

MSC Apex

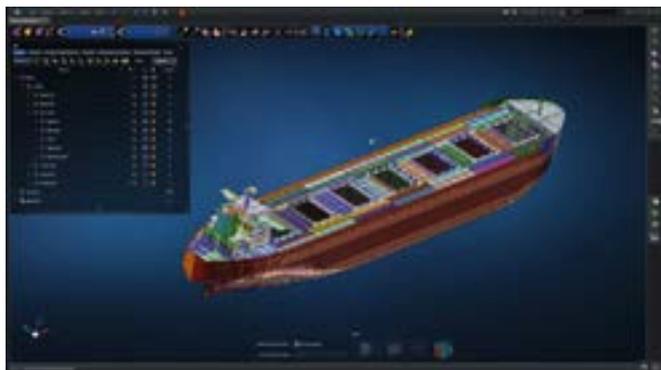
Платформа нового поколения для инженерного компьютерного моделирования и анализа

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 многих этапах его работы, в том числе на одном из самых трудоемких и ресурсозатратном 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 реализации новых возможностей в сфере CAE-моделирования и анализа, гибкая высокоэффективная компонентная среда для подготовки КЭ-моделей и их расчета методом конечных элементов (КЭ).

При создании MSC Apex за основу принята технология LEAF (Liquid Engineering Application Framework, адаптивный инженерный фреймворк). Суть подхода заключается в разработке гибкой программной платформы MSC Apex с графической средой, которая может использоваться различными уже существующими или вновь создаваемыми системами и модулями инженерного моделирования и анализа. Таким образом, например, в модуле MSC Apex Structures реализованы возможности интегрированного решателя на базе MSC Nastran, в MSC Apex Generative Design — технологии топологической оптимизации, сглаживания геометрических поверхностей и генерации вариантов изделия, а в модуле MSC Apex Modeler — средства работы с моделями и результатами Adams/Car — вертикального приложения для проектирования подвески автомобилей и других транспортных средств в экосистеме среды моделирования кинематики машин и механизмов Adams. Технология LEAF позволяет упростить реализацию взаимосвязей между приложениями и модулями, унифицировать правила взаимодействия программы и использовать графический интерфейс для различных приложений.

Состав компонентов MSC Apex расширяется от версии к версии. Для актуальной на момент публикации версии MSC Apex — Jaguar доступны модули Modeler, Structures и Generative Design.

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, имеющий весь необходимый набор инструментов задания граничных условий, нагрузок, свойств материалов, автоматизированной проверки готовности модели к расчету и обработки результатов анализа расчетной модели.

MSC Apex Structures

Дополнительный модуль, предоставляющий возможности расчета модели средствами интегрированного решателя на

базе MSC Nastran. Модуль реализует метод Расчетных Компонентов и Сборок, обеспечивает весь комплекс операций над матрицами, созданными индивидуально для каждой детали в сборке, и обеспечивает их актуальность при выполнении расчета.

MSