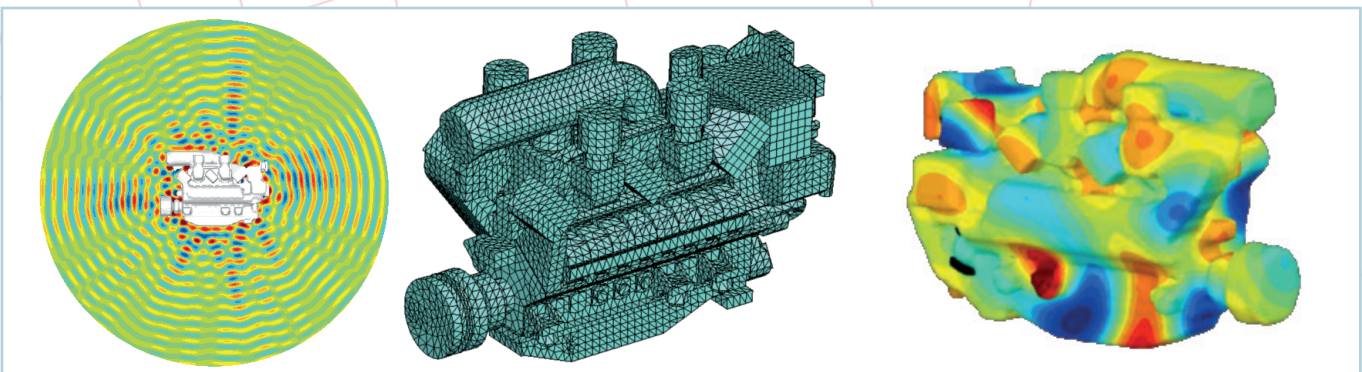
Моделирование возникновения, распространения и поглощения шума. Внешняя и внутренняя акустика, виброакустика, аэроакустика, шум газотурбинных двигателей.

Защита человека от шума и вибраций, а также обеспечение акустического комфорта при эксплуатации технических систем являются одними из важных задач при разработке новых изделий в различных производственных отраслях. В ряде случаев обеспечение прочности и долговечности элементов конструкций и работы электронных систем также требует анализа акустической нагруженности. Вычислительные методы акустического анализа активно применяются разработчиками технических устройств для оценки влияния конструктивных параметров изделий на акустические характеристики, для эффективного использования звукопоглощающих материалов, и т.д.

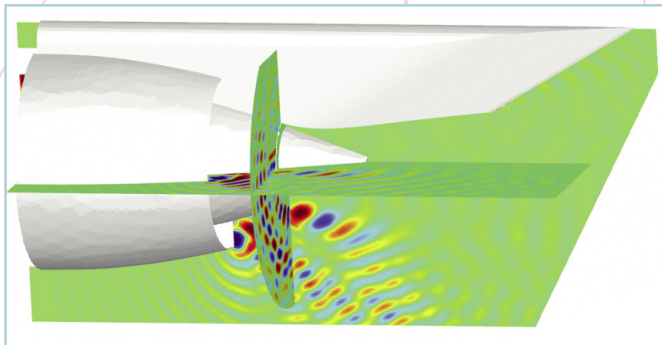
Actran – программный комплекс для моделирования возникновения, распространения и поглощения звука в акустических средах (воздух, вода, и др.). Моделирование

может осуществляться совместно с конструкциями, представленными в упругой или жёсткой постановке.

В основе **Actran** лежат методы конечных и бесконечных элементов, позволяющие моделировать акустические эффекты как в замкнутых объёмах (полостях), так и в открытом пространстве с учётом условий неотражения звука на границах расчётной области. Богатая библиотека элементов и материалов предоставляет широкие возможности для моделирования. Основу библиотеки элементов составляют одномерные, двумерные и трёхмерные элементы для решения трёхмерных, двумерных и осесимметричных задач, многоточечные связи, бесконечные элементы и элементы идеально-согласованного слоя PML, и др. Представленные в **Actran** материалы позволяют моделировать акустические среды (газы, жидкости), с учётом вязко-термических потерь в тонких слоях; упру-



Расчет внешнего акустического поля двигателя внутреннего сгорания. Источник: FFT



Шум выходного устройства газотурбинного двигателя. Источник: Airbus

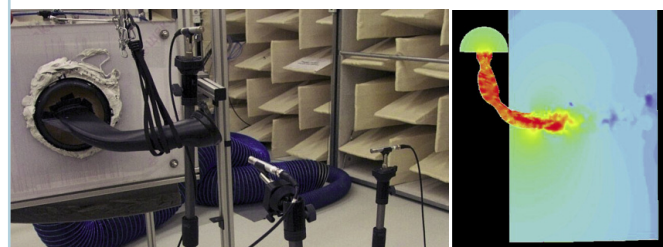
гие конструкционные материалы с учетом демпфирования; гиперупругие материалы, в т.ч. несжимаемые; слоистые композиционные материалы; звукопоглощающие материалы в постановках с абсолютно жёстким «скелетом», с абсолютно податливым «скелетом» и в общей постановке по теории Biot.

В качестве внешней нагрузки и граничных условий могут рассматриваться источники шума различных типов, моды колебания акустической среды в каналах постоянного сечения, граничные условия по давлению, скорости, ускорению, импедансные граничные условия, силовые и кинематические воздействия на конструкцию в составе расчётной модели, структурные граничные условия, случайные флуктуации давлений акустической среды, объёмные и поверхностные источники на основе акустических аналогий Лайтхилла и Мёринга, и др.

Анализ акустики производится, чаще всего в детерминированной постановке в частотной области методом прямого интегрирования. Вместе с этим, поддерживается расчёт на случайное воздействие, расчёт собственных частот и форм, расчёт частотного отклика модальным методом или комбинация модального и прямого методов для акустической среды и конструкции.

Типичные приложения **Actran** – моделирование внутренних и внешних акустических полей различных транспортных систем, например, моделирование звуковых полей в подкапотном пространстве автомобиля и проникновения шума в салон, моделирование распространения шума по выхлопной системе двигателя внутреннего сгорания и далее в окружающее пространство, анализ шума в салоне самолёта, исследование и подбор характеристик и конструкции звукопоглощающих устройств и покрытий в салонах транспортных средств, и т.д. Кроме этого, возможно проведение акустического анализа характеристик потребительских товаров, таких как динамик мобильного телефона, отдельно стоящие акустические системы, музыкальные инструменты, другие виды звуковоспроизводящих устройств и т.п.

Во многих случаях возникновение шума обусловлено явлением турбулентности в потоке газа (воздуха). Общеизвестными примерами являются шум газотурбинных и ракетных двигателей, шум от движения транспортных средств, шум в системах вентиляции и кондиционирования, и т.д. Анализ подобных явлений предполагает наличие информации о характеристиках потока газа: скоростях, давлениях, плотностях, температурах и их изменении во времени. Базируясь на этой информации, **Actran** позволяет рассчитать источники шума в потоке, перенести их на акустическую расчётную модель и провести расчёт распространения шума с учетом неоднород-

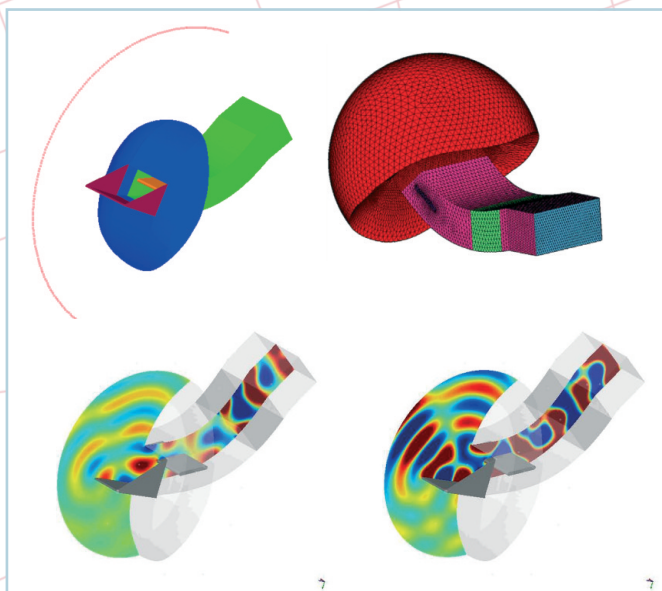


Испытательная установка в полу-бездвуховой камере. На установке закреплен боковой воздуховод автомобиля Citroen C4. Справа показано распределение источников шума в потоке воздуха, полученное с помощью расчета в Actran. Источник: Visteon.

ного поля средней скорости движения акустической среды (модуль **Actran Aeroacoustics**). Расчёт источников шума в потоке среды производится в **Actran** на основе так называемых акустических аналогий. Используемые аналогии Лайтхилла и Мёринга позволяют применять данные о турбулентности потока среды, полученные с большим шагом по времени и менее подробной пространственной дискретизацией по сравнению с другими распространенными методами прямого расчёта акустики в газовой среде.

Анализ аэроакустики турбомашин является сложной, но актуальной задачей. Проблемно-ориентированные модули **Actran** позволяют с высокой точностью моделировать шум воздухозаборников и проточных частей турбомашин (модуль **Actran TM**), а также шум выходных устройств (сопла) с помощью разрывного конечно-элементного метода Галёркина с использованием неструктурной р-адаптивной конечно-элементной сетки (**Actran DGM**).

В связи с большой ресурсоёмкостью расчётов аэроакустики, а также общей тенденцией проводить расчёты на ранних этапах разработки изделий при отсутствии точной геометрической модели, может возникнуть потребность в приближённом, но быстром методе оценки шума



Расчетная модель воздухозаборника ВСУ самолета и точки измерения параметров в дальнем поле, конечно-элементная сетка. Ниже показано акустическое давление в воздуховоде и ближнем поле. Слева – при наличии звукопоглощающих элементов, справа – без них. Источник: FFT

турбулентного течения. «Генерация и распространение случайного шума» (SNGR) – новый метод в **Actran**, основанный на результатах расчёта установившегося течения газа (RANS) и предположении о распределении энергии турбулентного течения между вихрями различных пространственных масштабов. Пространственная ориентация и фазы колебаний акустической среды считаются случайными. Решатель **Actran** производит генерацию случайного шума, после чего рассчитывает распространение шума в акустической среде. По умолчанию используется полу-эмпирический спектр Кармана-Пао, однако пользователь может применить и другие спектры. Метод SNGR активно используется в автомобильной и других отраслях.

Actran предоставляет возможность использования нескольких высокоэффективных алгоритмов решения задач. Эти алгоритмы обеспечивают высокую скорость

решения задач акустики, которые в большинстве случаев требуют значительных машинных ресурсов.

Тесная интеграция **Actran** с MSC Nastran, MSC Nastran SOL 700 и Adams позволяет эффективно использовать “сильные” стороны каждого из продуктов. Например, анализ колебаний конструкции проводить с применением MSC Nastran (точность и скорость выполнения такого расчёта общепризнаны), а моделирование распространения звука в среде – с помощью **Actran** (продукт оптимизирован для решения именно таких задач).

Широкий спектр решаемых задач позволяет применять **Actran** при разработке перспективных моделей автомобильной, авиационной, космической, железнодорожной техники, потребительских товаров, электроники, промышленных систем добычи и переработки полезных ископаемых, и т.д.



Digimat

Виртуальная лаборатория для нелинейного многоуровневого моделирования многофазных материалов и конструкций из них

Программный комплекс **Digimat** предназначен для нелинейного многоуровневого моделирования многофазных материалов, в первую очередь композиционных, и расчета конструкций из них. Основой технологии **Digimat** является расчет нелинейных анизотропных свойств многофазных материалов на микроуровне на основе характеристик фаз материала и его микроструктуры, учитывающей технологию изготовления и возможные дефекты.

Digimat обеспечивает расчет механических, тепловых и электрических характеристик многофазных материалов. Полученные характеристики могут быть самостоятельным инструментом анализа композиционных материалов или использованы в конечно-элементных пакетах для проведения связанного расчета композитной конструкций с учетом реальной микроструктуры материала.

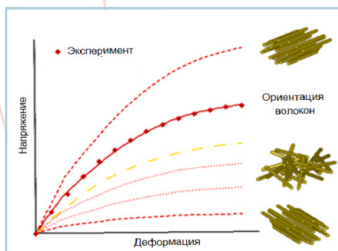
Программный комплекс имеет модульную структуру и состоит из восьми инструментов (**Digimat-MF**, **Digimat-FE**, **Digimat-MX**, **Digimat-MAP**, **Digimat-CAE**, **Digimat-RP** или **-RP/Moldex3D**, **Digimat-HC**, **Digimat-VA**). Каждый из инструментов обладает уникальным набором функциональных возможностей.

Digimat-MF



Digimat-MF (Mean-Field – поле осреднённых величин) предназначен для определения механических, тепловых и электрических характеристик многофазных материалов методом гомогенизации.

В основе работы **Digimat-MF** лежит микромеханический подход к моделированию материала: пользователь вводит характеристики каждой фазы материала и объемное/массовое содержание, определяет микроструктуру (форму, размер и ориентацию включений) и задает нагружение, прикладываемое к материалу. В результате получается модель многофазного материала, чувствительная к параметрам микроструктуры.



Свойства композитного материала вычисляются с помощью так называемого метода гомогенизации Мори-Танака, основанного на подходе Эшелби. Метод описывает поведение одной частицы в виде эллипсоида, включенной в материал матрицы. Форма частицы определяется отношением диаметра к длине. Метод гомогенизации позволяет получить макроскопические свойства композиционных материалов исходя из свойств каждой фазы (т.е. свойств материала на микроуровне).

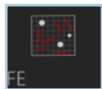
Создание модели материала производится в дружелюбном интерфейсе **Digimat-MF**, следуя по дереву модели и последовательно вводя требуемые характеристики. Пользователю предоставляются широкие возможности для моделирования многофазных материалов:

- различные модели материалов для каждой фазы: линейная упругая, упругопластическая (с учетом упрочнения), гиперупругая, вязкоупругая, тепло- и электропроводимости, упруговязкопластическая, модели ползучести, и т.д.;
- параметры микроструктуры: эллипсоидная форма включений (сфера, короткие, длинные и непрерывные волокна) с возможностью учета покрытия, неограниченное количество фаз, однослойные и многослойные материалы, однонаправленные слоистые и тканые (2D, 2.5D и 3D плетение) материалы, различные варианты ориентации включений (направленная, случайная или описываемая тензором ориентации), учет пор и т.д.;
- методы гомогенизации: Mori-Tanaka, двойного включения;
- схемы гомогенизации: первого и второго порядка;
- различные виды нагружений: по типу (механические, температурные, термомеханические, электрические), по истории (монотонные, циклические, задаваемые пользователем), по направлению (одноосные, многоосные);
- критерии разрушения: максимальных напряжений/деформаций, Цая-Хилла 2D&3D, Аззи-Цая-Хилла 2D, Цая-Бу 2D&3D, Хашина-Ротема 2D, Хашина 2D&3D и т.д.;

- возможность применения критериев разрушения как для каждой фазы на микроуровне, так и для всего материала на макроуровне.

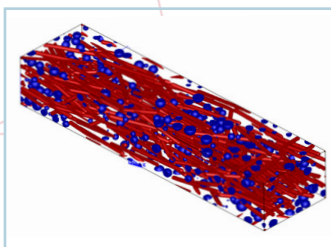
Благодаря хорошо зарекомендовавшим себя математическим моделям гомогенизации и отработанным программным процедурам, Digimat-MF не требует значительных вычислительных ресурсов и может эффективно использоваться совместно с внешними решателями для связанного нелинейного конечно-элементного расчета конструкции.

Digmat-FE



Digmat-FE (Конечные элементы) предназначен для детального исследования композиционного материала на микроуровне путем построения геометрии представительного элемента объема (ПЭО) материала и последующего его анализа методом конечных элементов.

Представительный элемент объема – это минимальный объем материала, в котором содержится достаточное число «носителей» для статистического описания механизма рассматриваемого процесса.



Digmat-FE позволяет создать реалистичный ПЭО для большого разнообразия микроструктур многофазных материалов: композиционные материалы с полимерной, резиновой и металлической матрицей, графит, металлокерамика, ферробетон, наноккомпозиты и т.д. Полученные конечно-элементные модели могут быть решены как с помощью встроенного, так и внешнего решателя.

Для определения характеристик многофазного материала пользователям доступны:

- различные модели материалов для каждой фазы: упругая, вязкоупругая, гиперупругая, упругопластическая и т.д.;
- обширный выбор форм включений: на основе библиотеки стандартных компонентов (сфера, эллипсоид, цилиндр, призма и т.д.) и на основе импортируемых геометрических компонентов, создаваемых в CAD-системах;
- задание различных характеристик микроструктуры для ее точного описания: объемная/массовая доля, ориентация включений, дефекты (раковины, поры), возможность учета покрытия на фазах, многослойные структуры, адгезивная связь «волокно-матрица», учет кластеризации и т.д.;
- различные виды нагружений: по типу (механические, температурные, термомеханические, электрические), по истории (монотонные, циклические, задаваемые пользователем), по направлению (одноосные, многоосные).

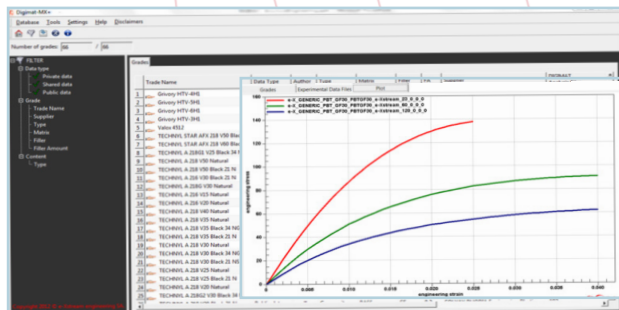
Digmat-FE хорошо дополняет модуль Digimat-MF и полностью с ним совместим.

Digmat-MX



Digmat-MX (Material eXpert) предназначен для хранения, поиска и защищенного обмена данными по материалам между поставщиками, разработчиками и потребителями. Содержит в себе данные от ведущих мировых производителей и поставщиков ком-

позиционных материалов. Обладает эффективным инструментом для проведения обратного инжиниринга с целью калибровки моделей материала Digimat по результатам натуральных испытаний.



Как база данных по материалам, Digimat-MX предлагает пользователям хранение данных по математическим моделям каждого композиционного материала при разных условиях (например, в зависимости от влажности и температуры), по моделям входящих в них фаз, а также хранение результатов испытаний материалов, которые могут быть использованы для обратного инжиниринга. Работу с базами данных можно организовать как на локальном компьютере, так и с удалённым доступом. Пользователю предлагаются широкие возможности по настройке уровня доступа к базе данных: общий, ограниченный, закрытый.

Специализированное решение Digimat-MX+ обеспечивает передачу данных между пользователями по открытым сетям в зашифрованном виде, что позволяет защитить интеллектуальную собственность при удаленной разработке композиционных материалов.

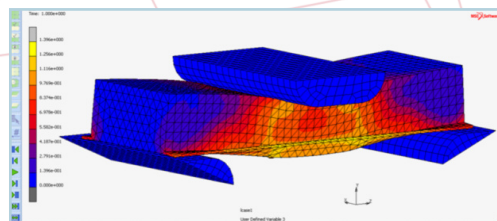
Digmat-CAE



Digmat-CAE (Системы инженерного анализа) позволяет провести связанный конечно-элементный расчет конструкции с нелинейной анизотропной моделью материала Digimat, которая учитывает реальную микроструктуру композиционного материала в каждой точке конструкции. Свойства композиционного материала зависят от характеристик его фаз и микроструктуры, которая характеризуется локальной ориентацией волокон и/или технологическими дефектами (например, пористостью). Микроструктура композиционного материала может быть определена с помощью специализированных программных пакетов для моделирования технологических процессов изготовления.

Digmat-CAE объединяет в единую цепочку конечно-элементные программные комплексы для прочностного анализа и моделирования технологические процессы изготовления (литье, формовка, выкладка).

При связанном анализе с использованием Digimat-CAE стандартная модель материала конечно-элементного решателя заменяется на нелинейную анизотропную модель материала Digimat. При решении задачи, на каждом шаге интегрирования, решатель запрашивает информацию о характеристиках материала. **Digmat** в каждой точке



интегрирования для каждого конечного элемента вычисляет жесткостные характеристики материала, определяет степень его разрушения и возвращает эту информацию в решатель. Применение технологии связанного анализа позволяет точно промоделировать композитную конструкцию, так как учитываются реальные параметры локальной микроструктуры композиционного материала (ориентация волокон, дефекты, остаточные напряжения и температуры), полученные в процессе изготовления. Обработка и визуализация результатов расчета выполняются с помощью стандартных инструментов пост- процессорной обработки используемой CAE-системы.

Digmat-CAE имеет связь с программными пакетами для моделирования технологических процессов: Moldflow, Moldex3D, SigmaSoft, 3D TIMON, REM3D, Magmasoft, Simulayt, PAM-FORM и интерфейсы с основными конечно-элементными решателями: Marc, MSC Nastran SOL400, MSC Nastran SOL700, MSC Nastran SOL1XX, Abaqus, Ansys, SAMCEF, LS-DYNA, PAM-CRASH, RADIOSS Bulk, nCode DesignLife, Virtual.Lab Durability.

Digmat-MAP



Digmat-MAP (Перенос данных) является эффективным, надежным и точным инструментом для передачи данных о пространственной ориентации волокон, остаточных напряжениях, температурах, линии сгиба, пористости и/или объемных долей с «донорской» сетки, используемой для моделирования литья под давлением, на «принимающую» качественную конечно-элементную сетку для структурного анализа.

Переданные данные могут быть использованы в Digmat-CAE для связанного многоуровневого нелинейного анализа с одной из наиболее распространенных расчетных систем. Digmat-MAP обладает инструментом, позволяющим быстро скорректировать взаимное положение в пространстве и масштаб «донорской» и «принимающей» сеток.



Digmat-MAP поддерживает следующие форматы «донорской» сетки: Moldex 3D, Moldflow, REM3D, SigmaSoft, Simroe, 3D TIMON, Digmat и «принимающей» сетки для структурного анализа: Marc, MSC Nastran, Patran, LS-DYNA, Abaqus, Ansys, I-DEAS, Moldflow, PAM-CRASH, PAM-FORM, RADIOSS, REM3D, SAMCEF, Simulayt, 3D TIMON.

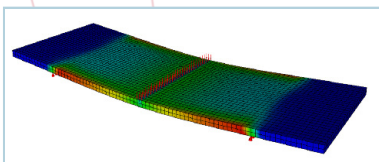
При передаче данных пользователю предоставляются различные возможности обработки и визуализации: контурные и векторные диаграммы, схема ориентации волокон в направлении толщины для оболочек, одновременное отображение сеток и наложение их друг на друга, выборочное отображение групп элементов.

Digmat-HC



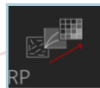
Digmat-HC (Сэндвич-панели) предназначен для простого, быстрого и эффективного проектирования и испытания композитных сэндвич-панелей, используя передовые технологии моделирования микромеханических свойств композитного материала.

Для расчетов Digmat-HC использует собственный конечно-элементный решатель.



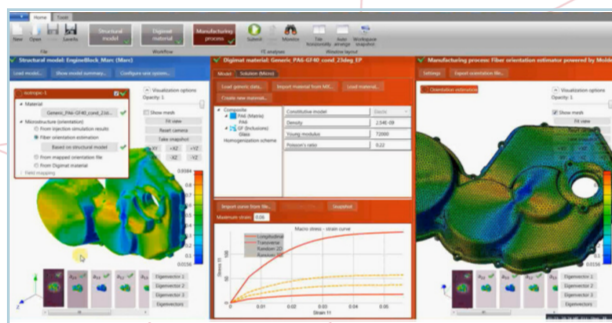
Графический интерфейс ориентирован на максимальную простоту использования. Заполнитель задается как материал с изотропными свойствами (например – вспененный пенопласт) или как сотовый наполнитель, свойства которого вычисляются на основе заданной геометрии ячейки. Обшивка определяется как укладка слоистого композиционного материала с заданной ориентацией и толщиной каждого слоя. Материал для слоев в укладке может быть выбран как однонаправленный, тканый или слой с равновероятностной ориентацией волокон в плоскости (Random 2D). Критерии разрушения для наполнителя – максимальные напряжения, для композиционного материала обшивки – критерий максимальных напряжений/деформаций, Цая-Бу, Цая-Хилла, Аззи-Цая-Хилла. Пользователь выбирает один из трех наиболее распространенных вариантов испытания сотовой панели (трехточечный изгиб, четырехточечный изгиб или сдвиг в плоскости) и задает место приложения нагрузки, ее величину и расположение опор. Digmat-HC автоматически создает конечно-элементную модель, проводит расчет средствами встроенного решателя, отображает результаты расчета (перемещения, напряжения, деформации, индексы разрушения) для панели и каждого из слоев и автоматически создает отчет в формате html.

Digmat-RP и Digmat-RP/Moldex3D



Digmat-RP (Армированные пластики) представляет собой специализированное решение, позволяющее выполнить расчет на прочность изделий из армированных пластиков с учетом реальной микроструктуры композиционного материала, получаемой при моделировании технологического процесса изготовления.

Более чем десятилетний опыт разработчика Digmat по моделированию конструкций из армированных пластиков, получаемых литьем под давлением, реализован в простом для использования решении – Digmat-RP, которое объединяет под единой графической оболочкой возможности модулей Digmat-MF, -MAP и -CAE.



Дружественный графический интерфейс Digmat-RP позволяет: загрузить конечно-элементную сетку для прочностного анализа, выбрать материал Digmat, подгрузить технологическую сетку с данными о микроструктуре после литья, перенести эти данные на прочностную сетку, сделать настройки решателя, автоматически запустить задачу на расчет и провести пост- процессорную обработку результатов расчета.

Основные преимущества Digmat-RP:

- работа в едином интуитивно понятном дружелюбном интерфейсе;
- высокая точность моделирования свойств композиционных материалов;
- простота в подготовке расчетной модели и конечно-элементном анализе композитной конструкции на статическую и/или динамическую прочность;



- поддержка различных типов расчетов (линейный и нелинейный анализ, явные и неявные методы);
- интеграция с интерфейсами ведущих CAE-пакетов для моделирования технологического процесса литья и расчета на статическую и/или динамическую прочность;
- возможность использования обширной базы данных по свойствам армированных пластиков от ведущих мировых производителей (Solvay/Rhodia, Sabic, Dupont, Ticona, EMS,...);
- промышленный стандарт: используется и поддерживается основными поставщиками композиционных материалов, ведущими поставщиками первого уровня и мировыми производителями композитных конструкций из армированных пластиков;

Digmat-RP/Moldex3D

Digmat-RP/Moldex3D является дальнейшим развитием Digmat-RP для расчета на прочность изделий из армированных пластиков.

Одним из ключевых моментов расчета конструкций из армированных пластиков является точное описание локальной микроструктуры композиционного материала, получаемой в процессе литья под давлением. Однако, доступ инженеров, связанных с расчетом динамики и прочности конструкции, к описанию локальной микроструктуры в настоящее время может быть затруднен.

Это связано с тем, что внутри даже одной компании, специалисты, занимающиеся моделированием технологического процесса изготовления композитной конструкции, и инженеры, связанные с расчетом этой конструкции, часто работают в разных подразделениях и на разном программном обеспечении. Все это приводит к сложному и неэффективному циклу проектирования конструкций из армированных пластиков. Данная особенность явно проявляется на начальных этапах разработки изделия, когда еще нет окончательного решения по литьевой форме или в условиях ограниченности времени на разработку конструкции.

Для оптимизации процесса проектирования армированных пластиков предлагается новое решение – Digmat-RP/Moldex3D, которое включает в себя инструмент для оценки ориентации армирующих волокон, основанный на технологии Moldex3D (eDesign mesher и Moldex3D solver). Интегрированное в Digmat-RP решение от Moldex3D имеет упрощенный ввод данных (выбор материала, температуры расплава и заливочной формы, время впрыска расплава, положение и диаметр отверстий впрыска) и не требует опыта в моделировании литья под давлением армированных пластиков.

Digmat-RP/Moldex3D уже на ранней стадии проектирования стирает границы между технологическим процессом моделирования литья под давлением и высокоэффективным инженерным анализом конструкций из армированных пластиков.

Дополнительно к основным возможностям Digmat-RP новый модуль Digmat-RP/Moldex3D позволяет:

- повысить эффективность проектирования на ранней стадии разработки конструкции;
- провести в течение одного дня серию расчетов для выбора литьевой формы и/или технологических режимов литья под давлением;
- выбрать оптимальную конструкцию уже на ранней стадии проектирования;
- использовать встроенный простой и эффективный инструмент оценки ориентации армирующих волокон;

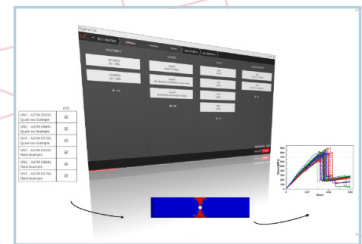
Digmat-VA



Digmat-VA (Виртуальные расчетные характеристики) – высокоэффективное решение, позволяющее легко и быстро провести «виртуальные испытания» требуемой серии образцов и автоматически получить расчетные характеристики слоистого композиционного материала в зависимости от типа материала, разброса его характеристик, укладки слоев в пакете, условий окружающей среды при испытании, видов испытаний и типов образцов.

Digmat-VA сочетает в себе интуитивно понятный дружелюбный интерфейс, встроенный высокоэффективный нелинейный конечно-элементный решатель, многоуровневое (на микро- и макроуровне) моделирование композиционных материалов с прогрессирующим разрушением, инструменты автоматической калибровки материала, статистической обработки результатов и создания отчетов.

В первую очередь Digmat-VA предназначен для специалистов, связанных с квалификацией композиционных материалов и получением расчетных характеристик. Применение Digmat-VA обеспечивает получение требуемых характеристик и принятие решений как до начала, так и параллельно с программой длительных натуральных испытаний образцов.



Ключевые особенности Digmat-VA:

- быстрое создание матрицы испытаний для выбранных материалов, укладок, образцов и условий окружающей среды;
- построение многоуровневых моделей материала, основываясь на свойствах компонентов и описании структуры композиционного материала;
- учет разброса свойств в зависимости от партии поставки материала, техпроцесса и особенностей испытаний;
- оценка влияние разброса свойств на расчетные характеристики композиционного материала;
- возможность выхода за пределы рекомендованных в СМН17 (Composite Materials Handbook) процедур;
- получение виртуальных расчетных характеристик композиционного материала с помощью серии расчетов нелинейных конечно-элементных моделей с прогрессирующим разрушением;
- частичная замена или расширение программы натуральных испытаний образцов за счет виртуальных, сокращение количества и снижение стоимости натуральных испытаний.

Задачи, решаемые с Digmat-VA:

- подготовка матрицы виртуальных испытаний:
 - выбор композиционного материала (однонаправленный или тканый) из существующих в базе данных или создание нового материала;
 - автоматическая калибровка математической модели материала Digmat по результатам натуральных испытаний однонаправленных образцов (результатам общей квалификации);
 - задание укладок слоев в пакете;
 - выбор видов испытаний (растяжение, сжатие) и типов образцов (гладкий, с открытым отверстием, с заполненным отверстием и т.д.);
 - определение условий окружающей среды (влажность, температура) для испытаний;



- задание матрицы испытаний и разброса параметров в образцах в зависимости от партии поставки материала, технологии изготовления и испытаний;
- автоматическое создание конечно-элементных моделей, основываясь на заданной матрице виртуальных испытаний.
- нелинейный расчет всех созданных конечно-элементных моделей с учетом прогрессирующего разрушения;
- определение расчетных характеристик слоистого композитного материала;
- обработка результатов виртуальных испытаний:
 - автоматическое извлечение жесткости (только для гладких образцов), предела прочности и кривой

- сопротивления деформации;
- статистическая обработка результатов по всем конечно-элементным моделям и автоматическое вычисление среднего значения, А и В-базисов;
- визуализация напряжений, перемещений, деформаций и повреждаемости композитного материала.
- создание настраиваемых отчетов.

Уникальный функционал программного комплекса Digimat предоставляет пользователям практически неограниченные возможности для эффективной разработки, расчета и виртуальных испытаний композиционных материалов.



Simufact

Компьютерное моделирование технологических процессов обработки металлов давлением и сварки

Учёт влияния технологических процессов изготовления деталей является важной частью всего процесса проектирования изделий. Недостаточно только грамотно спроектировать деталь и просчитать её работоспособность в процессе жизненного цикла. Необходимо так же удостовериться в том, что эта деталь может быть создана на существующем оборудовании с заданной точностью, например учесть эффект обратного пружинения, остаточных деформаций, коробления детали и т.п. Кроме этого, необходимо правильно спроектировать само оборудование (матрицы, пуансоны, крепежный инструмент и т.д.) и подобрать оптимальные режимы его работы.

Исследование различных вариантов технологических процессов на реальном оборудовании имеет ряд недостатков. Это невозможность варьирования параметров оборудования в широком диапазоне; вероятность выхода этого оборудования из строя в процессе отладки процесса; большие временные и энергозатраты; а также риски получить недостаточно качественную продукцию.

Поэтому оптимизация существующих производственных процессов и внедрение в производство новых видов продукции является очень затратным.



Использование компьютерного моделирования технологических процессов дает возможность существенно сократить затраты. Этот подход позволяет численно смоделировать нужный процесс и подобрать оптимальные параметры работы оборудования ещё до принятия окончательных решений по технологической оснастке и организации самого производственного процесса.

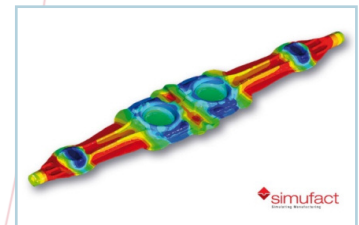
Для моделирования технологических процессов может быть задействован функционал пакетов общего назначения – **Marc, Dytran** и **MSC Nastran**. Однако, для более простого и эффективного использования этого функционала корпорация **MSC Software** предоставляет пользователям два специализированных пакета в этой области. Это пакет **Simufact.forming**, предназначенный для компьютерного

моделирования процессов обработки металлов давлением и термообработки и пакет **Simufact.welding**, предназначенный для моделирования и оптимизации процессов сварки.

Эти пакеты – уникальный инструмент технолога для отработки на компьютере практически любого технологического процесса, что позволяет экономить предприятию колоссальные средства, выделяемые на экспериментальную отработку, и одновременно создавать оптимальную технологию производства.

Simufact.forming является полнофункциональным комплексным решением для моделирования широкого спектра технологий обработки металлов давлением и позволяет получить реалистичное представление технологических процессов с полноценной 3D визуализацией всех инструментов и деталей.

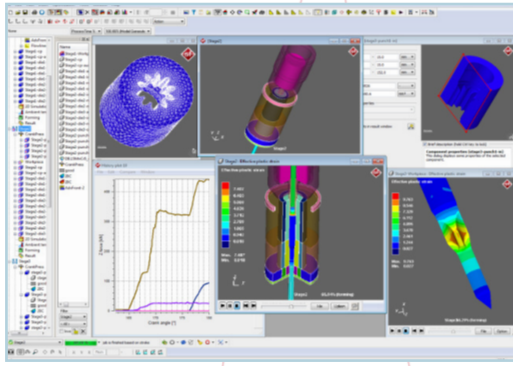
Программа предназначена для технологов, занятых решением задач отладки и оптимизации технологических процессов свободнойковки, горячей и холодной объемной штамповки, экструзии, прокатки, листовой гибки и штамповки, вырубки заготовок, раскатки колец, создания механических соединений и многих других. Графический интерфейс пользователя **Simufact.forming** легок и прост в освоении, и ориентирован на технологов. Пользователь может сосредоточиться на самом процессе формирования детали вместо того, чтобы сталкиваться с трудностями по настройке работы программного обеспечения. Все стандартные процессы формовки могут быть легко смоделированы за несколько кликов мыши.



Однако **Simufact.forming** не ограничен работой с пользователями имеющими только начальную подготовку. Опытные пользователи могут работать с расширенным функционалом пакета, что позволяет моделировать процессы любой сложности.

При моделировании технологических процессов можно учитывать реальную кинематику оборудования любой сложности и типа, различные модели материала (упругие, пластичные, с учетом упрочнения и т.д.), трение и

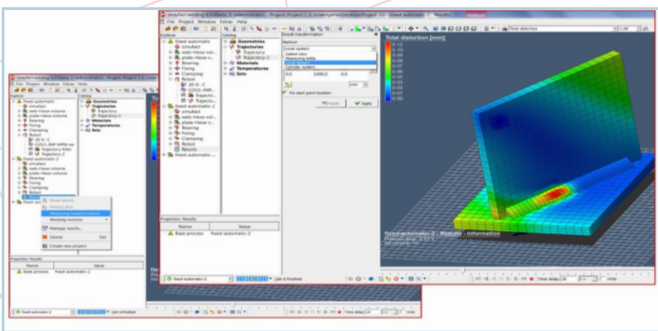
контакт между инструментами и деталями а также само-контакт в формирующейся детали для прогнозирования образования складок, термодинамику процесса и др.



Высококачественное моделирование в **Simufact.forming** основывается на использовании лидирующих программных пакетов компании **MSC Software**: конечно-элементного решателя для нелинейных задач **Marc** и конечно-объемного решателя для нелинейных задач **Dytran**. Оба пакета постоянно совершенствуются, и новые возможности этих решателей интегрируются в новые версии Simufact. Комплексные технологии виртуального моделирования и инженерного анализа компании **MSC Software** дают возможность с высокой точностью представить физику сложных нелинейных процессов обработки металлов давлением.

Simufact.forming предлагает широкий набор инструментов для виртуального проектирования и отработки реальных технологических процессов. Используя **Simufact.forming**, можно моделировать как отдельные стадии технологического процесса, так и всю технологическую цепочку целиком – от заготовки до готового изделия.

Начиная с версии 12, в **Simufact.forming** внедрена технология AFS (Application Function Sets – установка функций для приложения). После запуска программного обеспечения пользователь указывает, какой конкретный технологический процесс он будет моделировать. В зависимости от выбора будут проводиться соответствующие настройки – назначен решатель, определен тип конечно-элементной сетки и технология для ее построения, определены кинематические параметры, соответствующие процессу и выбраны дополнительные настройки.



Активируются функции, ориентированные на соответствующий технологический процесс, а функции, не имеющие к данному процессу отношения, скрываются. Как результат, технология AFS существенно повышает удобство работы с программой. Оптимизированный и упрощенный интерфейс позволяет формировать задачу легче, быстрее и эффективнее.

Любой технологический процесс, не входящий в список предлагаемых типов, можно смоделировать, используя приложение General. Работа с этим модулем рекомендуется только для опытных пользователей.

Пакет **Simufact.welding** является полнофункциональным комплексным решением для моделирования и оптимизации процесса сварки.

С использованием этого пакета можно моделировать различные виды сварки: дуговую сварку плавящимся электродом в среде инертного газа (MIG), дуговую сварку плавящимся электродом в среде активного газа (MAG), дуговую сварку неплавящимся электродом в среде инертного газа (TIG), дуговую сварку под флюсом (UP), сварку лазерным лучом, электронно-лучевую сварку (EBW), гибридную сварку, как комбинацию дуговой и лучевой сварки, контактную (точечную) сварку, сварку давлением (трением) (с использованием модуля **Simufact.forming**)

Simufact.welding рассчитывает свойства материала в зоне термического влияния с учетом изменений в микроструктуре, что позволяет делать выводы о свойствах сварного шва, в частности о его прочности. Пользователь получает важную информацию для оценки вероятности возникновения сварочных дефектов, таких, например, как горячие трещины, что позволяет внести изменения в процесс сварки, чтобы избежать появления этих трещин на практике.

Simufact.welding ориентирован на специалистов по сварке. Интуитивный понятный графический пользовательский интерфейс программы позволяет пользователям эффективно моделировать процесс сварки даже при ограниченном опыте работы с расчетными пакетами.

Использование **Simufact.welding** дает возможность повысить эффективность и оптимизировать процессы сварки и решает задачу по минимизации коробления и остаточных напряжений в деталях, позволяет определить оптимальную последовательность сварочных операций и разработать наилучшую схему фиксации свариваемых деталей. Пользователь может определить окончательную форму изделия с высокой точностью, спрогнозировать микроструктуру материала в околосшовной зоне, исключение образования горячих трещин, спрогнозировать последствие термического воздействия на свойства сварных швов, а также провести оценку прочности сварного соединения.

Дальнейшее развитие компьютерное моделирование технологических процессов получило в новом модуле **Simufact Additive**. Этот модуль предназначен для моделирования аддитивных технологий (печать на 3D принтерах) с использованием металлов. Использование **Simufact Additive** позволяет создавать детали с первой же попытки и даёт возможность просчитывать и минимизировать деформации и остаточные напряжения, выбирать оптимальное направление роста, оптимизировать поддерживающую структуру, уменьшать затраты материала и энергии, и в целом увеличивать эффективность производства за счёт замены натуральных испытаний компьютерным моделированием.

Модульная концепция **Simufact.forming** и **Simufact.welding**:

	Горячая штамповка		Холодная штамповка
	Листовая штамповка		Прокатка
	Ковка		Раскатка колец
	Механические соединения		Термообработка
	Сварка давлением		Дуговая сварка
	Лазерная сварка		Точечная сварка

Организация современного инновационного процесса виртуального моделирования, анализа и оптимизации продукции в рамках всего предприятия

Инновационный прорыв в инженерных компьютерных технологиях

Успешными компаниями в современной глобальной экономике будут лишь те, которые смогут быстро реагировать на изменения запросов потребителей, использовать новые возможности и условия бизнеса на основе применения достижений новейших технологий.

Исторически предприятия использовали физические испытания, проверяя на натуральных экспериментах, соответствие их продукции огромному числу требований, которые предъявляются к ней в современном реальном мире. В последние десятилетия предприятия быстро изменяются. Они всё больше и больше заменяют физические испытания быстрым и точным компьютерным моделированием, анализом и оптимизацией, которые сейчас являются основой инновационных процессов в современных компаниях.

В то время, когда компьютерное моделирование движет вперед инновационные процессы компаний, практика самого компьютерного моделирования и анализа должна эволюционировать от отдельно решаемых задач и разрозненных компьютерных моделей, часто слабо связанных между собой, к Единой Интегрированной Системе моделирования и анализа в рамках всего Предприятия (Enterprise Integrated Solutions).

Задачи компьютерного моделирования и анализа решаются в настоящее время высококвалифицированными специалистами, имеющими специальную подготовку и многолетний опыт работы. Они строят компьютерные модели и решают серии задач в различных специализированных программных системах. Как правило, это длительный и сложный процесс.

Один из опросов показал, что типичная инженерная организация использует более 43 инженерных компьютерных систем, рассредоточенных по различным подразделениям, каждое из которых решает ряд задач или даже одну задачу и для каждой системы есть специалист, который выполняет данные решения на основе своих индивидуальных знаний, опыта и практики.

Как правило, каждая программная система использует свои уникальные компьютерные модели и форматы, которые требуют применения специальных трансляторов для обеспечения перехода от системы к системе, реализуя цикл компьютерного моделирования, анализа и оптимизации.

В результате всех указанных причин теряется интеграция данных. Практически отсутствует возможность повторного использования компьютерных моделей, нет системы отслеживания, контроля всего про-

цесса моделирования, отсутствует однородность среды моделирования и возможность повторять с меньшими усилиями и затратами однажды решенные комплексные сложные задачи.

Кроме этого отсутствует возможность моделирования различных физических процессов, решения различных физических задач на основе единой модели, что не позволяет моделировать весь комплекс одновременного воздействия различных физических факторов, которые действуют на созданный продукт в реальном мире.

Все это приводит к тому, что процесс компьютерного моделирования, анализа и оптимизации протекает слишком медленно и происходит его разрыв с другими бизнес процессами предприятия.

Таким образом, одной из главнейших задач дальнейшего развития платформ, процессов и систем виртуального моделирования и анализа является их тесная интеграция с другими процессами предприятия в целом.



Учитывая быструю динамику современного бизнеса, разрабатываемая среда инженерного моделирования и анализа должна быть гибкой, подвижной, реагирующей на новые требования и запросы, а также быть открытой для интеграции с существующими и будущими инженерными компьютерными технологиями.

Должна быть предусмотрена возможность тесной интеграции уже применяемых инженерных систем с существующими внешними, в настоящее время не применяемыми системами, а также с собственными систе-

мами, разрабатываемыми на предприятии, в единую интегрированную среду в рамках Единой Платформы моделирования и анализа Предприятия (**Complete Simulation Platform**).

Гибкая и масштабируемая Единая Платформа инженерного моделирования и анализа на Предприятии обеспечивает широкие возможности повышения экономических результатов работы компании. Например, точное моделирование, анализ и оптимизация продукции могут быть выполнены на ранних стадиях проектирования и эти процессы могут быть доступны широкому спектру пользователей в сложной, смешанной среде различных структур и отделов предприятия на основе единых моделей, единых управляемых и контролируемых процессов и единой Базы Данных.

Организация единого процесса виртуального моделирования, анализа и оптимизации продукции в рамках всего Предприятия даст возможность значительно сократить сроки выпуска конкурентоспособной и надежной продукции при значительном сокращении затрат и увеличении прибыли.

В результате применения Единой Платформы инженерного анализа и моделирования предприятие переводит на новый уровень взаимодействие и выполнение совместных работ, управление этими работами среди различных участников процесса виртуального моделирования, анализа и оптимизации продукции.

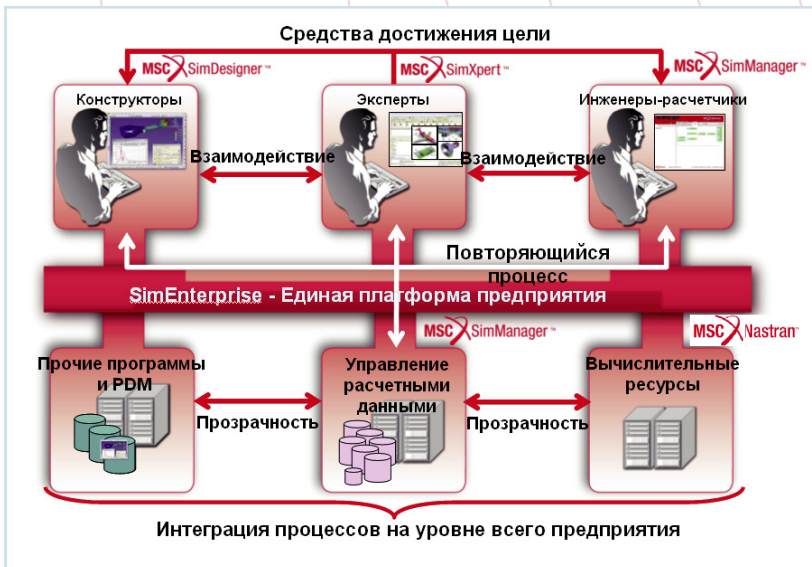
Единая Платформа Предприятия реализуется в интегрированной программной среде, которая предусматривает следующих участников процесса моделирования, анализа и оптимизации продукции:

Эксперты – высококвалифицированные инженеры со специальной подготовкой, работающие в многодисциплинарной программной рабочей среде с большими возможностями для решения комплексных задач высокой сложности. Эксперты имеют весь инструментарий для организации и создания «шаблонов» (templates) решения сложных комплексных задач с целью использования их другими инженерами и конструкторами. Таким образом, они создают основу организации процесса проектирования, анализа и оптимизации продукции в рамках всего Предприятия.

Конструкторы и инженеры – специалисты, имеющие доступ к системам моделирования и анализа, как на ранних стадиях конструкторских проработок на основе собственных расчетов, так и в процессе углубленного точного анализа и оптимизации продукции на основе повторного и многократного использования шаблонов, созданных экспертами.

Менеджеры – руководят, управляют и отслеживают весь процесс виртуального моделирования, анализа и оптимизации продукции на основе полученных результатов, которые хранятся в системном виде в Базе Данных. Менеджеры также принимают наиболее важные решения, контролируя эти данные и сам процесс.

Партнеры и Поставщики. Единая Платформа Предприятия для моделирования, анализа и оптимизации продукции позволяет Партнерам и Поставщикам

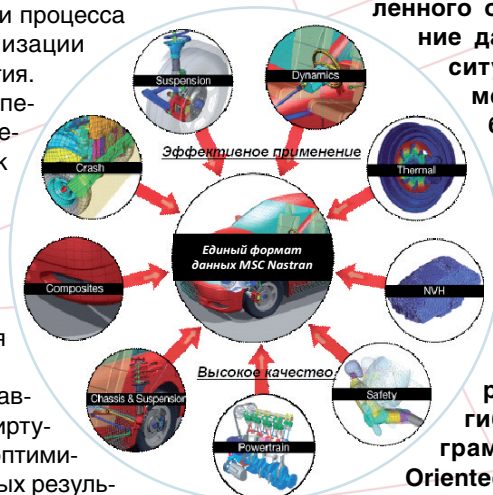


взаимодействовать с Предприятием в реальном масштабе времени, адаптируя свои продукты к вносимым изменениям и совместно оперативно вырабатывать новые технические требования. Наиболее важной при этом является тесная интеграция Партнеров и Поставщиков и расширение, за счет этого, самого процесса моделирования, анализа и оптимизации продукции Предприятия.

Единая Платформа Предприятия не только обеспечивает организацию высокоэффективного процесса виртуального моделирования, анализа и оптимизации продукции, но и реализует современный компьютерный подход к накоплению и систематизации опыта работ в рамках всего Предприятия. Накопление в Базе Знаний Предприятия шаблонов, фиксирующих процессы решения сложных комплексных задач высококвалифицированными специалистами, накопление в системном виде моделей, результатов исследований, технических отчетов и т.д., а также обеспечение контроля и доступа к этим данным и процессам со стороны всех участников работ, возможность повторного многовариантного использования – обеспечивают сохранение накопленного опыта и его дальнейшее применение даже в различных форс-мажорных ситуациях, характерных для современных компаний, например, болезнь или увольнение ведущих высококвалифицированных специалистов, вынужденные сокращения, реорганизации предприятий, и т.п.

Технологии, реализующие Единую Платформу Предприятия в области моделирования, анализа и оптимизации продукции разработаны на самой передовой и гибкой платформе создания программного обеспечения – Service Oriented Architecture (SOA), что обеспечивает легкую интеграцию продуктов MSC с другими известными системами, а также собственными разработками Предприятия, для создания единого интегрированного комплекса.

Ядро Единой Платформы Предприятия состоит из основных интегрированных систем, перечисленных ниже.

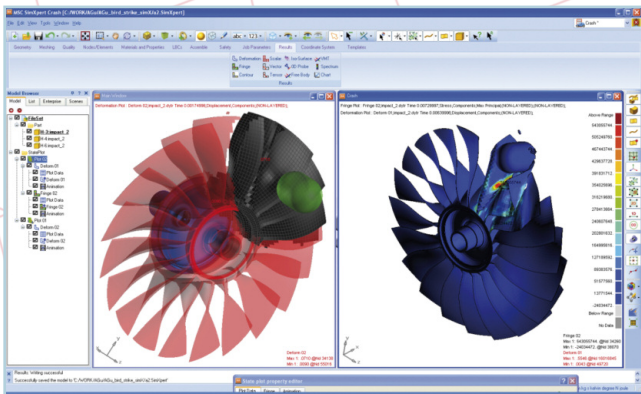




SimXpert

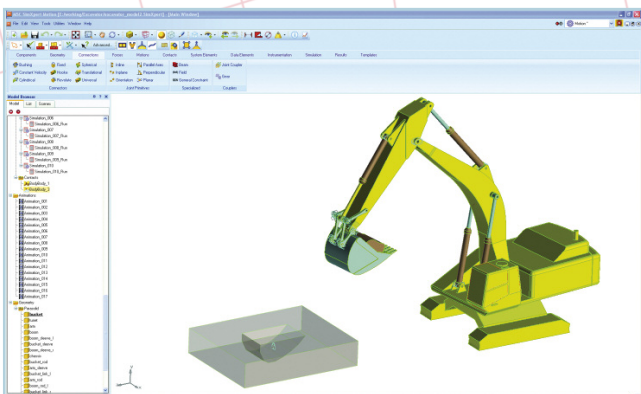
Интегрированная среда автоматизации сквозного многодисциплинарного моделирования и инженерного анализа

SimXpert – пре- и постпроцессор нового поколения для решателей MSC Nastran, Adams, LS-DYNA и EASY5. Наряду с развитыми возможностями по подготовке расчетных моделей и анализу результатов, SimXpert является программной средой, предназначенной для автоматизации процессов проектирования путем фиксации и многократного повторного использования знаний по процессам моделирования, анализа, обработки результатов расчетов. Система предназначена в первую очередь, для высококвалифицированных инженеров – экспертов, которые, обладая огромным опытом, знаниями, могут выступать в роли специалистов-методистов, формализующих в **SimXpert** методики решения инженерных задач. После того, как такая методика отработана специалистом-методистом, она становится доступной соответствующим специалистам с меньшей квалификацией, которые выполняют процессы инженерного анализа быстрее и с большей достоверностью результатов.



Как пре- и постпроцессор **SimXpert** включает в себя набор полнофункциональных настроек программной среды – **workspace** («рабочее пространство»), нацеленных на решение задач в определенной области знаний.

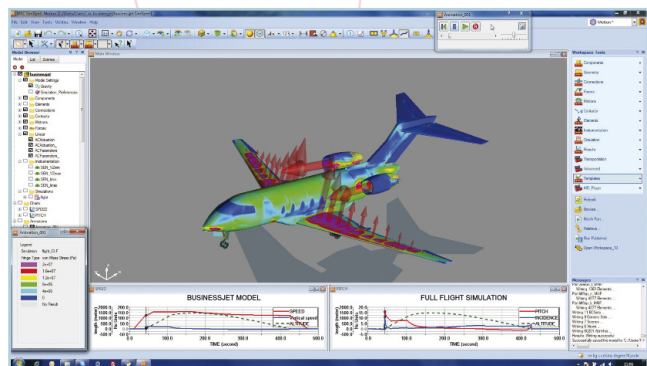
Structures: линейный и нелинейный, статический и динамический анализ конструкции, расчет собственных форм и частот колебаний конструкции, анализ потери устойчивости, частотный отклик, анализ переходных процессов, двумерный и трехмерный контакт жестких и упругих тел и т.д., а также развитые средства по моделированию геометрии, автоматизированные средства адаптации



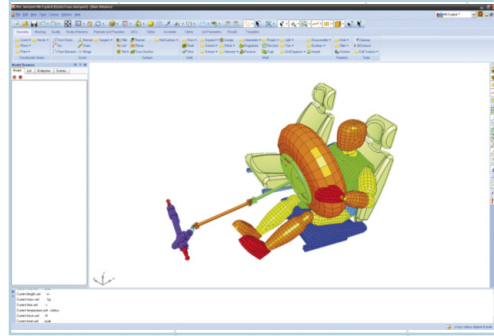
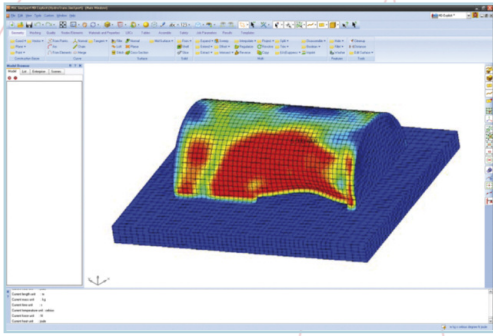
геометрических данных для нужд анализа конструкции, средства генерации, редактирования, в том числе «морфинга» конечноэлементной (КЭ) сетки и многие другие возможности. В качестве решателя используется многодисциплинарный решатель MSC Nastran – система, комбинирующая лучшие в своем классе системы компьютерного инженерного анализа, включая сам MSC Nastran, Marc, Dytran, LS-DYNA и Sinda в одну полностью интегрированную суперсистему для проведения многодисциплинарного моделирования в масштабах предприятия;

Motion: моделирование работы машин и механизмов с учетом кинематических и силовых связей (закреплений, жестких и упругих соединений, пружин, демпферов и т.д.), моделирование жестких и упругих тел на базе интеграции с **MSC Nastran**, выполнение статического, квазистатического и динамического расчета и т.д.; с помощью Motion Workspace можно быстро создать полностью параметризованную модель изделия, строя ее непосредственно в препроцессоре или импортируя из наиболее распространенных CAD-систем. Задав связи компонентов модели, приложив нагрузки, определив параметры кинематического воздействия и запустив расчет можно получить данные, полностью идентичные результатам натурных испытаний системы. Таким образом, представление о работе изделия появляется ещё до начала раскроя металла или отливки пластика для изготовления опытного образца; в качестве решателя используется Adams;

Thermal: полный тепловой анализ конечноэлементной модели (КЭМ) – расчет процессов теплопередачи, теплопроводности, естественной и вынужденной конвекции, излучения, а также выполнение связанного теплопрочностного анализа и т.д.; в качестве решателя используется MSC Nastran; Поддерживается построение тепловых сетей (RC Network) методом сосредоточенных параметров, в среде доступен весь арсенал инструментов, необходимых для использования технологий продвинутого теплового решателя Sinda, интегрированных в MSC Nastran.



Crash и MD Explicit: оценка безопасности конструкции – решение задач анализа конструкции явным методом с учетом существенно нелинейных факторов, моделирование столкновений конструкции с объектами окружающей среды – crash- и drop-тесты, манипулирование и позиционирование виртуального манекена пассажира и пешехода, моделирование срабатывания ремня безопас-



ности, подушки безопасности и т.д. В Crash workspace качестве решателя используется LS-DYNA. В MD Explicit используется решатель MSC Nastran SOL700.

Systems & Controls предоставляет возможности для моделирования широкого круга сложных технических систем и устройств: цифровых и аналоговых систем управления, гидроприводов, трансмиссий, двигателей внутреннего сгорания, пневматических, механических, электрических устройств, систем кондиционирования, управления аэродинамическими поверхностями, систем впрыска топлива, и т.д. В результате моделирования в Systems & Controls указанные системы включаются в модели созданные в SimXpert Structures, Thermal и Motion workspace с целью проведения всесторонних исследований функционирования изделий на различных режимах работы и в различных условиях эксплуатации. При этом моделируется конструкция машин, механизмов, приборов и других технических объектов в совместной работе с системами управления, гидравлическими, пневматическими, электрическими системами и т. д.

Инструментарий рабочего пространства Systems & Controls включает большое количество готовых математических моделей в виде отдельных функциональных блоков (сумматоров, делителей, фильтров, интеграторов, клапанов, двигателей, теплообменников, редукторов, муфт сцепления и др.). Также пользователь имеет возможность создавать собственные функциональные блоки, описанные на программных языках высокого уровня C++ или Fortran.

Пользователь в среде SimXpert Systems & Controls, работающий в конкретной области техники, соединяет эти "устройства", моделируя изделие на уровне функциональных блоков, и оптимизирует параметры разрабатываемых систем изделия.

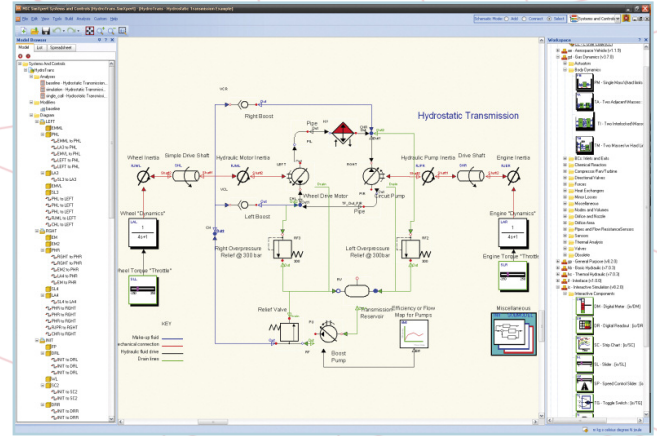
В состав Systems & Controls workspace входят библиотеки компонентов для многодисциплинарного анализа, включая специализированные наборы для аэрокосмической, автомобильной и других отраслей промышленности:

- *Aerospace Vehicle* – специализированная библиотека компонентов для моделирования авиационных систем;
- *Gas Dynamics* – библиотека компонентов, включающих расчётные модели, учитывающие сжимаемость газа;
- *General Purpose* – библиотека компонентов общего назначения;
- *Basic Hydraulic* – библиотека компонентов для моделирования гидромеханических систем;
- *Thermal Hydraulic* – расширенная библиотека компонентов для моделирования гидромеханических систем с учетом температур;

- *Interface* – библиотека компонентов для моделирования взаимодействия с SimXpert Motion workspace и Matlab Simulink;

- *Interactive Simulation* – библиотека компонентов для интерактивного взаимодействия с пользователем, средства динамической визуализации результатов анализа;

- *Multiphase Fluid* – библиотека компонентов устройств, основанных на фазовых превращениях.



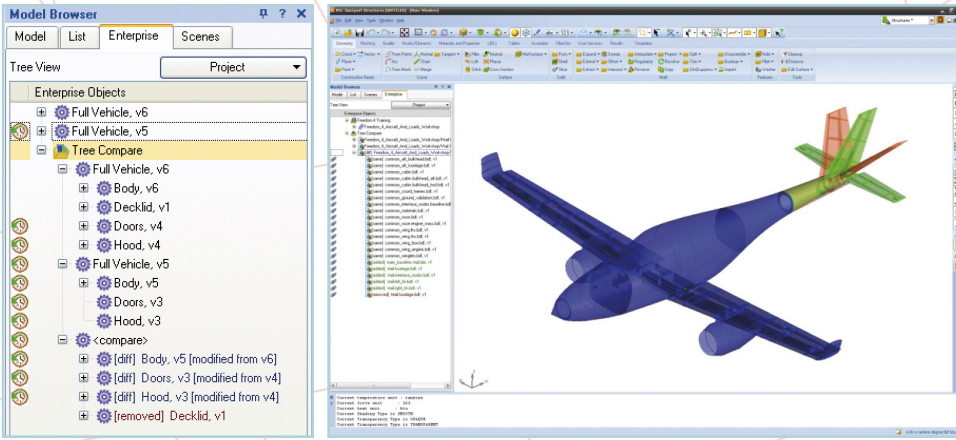
На базе перечисленных возможностей Systems & Controls workspace, в интеграции с другими рабочими пространствами SimXpert, создаются полные функциональные модели самолетов, автомобилей, танков, экскаваторов, приборов и т.д. и исследуется их работа при выполнении различных задач и в различных условиях эксплуатации, отыскиваются оптимальные решения на основе точного комплексного компьютерного моделирования.

Использование SimXpert за счет возможности прямого взаимодействия с CAD-системами, позволяет отказаться от трансляции данных, неизбежно приводящей к снижению точности модели и повышению вероятности появления ошибок. Поддерживается двунаправленная ассоциативная связь геометрической модели в **SimXpert** и CAD, сохраняется параметризация геометрической модели. **SimXpert** поддерживает интерфейсы CAD: CATIA v5, Pro/Engineer, CAD-систем, использующих геометрическое ядро Parasolid, а также другие форматы представления геометрической модели.

Как интегрирующую программную среду для автоматизации процессов моделирования отличает наличие:

- инструментов совместного доступа группы специалистов к структуре сложного совместного проекта;
- инструментария создания шаблонов автоматизации моделирования и анализа.

В систему SimXpert встроено средство совместного доступа инженеров-расчетчиков к структуре сложного проекта – **EMB** (Enterprise Model Browser, навигатор по структуре совместного проекта). С помощью этого инструмента пользователь может легко управлять конфигурациями изделия, вариантами исполнения изделия, при этом автоматически отслеживается, какая версия КЭ-сборки является актуальной – при каких-либо



ции для конкретного предприятия. Отлаженные сценарии могут быть многократно использованы для решения задач конструкторами и инженерами, которые работают в среде **SimDesigner**, **SimXpert** и **MSC Nastran**. При этом реализуется системный автоматизированный подход к накоплению и систематизации опыта работ в рамках всего предприятия. Накопленные в Базе знаний шаблоны и модели, фиксирующие важные этапы процессов создания

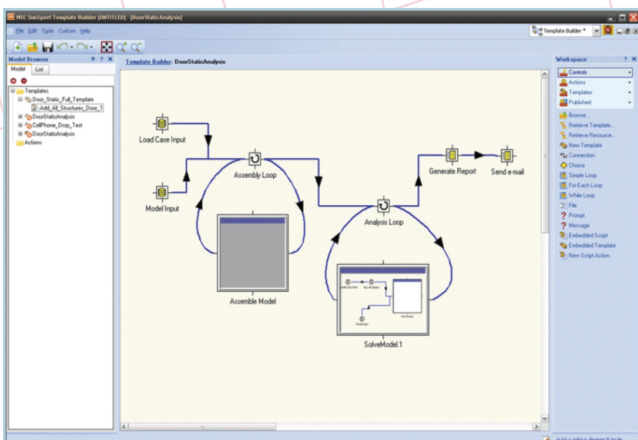
изменениях в проекте, система оценивает это и синхронизирует структуру проекта с системой управления инженерными данными SPDM SimManager. Система незамедлительно сигнализирует об изменениях всем пользователям, работающим над проектом. Таким образом, пользователи всегда работают с актуальными конфигурациями и версиями КЭ-сборки. В EMB внедрены также инструменты оперативного сравнения вариантов и конфигураций сложных КЭ-сборок, их компоновки и сборки.

В **SimXpert** интегрирована мощная среда автоматизации сложных повторяющихся расчетных процессов. Реализован подход в виде отдельного рабочего пространства – **Template Builder**, комфортной графической среды, в которой квалифицированный пользователь (например, эксперт–«методист») создает, отлаживает и «публикует» в рамках группы заинтересованных специалистов, подразделения или предприятия т.н. сценарии (шаблоны) моделирования, анализа и оптимизации – **SimXpert Templates**. Этот подход позволяет сохранять и накапливать лучшие методики проектирования для повторного их использования специалистами всего предприятия. За счет автоматизированного выполнения шаблонов процессов, а также увеличения числа пользователей меньшей квалификации, имеющих доступ к отлаженным сценариям расчетных процессов, производительность проектных работ существенно увеличивается. Шаблоны, разработанные в **Template Builder**, сохраняются и редактируются в среде **SimXpert**, затем могут передаваться в систему управления данными и процессами моделирования (**SPDM**) **SimManager**. Таким образом, создается «база знаний» процессов моделирования, анализа и автоматизации разработки продук-

ции на предприятии, не только значительно повышают эффективность и качество работ при сокращении сроков, но и обеспечивают сохранение накопленного опыта и его дальнейшее применение даже в различных форс-мажорных ситуациях, характерных для современных предприятий, например, болезнь ведущих специалистов, увольнения, вынужденные сокращения, реорганизации предприятий и т.п.

Преимущества SimXpert:

- **Сквозное моделирование** – решение задач в комплексе, с учетом взаимосвязи различных дисциплин, повышение производительности труда специалиста. Его работа полностью переносится в единую унифицированную междисциплинарную среду моделирования, анализа и автоматизации инженерных расчетных процессов;
- **Прямое взаимодействие с CAD** – SimXpert использует ту же математическую базу, что и CAD-системы. Как результат – повышается гибкость системы, ее управляемость, отсутствует необходимость в трансляции геометрических данных. Инженеру в среде CAE доступно дерево построения CAD-модели;
- **Многодисциплинарная интеграция и единая модель данных** – существенное расширение диапазона решаемых задач, повышение точности, снижение числа ошибок, связанных с трансляцией расчетных данных из одного формата в другой, решение проблемы «островов» – проблемы взаимодействия разнородных программных продуктов от различных производителей;
- **Автоматизация процессов моделирования и анализа путем использования шаблонов** – повышение эффективности проектирования, снижение рисков возникновения ошибок, выработка единого стандарта предприятия на процессы проектирования изделия;
- **Интеграция на уровне предприятия в целом** – существенное увеличение числа повторно выполняемых отлаженных процессов моделирования, анализа и оптимизации, обеспечение совместной работы экспертов, конструкторов, инженеров и менеджеров всего предприятия. База знаний по процессам моделирования используется всеми специалистами предприятия.



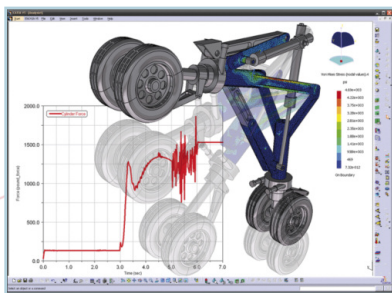


SimDesigner Workbench Edition for CATIA

Интеграция VPD технологий в среду системы проектирования CATIA

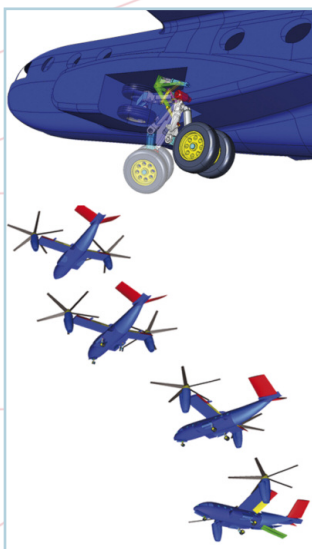
Данный программный продукт представляет собой набор модулей, встроенных в среду комплексной системы автоматизированного проектирования CATIA. **SimDesigner** позволяет широкому кругу пользователей CATIA использовать возможности современных VPD технологий MSC в процессе конструкторских работ. **SimDesigner** использует возможности интегрированных мощных решателей, как MSC Nastran, Marc, Adams. Конструктор, работая с CATIA, имеет возможность проводить оперативную оценку деталей, узлов или даже всей конструкции создаваемого изделия на основе точных расчетов перемещений, деформаций, напряжений, динамических характеристик, решения задач теплопередачи, проведения нелинейного анализа и т.п. Конструкторы с навыками работы в CATIA используют интегрированные решения

SimDesigner для углубленной проработки проекта. С другой стороны, возможности **SimDesigner** полезны инженерам-расчетчикам, которые для точного анализа и оптимизации деталей и узлов уже на ранних стадиях проектирования могут получать более обоснованные нагрузки и граничные условия, определенные конструкторами на основе виртуальных испытаний «упрощенных» моделей, но построенных для всего изделия в целом или его отдельных функциональных подсистем.



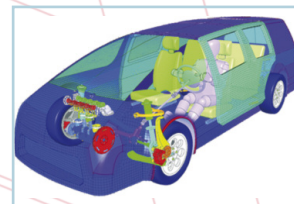
Основными компонентами **SimDesigner** являются:

- **SimDesigner Structures Workbench** – модуль линейного (построен на основе технологий MSC Nastran) и нелинейного (построен на основе технологий Marc) статического анализа конструкций. Линейный модуль позволяет проводить расчет собственных частот и форм колебаний конструкций, линейной потери устойчивости, частотного отклика, а также определять напряжения и деформации по слоям композиционного материала. Нелинейный модуль позволяет решать контактные задачи, геометрически нелинейные задачи, задачи с учетом пластичности материала, связанные термомеханические задачи;
- **SimDesigner Motion Workbench** – моделирование кинематики и динамики механизмов, контактных взаимодействий, эффектов трения; имеется возможность расче-



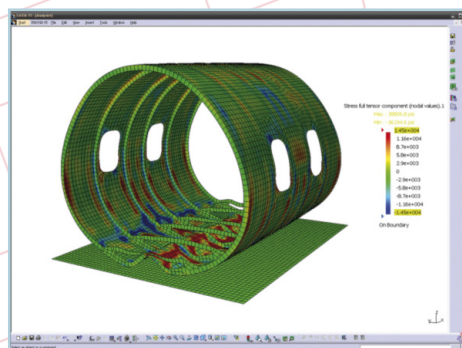
та механизмов с учетом упругости звеньев; рассчитанные нагрузки могут использоваться при проведении расчетов в Structures Workbench; имеются обширные возможности по обработке и визуализации результатов (модуль разработан на основе ADAMS);

- **SimDesigner Thermal Workbench** – специализированный модуль для проведения расчетов установившихся и не установившихся процессов теплопередачи (построен на основе технологий Marc и MSC Nastran);
- **SimDesigner Crash Workbench** – интегрированная среда моделирования быстропротекающих по времени, существенно нелинейных процессов (моделирование разрушения конструкций вследствие столкновений, ударов, взрывов и т. п.). Результатом работы модуля является входной файл для решателя LS-DYNA.



Кроме существующих модулей в **SimDesigner** предусмотрена также интеграция с SimManager. Имеется возможность построения конечно-элементных моделей (**Enterprise Gateways**) для расчета в таких программных комплексах, как MSC Nastran, Marc, LS-DYNA.

SimDesigner – это эффективный инструмент конструктора для проведения прочностных расчетов на ранних этапах проектирования, построенный на основе передовых технологий виртуальной разработки изделий (Virtual Product Development) и



CATIA. Основные преимущества SimDesigner:

- Полная интеграция с CATIA позволяет широкому кругу пользователей системы CATIA легко осваивать новые возможности VPD технологий и использовать их в своей работе;
- Дает возможность создавать и испытывать виртуальные прототипы уже на ранних стадиях проектирования с целью оптимизации конструкции, обеспечения требуемых эксплуатационных параметров, заданного ресурса, надежности, безопасности, технологичности, экономичности, соответствия нормам воздействия на окружающую среду и т.д.;
- Обеспечивает эффективное взаимодействие между конструкторами и инженерами-аналитиками;
- Уменьшает стоимость разработки и время доводки изделия.



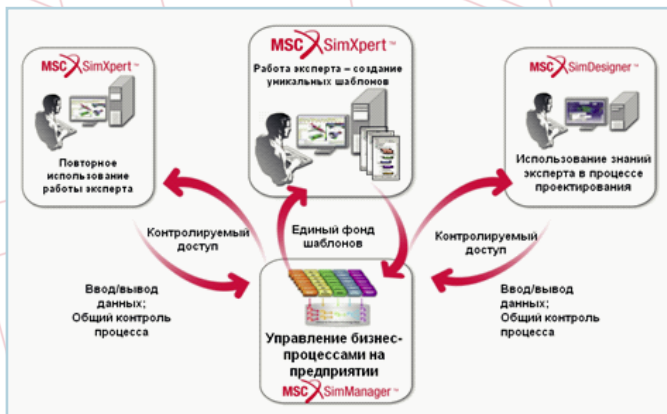
SimManager

Высший уровень организации инженерных работ на предприятии

Большое число различных вариантов проектируемой конструкции, рост числа граничных условий, нагрузочных режимов и расчетных случаев, множественные расчеты на различные комбинации статистических отклонений конструкции от "номинального" проекта, а также рост числа научных дисциплин и современных расчетных систем, используемых при проектировании изделия, приводят к росту объемов информации, которую необходимо получать, хранить и обрабатывать.

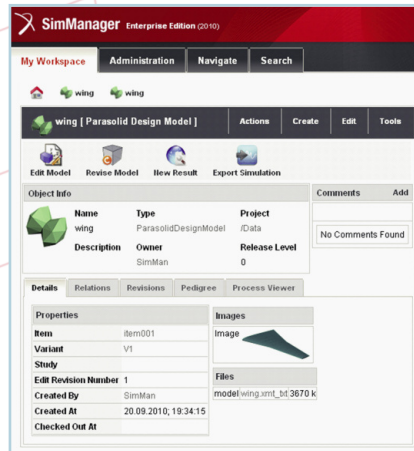
Все это требует наличия специального инструментария, обеспечивающего согласованное, эффективное управление огромными массивами данных проекта, легкий, структурированный доступ ко всем данным моделирования, оптимизации и анализа в рамках всего предприятия. Этот инструментарий должен обеспечивать повторяемый, стандартизованный процесс проектирования, органичную интеграцию различных инженерных систем и дисциплин, возможность сравнения результатов численного моделирования различных вариантов проекта с результатами физических тестов (испытаний). Таким инструментарием является **SimManager**.

SimManager – это комплекс программных инструментов для быстрого развертывания легких в использовании, основанных на интернет-технологиях порталов управления инженерными данными. **SimManager** в масштабах предприятия обеспечивает ключевые знания по изделию, начиная с ранних стадий проектирования, охватывает все расчетные модели и результаты. **SimManager** обеспечивает автоматическое управление данными по проекту, объединяет всех специалистов проекта, включая внешних партнеров, в едином VPD-процессе.



В отличие от традиционных инструментов управления данными (**Product Data Management, PDM**), широко используемых в сочетании с CAD-системами, **SimManager** создан для работы с объектами инженерного моделирования в той среде, в которой эти объекты были созданы. **SimManager**, наряду с **PDM**, органично интегрируется в общую **PLM (Product Lifecycle Management)** среду предприятия. **SimManager** дополняет **PLM** инфраструктуру, позволяя управлять не только геометрическими CAD-данными, но и данными и процессами инженерного моделирования, анализа и оптимизации.

SimManager управляет как процессом моделирования, так и данными моделирования на объектном уровне. Это позволяет полностью контролировать последовательность шагов, выполненных при моделировании и полностью отслеживать происхождение каждого результата (*data pedigree* – "родословная" данных). Например, можно ассоциировать тот или иной результат с некоторым вариантом расчетной модели, свойствами материала, версией программы обеспечения и компьютерной платформы, именем специалиста, выполнившего расчет и т.д. Или, например, ассоциировать результат с вариантом геометрии, хранящимся в PDM-системе.



SimManager поддерживает автоматизированный доступ к данным большинства распространенных коммерческих PDM-систем, позволяя получать геометрические модели изделий, данные об используемых материалах и их свойствах, структуру изделий и т.д., а также помещать в PDM-систему отчеты о результатах расчетов для подтверждения работоспособности изделий или обоснования принятия конструкторских решений.

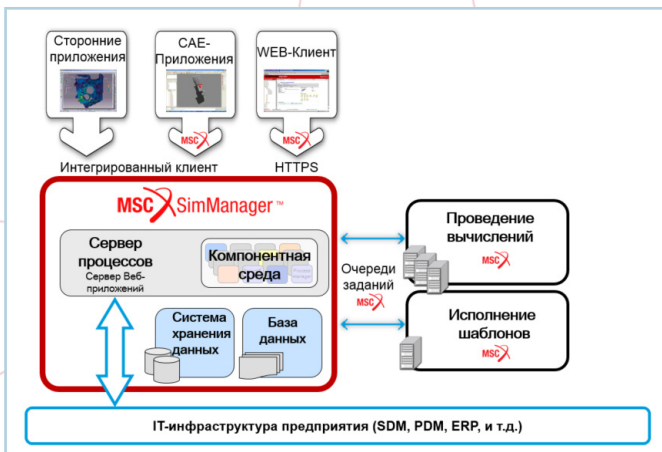
SimManager разработан для управления огромными объемами данных, полученных в результате многовариантных "what-if" ("что если") многодисциплинарных расчетных исследований изделия. Без применения **SimManager** такие данные (результаты моделирования, анализа, оптимизации) часто оказываются либо утраченными, либо теряется представление о том, какому именно варианту конструкции те или иные данные соответствуют. С использованием **SimManager** многочисленные результаты моделирования могут быть быстро и легко обработаны, а также может быть получен сравнительный отчет (описание) по каждому из них.

Особенностью **SimManager** является возможность работы с шаблонами процессов проектирования, позволяющими автоматизировать многие этапы моделирования, анализа и оптимизации изделия, а также управление данными инженерного анализа.

Автоматизация процессов разработки изделий, таких как предварительная обработка геометрических моделей изделий, генерация конечно-элементных сеток, проведение расчетов, импорт и пост-процессинг результатов счета, и т.д. производится путем создания и многократного использования шаблонов SimXpert. Помещение шаблонов SimXpert в общую информационную среду предприятия, обеспечение контролируемого доступа к шаблону, автоматизация

запуска шаблонов и сохранения результатов их работы реализованы с помощью автоматизированных процедур системы **SimManager**.

Автоматизация процессов обработки данных инженерного анализа, таких как импорт и экспорт, преобразование форматов расчетных моделей для различных решателей, сравнение исходных данных и ключевых результатов счета, выдача сравнительных отчетов для различных вариантов изделий, и т.д. реализуется в виде шаблонов **SimManager**. Стандартные операции с данными инженерного анализа автоматизированы в **SimManager** по умолчанию. Заготовки шаблонов **SimManager** позволяют быстро и эффективно реализовать специфические для предприятия процессы обработки данных средствами **SimManager**.



SimManager обеспечивает стандартизованный пользовательский интерфейс, который может конфигурироваться под индивидуальные потребности пользователей на конкретном предприятии. Интерфейс может быть полностью русифицирован по запросу предприятия.

SimManager позволяет автоматически получать стандартизованные и формализованные отчеты по результатам моделирования, анализа и оптимизации. Данные для отчетов собираются автоматически. Так же легко могут быть получены сравнительные отчеты. Система гарантирует, что только равнозначные, сопоставимые данные разных расчетов будут сравниваться между собой.

Основные функции системы управления процессами и данными (**Simulation Data and Process Management, SDPM**) **SimManager**:

- интеграция, согласование процесса проектирования в масштабах предприятия, обеспечение общей информационной среды; управление процессами инженерного моделирования;
- интеграция работы многих организаций, занимающихся разными темами (например, различными направлениями расчетов), возможно, находящихся на значительном удалении друг от друга;
- хранение данных (включая расчетные модели и результаты расчетов);
- архивация данных;
- управление данными;
- хранение, управление, обеспечение доступа пользователей к шаблонам процессов;
- автоматическая генерация стандартных отчетов по результатам;
- хранение отчетов;
- графический пользовательский интерфейс;
- согласование данных;
- обеспечение легкого доступа к данным;

- конфиденциальность доступа, авторизация, в т.ч. партнерской среды и поставщиков;
- преобразование данных для передачи из одной системы в другую, стандартизация данных;
- оптимизация (минимизация) хранимых данных;
- и т.д.

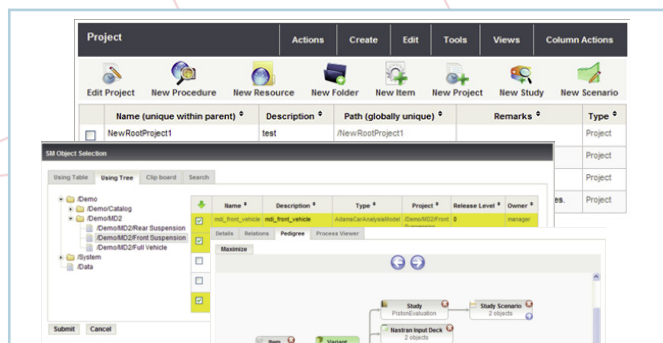
Доступ к данным в системе **SimManager** осуществляется из CAE-приложений MSC Software напрямую. В частности, полный доступ к данным и мета-данным **SimManager** из графического интерфейса пользователя системы SimXpert (модуль Enterprise Model Browser) позволяет просматривать всю структуру данных инженерного анализа в **SimManager**, добавлять данные в портал **SimManager**, загружать данные из портала, производить другие операции. Загрузка данных из **SimManager** и опубликование данных на портале **SimManager** также возможно из систем SimDesigner (с возможностью загрузки и исполнения шаблонов SimXpert), Patran, Adams и других систем.

Работа **SimManager** построена на базе сервис ориентированной архитектуры (*Service Oriented Architecture, SOA*). Пользователи **SimManager** получают доступ к информации, опубликованной на веб-портале через веб-браузер (*Thin client, "тонкий клиент"*), либо через средства доступа к порталу в приложениях (*Rich client, "толстый клиент"*). В комплекс приложений, необходимых для работы **SimManager** входят: сервер веб-приложений (*Web application server*), система управления базами данных (DB), защищенное хранилище файлов (*Storage file server*), сервер вычислительных ресурсов (*Compute server*), а также средства авторизации и разграничения прав доступа пользователей (*LDAP server*).

В **SimManager** интегрирован модуль VCollab, позволяющий визуализировать расчетные модели и результаты, а также автоматически формировать отчеты в форматах MS Word, Excel, PowerPoint, PDF, и др.

SimManager поставляется вместе с профессиональным сервисом MSC Software. Специалисты MSC обеспечивают развертывание и настройку оболочки **SimManager** на предприятии, начиная со стадии обсуждения технического задания. При этом обеспечиваются индивидуальная структура базы данных, учет сетевых возможностей предприятия, требования по авторизации и разграничению прав доступа пользователей, учет требований руководящих документов и т.д.

SimManager позволяет в рамках предприятия, и даже группы предприятий, обеспечить оптимальную организацию инженерного процесса, жесткое следование разработанным методикам отработки изделий, многократное эффективное использование стандартизованных методик разработки изделий и обработки данных, создать базу знаний предприятия на базе таких методик, сохраняя интеллектуальный потенциал экспертов и вовлекая в производственный процесс молодых специалистов и специалистов конструкторских отделов. В конечном итоге это позволяет существенно ускорить внедрение инноваций, повысить качество изделий, сократить сроки и стоимость проектирования, поднять на



новый уровень конкурентоспособность предприятия на мировом рынке.

SimManager успешно внедрен и эффективно используется крупнейшими компаниями – мировыми лидерами в аэрокосмической, авиадвигательной, автомобильной и других отраслях. Пользователями **SimManager** являются такие

компании, как Alenia Aeronautica, Boeing, Audi, BMW, Volkswagen, Seat, DaimlerChrysler, GKN, TI Automotive, Caterpillar, Fincantieri и др. Первой компанией-пользователем **SimManager** в России является Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова (ЦИАМ).



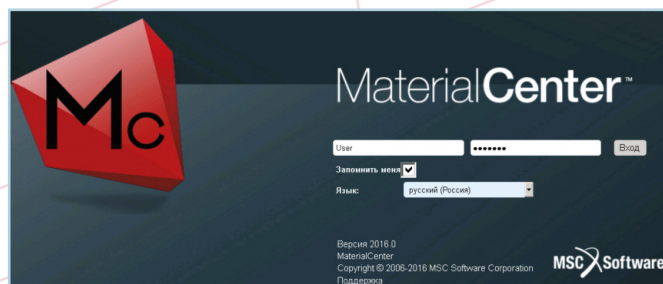
MSC MaterialCenter

Система управления данными о материалах

Обработка сведений о свойствах материалов является важной частью информационного обеспечения жизненного цикла изделий. При разработке, сервисном обслуживании, ремонте, модификации и продлении сроков эксплуатации изделий наличие актуальных сведений о свойствах материалов – залог принятия правильных конструкторско-технологических решений. Наличие значительного числа материалов, различных методов их обработки (термообработка, упрочнение, нанесение покрытий, и т.д.), результатов натурных экспериментов, различных поставщиков и партий материалов с различными фактическими свойствами, большое количество справочно-методической литературы – всё это делает систематизацию данных о материалах нетривиальной задачей, требующей применения централизованной программных средств. Организация коллективного доступа к свойствам материалов, процесса утверждения и согласования применяемых свойств, выдача разрешений на применение тех или иных материалов, обеспечение требуемого уровня защиты этих данных также приводит к необходимости организации централизованной среды хранения и обработки этих данных в масштабе предприятия или кооперации предприятий. Полнофункциональной системой верхнего уровня для решения этих задач является **MaterialCenter**.

В **MaterialCenter** реализовано централизованное и системное хранение всех требуемых данных о свойствах материалов: числовых значений, графиков и таблиц, изображений (например, микроструктуры), ссылок на внешние источники, любых вложений (документов) и т.д. При этом для одного материала имеется возможность задания ряда параметров и источников получения сведений, и для каждого сочетания параметров и источников задать свой набор свойств. Например, для одного вида термообработки стали и одной испытательной лаборатории – одни свойства, а для другой термообработки и другой лаборатории – другие свойства. Удобные инструменты поиска, сравнения, отслеживания версии данных и их происхождения (кто, когда и какие данные внёс) позволяют быстро найти нужные сведения в большом массиве данных.

Ввод данных можно осуществлять как вручную с помощью удобного web-интерфейса, так автоматически – путём загрузки массивов данных из Excel и других источников. Для этого в **MaterialCenter** предусмотрена интеграция с распространёнными PDM-системами, поддержка распространённых форматов представления свойств материалов (MatML, PLMXML, собственный настраиваемый xml-формат, форматированные текстовые файлы). Внесение и вывод данных



Окно входа в систему

также возможны по протоколу REST. Реализована интеграция **MaterialCenter** с системой предыдущего поколения MVision, банки данных MVision считываются напрямую. Существует модуль интеграции **MaterialCenter** с испытательными машинами.

Структура данных **MaterialCenter** может быть модифицирована уполномоченным на это пользователем. Модификация может производиться в графическом интерфейсе, при этом новую структуру данных сразу же можно применять для ввода-вывода данных (т.е. модификация происходит «на лету»). В структуре данных уже предусмотрены атрибуты практически для всех возможных сценариев применения системы. В частности, предусмотрен широчайший набор свойств материала, возможных источников получения свойств, типы анализа, решатели, области применения, и многое другое. Пользователь может дополнять любые атрибуты самостоятельно.

Наряду с получением данных о свойствах материалов в развитом web-интерфейсе **MaterialCenter** предусмотрены интегрирующие модули с решателями MSC Software – **MSC Nastran**, **Marc**, а также с системами сторонних разработчиков. Возможна выдача прямой ссылки на любой элемент данных **MaterialCenter**, при сохранении требований по защите данных.

Ввод и вывод (отображение) данных могут осуществляться в выбранной пользователем системе единиц. Стандартные системы единиц встроены в **MaterialCenter**, пользователь может выбрать требуемую систему из списка. Возможно задание нестандартной системы единиц, и она станет доступной для выбора пользователями. Каждый пользователь может установить в настройках удобную для себя систему единиц, при этом **MaterialCenter** осуществляет конвертацию всех выводимых данных в эту систему автоматически; ввод данных также осуществляется в выбранной системе единиц.

Лицензирование программных продуктов MSC

Программные продукты MSC лицензируются на основе стандартного лицензионного договора, соответствующего требованиям и нормам международного права.

Пользователями программных продуктов MSC являются предприятия самого различного масштаба: от транснациональных корпораций-гигантов, располагающих крупными отделами инженерного анализа, до небольших конструкторских бюро с одним-двумя инженерами-расчётчиками. Стремясь удовлетворить возможно более широкий спектр заказчиков, MSC предлагает для своих программных продуктов различные типы лицензий.

Жетонная система лицензирования MasterKey Plus.

Жетонная система лицензирования является системой лицензирования верхнего уровня и предоставляет самые широкие возможности доступа к программным продуктам MSC. Данная система ориентирована, в первую очередь, на использование в службах инженерного анализа предприятий и исследовательских центров, выполняющих развёрнутый углублённый анализ работы и оптимизацию параметров сложных изделий с позиций статике, динамики, устойчивости, теплопередачи, акустики и т.д.

Суть жетонной системы лицензирования заключается в том, что в рамках любого контракта, базирующегося на такой системе, конечный пользователь приобретает не конкретный набор систем, а условные единицы лицензирования – “ЖЕТОНЫ”, дающие право на использование любых систем инженерного анализа, разрабатываемых и поставляемых MSC. Соответственно, компании – пользователю поставляется и устанавливается на ее компьютерах весь основной комплекс VPD систем MSC, состоящий из более чем 115 интегрированных приложений высокого уровня. Каждое из этих приложений имеет свою “цену” запуска в “жетонах”. При этом нет никакого ограничения на число рабочих мест или определенное их распределение по отделам и компьютерам, подключённым к сети. Система лицензирования лишь отслеживает, чтобы в текущий момент времени “цена” работающих одновременно систем (в жетонах) не превышала общего числа жетонов, купленных предприятием-пользователем. Жетоны, занятые какой-либо системой, при завершении работы этой системы, освобождаются, и могут тут же использоваться для запуска других систем. Если все жетоны заняты, вновь запускаемые системы становятся в очередь в ожидании освобождения жетонов.

Кроме основного комплекса VPD систем MSC Software, в рамках VPD контракта компания-пользователь получает возможность приобретения любых систем из дополнительного списка VPD комплекса MSC. Особенностью этих систем является то, что они разрабатываются в кооперации с партнерами MSC Software, что находит своё отражение в необходимости приобретения отдельной лицензии.

Жетонная система лицензирования (как и другие сетевые системы лицензирования) работает на базе компьютерной сети: “локальной” (компьютеры расположены в пределах территории предприятия, но не далее 20 км); “административно-территориальной” (в пределах одной страны) или

“региональной” (в пределах территории, определённой соглашением с MSC Software).

В рамках базовой конфигурации жетонной системы **MasterKey Plus** лицензируется доступ ко всем традиционным инженерным решениям корпорации MSC Software: MSC Nastran, Patran, Marc, Dytran, Adams, Easy5 и др. В качестве дополнительных опций через жетонную систему лицензирования может быть также организован доступ к системам SimExpert, SimDesigner, SimManager, Sinda и некоторым другим модулям.

Помимо системы **MasterKey Plus**, лицензия на которую может быть приобретена в бессрочное пользование, с 2015 года корпорация MSC Software предлагает ещё одну универсальную жетонную систему лицензирования – **MSC One**, которую можно взять в аренду на любой определённый период (бессрочных лицензий на **MSC One** не существует). Эта система, кроме программного обеспечения входящего в **MasterKey Plus**, также включает в себя пакеты MSC Apex, Actran и Digimat. Для предприятий и отделов, которым не нужен весь спектр программного обеспечения MSC Software и требуется только 1-2 рабочих места, предлагается упрощённый вариант этой системы лицензирования – **MSC One SatrtEdition**, не включающий системы Actran и Digimat.

Наряду с жетонной системой лицензирования существуют и другие типы лицензий, характеризующихся совокупностью следующих параметров.

“Фиксированные” (Node Lock) и “сетевые” (Network) лицензии. В рамках “фиксированной” лицензии запуск программ возможен только на конкретном (заранее определённом) компьютере, а при использовании “сетевой” лицензии – на любом компьютере, подключённом к “локальной”, “административно-территориальной” или “региональной” сети.

Архитектура лицензии. Программные продукты MSC имеют пакетно-модульную архитектуру: Заказчик может приобрести, например, лицензию на пакет MSC Nastran Base (комбинация различных функциональных модулей: линейная статика, собственные частоты, линейный контакт и др.) и лицензию на какие-либо дополнительные модули, которые отвечают конкретным (может быть, весьма узким) потребностям его предприятия (пример: MSC Nastran Base + MSC Nastran Optimization Package – базовый пакет MSC Nastran + пакет для решения задач оптимизации).

Продолжительность действия лицензий и их количество. Лицензия может быть бессрочная (Paid Up) или на ограниченный срок (Lease). Кроме того, для фиксированных и сетевых лицензий определяется количество рабочих мест.

Конкретная лицензия характеризуется совокупностью вышеуказанных параметров: например, бессрочная сетевая лицензия на 2 рабочих места.

Таким образом, MSC предлагает Заказчикам различные лицензии на свои программные продукты в широком диапазоне возможностей и, естественно, в широком диапазоне стоимости. Специалисты MSC готовы оказать всестороннюю помощь в выборе конфигурации программного обеспечения и типа лицензии, в наибольшей степени удовлетворяющих потребности предприятия – Заказчика.

Обучение

Эффективное внедрение современных технологий Виртуальной Разработки Изделий (VPD) невозможно без квалифицированных кадров. Только при наличии подготовленных и обученных технических специалистов можно получить соответствующую отдачу от использования такого рода наукоемких систем инженерного анализа. Именно по этой причине корпорация MSC Software уделяет большое внимание вопросу обучения своих пользователей. В состав MSC входит специальное подразделение Институт Образования MSC, который занимается разработкой учебных и методических материалов по изучению и применению VPD систем.

На основе апробированных методических материалов MSC организует по всему миру обучение пользователей

работе с каждым из своих продуктов. Занятия включают в себя как вводные, так и углубленные курсы. В основном обучение проводится в форме учебно-практических семинаров. Осуществляется также обучение пользователей на рабочих местах и по проблемам, представляющим специфическую сферу интересов для конкретного предприятия.

Каждый год на территории России, в странах СНГ и Балтии проводятся десятки семинаров, где проходят обучение сотни человек. Ведущие специалисты Российских компаний обучались и за рубежом. Ежегодно, во всём мире, MSC проводит большое количество семинаров, с расписанием и содержанием которых можно познакомиться на страницах MSC в Интернете по адресам www.mscsoftware.com и www.mscsoftware.ru

Поддержка и сопровождение

Еще одним залогом успешного внедрения VPD-технологий на предприятии является сопровождение и поддержка программного обеспечения со стороны разработчика. Поддержка клиентов, эта своеобразная визитная карточка корпорации MSC Software, – одно из важнейших слагаемых успеха компании. MSC направляет существенную часть своих ресурсов на создание лучшей системы поддержки в отрасли. Обеспечивая оперативную техническую поддержку по телефону, проводя учебные занятия и предоставляя клиентам подробную документацию, мы помогаем им извлекать максимальную пользу из каждого нашего продукта. Техническая поддержка осуществляется через телефонную “горячую линию”, электронную почту, консультации, как в офисе MSC, так и на территории предприятий-клиентов, решения демонстрационных задач. Гарантией качества поддержки является то, что в зависимости от сложности вопросов может быть задействована вся цепочка технических специалистов, включая: подготовленных технических специалистов региональных реселлеров, специалистов Московского офиса, и затем большого количества специалистов со всего мира. Кроме этого, в настоящее время в MSC созданы виртуальные группы поддержки, специализирующиеся по отдельным системам и включающие в себя специалистов из разных стран с разных континентов, работающих вместе на основе современных электронных средств коммуникации.

В понятие технической поддержки входит также автоматическая поставка новых версий систем и соответствующей документации.

Корпорация MSC Software предлагает информационные блоки, представленные в виде подкастов, которые в

сжатой, но очень емкой, целевой форме мультимедийного видео файла с презентацией и авторским голосовым сопровождением, рассказывают о новых технологиях в области инженерного моделирования и анализа. Эти подкасты доступны для просмотра и скачивания в сети Интернет.

Пользователи MSC могут зарегистрироваться на сайте <https://simcompanion.mscsoftware.com> и получить доступ к базе данных, содержащей новости, материалы конференций, технические публикации, документацию по системам MSC Software. Кроме этого на сайте содержится описание известных ошибок, примеры использования программных продуктов MSC Software, описание новых возможностей, анонсы новых и архивы прошедших вебинаров, ссылки на подкасты и видеоролики на YouTube, ссылки на группы MSC в различных социальных сетях, форум пользователей MSC и многое другое. Присутствует возможность подписки на новости по интересующим разделам.

Ежегодно по всему миру проводятся пользовательские конференции по обмену опытом применения компьютерных технологий MSC и определения задач для дальнейшего развития систем MSC. С трудами конференций и других изданий можно ознакомиться в офисах и на сайтах MSC. Структура конференций: Американская, Европейская, Азиатская, местные конференции по отдельным странам. В России постоянно проводятся региональные конференции а также специализированные конференции для высших учебных заведений. **С 1998 года в Москве ежегодно проводятся Российские конференции пользователей систем MSC.**

Обладатели лицензий на системы MSC в России, странах СНГ и Балтии

АвиаАС, ОАО “Авиадвигатель”, “АВТОВАЗ”, АК им. С.В. Ильюшина, АМНТК “Союз”, АНТК им О.К. Антонова, Атомэнергопроект, “Аэрокомпозит”, Балаковорезинотехника, Boeing Operations International Inc. (г. Москва), ВКМ, ВНИИЕМ, ВНИИНМ, ВНИИСИМС, ВНИКТИ, “Волтайр”, ВЭЛНИИ, ГАЗ, Гидропресс, “Гиредмет”, ГКНПЦ им. Хруничева, ГМКБ “Радуга”, ГОИ, ГосНИИАС, Гражданские Самолеты Сухого, “Гранд Экспресс”, “Диафильм-ТС”, “ДомнаРемонт”, Донгипроуглемаш, GE RUS, Завод им. В.А. Дегтярёва, Завод турбинных лопаток, “Икар” (совместное предприятие Airbus и Каскол), Инвестиционная компания “Техмашинвест”, Институт Гидропроект ЦСГНЭО, Институт космических исследований РАН, Институт тепло- и массообмена НАН Беларуси, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН,

“Информационные спутниковые системы”, КААЗ, Казахстан Гарыш Сапары, КамАЗ, Корпорация “Иркут”, КБ “Арсенал”, КБ им. Макеева, КБ “Мир”, КБТМ, КБ Точмаш, КБХА, КБ “Южное”, КНААПО, Концерн радиостроения “Вега”, Коломенский завод, Konkort Ltd., Корпорация “Иркут”, Корпорация “Комета”, “Красцветмет”, Криогенмаш, МВЗ им. М.Л. Миля, МИТ, ММЭЗ-КТ, “Мотор Сич”, НАЗ “Сокол”, НАМИ, НИАТ, НИИР, НИК, НИПИморнефть, НПО “Винт”, НПО им. С.А. Лавочкина, НПО Машиностроения, НПО “Сатурн”, НПО “Энергомаш”, НПЦ газотурбостроения “Салют”, МАЗ, МТЗ, ОАО “Камов”, ОАО “Пластик”, ОАО “Туполев”, Обнинское НПП “Технология”, Объединённый институт машиностроения НАН Беларуси, ОИПИ НАН Беларуси, ОКБ Сухого, ОКБМ им. И.И. Африкантова, ОКБ им. А.С. Яковлева, “Пеленг”,

Пензяжпромарматура, ПКТИ Атомармпроект, Pratt&Whitney-Rus Ltd., “Прогрессстех”, Промтрактор, РКК “Энергия”, РНИИ КП, РосНИТИ, “Ростсельмаш”, РСК “МиГ”, РТИ Аэрокосмические системы, СКБ ПА, СКБТ, SMARTEC (отделение компании Snesta в России), “Solomon Alsberg”, “Средне-Невский судостроительный завод”, “Тагмет”, ТАНТК им. Бериева, Tbilviamsheni, Тверьвагонзавод, ТОО “Галам”, “Тяжмаш”, УралАЗ, Уралвагонзавод, УКБТМ, ЦАГИ, ЦИАМ, ЦНИИМАШ, ЦНИИ “Буревестник”, ЦНИИ КМ “Прометей”, ЦНИИ им. Крылова, ЦНИИС НИЦ “Мосты”, ЦНИИХМ, ЦСКБ-Прогресс, Чебоксарский АЗ, Чепецкий МЗ, ЧТПЗ, “Хамильтон Стандарт – Наука”, Электросила.

Астраханский ГТУ, Белгородский ГТУ, Белорусский Национальный ТУ, Вильнюсский университет, Волгоградский ГТУ, Восточно-Казахстанский ГТУ, Днепропетровский НУ железнодорожного транспорта, Иркутский ГТУ, Иркутский ГУПС, Казанский ГТУ (КАИ), Камская гос. инженерно-экономическая академия, Каунасский технологический университет, Киевский национальный транспортный университет, Казахский НТУ, Казахский национальный аграрный университет, Казахский национальный университет, НТУУ “Киевский политехнический институт”, КНАГТУ, Красноярский ГТУ, Липецкий ГТУ, Магнитогорский ГТУ, МАДИ, МАИ, МГСУ,

Приобретение лицензий на использование систем MSC

Приобретение лицензий на программное обеспечение корпорации MSC Software на территории России, стран СНГ и Балтии осуществляется через дочернюю компанию MSC Software Corporation в России и СНГ – ООО “MSC Software RUS”: 123022, Москва, ул. 2-я Звенигородская, 13, стр. 43, 5 этаж.

Телефон: +7 (495) 363-06-83 (многоканальный), +7 (495) 363-62-48, Факс: (495) 787-76-06, Интернет: www.mssoftware.ru, www.mssoftware.com

Программное обеспечение корпорации MSC Software можно также приобрести и через официальных партнёров в России, странах СНГ и Балтии, которыми в настоящее время являются:

1. “БелХард Групп”, Республика Беларусь, 220004, г. Минск, ул. Мельникайте, 2-709, тел.: +375 17 226-8426, факс: +375 17 226-71-70, www.belhard.com
2. “Би Питрон СП”, 191014, г. С.-Петербург, Виленский пер., д.4, тел.: +7 (812) 272-16-66, +7 (495) 580-61-90, факс: +7 (812) 272-38-69, www.bee-pitron.com
3. “ДАТОЛИТ Консалтинг”, 111024, г. Москва, Андроновское шоссе, 26, стр. 2, тел.: +7 (495) 995-25-00, факс: +7(495)995-25-01, www.datolit.com
4. “Инновационные технологии и решения”, 129366, г. Москва, ул. Ярославская, д. 13а, офис 5, тел./факс: +7 (495) 663-99-55, www.inteso.ru
5. “IN RE” Ltd, Lithuania, LT-01108, Vilnius, Lukiskiu str. 3, тел.: +370 5 212-46-60, fax: +370 5 261-30-21, www.inre.lt

Учебно-методическая литература MSC Software Corporation на русском языке

Приведенный ниже список литературы включает в себя учебно-методическую литературу общего назначения и специальные руководства по решению конкретных задач.

Учебно-методическая литература общего назначения содержит теоретические и практические основы по применению систем MSC. Пособия ориентированы как на начинающих, так и на опытных пользователей.

В учебно-методических пособиях, направленных на **изучение методик решений конкретных практических задач** приводится постановка задачи и подробное описание каждого шага ее решения с применением систем MSC. Описываются последовательности команд и вводимые параметры, приводятся входные файлы

МГТУ им. Баумана, МИИТ, МИХМ, МЭИ, Назарбаев Университет, Нижегородский гос. архитектурно-строительный университет, Нижегородский ГТУ, Новосибирский ГТУ, Новосибирский ГУ, Пермский ГТУ, Рижский Технический Университет, РУДН, Самарские технические ВУЗы, Челябинский гос. агроинженерный университет, Санкт-Петербургский гос. морской технический университет, Санкт-Петербургский гос. политехнический университет, Санкт-Петербургский гос. университет информационных технологий, механики и оптики, Сибирский федеральный университет, Ташкентский автомобильно-дорожный институт, Томский государственный университет, Физико-технический ин-т АН Беларуси, ХАИ, Южно-Уральский ГУ, Южный федеральный университет, и другие.

Вот уже более 50 лет корпорация MSC Software производит высококачественное программное обеспечение для инженеров. Мы занимаем ведущие позиции в сфере виртуального моделирования и инженерного анализа. Наше мощное программное обеспечение, всесторонняя поддержка и обучение клиентов, тщательное тестирование каждого продукта до его выхода на рынок, известны повсеместно. Во главу угла мы ставим качество, и это отражается на разработке, реализации и поддержке каждого нашего продукта.

6. “Интерпроком”, 117105, г. Москва, ул. Нагатинская 1, стр.14, тел./факс: +7 (495) 781-92-64, www.interprocom.ru
7. “Ланит”, 105066, г. Москва, ул. Доброслободская 5, тел.: +7 (495) 967-66-57, факс: +7 (499) 261-57-81, www.lanit.ru
8. “Продуктивные технологические системы”, 109147, г. Москва, ул. Марксистская, 16, тел.: +7 (495) 737-78-78, факс: +7 (495) 737-78-76, www.pts-russia.com
9. “RAM Trade company”, Республика Казахстан, 050026, г. Алматы, ул. Муканова, 223В, оф. 8А, тел./факс: +7 (727) 300-63-66, +7 (727) 300-75-43, www.companyr.am.kz
10. “Русская Промышленная Компания”, 101000, г. Москва, Петроверигский пер. 4, тел/факс: +7 (495) 744-00-04, www.cad.ru
11. “Русский САПР”, 125047, г. Москва, Оружейный пер. 17а, тел.: +7 (495) 744-00-11, факс: +7 (499) 517-91-10, www.rusapr.ru
12. “СиСофт”, 108811, г. Москва, Румянцево, 22-й км Киевского шоссе, д. 4, стр. 1, офис 508А, тел.: +7 (495) 913-22-22, факс: +7 (495) 913-22-21, www.csoft.ru
13. “Технополис”, Украина, 01011, Киев, пер. Кутузова 3, тел./факс: +380 44 280-31-18, +380 44 288-85-76, www.tpolis.com
14. “Техпром”, 446010, Россия, Самарская обл., г. Сызрань, ул. Гидротурбинная, 13, тел. +7 (8464) 37-81-12, 37-84-12, факс: +7 (8464) 37-34-92, 37-34-67, www.tech-prom.com
15. “Центр Информационных Технологий “Мебиус”, 198262, г. С.-Петербург, Ленинский проспект 101, тел./факс: +7 (812) 757-57-44, +7 (812) 757-14-11, www.mebius.spb.ru
16. “ЦЕНТР ЭФФЕКТИВНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РЕШЕНИЙ” (ЦЭПР), 125284, г. Москва, 1-й Боткинский проезд 7, стр. 26, тел.: +7 (495) 708-42-94, факс: +7 (499) 795-89-69, www.cepr.ru

данных и файлы результатов, таблицы, графики и т.д.

Пособия подготовлены высококвалифицированными специалистами на ведущих предприятиях России в процессе проектирования и доводки реальных промышленных изделий.

Цель пособий – ускорить получение практических результатов при внедрении систем MSC, повысить эффективность их применения на основе обмена опытом по решению сложных инженерных задач.

Инженер получает уникальную возможность быстро изучить самые сложные и эффективные методы расчетов, проводимые лучшими специалистами на ведущих предприятиях промышленности.

Официальные пользователи компании MSC Software могут бесплатно получить учебно-методические пособия в электронном виде в Московском офисе MSC.

1. «Теоретические основы анализа конструкций с применением метода конечных элементов.» Шатров Б.В., 76 стр.
2. «MSC.Nastran. Динамика. Практическая работа.» Шатров Б.В., 82 стр.
3. «Расчет собственных частот и критических оборотов системы ротор-статор с применением MSC.Nastran.» Гинесин Л.Ю., 28 стр.
4. «Оптимизация в MSC.Patran. Практическая работа.» Китаев М.В., 55 стр.
5. «Использование метода динамического синтеза (Крейга-Бемптона) в MSC.Nastran» Жидяев К.А., 23 стр.
6. «Моделирование с помощью MSC.Nastran колебаний вращающихся управляемых колес автомобиля с учетом гироскопического эффекта.» Сергиевский С.А., 25 стр.
7. «Подключение пользовательского модуля «Сортировка оболочечных элементов по характерному размеру» в систему MSC.Patran используя командный язык PCL.» Копанев Д.В., Цапков А.А., 17 стр.
8. «Методика расчета автомобильной шины с использованием системы MSC.Patran Advanced FEA» Солдаткин А.Н., Китаев М.В., 51 стр.
9. «Расчет втулки ротора с применением систем MSC.Nastran и MSC.Patran» Китаев М.В., 30 стр.
10. «Моделирование композиционных материалов с использованием систем MSC.Nastran и MSC.Patran» Китаев М.В., 63 стр.
11. «Оптимизация композиционных материалов с использованием системы MSC.Nastran» Полиновский В.П., 27 стр.
12. «3306 учебных, тестовых и демонстрационных типовых задач, решаемых в системе MSC.Nastran.» Китаев М.В., 51 стр.
13. «Компьютерные технологии нового тысячелетия в аэрокосмической промышленности. Сборник статей. Труды конференций MSC. MSC в аэрокосмосе. Новости MSC.», 315 стр.
14. «Компьютерные технологии нового тысячелетия в авиадвигателестроении и турбомашиностроении. Сборник статей. Труды конференций MSC. Новости MSC.», 310 стр.
15. «Компьютерные технологии нового тысячелетия в автомобильной промышленности. Сборник статей. Труды конференций MSC. MSC в автомобилестроении. Новости MSC.», 308 стр.
16. «Компьютерные технологии MSC в автомобильном двигателестроении. Сборник статей и докладов.», 370 стр.
17. «Компьютерные технологии MSC в вертолетостроении. Сборник статей и докладов.», 315 стр.
18. «Компьютерные технологии MSC Software в судостроении. Сборник статей и докладов.», 230 стр.
19. «Компьютерные технологии нового тысячелетия для моделирования технологических процессов. Сборник статей. Труды конференций MSC. Новости MSC.», 305 стр.
20. «Моделирование нелинейного динамического нагружения автомобиля на стенде – дорожном имитаторе с использованием MSC.Nastran.» Сергиевский С.А., 34 стр.
21. «Использование опции inertia relief в MSC.Nastran.» Копанев Д.Б., 10 стр.
22. «Решение задач прочности адаптера в нелинейной постановке с помощью программного комплекса MSC. Marc» Майоров М.Н., 20 стр.
23. «MSC.Nastran. Базовый семинар. Линейная статика, расчет собственных форм и частот конструкций» Шатров Б.В., Мартыненко Ю.П., 173 стр.
24. «Практическая работа с системой MSC.Patran. Базовый семинар.» Шатров Б.В., Князев Э.Ю., 57 стр.
25. «Практическая работа с системами MSC.Patran/Nastran Базовый семинар.» Слезкин Д.В., 178 стр.
26. «Использование языка PCL в среде MSC.Patran для создания специальных приложений. Теоретический курс.» Шатров С.Б., 122 стр.
27. «Использование языка PCL в среде MSC.Patran для создания специальных приложений. Практический курс.» Шатров С.Б., 136 стр.
28. «Интеграция собственных расчетных программ в среду MSC.Patran. Теоретический курс.» Шатров С.Б., 204 стр.
29. «Интеграция собственных расчетных программ в среду MSC.Patran. Практический курс.» Шатров С.Б., 155 стр.
30. «MSC.Nastran for Windows v3.0. Основы практической работы с системой.» Мартыненко Ю.П., 65 стр.
31. «MSC.Nastran for Windows. Динамика.» Мартыненко Ю.П., Стремиллов А.В., Потапов С.Д., Салиенко А.Е., 52 стр.
32. «Решение сложных задач анализа тепловых процессов и гидравлических сетей на основе применения специализированной системы MSC.Patran THERMAL. Практическое руководство» Шатров Б.В., Борсук В.Л., 222 стр.
33. «MSC.Nastran. Руководство пользователя» ЦАГИ-МФТИ, рук. гр. Дзюба А.С., 191 стр.
34. «Каталог семинаров MSC» Китаев М.В., 30 стр.
35. «Система конечно-элементного анализа общего назначения MSC.Nastran.» Шатров Б.В., Бухаров С.А., Мартыненко Ю.П., Осипов Д.М., 50 стр.
36. «MSC.Nastran. Решение задач в области теплового анализа. Практическая работа.» Князев Э.Ю., 14 стр.
37. «Практические примеры работы с системой MSC.Nastran for Windows.» Китаев М.В., Позвонков Д.В. Слезкин Д.В., 46 стр.
38. «MSC.Nastran for Windows. Базовый курс.» Салиенко А.Е., 251 стр.
39. «Решение задач нелинейной статике в MSC.Nastran. Руководство пользователя.» Копанев Д.Б., 85 стр.
40. «Решение сложных, комплексных задач динамики («Продвинутая динамика») средствами MSC.Nastran» Копанев Д.Б., 189 стр.
41. «MSC.Nastran for Windows. Краткий справочник пользователя.» Мартыненко Ю.П., 57 стр.
42. «Анализ гидрогазодинамических процессов в системе MSC.Nastran for Windows.» Мартыненко Ю.П., Фомина О.Н., Борсук В.Л., 90 стр.
43. «Некоторые особенности решения нелинейных задач с помощью MSC.Nastran на примере геометрически нелинейного анализа закрытого поведения упругой фермы.» Гинесин Л.Ю., 6 стр.
44. «Применение MSC.Nastran для динамики роторов. Расчёт критических скоростей и вынужденных колебаний, вызванных дисбалансами.» Гинесин Л.Ю., 30 стр.
45. «MSC.Nastran. Решение задач динамики конструкций с полостями, содержащими жидкость, методом виртуальных масс.» Дадунашвили С.Ш., Слезкин Д.В., 38 стр.
46. «Введение в язык высокого уровня DMAP. Программирование собственных приложений в среде MSC.Nastran», 774 стр.
47. «Решение задач магнитостатики в MSC.Marc» Куприянов А.Д., 25 стр.
48. «MSC.Construct. Оптимизация конструкций на основе значительных изменений их геометрической топологии.» Фомина О.Н., 140 стр.
49. «Пример решения задачи топологической оптимизации с использованием программного пакета MSC.Construct» Власенко С.В., 14 стр.
50. «Руководство по использованию непараметрической системы оптимизации MSC.Construct» Власенко С.В., 47 стр.
51. «Применение дополнительных возможностей MSC.Nastran при проведении модальных испытаний конструкций и обработки их результатов.» Жидяев К.А., 24 стр.
52. «MSC.Nastran. Динамический анализ. Материалы семинара.» Сергиевский С.А., 626 стр.
53. «MSC.Patran. Руководство пользователя.» Колотников А.М., Слезкин Д.В., 160 стр.
54. «Анализ динамических характеристик вращающегося диска без лопаточного венца (диска-лабиринта) с развитой ободной частью, несимметричной относительно срединной поверхности диска при помощи конечноэлементного CAE комплекса MSC.Patran/Nastran» Черная И.Е., 51 стр.
55. «Расчет тепловых воздействий в MSC.visualNastran for Windows» Шимкович Д.Г., 78 стр.
56. «Анализ параметров НДС конструкции с учетом истории циклического нагружения при помощи систем MSC.Patran и MSC.Marc» Шатров С.Б., 49 стр.
57. «Методика моделирования и расчётного выбора параметров гидравлического буфера отбоя независимой подвески типа «Макферсон» легкового автомобиля среднего класса используя MSC.Adams» Феоктистов М.Н., 26 стр.
58. «Расчет бокового увода пневматической шины с использованием MSC.Dytran» Китаев М.В., 22 стр.
59. «Акваланирование пневматической шины с использованием MSC.Dytran» Китаев М.В., 22 стр.
60. «Средства анализа и преобразования результатов в MSC.visualNastran for Windows» Шимкович Д.Г., 121 стр.
61. «Инженерные расчеты механических конструкций в системе MSC.Patran – MSC.Nastran. Учебное пособие. Часть I» Рыбников Е.К., Володин С.В., Соболев Р.Ю., 129 стр.
62. «Инженерные расчеты механических конструкций в системе MSC.Patran – MSC.Nastran. Учебное пособие. Часть II» Рыбников Е.К., Володин С.В., Соболев Р.Ю., 112 стр.

63. «Классификация элементов в MSC.Marc» Борсук В.Л., Полуобояринова С.А., Чеботарева И.Д., 67 стр.
64. «Методика расчетов осесимметрично преднагруженных структур средствами MSC.Marc», Солдаткин А.Н., Копанев Д.Б., 18 стр.
65. «Расчет параметров напряженно-деформированного состояния и долговечности балки моста автомобильного прицепа с использованием MSC.Patran, MSC.Nastran, MSC.Adams и MSC.Fatigue» Сергиевский С.А., 19 стр.
66. «Вывод матриц масс и жесткости в текстовый файл из MSC.Nastran» Слезкин Д.В., 15 стр.
67. «Применение MSC.Nastran для проектирования высокоточной платформы космического аппарата из композиционных материалов.» Полинковский В.П., 34 стр.
68. «Применение программных продуктов MSC.Nastran и MSC.Patran для анализа динамики и прочности конструкций под воздействием случайных нагрузок.» Жидяев К.А., со А.В., Битадзе Т.Г., 43 стр.
69. «Нелинейный контактный анализ сборной конструкции ротора с учетом предварительного стягивающего усилия с использованием GAP элемента в системе MSC.Nastran. Руководство пользователя.» Высотский А.В., 48 стр.
70. «Анализ собственных форм и частот колебаний в поле центробежных сил рабочего колеса с кольцевой связью между лопатками через бандажные полки, образующие бандажный пояс, используя системы MSC.Patran 2003 и MSC.Nastran 2001» Борсук В.Л., Молокова И.С., 70 стр.
71. «Анализ динамических характеристик вращающегося рабочего колеса без бандажных связей между лопатками, выполненными заодно с диском («блиск») при помощи конечно-элементного CAE комплекса MSC.Patran/Nastran» Черная И.Е., 94 стр.
72. «Пример использования внешних суперэлементов при статическом расчете конструкции.» Сергиевский С.А., 14 стр.
73. «Выполнение распараллеленных вычислений в MSC.Nastran v2001 (SOL 101, 103, 108, 111)» Копанев Д.Б., 6 стр.
74. «Создание эквивалентных моделей для расчета конструкций с сотовым наполнителем в MSC.Patran» Георгиев А.Ф., 38 стр.
75. «Моделирование автомобильной шины при установленном качестве под воздействием нормальной нагрузки с использованием MSC.Marc» Ищенко В.А., Солдаткин А.Н., Слезкин Д.В., 30 стр.
76. «Введение в MSC.Flightloads и аэроупругость. Материалы семинара.» 320 стр.
77. «Компьютерное моделирование ударного взаимодействия быстроходного судна с волной» Сергиевский С.А., 20 стр.
78. «MSC.visualNastran for Windows. Часть I. Основы работы. Методическое пособие.» Шимкович Д.Г., 125 стр.
79. «MSC.visualNastran for Windows. Базовый курс. Практические занятия с заданиями для самостоятельной работы.» Шимкови Д.Г., 66 стр.
80. «Начальные шаги работы с ADAMS/View. Обучающее руководство.» Шипов Д.Н., 58 стр.
81. «Оптимизация конструктивных параметров поперечных сечений балочных конечных элементов в MSC.Nastran. Руководство пользователя.» Копанев Д.В., 13 стр.
82. «Дискретная оптимизация в MSC.Nastran» Сергиевский С.А., 24 стр.
83. «Использование MSC.Nastran для анализа случайных колебаний.» Сергиевский С.А., 24 стр.
84. «Анализ корреляции расчетных и экспериментальных данных с помощью MSC.Nastran» Сергиевский С.А., 24 стр.
85. «Корреляция результатов расчета с экспериментальными данными.» Жидяев К.А., 10 стр.
86. «Использование внешних суперэлементов в динамических расчетах сложных конструкций.» Жидяев К.А., 12 стр.
87. «Решение задач аэроупругости в MSC.FlightLoads» Георгиев А.Ф., Солдаткин А.Н., 74 стр.
88. «Описание методики расчета деформаций радиального сечения шины в процессе посадки на обод колеса и наддува внутренним давлением с использованием возможностей комплекса MSC.Marc-MSC.Patran-MSC.Mentat» Ищенко В.А., Слезкин Д.В., 31 стр.
89. «Анализ собственных частот колебаний лопатки (без учета и с учетом действия центробежных сил) при помощи конечно-элементного CAE комплекса MSC.Patran/Nastran версии 2001», Черная И.Е., 35 стр.
90. «Подготовка файла материала для расчета деформации металлов от условий горячей деформации в программном комплексе MSC.SuperForge с помощью утилиты SFM» Салиенко А.Е., 23 стр.
91. «MSC.Adams: Теория и элементы виртуального конструирования и моделирования» Иванов А.А., 97 стр.
92. «Визуализация коэффициентов разрушения (полученных средствами MSC.Nastran при анализе композиционных материалов) при помощи MSC.Patran» Слезкин Д.В., 10 стр.
93. «Основы моделирования технологических процессов с использованием MSC.SuperForge. Часть 1.» Салиенко А.Е., 161 стр.
94. «MSC.visualNastran for Windows. Часть II. Основы работы. Методическое пособие» Шимкович Д.Г., 375 стр.
95. «Моделирование динамических эффектов управляемости автомобиля с использованием программных пакетов MSC.Adams и MSC.Nastran» Феоктистов М.Н., 40 стр.
96. «Описание новых возможностей MSC.Marc v2003» Абашев А.Е., 278 стр.
97. «Пример подготовки задания для моделирования процесса формирования тройника из трубной заготовки путем выдавливания на гидравлическом прессе, используя MSC.SuperForm 2004 R2» Салиенко А.Е., 31 стр.
98. «MSC.Flightloads и MSC.Aeroelasticity. Материалы семинара» Георгиев А.Ф.
99. «Совместное использование вычислительных пакетов MSC.Adams и MATLAB» Буров А.Г., 43 стр.
100. «Методика расчета жесткостных характеристик резино-металлических шарниров средствами MSC.Patran / MSC.Marc» Савочкин В.Н., 37 стр.
101. «MSC.Nastran. Динамический Анализ. Базовый курс. Руководство пользователя.» Мокеев В.В. 321 стр.
102. «Введение в систему MSC.Adams. Материалы семинара.» Соболев Р.Ю., 514 стр.
103. «Руководство пользователя MSC.SuperForm» Салиенко А.Е., 550 стр.
104. «Краткое руководство пользователя пакета программ MSC.Fatigue» Бунин Б.Б., 537 стр.
105. «Моделирование стендовых и дорожных ресурсных испытаний колесных центров с использованием специализированной системы анализа долго вечности конструкций MSC.Fatigue» Копанев Д.Б., Савочкин В. Н., 56 стр.
106. «Моделирование балочного контакта (Beam – To – Beam) в комплексе MSC.Patran/MSC.Marc» Савочкин В. Н., 24 стр.
107. «Оценка напряженно-деформированного состояния роликовых подшипников в комплексе MSC.Marc» Савочкин В.Н., 26 стр.
108. «Моделирование динамических систем с помощью MSC.Adams и MSC.EASY5» Георгиев А.Ф., 29 стр.
109. «Методика вычисления Коэффициентов Интенсивности Напряжений с применением MSC.Nastran» Слезкин Д.В., 28 стр.
110. «Расчет Коэффициентов Интенсивности Напряжений (K1) для цилиндрического образца с применением MSC.Nastran/ MSC.Marc. Анализ полученных результатов.» Слезкин Д.В., 16 стр.
111. «Описание инженерных методов расчета Коэффициента Интенсивности Напряжения (K1) по перемещениям точек на берегах трещины для цилиндрического образца с применением МКЭ.» Слезкин Д.В., 12 стр.
112. «Коэффициент Линейного Температурного Расширения: особенности использования в MSC.Marc/MSC.Nastran» Слезкин Д.В., 17 стр.
113. «Методика вычисления J-интеграла для кольцевых трещин осесимметричных деталей с применением комплекса MSC.Patran/MSC.Marc на примере цилиндрического образца» Слезкин Д.В., 29 стр.
114. «Расчет циклической долговечности дисков авиационных ГТД по концепции безопасного развития трещин.» Демкина Н.И., Потапов С.Д., Слезкин Д.В., 85 стр.
115. «Оценка уровня энергопоглощения элемента пассивной безопасности в комплексе MSC.Marc» Савочкин В.Н., 16 стр.
116. «Расчет болтовых соединений в комплексе MSC.Marc» Савочкин В.Н., 26 стр.
117. «Решение задач оценки прочности конструкции при широкополосном ударном воздействии в MSC.Nastran с помощью метода DDAM (SOL 187)» Сергиевский С.А., Георгиев А.Ф., 13 стр.
118. «Пример использования MSC.Nastran, Patran для моделирования ротора на жестких опорах и расчета критических скоростей с использованием приложения Rotordynamics Tools и модуля Nastran Rotordynamics.» Ширококов В.В., 25 стр.
119. «Примеры применения MSC. Nastran для решения задач роторной динамики.» Ширококов В.В., 32 стр.
120. «Новые возможности MSC.Nastran 2005 r3 для решения задач роторной динамики.» Ширококов В.В., 22 стр.
121. «Расчет собственных частот и критических скоростей трехмерной модели ротора в MSC.Nastran с использованием стандартизированной DMAP процедуры Rotordynamics.» Ширококов В.В. 53 стр.
122. «Расчет динамических характеристик многовальных систем роторов с учетом скольжения в MSC.Nastran и использованием стандартизированной DMAP процедуры Rotordynamics.» Ширококов В.В., 20 стр.

123. «Расчет роторных систем на случайное динамическое воздействие в MSC Nastran.» Ширококов В.В., 46 стр.
124. «Расчеты нелинейных динамических характеристик роторов с использованием модуля Rotordynamics и стандартной последовательности решения SOL 129 в MSC – MD Nastran.» Ширококов В.В., 60 стр.
125. «Моделирование раскрытия солнечных батарей с учетом их упругих свойств в MSC Nastran и Adams.» Канунникова Е.А., Георгиев А.Ф., 29 стр.
126. «Контактная задача статического и динамического анализа сборных роторов турбомашин.» Пыхалов А.А., Милов А.Е., 190 стр.
127. «Моделирование и расчет сварных соединений в комплексе MSC.Patran/MSC.Nastran» 24 стр.
128. «Моделирование механизации крыла самолета типа Ту-204 с учетом податливости двухщелевых закрылков и аэродинамических сил.» Карлеченко А.Г., Толстов К.В., Георгиев А.Ф., 30 стр.
129. «Построение модели полимерного резиноподобного материала с помощью инструмента MSC.Software: Patran Experimental Data Fitting.» Слезкин Д.В., 20 стр.
130. «Решение задачи механической обработки детали (фрезерование) с помощью Marc Mentat.» Василенков Д., Слезкин Д.В., 37 стр.
131. «Связанный термомеханический анализ тормозного барабана привода в комплексе MSC.Marc», под редакцией Шатрова Б.В., Князева Э.Ю., 33 стр.
132. «Расчеты конструкций за пределами упругости в комплексе MSC.Marc. Часть 1. Ползучесть металлов», под редакцией Шатрова Б.В., Князева Э.Ю., 26 стр.
133. «Расчеты конструкций за пределами упругости в комплексе MSC.Marc. Часть 2. Ползучесть металлов под нагрузкой. Примеры расчетов на ползучесть» под редакцией Шатрова Б.В., Князева Э.Ю., 26 стр.
134. «Расчеты конструкций за пределами упругости в комплексе MSC.Marc. Часть 3. Пластичность. Деформационное упрочнение винтовых пружин при заневоливании.» под редакцией Шатрова Б.В., Князева Э.Ю., 20 стр.
135. «Расчеты конструкций за пределами упругости в комплексе MSC.Marc. Часть 4. Пластичность. Расчеты несущих конструкций с учетом остаточных напряжений после правки или рихтовки.» под редакцией Шатрова Б.В., Князева Э.Ю., 20 стр.
136. «Обзор основных типов упруго-пластичных материалов в комплексе MSC.Marc, критериев пластичности и моделей упрочнения.» под редакцией Шатрова Б.В., Князева Э.Ю., 60 стр.
137. «Примеры расчетов за пределами упругости с использованием моделей изотропного, кинематического и комбинированного упрочнения металлов при циклическом нагружении в комплексе MSC.Marc» под редакцией Шатрова Б.В., Князева Э.Ю., 19 стр.
138. «Особенности расчета частотного отклика роторов с использованием модуля Rotordynamics и стандартных последовательностей решений динамических задач SOL 108/111 в – MD Nastran.» Ширококов В.В., 38 стр.
139. «Решение задач ползучести и вязкопластичности средствами MSC Marc (на примере моделирования технологии изготовления полый лопатки).» Потапов С.Д., 48 стр.
140. «Руководство пользователя пакетом программ MSC Fatigue. Теоретические основы механики разрушения.» Бунин Б.Б., 30 стр.
141. «Руководство пользователя пакетом программ MSC Fatigue. Расчёт вибрационной усталости.» Бунин Б.Б., 153 стр.
142. «Особенности работы с демпфированием в MSC Nastran и Dytran.» Георгиев А.Ф., 5 стр.
143. «Определение коэффициентов демпфирования в MD Nastran при решении задач динамики в линейной постановке.» Ширококов В.В., Георгиев А.Ф., Сальников А.К., 20 стр.
144. «Инструкция по установке системы FlexLM для авторизации программных продуктов компании MSC Software.» Князев Э.Ю., 14 стр.
145. «Расчет остаточного усилия преднатяга резьбовых соединений после сборки с использованием гидрозатяжки.» Савочкин В.Н., 19 стр.
146. «Расширенные возможности задания контактных взаимодействий в MSC Marc.» Савочкин В.Н., 16 стр.
147. «Marc Mentat: Введение в магнитоэластический анализ.» Василенков Д. А., 35 стр.
148. «Marc Mentat: Введение в электростатический анализ.» Василенков Д. А., 46 стр.
149. «Marc Mentat: Введение в электромагнитный анализ.» Василенков Д. А., 22 стр.
150. «Marc Mentat: Введение в пьезоэлектрический анализ.» Василенков Д. А., 39 стр.
151. «Моделирование сварочных процессов с помощью Marc Mentat.» Василенков Д. А., Слезкин Д.В., 95 стр.
152. «Система управления решением задач инженерного анализа Patran Analysis Manager.» Жарков А.В., 80 стр.
153. «SOL 187 – Dynamic Design Analysis Method: Расчет конструкций на ударное воздействие.» Георгиев А.Ф., 32 стр.
154. «Настройка работы rsh и ssh для исполнения команд на удаленном хосте без ввода пароля (для Linux систем).», Георгиев А.Ф., 4 стр.
155. «Редуцирование и метод суперэлементов в MSC Nastran и Patran.» Жарков А.В., 53 стр.
156. «Пример практического применения метода суперэлементов для решения задач динамики конструкций ГТД и ЭУ» Ширококов В.В., 25 стр.
157. «Расчет J-интеграла с использованием MSC.Marc.» Слезкин Д.В., Жарков А.В., 26 стр.
158. «Расчет стержневых систем методом конечных элементов с использованием комплекса MSC Patran – Nastran.» Косицын С.Б., Долотказин Д.Б., 67 стр.
159. «Методика получения упругих деталей с деформируемыми проушинами для использования в MSC.Adams.» Соловьева А.Т., Георгиев А.Ф., 23 стр.
160. «Руководство пользователя по нелинейному гармоническому отклику в MSC Nastran» Ширококов В.В., 25 стр.
161. «Расчет усталостной прочности основания обода колеса с диском. Часть 1. Расчёт с помощью модуля Wheels программного комплекса MSC Fatigue», Кунцендорф В.В., Клименко А.В., 88 стр.
162. «Расчет усталостной прочности основания обода колеса с диском. Часть 2. Расчет долговечности S-N методом с помощью программного комплекса MSC Fatigue», Кунцендорф В.В., Клименко А.В., 68 стр.
163. «Моделирование контакта в MSC Nastran в линейной постановке (SOL 101) для решения задачи односторонней связи конструкции с «землёй» Князев Э.Ю., 19 стр.
164. «Восстановление напряженно-деформированного состояния упругого звена механизма в Patran / MSC Nastran по результатам расчета в Adams.» А.Ф. Георгиев, А.Т. Соловьева, 23 стр.
165. «MD Nastran. Композиционные материалы». Материалы семинара.» Макаров А.О., 381 стр.
166. «MSC.Software: Виртуальная разработка конструкций из композитных материалов.», 194 стр.
167. «Результаты практического применения систем MSC.Software для создания современной авиационной техники. Сборник статей и докладов по композиционным материалам.», 356 стр.
168. «MSC.Software: современные инженерные комплексные технологии в авиационной промышленности. Сборник статей и докладов для авиационной отрасли.», 712 стр.
169. «Создание и проверка качественных конечно-элементных сеток в Patran.» Еловенко Д.А., 87 стр.
170. «Расчёт критических частот вращения роторов машин с использованием MSC Nastran.» Матвеев Е.А., Ширококов В.В., 60 стр.
171. «Пример постановки комплексной задачи оптимизации изделий одновременно по прочности и долговечности с использованием новых возможностей MSC Nastran Embedded Fatigue (NEF).» Ширококов В.В., Нехаев Д.Н., 34 стр.
172. «Построение эпюры продольных сил в балочных элементах на базе результатов MSC Nastran с использованием Patran.» Жарков А.В., 12 стр.
173. «Получение свойств КЭ средствами языка PCL. Методическое пособие по некоторым аспектам программирования в среде Patran.» Жарков А.В., 37 стр.
174. «Расчет балансировки самолета с применением набора инструментов Hybrid Static Aeroelasticity.» Квятковская М.В., Леонтьева Р.В., Нехаев Д.В., 35 стр.
175. «Моделирование процесса сварки с использованием систем Marc и Mentat. Применение нового интерфейса Mentat.» Жарков А.В., 43 стр.
176. «Высокопроизводительные вычисления в системе Marc. Настройка, функции, методы, рекомендации.» Жарков А.В., 33 стр.
177. «Параллельные вычисления в MSC Nastran: функции, методы, рекомендации.» Жарков А.В., 12 стр.
178. «Моделирование формообразования многослойных цилиндрических конструкций в MSC Marc Mentat и особенности анализа их напряженного состояния.» Еловенко Д.А., 34 стр.
179. «Моделирование процесса сверхпластической формовки листовой детали с последующим расчётом на прочность (с учётом изменения толщины детали в процессе изготовления).» Еловенко Д.А., Колесников А.В., 37 стр.



Семинары MSC Software Corporation – гарантия высокой эффективности внедрения современных компьютерных технологий

MSC Software проводит семинары по обучению работе с системами VPD в области анализа прочности, динамики, аэроупругости, долговечности, тепловых процессов, оптимизации конструкций, быстропротекающих высоконелинейных процессов, подготовки расчётных моделей и обработки результатов счёта, и других областях. Базовые семинары предназначены как для начинающих, так и для опытных пользователей систем MSC Software. Для опытных пользователей предлагается углублённое изучение программных продуктов, дополнительных модулей и утилит, включая программирование на встроенных языках, изучение структуры данных и программных интерфейсов, ввод собственных математических алгоритмов, создание собственных графических интерфейсов.

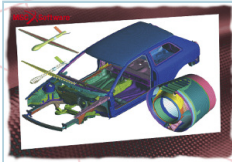
Актуальный каталог семинаров с подробным описанием на русском языке можно заказать в московском офисе MSC. Подробное описание отдельных заинтересовавших Вас семинаров может быть предоставлено по Вашему запросу. Описание семинаров на английском языке можно просмотреть также в Интернете по адресу www.mssoftware.com

Для того, чтобы принять участие в семинарах необходимо заранее выслать заявку, с указанием семинара и планируемым количеством слушателей от Вашего предприятия. Пожалуйста, заранее направляйте в наш адрес предварительные заявки на все семинары, которые Вы планируете прослушать. Если Вас по каким либо причинам не устраивают сроки проведения семинаров, то мы готовы их изменить согласно Вашим запросам при достаточно большом количестве слушателей от Вашего предприятия.

Семинар по основам линейного статического анализа и расчёта собственных частот и форм колебаний в MSC Nastran (NAS101)

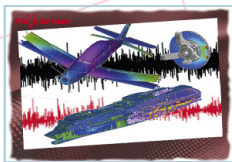
Цель семинара – дать новым пользователям основные сведения о системе MSC Nastran, основные требования конечно-элементного моделирования для линейного статического анализа напряженно-деформированного состояния, расчёта собственных частот и форм колебаний, анализа устойчивости (в линейной постановке). На этом семинаре слушатели узнают основы метода конечных элементов, структуру входного файла системы MSC Nastran, научатся создавать конечно-элементные модели конструкций, выполнять их верификацию, эффективно использовать ресурсы системы, правильно применять и создавать материалы, конечные элементы и задавать их свойства. А также научатся использовать рестарты, управлять базами данных в сети компьютеров при решении задач большой размерности.

Продолжительность семинара – 3 дня (24 учебных часа)



Семинар по углубленному изучению анализа динамических процессов на основе применения MSC Nastran (NAS102)

Это наиболее полный курс представляющий возможности анализа динамики в MSC Nastran. Он затрагивает как фундаментальные, так и дополнительные разделы с упором на практическое применение и тестовые задачи. В этот семинар входят следующие разделы: методы расчета собственных частот и форм конструкций и области применения этих методов. Всестороннее изучение проблем учета демпфирования; расчет динамики свободных тел, включая учет предварительного нагружения; прямые и модальные методы расчета установившихся и переходных динамических процессов; кинематическое возбуждение; учет физической и геометрической нелинейности при динамическом анализе; моделирование нелинейных сил, зависящих от перемещений и скорости; ввод передаточных функций, моделирование воздействий систем управления и пр.; различные методы динамической редукции для сокра-



щения размерности задач при сохранении точности расчетов; метод суперэлементов в статике и динамике, рекомендации по их применению; метод модального синтеза; метод Крэга-Бемптона; оптимизация динамических характеристик конструкции; спектральный анализ; анализ случайных динамических процессов; автоматическая идентификация расчетных компьютерных моделей и экспериментальных натурных образцов; планирование и оценка точности проведения эксперимента; динамика роторных машин.

В семинаре приведены практические руководства и методики для исследований динамики сложных конструкций.

Продолжительность семинара – 5 дней (40 учебных часов)

Семинар по анализу отклика на ударное широкополосное воздействие с использованием MSC Nastran (NAS102SP)

Специализированный семинар знакомит слушателей с разделами динамики, относящимися к проведению расчетов на ударное широкополосное воздействие. Рассматриваются разделы: расчет собственных частот и форм, бездеформационные моды колебаний, верификация расчетной модели в динамическом анализе, и, наиболее подробно – расчет отклика на ударное широкополосное воздействие (спектральный отклик) с применением линейно-спектральной теории. Дополнительно рассматриваются параметры управления файлами MSC Nastran (секция File Management входного файла). Упражнения демонстрируют формирование ударного спектра средствами MSC Nastran, а также приложение ударного спектра к расчетной модели с целью анализа отклика на ударное широкополосное воздействие. Курс и упражнения предполагают формирование входных файлов MSC Nastran с помощью текстового редактора.

Продолжительность семинара – 1 день (8 учебных часов)

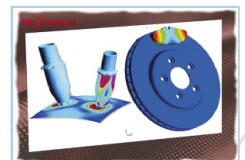
Семинар по моделированию ударного широкополосного воздействия с использованием MSC Nastran и Seismic Toolkit (NAS102ST)

Специализированный семинар знакомит слушателей с основами MSC Nastran и Patran, а также разделами динамики, относящимися к проведению расчетов на ударное широкополосное воздействие. Кратко рассматривается формирование расчетных моделей MSC Nastran с применением пре-постпроцессора Patran, проведение расчетов, анализ результатов счета. Основное внимание уделяется разделам динамики: расчет собственных частот и форм, бездеформационные моды колебаний, верификация расчетной модели в динамическом анализе, и, наиболее подробно – расчет отклика на ударное широкополосное воздействие (спектральный отклик) с применением линейно-спектральной теории. Подробно рассматривается функционал и приемы работы с графическим интерфейсом Seismic Toolkit с целью формирования входного файла для расширенного анализа на ударное широкополосное воздействие. Упражнения демонстрируют приложение ударного спектра к расчетной модели с целью анализа отклика на ударное широкополосное воздействие, а также использование расширенных возможностей Seismic Toolkit. Упражнения предполагают использование графического пре-постпроцессора Patran и графического пре-процессора Seismic Toolkit.

Продолжительность семинара – 2 дня (16 учебных часов)

Семинар по нелинейному анализу в MSC Nastran (NAS103)

Прослушав этот семинар, пользователи научатся проводить расчеты физически и геометрически нелинейного напряженно-деформированного состояния, правильно определять тип предстоящего расчета, выбирать математические методы, обеспечивающие наилучшую вычислительную эффективность процессов вычислений, работать с рестартами (прерывать и перенастраивать процесс расчета). Также они научатся задавать следящие нагрузки, исследовать закритическое поведение кон-



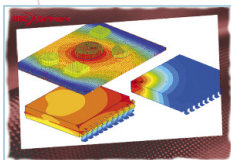
струкции, моделировать упругопластические, гиперупругие, нелинейно-упругие, температурозависимые и сыпучие материалы, а также решать контактные задачи, проводить нелинейный расчет переходных динамических процессов. В рамках семинара пользователи изучат несколько практических руководств по нелинейному анализу, условиям сходимости, дивергенции, базовым итерационным правилам и рестартам. Слушатели подробно изучат библиотеку конечных элементов системы MSC Nastran, в том числе GAP-элементы, 3D-контактные элементы, рассмотрят проведение нелинейного анализа с использованием суперэлементов. Также пользователи изучат вопросы моделирования композиционных материалов для выполнения нелинейного анализа в MSC Nastran, получат базовые знания о теории разрушения композитов, а также выполнят большой ряд практических упражнений.

Продолжительность семинара – 5 дней (40 учебных часов)

Семинар по тепловому анализу в MSC Nastran (NAS104)

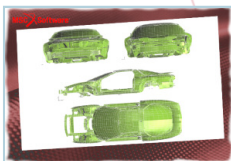
Этот семинар посвящен изучению возможностей MSC Nastran в области теплового анализа. Прослушав семинар, пользователи научатся моделировать процессы свободной и вынужденной конвекции, теплопроводности и излучения, научатся проводить расчеты установившихся и переходных процессов, направленного теплового нагружения с рассеиванием излучения во внешнюю среду, излучения в замкнутом объеме. На семинаре даются базовые знания теории теплопередачи и основы работы с системой MSC Nastran, решается ряд задач с использованием возможностей пре- и постпроцессора Patran. Пользователи научатся задавать различные виды нагрузок, собственные тепловому анализу, прикладывать граничные условия, использовать различные типы материалов, позволяющие адекватно моделировать поведение теплонагруженных конструкций, работать с рестартами (прерывать и перенастраивать процесс расчета).

Продолжительность семинара – 4 дня (32 учебных часа)



Семинар по суперэлементному анализу в MSC Nastran (NAS106)

Этот семинар посвящен суперэлементному анализу конструкции, необходимость в котором возникает в том случае, когда ресурсы вычислительной машины недостаточны для решения задач в заданные сроки. На данном семинаре слушатели изучат теоретические основы технологии суперэлементов, научатся правильно использовать суперэлементные методы при создании больших моделей сложных конструкций, таких, как самолет, автомобиль, различные строительные конструкции и т.д. Данный подход позволяет без потерь качества вычислений снизить размерность задач. Использование суперэлементов позволяет рассчитывать сегменты модели независимо и использовать редуцированные матрицы для создания полной модели, что значительно сокращает используемые ресурсы компьютеров – объем памяти и время, требуемое для расчета, по сравнению с запуском полной модели на анализ. Суперэлементы позволяют отдельным группам специалистов работать «независимо» с различными подконструкциями и, только когда необходимо, составлять полную модель на основе редуцированных подконструкций – суперэлементов и проводить быстрые расчеты всей конструкции на основе редуцированных матриц. Эти подходы активно используются при проведении международных проектов и распределения работ по отделам в рамках одного или нескольких предприятий. Кроме того, суперэлементы позволяют использовать "глобально-локальные" методы для получения подробных результатов посредством использования результатов расчетов полной модели в виде граничных условий при расчете локальных зон – областей. Возможность автоматического рестарта в MSC Nastran делает использование суперэлементов еще более эффективным. Семинар дает представление о том, как выполнять статический и динамический анализ с использованием технологии суперэлементов. Подробно рассматривается методология деления модели на суперэлементы и ее реализация в MSC Nastran, преимущества и недо-



статки суперэлементного анализа, статических и динамических методов конденсации, возможности перехода с обычного на суперэлементный анализ.

Продолжительность семинара – 4 дня (32 учебных часа)

Семинар по методам оптимизации в MSC Nastran (NAS107)

Высокоэффективный аппарат оптимизации MSC Nastran позволяет пользователям решать различные задачи на всех этапах разработки изделия. На начальном этапе при выборе оптимальной топологии и формы (например, оптимального распределения толщин в обечайке); на этапе доводки при оптимизации конструкции (например, уменьшении веса или напряжений); и на этапе отработки модели (например, для корреляции расчетной модели с результатами эксперимента).



Слушатели семинара научатся поиску оптимальных значений параметров конструкций (внешних форм конструкций, толщин панелей и обочек, характеристик поперечных сечений балок, ориентации свойств анизотропных материалов и другие). Оптимизацию конструкции можно выполнять для задач статики, устойчивости, установившихся и неустойчивых динамических процессов, собственных частот и форм колебаний, акустики, аэроупругости как по отдельности, так и в комплексной многодисциплинарной постановке, когда ищется одно решение для нескольких задач одновременно. Дополнительными уникальными возможностями оптимизации в MSC Nastran являются: определение глобального минимума целевой функции, поддержка в конечно-элементной модели суперэлементов и нелинейности (физическая и геометрическая нелинейность, контакт).

На семинаре слушатели получают базовые знания о целевой функции, отклике конструкции, проектных переменных, ограничениях, познакомятся с основами и методами численной оптимизации, анализом чувствительности и различными видами оптимизации конструкции (параметрической, топологической, топографической оптимизацией и оптимизацией формы). Дополнительно, пользователи научатся оптимизации моделей с суперэлементами и нелинейностью, многодисциплинарной оптимизации, а также оптимизации в задачах аэроупругости, динамического и случайного отклика.

Рассматриваются возможности пре- и постпроцессора Patran при решении практических задач оптимизации конструкций.

Продолжительность семинара – 4 дня (32 учебных часа)

Новые возможности MSC Nastran (NAS108)

Каждый год выходят одна-две новые версии MSC Nastran. В этих версиях расширяются и улучшаются уже существующие функциональные возможности, а также добавляются новые. На семинаре по изучению новых возможностей системы MSC Nastran рассматривается использование нововведений последних версий, что расширяет возможности моделирования и повышает эффективность использования системы.

Продолжительность семинара – 1 день (8 учебных часов)

Базы данных и DMAP приложения в MSC Nastran (NAS110)

DMAP (Direct Matrix Abstraction Program) – это макроязык, предназначенный для создания и модифицирования последовательностей решений в MSC Nastran. DMAP содержит команды управления матричными операциями. FMS (File Management Section) – секция управления файлами используется для подключения, инициализации баз данных и работы с ними.



Цель данного семинара – представить DMAP и технику создания приложений в виде баз данных, а также научить слушателей самостоятельно создавать собственные DMAP – последовательности решений. Подобная техника позволяет вмешиваться в процессы вычислений, создавать собственные типы конечных элементов и т.д., что дает возможность инженерам профессионально использовать собственные наработки.

Слушатели семинара рассмотрят DMAP-инструкции и последовательности решений, возможности совместного использования языка программирования FORTRAN и DMAP, новые возможности DMAP и FMS, включенные в последних версиях, основные принципы работы с DMAP, модули DMAP, формат переменных и синтаксис DMAP, список свойств модуля (MPL), выражения, операторы, служебные модули и т.д.

Продолжительность семинара – 3 дня (24 учебных часа)

❖ **Анализ конструкций из композиционных материалов в MSC Nastran (NAS113)**

В рамках семинара слушатели получают базовые знания по моделированию композиционных материалов в MSC Nastran. На данном семинаре слушатели научатся задавать свойства материалов, ориентацию и толщину каждого слоя композиционного материала, правильно подбирать модели материалов, моделирующие однонаправленный композиционный материал и композиционный материал на тканевой основе. Особое внимание на данном семинаре уделяется критериям разрушения и оптимизации слоистых композиционных материалов.

Приведенные в семинаре примеры иллюстрируют использование MSC Nastran по всем основным разделам. Рассматриваются возможности пре- и постпроцессора Patran по работе с композиционными материалами. На семинаре дается краткий обзор классической теории композиционных материалов, рассматриваются напряжения и деформации в слоистых композиционных материалах, межслойные сдвиговые напряжения и деформации, теории разрушения слоев (максимальные напряжения/деформаций, Цзя-Ву, Хоффмана, Хилла, Хашина, Пака), межслойный сдвиг, оптимизация и нелинейный анализ композиционных материалов (прогрессирующее разрушение, анализ когезивной зоны и развития трещины методом виртуального закрытия), использование их в различных последовательностях решения.

Продолжительность семинара – 3 дня (24 учебных часа)

❖ **Семинар, посвященный циклической симметрии в MSC Nastran (NAS114)**

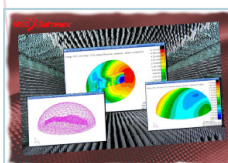
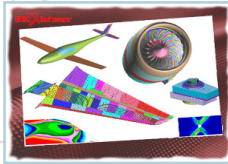
Семинар посвящен методам анализа циклосимметричных конструкций. Целью данного семинара является стремление ознакомить уже достаточно опытных пользователей с возможностями циклической симметрии реализованной в MSC Nastran, использование которой бывает полезно при расчёте конструкций с плоскостной или осевой симметрией. Использование циклосимметрии конструкции позволяет снизить размерность задачи, что значительно ускоряет расчет.

На семинаре пользователи познакомятся со средствами моделирования циклической симметрии системы MSC Nastran, их возможностями для решения задач структурного анализа, устойчивости и вибрации конструкций, анализа собственных форм и частот колебаний конструкций, а также с методами использования циклической симметрии для суперэлементов. На семинаре слушатели получают базовые знания по особенностям моделирования и типам циклосимметрии, особенностям приложения нагрузок и граничных условий в задачах такого рода. Пользователям предлагается ряд практических задач, дающих представление о преимуществах использования циклической симметрии в MSC Nastran. Рассматриваются некоторые возможные ошибки, возникающие при моделировании и приводятся рекомендации пользователям по устранению этих ошибок.

Продолжительность семинара – 3 дня (24 учебных часа)

❖ **Акустический анализ с использованием MSC Nastran (NAS115)**

Семинар посвящен задачам моделирования акустических колебаний конструкций совместно с жидкостью/газом. Рассматриваются раздельные и связан-



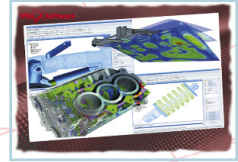
ные колебания. Обсуждаются вопросы моделирования акустических барьеров и поглотителей, способы снижения шума, моделирование колебаний конструкций с жидкостью и/или газом на основе метода конечных элементов с использованием MSC Nastran. В каждой главе приведены примеры.

Продолжительность семинара – 3 дня (24 учебных часа)

❖ **Анализ линейной статки, собственных форм и устойчивости с использованием MSC Nastran и Patran (NAS120)**

Семинар проводится по основам применения конечно-элементной техники в задачах расчета напряженно-деформированного состояния конструкции, вычисления собственных частот и форм колебания конструкции, расчета устойчивости конструкции при малых возмущениях линейной статки, в MSC Nastran с пре- и постпроцессором Patran. В результате прохождения семинара слушатели научатся создавать трехмерные геометрические модели конструкции в системе Patran, ориентированные на дальнейшую генерацию конечно-элементной сетки, создавать конечно-элементную модель конструкции, отвечающую требованиям расчета, проводить расчеты, обрабатывать результаты. Узнают общие принципы моделирования в системе MSC Nastran и Patran, спектр существующих в MSC Nastran конечных элементов, общие подходы к созданию конечно-элементной модели. Получат представление о реальном процессе КЭ моделирования конструкций, о его роли и месте в процессе создания изделия и о наиболее распространенных методах интеграции CAD/CAM/CAE технологий. Материалы семинара проиллюстрированы примерами и упражнениями.

Продолжительность семинара – 5 дней (40 учебных часов)



❖ **Анализ динамических процессов с использованием MSC Nastran и Patran (NAS122)**

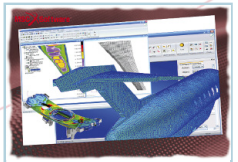
На семинаре рассматриваются базовые возможности решения динамических задач с использованием решателя MSC Nastran и графической среды Patran.

Расчёт собственных частот и форм рассматривается подробно, включая учет предварительного нагружения и расчёт твердотельных форм движения тел. Все виды демпфирования, применяемые в MSC Nastran рассматриваются в отдельном разделе. Переходные динамические процессы, а также частотный отклик (гармонический анализ) и комплексные собственные значения можно исследовать прямым и модальным методами; детально рассмотрению посвящено несколько разделов курса. Подробно рассматривается моделирование кинематических воздействий (вынужденные перемещения, скорости, ускорения) прямым заданием кусочно-линейных кривых, а также (кратко) методами больших масс и жёсткостей. Расчёт на случайное воздействие рассматривается с применением модуля Patran Random. Наряду с теорией и реализацией в MSC Nastran рассматривается графический интерфейс Patran для решения указанных выше задач. Расчётам на ударное широкополосное воздействие (спектральный отклик) также посвящён отдельный раздел, состоящий из двух частей. В первой части рассматривается создание ударного спектра на базе временных зависимостей или результатов расчёта переходных процессов. Во второй части – собственно расчёт на ударное воздействие путём приложения ударного спектра к модели конструкции, с учётом демпфирования и других факторов.

Отдельный раздел посвящён применению линейного контакта при решении задач линейной динамики с целью упрощения моделирования.

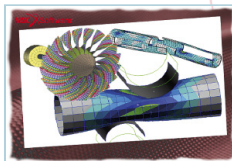
Теоретическая часть сопровождается наглядными примерами и упражнениями по использованию Patran для построения расчётных моделей, проведения вычислений и анализа результатов. Курс предназначен для пользователей, знакомых с основами MSC Nastran и Patran.

Продолжительность семинара – 5 дней (40 учебных часов)





Расширенные возможности MSC Nastran по решению нелинейных задач невязными методами – SOL600 (NAS123)



Модуль MSC Nastran SOL600 предназначен для эффективного решения широкого круга нелинейных задач: трёхмерного контактного взаимодействия деталей, функционирования изделий из материалов с нелинейными и неоднородными свойствами (эластомеры, композиты, и др.), моделирование явлений пластичности, ползучести, потери устойчивости, больших перемещений и деформаций, и др.

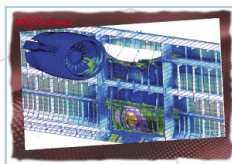
В курсе рассматриваются итерационные методы решения нелинейных задач, их настройка для решения различных задач, критерии сходимости и методы их задания и вычисления, методы моделирования контактного взаимодействия и их настройка, и др.

Даются рекомендации по выявлению и преодолению различных видов неустойчивости счёта, повышению производительности счёта как путём настройки расчётной модели, так и путём эффективного использования многопроцессорных и многоядерных компьютеров, а также кластеров.

Курс предполагает активное использование системы Patran для подготовки расчётных моделей и обработки результатов. Слушатели выполняют упражнения, демонстрирующие применение графического интерфейса Patran и решателя MSC Nastran SOL600.

Продолжительность семинара – 4 дня (32 учебных часа)

Расширенные возможности MSC Nastran по решению нелинейных задач вязными методами – SOL700 (NAS126)



На данном семинаре излагаются основы применения семисотой последовательности решения (SOL700) для виртуального моделирования быстропротекающих процессов преимущественно ударного характера и отличающихся большими деформациями исследуемой конструкции. Примеры таких процессов – столкновения различных транспортных средств (автомобилей, поездов, самолётов) вплоть до их разрушения, воздействие взрыва на конструкцию, изменение формы заготовки при изготовлении детали штамповкой и т.д.

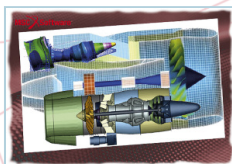
Последовательность решения SOL700 является комбинацией решателя Лагранжа и SPH от LS-Dyna и решателя Эйлера от Dytran.

В программе семинара, наряду с рассмотрением методики расчёта конструкций на основе подхода Лагранжа, – изучение технологии моделирования динамических процессов на базе подхода Эйлера (возможность решения задач с использованием этой технологии – важная отличительная особенность последовательности решения SOL700). Данная технология обеспечивает возможность решения задач анализа процессов взаимодействия жидкости с упругими конструкциями, решения задач и ударного взаимодействия на сверхвысоких скоростях, при которых характер поведения обычных материалов схож с поведением жидкости (например, столкновение летательных аппаратов с биообъектами и т.п.).

В центре внимания данного курса – практическое применение SOL700. По окончании занятий слушатели имеют практические навыки моделирования сложных динамических процессов. Пользователям так же дается представление об использовании DMP (Distributed Memory Parallel – распределенная параллелизация памяти).

Продолжительность семинара – 3 дня (24 учебных часа)

Семинар по Роторной динамике в MSC Nastran (NAS127)



Курс посвящен анализу динамики роторов и роторных систем в MSC Nastran.

На семинаре рассматриваются такие задачи роторной динамики, как

определение частот и форм прецессии, расчет критических скоростей, учет скольжения роторов, расчет частотного отклика, исследование динамики переходного процесса с учетом влияния дисбаланса и различных конструктивных факторов.

Кроме вышеперечисленных задач, в рамках курса освещаются возможности MSC Nastran в исследовании более сложных, комплексных проблем, таких как обрыв лопатки, заклинивание ротора, потеря несущей способности опор и т.п.

Семинар состоит из теоретической и практической частей.

Теоретическая часть курса включает в себя следующие основные разделы:

инструменты и приложения Patran для создания моделей роторных систем; основные карты и операторы MSC Nastran, используемые при решении задач роторной динамики; расчёты частот и форм прецессии; расчёты критических чисел оборотов; системы с несколькими роторами; анализ частотного отклика; анализ динамики нелинейных переходных процессов; моделирование опор роторов; суперэлементы; демпфирование роторов; возможности MSC Nastran при решении сложных комплексных задач роторной динамики: обрыв лопатки, явление потери несущей способности, заклинивание ротора.

На практической части занятий слушатели научатся правилам и приемам моделирования роторных систем с использованием пре-постпроцессора Patran, а также выполнят расчёты динамических характеристик роторов в MSC Nastran.

Продолжительность семинара – 3 дня (24 учебных часа)

Расширенные возможности MSC Nastran по решению нелинейных задач – SOL400 (NAS400)

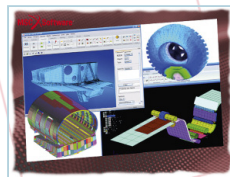
На данном семинаре слушатели изучат возможности MSC Nastran по решению нелинейных задач с использованием новых, высокоэффективных алгоритмов, заложенных в последовательность решения SOL400. Рассматриваются все типы нелинейности. Особое внимание уделено постановке и решению контактных задач.

Рассматриваются следующие разделы: различия в линейном и нелинейном типах анализа; методы и стратегии решения нелинейных задач; особенности задания характеристик нелинейных материалов (пластичность, ползучесть, гиперупругие материалы, модели с памятью формы); применение нелинейных конечных элементов, моделирование различных видов контакта, в том числе теплового.

Слушатели семинара так же получают базовые знания по решению тепловых, тепло-прочностных задач и динамических задач в SOL400.

Продолжительность семинара – 3 дня (24 учебных часа)

Компьютерное моделирование с использованием пре- и постпроцессора Patran (PAT301)



Система Patran является основным пре- и постпроцессором комплекса программных продуктов MSC Software. Это универсальный инструмент подготовки геометрических и конечноэлементных моделей, запуска различных решателей для анализа моделей, обработки и визуализации полученных результатов расчёта. Patran имеет развитый структурированный графический пользовательский интерфейс, благодаря чему он легок в освоении и использовании.

Прослушав этот семинар, пользователи научатся создавать конечно-элементные модели конструкций, включая создание и импорт геометрических моделей, генерацию конечно-элементных сеток, задание различных видов нагрузок и граничных условий, смогут проводить различные виды прочностных расчётов и обрабатывать результаты этих расчётов. Слушатели семинара научатся работать с видами, окнами, группами, трехмерными полями нагрузок, температур, и т.д., с базами данных по материалам. Таким образом, они изучат пользовательский интерфейс и получат базовые навыки работы с пре- и постпроцессором Patran. Также слушатели получат практические знания по моделированию и анализу сложных реальных конструкций посредством решения ряда специально подобранных задач. Значительная часть семинара посвящена средствам



визуализации и вывода результатов анализа в Patran. Данный семинар имеет модификацию, предназначенную для специалистов аэрокосмической промышленности. Слушателям этого варианта семинара будет предложен несколько иной набор практических задач, в первую очередь ориентированных на аэрокосмическую отрасль.

Продолжительность семинара – 5 дней (40 учебных часов)

✦ **Изучение расширенных возможностей Patran для профессионалов (PAT 302)**

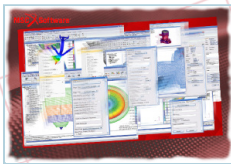


На этом семинаре пользователи получают углубленные знания системы Patran, научатся проводить "глобально-локальный" анализ, создавать сложные пространственно-временные функции, освоят трансформацию групп, объединение баз данных Patran, более глубоко изучат импорт геометрических моделей из различных CAD систем, получат дополнительные знания по генерации, редактированию и сглаживанию конечно-элементных сеток, изучат математические основы различных геометрических форматов, а также получат базовые знания по программированию на командном языке Patran – PCL.

Также на семинаре пользователями изучаются клавиатурные команды и расширенные возможности, которые повысят эффективность работы с Patran и помогут оптимально настроить рабочее пространство.

Продолжительность семинара – 4 дня (32 учебных часа)

✦ **Введение в командный язык Patran – PCL (PAT304)**



Семинар посвящен изучению основ командного языка Patran Command Language (PCL). Слушатели научатся создавать элементы пользовательского интерфейса, управлять базами данных, подключать собственные программы. Изучат архитектуру системы Patran, ее сессионные файлы. Изучение этого семинара значительно расширит возможности пользователей по использованию Patran.

Семинар включает в себя базовый синтаксис языка PCL, создание объектов пользовательского интерфейса (таких, например, как формы, кнопки, поля ввода, списки и т.д.), вызов отдельных подпрограмм через Patran, использование запросов к базе данных Patran, отслеживание событий в системе, компиляции, отладки и управление кодом. Пользователи получат знания об архитектуре Patran, построении его базы данных, приложениях, графических возможностях и сессионных файлах, изучат "лист-процессор", базовые возможности построения параметризованных форм, а также узнают о возможностях "глубокой" настройки пользовательского интерфейса Patran, о создании собственных пользовательских вариантов вывода результатов.

Практические задания включают в себя создание средствами языка PCL набора утилит Patran для разработки параметризованной конечно-элементной модели. Пользователи создадут графические интерфейсы для основных этапов разработки модели, дополнят главное меню Patran инструментами вызова утилит, научатся обрабатывать результаты счёта. Упражнения могут стать прообразом пользовательских утилит для автоматизации повторяющихся ресурсоёмких операций по проведению различных этапов работы с моделями в Patran.

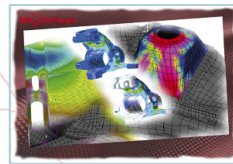
Продолжительность семинара – 5 дней (40 учебных часов)

✦ **Анализ тепловых процессов в Patran Thermal (PAT312)**

Прослушав этот семинар, пользователи научатся эффективно использовать систему Patran Thermal для решения стационарных и переходных тепловых процессов, а также получат представление о современном подходе при моделировании тепловых процессов в конструкции. Помимо обычных тепловых задач пользователи также научатся рассчитывать гидравлические сети с учетом гидравлических и тепловых потерь.

Продолжительность семинара – 5 дней (40 учебных часов)

✦ **Анализ усталостной долговечности конструкций с использованием Fatigue (PAT318)**



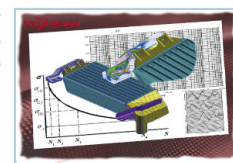
В рамках семинара слушатели получают представление о природе усталостных процессов при динамическом нагружении изделия, о роли расчетов долговечности и способах их оптимального включения в процесс проектирования, познакомятся с основными методами исследования долговечности. В рамках практических занятий освоят пользовательский интерфейс Fatigue, научатся задавать параметры решения, получат навыки решения задач много- и малоциклового усталости, в том числе в условиях нестационарного непропорционального напряженного состояния конструкции. Научатся учитывать влияние средних напряжений, условий окружающей среды, класса обработки поверхности и др.

Помимо базового материала, в рамках семинара дается обширное введение в расширенные возможности Fatigue: анализ скорости роста трещин, анализ долговечности изделия в условиях случайного характера возбуждения, корреляцию расчета и эксперимента с использованием виртуальных датчиков деформаций, анализ сварных соединений, использование утилит и т.д.

Данный семинар является идеальным для инженеров, не имеющих опыта исследования усталостной долговечности, а также прекрасным дополнением для специалистов в этой области, желающих расширить свои возможности за счет применения системы Fatigue.

Продолжительность семинара – 4 дня (32 учебных часа)

✦ **Расширенные возможности анализа долговечности динамически нагруженных изделий с использованием Fatigue (PAT319)**



Этот курс ориентирован на специалистов в области конечно-элементного анализа, имеющих целью стать профессионалами и в технике исследования долговечности изделий, научиться учитывать особенности подходов к конечно-элементному анализу, которые необходимо использовать для обеспечения надежности проектируемого изделия.

Курс содержит обзор особенностей выполнения конечно-элементных расчетов как начального этапа для последующего анализа долговечности, и дает глубокие знания по расширенным возможностям Fatigue.

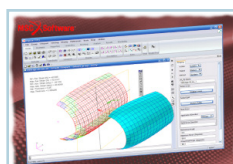
Семинар готовит слушателей к комплексному применению структурного динамического, конечно-элементного анализа и анализа усталости изделия, чтобы понять, какие изменения должны быть внесены в конструкцию динамически нагруженного изделия, чтобы оно удовлетворяло требованиям усталостной долговечности.

Семинар покрывает все аспекты динамики в их приложении к исследованию усталости. Слушатели научатся исследовать долговечность конструкций, подверженных действию как детерминированных, так и случайных динамических сигналов, во временной и частотной областях.

Значительный раздел семинара посвящен проблеме анализа роста трещины в конструкции. Хорошо освоить материал семинара позволит большое количество практических занятий.

Продолжительность семинара – 4 дня (32 учебных часа)

✦ **Моделирование конструкций из слоистых композиционных материалов с использованием Patran Laminate Modeler (PAT325)**



Программный комплекс Patran совместно с MSC Nastran, Marc, Dytran может быть эффективно использован для моделирования и анализа конструкций из различных типов композиционных материалов. Patran Laminate Modeler предоставляет пользователям расширенные возможности при разработке, анализе и производстве в первую очередь конструкций из слоистых композиционных материалов.

На семинаре показывается тесная связь между проектирова-

нием, расчетом и изготовлением конструкции из слоистых композиционных материалов. Слушатели знакомятся с базовыми возможностями и интерфейсом модуля Patran Laminat Modeler, учатся создавать модели со слоистыми композиционными материалами в соответствии с технологией их изготовления, определять ориентацию волокон на поверхностях большой кривизны в зависимости от параметров выкладки слоев. На семинаре обсуждаются вопросы обработки результатов расчета, оценки работоспособности конструкции с использованием различных критериев разрушения, оптимизации и оперативного внесения изменений в композитную конструкцию. Слушателям демонстрируются возможности Patran Laminat Modeler передачи данных о композиционном материале и конструкции между этапами проектирования, расчета и производства.

Семинар PAT325 логически дополняет материалы семинара Анализ конструкций из композиционных материалов в MSC Nastran (NAS113) и рекомендуется к изучению совместно с NAS113.

Продолжительность семинара – 2 дня (16 учебных часов)

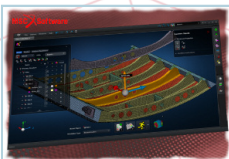
❖ **Новые возможности Patran (PAT328)**

Ежегодно разрабатываются одна-две версии Patran с большим количеством новых функциональных возможностей. На семинаре по изучению новых возможностей системы Patran подробно рассматриваются нововведения последних версий, что повышает отдачу от использования системы в целом, а также позволяет эффективно использовать новые функциональные возможности решателей.

Продолжительность семинара – 3 дня (24 учебных часа)

❖ **Моделирование в среде MSC Apex (APX101)**

Семинар является вводным для пользователей MSC Apex. В рамках семинара слушатели получают базовые знания и навыки по эффективному использованию среды моделирования MSC Apex Modeler. В семинаре особое внимание уделяется практическим занятиям (они составляют большую часть курса).



Рассматриваются следующие темы: Основы графического пользовательского интерфейса, средства импорта геометрических и конечно-элементных моделей, структура сборки, манипулирование деталями, режимы визуализации. Подробно рассматриваются инструменты автоматизации выполнения рутинных операций: инструменты создания срединных поверхностей (для листовых деталей как с постоянной, так и переменной толщиной), автоматического дотягивания срединных поверхностей и их стыковки, средства автоматизированного поиска по критериям пользователя различных геометрических особенностей и их удаления из модели, автоматического назначения толщин и отступов для оболочечных конечных элементов с учетом толщин исходной объемной геометрии, средства «лечения» геометрической модели. Рассматривается весь спектр встроенных инструментов по созданию конечно-элементной сетки, диагностики и оптимизации ее качества, особенности настройки генераторов сетки для получения качественной 1D-, 2D- и 3D- конечно-элементной сетки.

В рамках курса даются рекомендации по эффективному использованию инструментов, предлагаются профессиональные методики моделирования с широким использованием инструментов создания срединных поверхностей и других средств автоматизации рутинных операций.

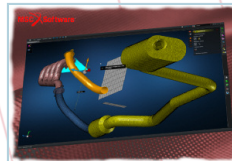
Также в рамках семинара слушатели получают представление о возможностях моделирования балочных элементов в MSC Apex (создание и редактирование формы сечения, режимы визуализации модели и результатов). Помимо этого рассматриваются инструменты создания различных соединительных элементов (жестких Rigid-элементы, Spring-элементы пружины), а также эффективная техника моделирования связанных конечно-элементных сеток – инструмент Edge Tie (связывание кромок).

По окончании семинара слушатели получают сертификат установленного образца.

Продолжительность семинара: 2 дня (16 учебных часов)

❖ **Постановка и решение задач, обработка результатов расчетов в среде MSC Apex (APX102)**

Семинар является вводным для пользователей MSC Apex использующих в своей работе модуль MSC Apex Structures. В рамках семинара слушатели получают базовые знания и навыки по постановке и решению задач в среде MSC Apex. Слушатели курса изучат методы подготовки модели к расчету, выбора контекста решения, настройки сценария расчета, оценки готовности модели к расчету, запуска на расчет и обработки результатов в среде MSC Apex с применением модуля MSC Apex Structures. В семинаре особое внимание уделяется практическим занятиям (они составляют большую часть курса).



Рассматриваются следующие темы: Структура модели: деталь, подборка, сборка. Нагрузки и граничные условия. Клеевой контакт. Связывание кромок (Edge Tie). Расчетные компоненты и сборки (Computational Parts and Assemblies). Техника инкрементального анализа сборок. Выбор типа расчета и понятие «Контекст решения». Настройка решения и понятие «Сценарий расчета». Встроенные средства автоматического контроля готовности модели к расчету (Analysis Readiness). Особенности решений: линейный статический анализ, расчет собственных частот и форм колебаний, динамический частотный отклик. Визуализация и обработка полученных результатов. Экспорт моделей из MSC Apex. Импорт моделей в MSC Apex. Включение КЭ-сеток без геометрии в расчет. Структура базы данных модели. Обработка сообщений об ошибках. Повышение эффективности проектирования за счет применения комбинации контекстов решения в MSC Apex.

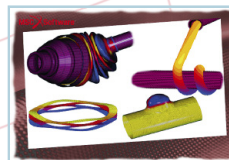
Во время выполнения практических упражнений особое внимание уделяется принципам постановки задачи, настройки решения и обработке полученных в постпроцессоре результатов. Даются рекомендации по эффективному использованию имеющегося арсенала инструментов для получения наиболее качественных результатов.

По окончании семинара слушатели получают сертификат установленного образца.

Продолжительность семинара: 2 дня (16 учебных часов)

❖ **Введение в систему Marc с использованием Mentat (MAR101)**

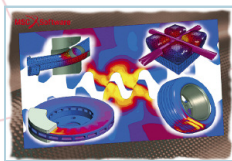
Семинар посвящен изучению основ системы Marc с использованием специализированного пре- и постпроцессора Mentat. Прослушав этот семинар, пользователи научатся создавать и редактировать конечно-элементные модели конструкций, решать задачи с различными видами геометрической и физической нелинейности, включая задачи с контактным взаимодействием, решать тепловые и динамические задачи. В рамках семинара дается представление о моделях материалов в Marc, законах упрочнения материалов, ползучести, моделировании резин, композитов, методах решения нелинейных задач, моделировании контактных взаимодействий тел, выборе типов контактных тел, приводится описание алгоритма моделирования контакта.



Продолжительность семинара – 3 дня (24 учебных часа)

❖ **Анализ нелинейных процессов с использованием Marc и Mentat для опытных пользователей (MAR102)**

На этом семинаре пользователи получают углубленные знания по постановке и решению контактных задач в Marc. Научатся решать задачи самоконтакта, контакта между одномерными элементами, использовать таблицы контакта, задавать дополнительные параметры, использовать различные модели трения в контакте, использовать контакт в задачах динамики.



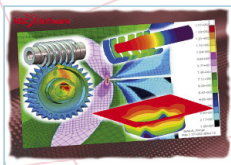
Будет углубленно рассмотрено моделирование нелинейных материалов, в частности явления гиперупругости, ползучести,

сверхпластичности (пневмотермической формовки), разрушения материалов. Также рассматриваются различные методы автоматического перестроения конечно-элементных сеток в процессе расчёта, глобально-локального анализа в Marc-Mentat, тепловых расчётов и, кратко, применения подпрограмм пользователя на языке Fortran.

Продолжительность семинара – 3 дня (24 учебных часа)

❖ **Инженерный анализ нелинейных процессов в системе Marc с использованием Patran (MAR120)**

Данный семинар посвящен углубленному изучению решения существенно нелинейных задач в системе Marc. Слушателям также дается вводный курс по использованию Patran.



В рамках семинара дается обзор возможностей нелинейного анализа в Marc на ряде практических примеров, дается представление о моделях материалов в Marc, методах решения нелинейных задач, приводится сравнение этих методов, исследуются критерии сходимости и приводятся рекомендации по их использованию, рассматривается сравнительная оценка временных затрат для линейного и нелинейного анализов. Также слушателями изучается библиотека конечных элементов Marc. В программу семинара включены главы, рассказывающие об использовании "следящих" сил, приращении на нагрузку, контактной, геометрической и физической нелинейности. Пользователи узнают о процедурах анализа в Marc, многошаговом анализе и рестартах. Приводится информация по специальным элементам, слоистым композиционным материалам, деформируемым и твердым контактными телам, методам решения контактных задач. Подробно рассмотрены возможности моделирования контакта в Marc. Кроме этого на семинаре рассказывается о методах анализа потери устойчивости и критического поведения конструкций, выполнении динамических, и тепловых расчетов.

Продолжительность семинара – 5 дней (40 учебных часов)

❖ **Изучение расширенных возможностей по решению нелинейных задач в системе Marc с использованием Patran (MAR121)**

На этом семинаре пользователи получают углубленные знания по решению нелинейных задач в Marc. В рамках этого семинара изучаются различные модели материалов, включая практические аспекты моделирования гиперупругих материалов, модель прогрессирующего разрушения, свехпластическое формирование, техника виртуального закрытия трещины и др. Детально рассмотрены методы решения контактных задач, включая метод сегмент-по-сегменту. Пользователи изучат методы локального и глобального перестроения КЭ сеток. Рассматривается расширение стандартных возможностей Marc с использованием подпрограмм пользователей, решения задач использованием Глобально-Локального подхода. Отдельный раздел посвящен решению тепловых и связанных тепло-прочностных задач. В рамки семинара также включено описание запуска задач с использованием рестартов.

Теоретическая часть подкреплена практическими примерами.
Продолжительность семинара – 3 дня (24 учебных часа)

❖ **Решение быстропротекающих существенно нелинейных задач с использованием Dytran (использование Лагранжева и Эйлера подхода) (DYT101-102)**

Тема данного семинара – освоение основ применения программного пакета Dytran для виртуального моделирования быстропротекающих процессов преимущественно ударного характера и отличающихся большими деформациями исследуемой конструкции.



Примеры таких процессов – столкновения различных транспортных средств (автомобилей, поездов, самолётов) вплоть до их разрушения, воздействие взрыва на конструкцию, изменение формы заготовки при изготовлении детали штамповкой и т.д.

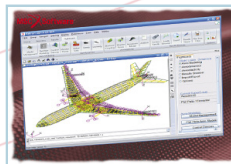
В программе семинара, наряду с рассмотрением методики расчёта конструкций на основе подхода Лагранжа, – изучение технологии моделирования динамических процессов на базе подхода Эйлера (возможность решения задач с использованием этой технологии – важная отличительная особенность программного пакета Dytran). Данная технология обеспечивает возможность решения задач анализа ударного взаимодействия на сверхвысоких скоростях, при которых характер поведения обычных материалов схож с поведением жидкости (например, столкновение летательных аппаратов с биообъектами и т.п.).

В центре внимания данного курса – практическое применение Dytran. По окончании занятий слушатели имеют практические навыки моделирования сложных процессов.

Продолжительность семинара – 5 дней (40 учебных часов)

❖ **Введение в комплекс аэроупругого моделирования и расчета FlightLoads&Dynamics (FLD120)**

Прослушав этот семинар, пользователи научатся создавать сложные аэроупругие модели, определять нагрузки по уравновешиванию летательного аппарата (ЛА), а также формировать базы данных аэроупругих характеристик для различных аэродинамических компоновок.



Этот семинар позволит инженерам ознакомиться с комплексным подходом к возможностям MSC Nastran по исследованию аэроупругих характеристик ЛА с использованием интерфейса FlightLoads и инструментария управления процессами. Обзор основ расчётов аэроупругости сопровождается обсуждением аэродинамической теории и теорий аэроупругости: статической – балансировка упругого ЛА, дивергенция несущих поверхностей и динамической – флаттер, расчёт воздействия порыва на ЛА и т.д. Слушатели научатся моделировать аэродинамические поверхности, органы управления и механизации, определять балансировочные параметры ЛА, статические и динамические нагрузки, критические скорости и частоты флаттера, формы колебаний ЛА в потоке и т.п. В рамки семинара также включен краткий ознакомительный курс по Patran и MSC Nastran. Теоретическая база семинара подкреплена набором практических упражнений, примеров и задач по тематике семинара.

Продолжительность семинара – 5 дней (40 учебных часов)

❖ **Базовый семинар по Adams (ADM701)**

На этом семинаре пользователи научатся создавать и исследовать виртуальные прототипы машин и механизмов, реалистично моделирующих поведение разрабатываемых изделий.



Базовый курс дает основные знания, которые будут необходимы для начала использования всех возможностей виртуального моделирования, тестирования и визуализации в Adams.

Слушатели этого семинара изучат основные возможности системы Adams, в том числе: создание отдельных частей и организацию их в модели механических систем; соединение частей с использованием различных сочленений (шарниров, кулачковых следящих элементов, пружин, демпферов и т.д.); приложение реалистичных нагрузок, контактов и пересечений частей. Слушатели научатся выполнять статический, линейный и переходный виды анализа. Пользователи научатся анализировать результаты расчетов посредством анимации и графиков, управлять файлами созданными и используемыми в препроцессоре и решателе Adams/View и Adams/Solver соответственно.

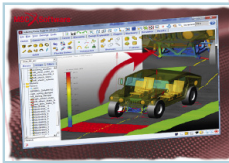
Дополнительно в рамках семинара обсуждаются вопросы импорта CAD-геометрии, моделирования кулачков, приложения трения в шарнирах, моделирования датчиков в модели, некоторые вопросы параметрических исследований механизмов и их оптимизации.

В основе семинара лежит решение большого количества практических задач, разнообразных примеров по моделированию отдельных элементов и целых конструкций машин и механизмов в программной среде Adams.

Продолжительность семинара – 4 дня (32 учебных часа)

Семинар по моделированию упругих тел в Adams (ADM710)

Данный семинар направлен на обучение созданию в Adams ещё более реалистичных моделей машин и механизмов путём добавления реальных упругих характеристик (податливость элементов) отдельных частей конструкции или механизма в целом. Такую возможность предоставляет модуль Adams/Flex для работы с упругими телами.



Слушатели семинара по работе с Adams/Flex познакомятся с несколькими возможностями добавления упругих компонентов в уже существующую модель или создания модели на основе подготовленных упругих тел. В рамках семинара рассматривается несколько вариантов создания и подготовки упругих звеньев, а именно: создание упругого тела с помощью внешних систем конечно-элементного моделирования таких как MSC Nastran, Marc и др. Так же рассматривается возможность создания упругих тел в среде Adams/View с применением модуля ViewFlex.

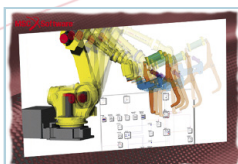
Для более широкого применения возможностей Adams/Flex в программе семинара предусмотрен обзор теоретических основ методов учёта податливости компонентов в средах моделирования многомассовых систем к которым относится Adams (метод динамической редукции КЭ модели – метод Крэйга Бэмптона (Craig-Vampton)). Рассматриваются вопросы дальнейшего использования результатов расчёта механизмов с упругими звеньями в качестве исходных данных для формирования истории нагружения и последующего расчёта долговечности с применением MSC Fatigue. Для закрепления полученных знаний предусмотрено решение практических задач с использованием как готовых файлов с упругой моделью, так и с подготовкой упругой модели с применением MSC Nastran.

Дополнительно в рамках семинара обсуждаются вопросы оптимизации размера, содержания, точности и ряда других параметров файлов описывающих характеристики упругих компонентов.

Продолжительность семинара – 2 дня (16 учебных часов)

Интеграция моделей систем управления EASY5 и модели машин и механизмов Adams (ADM711)

На семинаре по созданию комплексных моделей содержащих систему управления и модель механизма слушатели узнают о возможных вариантах моделирования мехатронных систем описывающих работу исследуемого механизма или машины с учётом влияния работы управляющих и регулирующих систем. Это могут быть самые разнообразные системы – пневматические, электрические, гидравлические и т.п., а так же их различные сочетания. В программе семинара предусмотрено решение ряда практических заданий, выполнив которые пользователи научатся готовить модели механизмов и модели систем управления для последующего их взаимного интегрирования. Слушатели научатся запускать совместное решение моделирования поведения мехатронной системы в которой модель системы управления рассчитывается в программной среде EASY5, а модель механизма в Adams. Так же в семинаре рассматриваются вопросы полной интеграции мехатронной модели путём создания отдельной библиотеки, содержащей в себе модель системы управления и импорта её в механическую модель Adams.

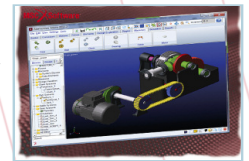


Продолжительность семинара – 1 день (8 учебных часов)

Моделирование в Adams сложных механизмов и приводов с помощью расширения Adams/Machinery (ADM750)

Прослушав курс по моделированию систем и приводов в Adams/Machinery пользователи познакомятся с основными возможностями всех модулей этого расширения к Adams, а так же смогут оценить простоту и вместе с этим точность моделирования механических систем используя продвинутый инструментарий Adams/Machinery. Семинар состоит из теоретической части, в которой рассказывается про методы и возможности моделирования, которые заложены в Adams/Machinery, а так же некоторые теоретические основы моделирования зубчатых, цепных, ремённых, тросовых передач и систем с подшипниками и электродвигателями. Практическая часть семинара предусматривает решение тематических задач по каждому из модулей, выполнив которые слушатели смогут получить необходимые навыки для начала работы с Adams/Machinery. Семинар рассчитан как на опытных, так и на начинающих пользователей системы Adams.

Продолжительность семинара – 1 день (8 учебных часов)

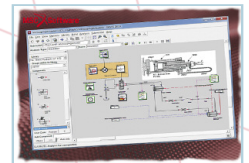


Введение в моделирование сложных технических систем и устройств на схемном уровне с использованием EASY5 (EAS101)

В рамках данного семинара слушатели получают знания, необходимые для моделирования цифровых и аналоговых систем управления, гидроприводов, трансмиссий, двигателей внутреннего сгорания и т.п. Изучат основные функции и методологию работы с системой EASY5.

Познакомятся с архитектурой и файлами системы EASY5, научатся работать с набором готовых библиотек компонентов для выполнения междисциплинарного анализа. На этом семинаре слушатели также научатся подключать свои подпрограммы. Полученные знания закрепляются рядом практических примеров.

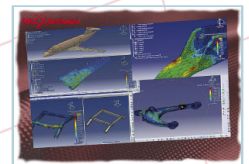
Продолжительность семинара – 2 дня (16 учебных часов)



Прочностной и тепловой анализ с использованием SimDesigner (SMD101)

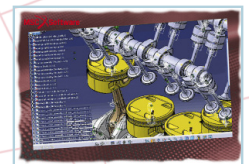
Семинар включает полное описание структуры MSC SimDesigner для CATIA V5. По окончании курса обучения, слушатели приобретут навыки работы с SimDesigner, получат базовые знания о методе конечных элементов, научатся решать задачи линейной и нелинейной статики, потери устойчивости и вычисления собственных форм и частот колебаний, а также задачи стационарного и нестационарного теплообмена. Изучаются возможности SimDesigner по подготовке моделей для расчетных систем, таких, как MSC Nastran, Marc и т.д. Курс может быть полезен конструкторам, работающим в среде CATIA V5.

Продолжительность семинара – 3 дня (24 учебных часа)



SimDesigner Motion для CATIA V5 (SMD102)

Являясь частью SimDesigner, модуль Motion изучается отдельно от основного курса (SMD101) ввиду своей сложности и большого объема материала. Предоставить конструктору возможность решать задачи динамики многомассовых систем – вот основная задача, решаемая SimDesigner Motion. Семинар посвящен детальному описанию пользовательского интерфейса SimDesigner Motion, а также возможностям моделирования, основные из которых – методы моделирования механизмов с учетом различного вида граничных условий и нагрузок. В основе семинара – решение ряда практических



задач, разнообразных примеров. Полученные навыки позволяют инженерам проектировать более надежные и технологичные конструкции.

Продолжительность семинара – 2 дня (16 учебных часов)

❖ **Базовые и специализированные семинары по SimXpert (SMX101-131)**

Семинары включают полное описание структуры SimXpert – интегрированной программной среды сквозного многодисциплинарного моделирования, анализа и оптимизации продукции. По окончании курса обучения, слушатели приобретут навыки работы с SimXpert, изучат описание структуры SimXpert, получат базовые знания о методе конечных элементов, научатся решать задачи линейной и нелинейной статики, потери устойчивости и вычисления собственных форм и частот колебаний, а также задачи стационарного и нестационарного теплообмена. На семинарах рассматриваются способы импорта геометрических моделей, их редактирования и автоматического построения сеток, а также рассматриваются методы проверки качества элементов и способы редактирования, в том числе и "морфинга", КЭ сеток.

Специализированные семинары включают обучение работе в «Workspaces» (рабочих пространствах) системы SimXpert.

SMX101 – введение в SimXpert. базовая информация по структуре SimXpert и основные возможности следующих рабочих пространств: Structures Workspace, Motion Workspace, Crash Workspace и Thermal Workspace

Семинар SMX108 – изучение новых возможностей последних версий SimXpert

На семинаре SMX120 (Structures Workspace) рассматриваются статический и динамический анализ прочности конструкций. Кроме этого слушатели освоят, средства генерации, редактирования, в том числе и "морфинга" конечноэлементной сетки и многие другие возможности SimXpert.

Семинар SMX121 (Motion Workspace) – моделирование виртуальных прототипов машин и механизмов, включая возможность учета упругих свойств элементов модели.

Семинар SMX122 посвящён подробному изучению анализа динамических процессов.

Семинар SMX124 (Thermal Workspace) – возможности SimXpert в области теплового анализа.

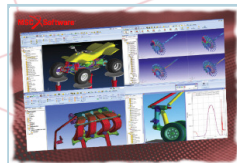
Семинар SMX125 (Crash Workspace) – оценка безопасности конструкций, моделирование их столкновений с другими объектами (crash- и drop-тесты), манипулирование и позиционирование виртуального манекена пассажира и пешехода. Подготовка моделей обработка результатов для решателя LS-DYNA

Семинар SMX126 (Crash Workspace) – оценка безопасности конструкций, моделирование их столкновений с другими объектами (crash- и drop-тесты), манипулирование и позиционирование виртуального манекена пассажира и пешехода. Взаимодействие конструкция-жидкость (газ). Подготовка моделей обработка результатов для MSC Nastran.

Семинар SMX131 (Templates) – создание шаблонов, которые позволяют сохранять и накапливать лучшие методики проектирования для их дальнейшего повторного использования специалистами всего предприятия.

Семинар SMX400 (Nonlinear Structural Analysis with SimXpert – нелинейный прочностной анализ в SimXpert) – специализированный семинар по моделированию и решению задач с учетом всех видов нелинейности в конструкции. Рассматриваются задачи статики, тепловые и тепло-прочностные задачи с применением SOL400 MSC Nastran. Также в семинар включено рассмотрение базовых возможностей динамического анализа средствами MSC Nastran и SimXpert.

Продолжительность семинаров – от 2 до 5 дней (от 16 до 40 учебных часов)



❖ **Анализ тепловых процессов в Sinda (SND502)**

Семинар по Sinda включает в себя комбинацию учебных лекционных и демонстрационных материалов и упражнений по программным продуктам, входящим в пакет TFEA: Базовое обучение основным навыкам работы с графическим интерфейсом пользователя универсального пре- постпроцессора Patran (2 дня), основы работы со специализированным тепловым решателем Sinda (2 дня), а также основы работы с интегрированным в пакет Sinda специализированным высокоэффективным решателем для нахождения геометрических коэффициентов (view factors) – системой SINDARad (1 день).

По окончании курса, слушатели приобретут навыки работы с Patran, научатся строить модели для проведения анализа тепловых процессов в конструкции, изучат особенности обработки результатов теплового расчета как в среде Patran, так и с использованием собственного препроцессора решателя Sinda – Thermal Studio. В ходе курса слушатели изучат структуру входного файла решателя Sinda, изучат особенности настройки решателя на анализ установившихся (Steady State) и нестационарных (Transient) тепловых процессов, особенности приложения различных граничных условий (температур по узлам, тепловых потоков, излучения во внешнюю среду и в замкнутом объеме, термодатчика и т.д.).

Неотъемлемой частью семинара является решение ряда специально подобранных практических задач по различным направлениям теплового анализа конструкции.

Продолжительность семинара – 5 дней (40 учебных часов)

❖ **Анализ акустики и вибро-акустики с применением системы Actran – базовый семинар (ACT101a)**

Слушатели изучат возможности системы Actran по моделированию процессов акустики в замкнутых полостях и излучения шума в открытое пространство. Будут изучены возможности графической среды Actran VI: импорт сеток, результатов счёта, их просмотр; базовые манипуляции с моделью; создание сеток, их деление на области, задание свойств акустической среды и элементов конструкций, включая звукопоглощающие материалы, задание граничных условий различных типов, создание точек вычисления результатов – виртуальных микрофонов, задание других параметров счёта, визуализация результатов в виде полей и графиков (функций частотного отклика) и другие функции.

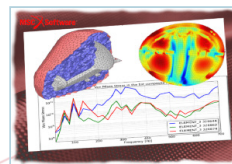
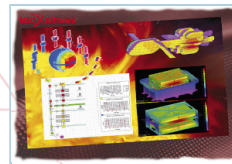
Особое внимание будет уделено практическому освоению пользователями правил ввода данных и указания узлов и элементов приложения нагрузок и свойств в моделях Actran.

Actran позволяет использовать несколько методов моделирования неотражающих граничных условий на границах расчётной области: бесконечные элементы, идеально согласованный слой, и др. Эти методы будут рассмотрены, будут даны рекомендации по областям их применения.

Будут рассмотрены все методы включения упругих конструкций в расчётную модель Actran: «жёсткая» структурная модель (BC Mesh) с односторонней связью, полностью связанная вибро-акустическая задача с двусторонней связью. Прямая и модальная постановки решения задач будут рассмотрены, их преимущества и недостатки будут описаны в применении к Actran. Заключительной темой этого раздела является моделирование звукопоглощающих материалов в различных постановках.

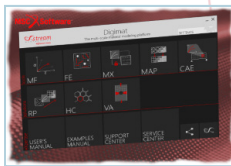
На упражнениях отрабатываются практические навыки моделирования в среде Actran VI, обработки результатов счёта, создание диаграмм, применение пользовательских формул для обработки результатов, и другие приёмы работы. Упражнения наглядно демонстрируют влияние отдельных факторов на получаемые результаты, позволяют не только освоить интерфейс программы, но и понять физику моделируемых процессов.

Продолжительность семинара – 2 дня (16 учебных часов)



Базовые, продвинутые и специализированные семинары по Digimat (DIG101RU – DIG 502RU)

Программный комплекс Digimat предназначен для нелинейного многоуровневого моделирования характеристик многофазных материалов, включая композиционные материалы, и расчета конструкций из них. Основной технологии Digimat является расчет нелинейных анизотропных свойств многофазных материалов на микроуровне на основе характеристик фаз материала и его микроструктуре, учитывающей технологию изготовления и возможные дефекты. Digimat предназначен для специалистов-материаловедов, отвечающих за разработку многофазных материалов, специалистов по статической и/или динамической прочности, занимающихся расчетом композитных конструкций, и специалистов-материаловедов, связанных с квалификацией композиционных материалов и получением их расчетных характеристик. Digimat имеет модульную структуру и состоит из восьми инструментов (-MF, -FE, -MX, -MAP, -CAE, -RP(-RP/Moldex3D), -HC, -VA), каждый из которых отвечает за свое направление в моделировании и испытании композиционных материалов или конструкций из них.



Серия семинаров по Digimat предназначена для всех специалистов, связанных с композиционными материалами, и логически разделена по трем основным направлениям: разработка, расчет и изготовление композиционных материалов. Каждый из семинаров знакомит слушателя со своим набором инструментов Digimat, который позволяет максимально эффективно решить требуемый комплекс задач каждого из направлений. Помимо стандартных семинаров, по запросу возможно проведение специализированных семинаров, подготовленных под задачи конкретного пользователя или семинаров для различных отраслей промышленности: автомобилестроение, аэрокосмическая и т.д.

Базовый семинар по Digimat (DIG101RU)

В рамках семинара пользователи знакомятся со всеми инструментами Digimat (-MF, -FE, -MX, -MAP, -CAE, -RP или -RP/Moldex3D, -HC, -VA) и получают базовые знания по разработке и виртуальным испытаниям композиционных материалов, а также по расчету на прочность композитной конструкции с использованием Digimat.

Продолжительность семинара – 5 дней (40 учебных часов)

Серия семинаров по разработке композиционных материалов с использованием Digimat (DIG201RU, DIG202RU)

Семинары предназначены для специалистов-материаловедов, связанных с разработкой композиционных материалов. Слушатели знакомятся с возможностями модулей -MF и -FE для расчета характеристик многофазных материалов, работой с базой данных -MX для хранения, управления и использования данных по композиционным материалам, а также проведения обратного инжиниринга (корреляция математической модели материала Digimat по результатам натурных испытаний). Для слушателей, в зависимости от их запросов, предусмотрен базовый и углубленный семинар.

Продолжительность семинара – от 2 до 3 дней (от 16 до 24 учебных часов)

Серия семинаров по расчету на прочность композитных конструкций с использованием Digimat (DIG301RU, DIG302RU)

В рамках семинаров пользователи знакомятся с возможностями модуля -CAE для проведения связанного конечно-элементного расчета в MSC Nastran или Marc с нелинейной анизотропной моделью материала Digimat. Дополнительно, пользователям показывается расчет конструкций из армированных пластиков с помощью модуля -RP или -RP/Moldex3D, а также передача данных о микроструктуре в конструкции после изготовления с технологической модели на прочностную модель с помощью модуля -MAP. Семинары в первую очередь предназначены для специалистов по статической и/или динамической прочности. Для слушателей, в зависимости от их запросов, предусмотрен базовый и углубленный семинар.

Продолжительность семинара – от 2 до 3 дней (от 16 до 24 учебных часов)

Серия семинаров по виртуальным испытаниям композиционных материалов с помощью Digimat (DIG401RU, DIG402RU)

Базовый и углубленный семинары в первую очередь предназначены для специалистов, связанных с квалификацией композиционных материалов и получением расчетных характеристик слоистых композиционных материалов. Слушатели знакомятся с возможностями модуля -VA для виртуальных испытаний серии образцов и автоматического получения расчетных характеристик слоистого композиционного материала в зависимости от: композиционного материала, вариативности его характеристик, укладок слоев в пакете, условий окружающей среды при испытании, видов испытаний (растяжение, сжатие) и типов испытательных образцов (гладкий, с открытым отверстием, с заполненным отверстием и т.д.). Дополнительно, слушатели участвуют в виртуальном испытании сэндвич-панелей на трехточечный, четырехточечный изгиб и сдвиг в плоскости в модуле -HC.

Продолжительность семинара – от 1 до 2 дней (от 8 до 16 учебных часов)

Специализированные семинары по использованию Digimat (DIG501RU, DIG502RU)

Серия специализированных семинаров по использованию Digimat в автомобилестроительной и аэрокосмической отрасли промышленности. Слушатели получают знания о возможностях программного комплекса Digimat, применительно к конкретной отрасли, знакомятся с разработкой композиционных материалов, их испытаниям для получения расчетных характеристик и расчету на статическую и/или динамическую прочность композитных конструкций. Состав изучаемых на семинаре модулей Digimat (-MF, -FE, -MX, -MAP, -CAE, -RP или -RP/Moldex3D, -HC, -VA) зависит от конкретного семинара.сит от конкретного семинара.

Продолжительность семинара – от 3 до 5 дней (от 24 до 40 учебных часов)

Выездные бесплатные лекции MSC Software

Новый уровень инженерных компьютерных технологий требует более интенсивного, глубокого и комплексного подхода по подготовке и обеспечению процесса успешного внедрения VPD-технологий на предприятиях. С этой целью MSC Software предлагает проведение выездных бесплатных лекций о современных технологиях Виртуальной Разработки Изделий.

Московский офис MSC Software предлагает всем заинтересованным компаниям самых разных отраслей промышленности воспользоваться возможностью и пригласить специалистов MSC Software для проведения таких лекций.

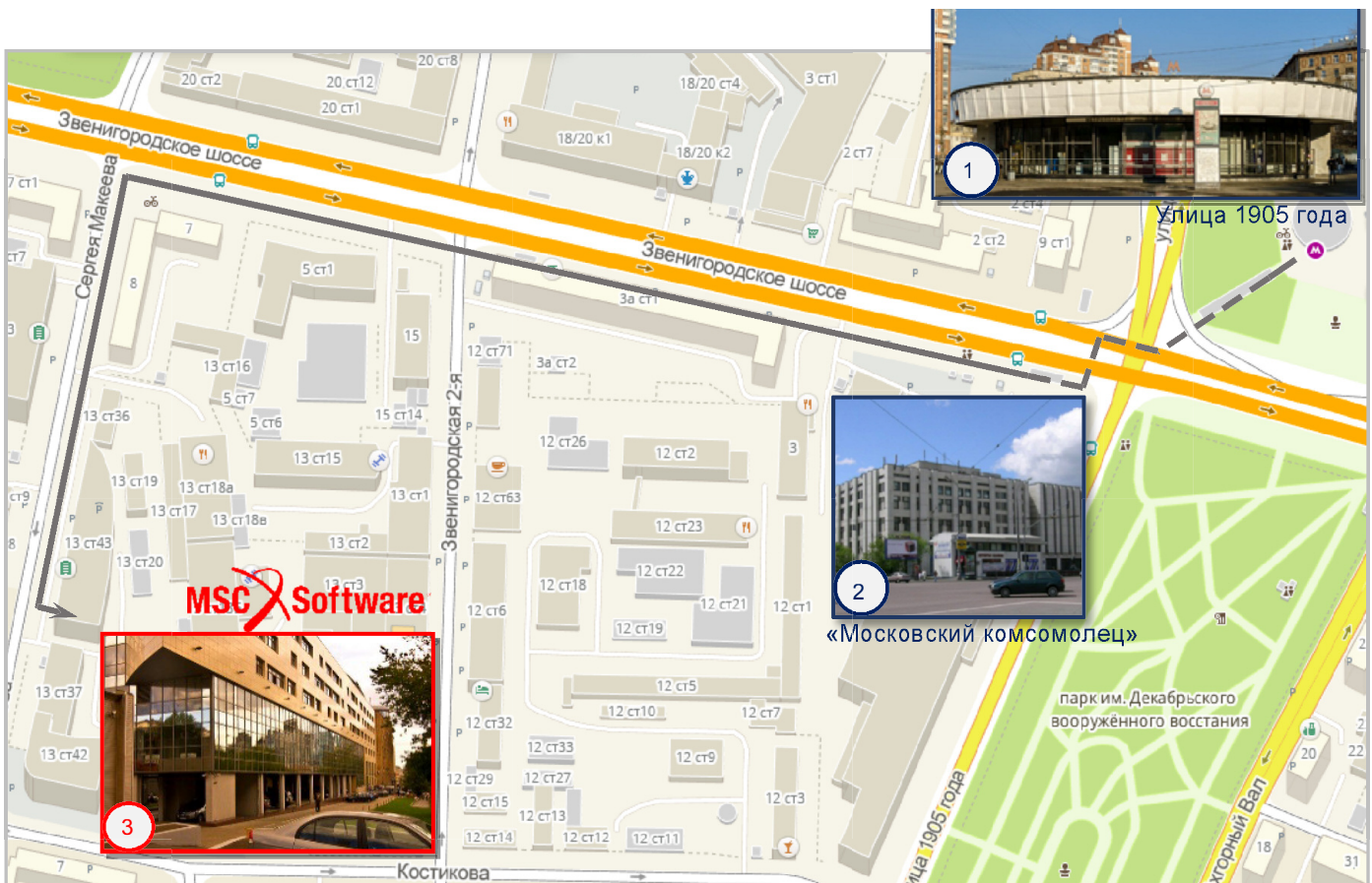
Руководители и специалисты предприятий могут предварительно обсудить с сотрудниками MSC Software интересные темы, установить порядок их рассмотрения, временные рамки для проведения лекций и направить запрос по электронной почте marketing.russia@mscsoftware.com

Цель проведения данных лекций – донести до слушателей информацию о возможностях систем инженерного анализа, установленных на предприятии или помочь спланировать приобретение и эффективное внедрение наиболее оптимального пакета систем VPD, в соответствии с производственными потребностями предприятия.

Как нас найти

- 1) Станция метро «Улица 1905 года», последний вагон из центра. Далее – по подземному переходу на противоположную сторону улицы к зданию редакции газеты «Московский комсомолец».
- 2) Идите вдоль Звенигородского шоссе в сторону области до улицы Сергея Макеева, затем поверните налево не переходя улицы. Наш офис расположен в бизнес центре.
- 3) Заходите в центральный вход, поднимитесь на лифте на 5 этаж, из лифта направо до стеклянной двери. Здесь находится наш офис.

Наш адрес: 123022, Москва, 2-я Звенигородская улица, дом 13, строение 43, 5 этаж, офис № 521
Телефон: +7 (495) 363-06-83, 363-62-48



Автомобилистам:

На улице Сергея Макеева одностороннее движение в направлении от Звенигородского шоссе в сторону Шмитовского проезда. Из центра есть поворот налево со Звенигородского шоссе. Парковочные места – на общественных стоянках, платные.

-  **MSC One**
-  **MSC MasterKey Plus**
-  **MSC Nastran**
-  **Patran**
-  **MSC Apex**
-  **Adams**
-  **Easy5**
-  **Marc**
-  **Actran**
-  **Dytran**
-  **Sinda**
-  **MSC Fatigue**
-  **FlightLoads and Dynamics**
-  **MSC Nastran Desktop**
-  **Digimat**
-  **Simufact**
-  **SimXpert**
-  **SimDesigner**
-  **SimManager**
-  **MSC MaterialCenter**

За более подробной информацией об этих программных продуктах обращайтесь в офис компании MSC Software RUS:

Почтовый адрес:

123022, Москва, ул. 2-я Звенигородская 13, стр. 43, оф. 521

Телефоны:

+7 (495) 363-06-83, 363-62-48

Факс:

+7 (495) 787-76-06

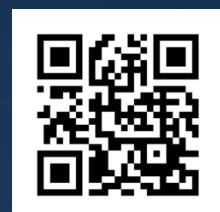
E-mail:

marketing.russia@mscsoftware.com

Worldwide Web:

www.mscsoftware.com

www.mscsoftware.ru



© 2016 MSC Software Corporation

Корпоративный логотип MSC Software, MSC, а также все наименования программных продуктов MSC Software, упоминающиеся в данном документе, являются товарными знаками или зарегистрированными товарными знаками корпорации MSC Software в Соединённых Штатах и/или других странах. Все другие товарные знаки принадлежат соответствующим владельцам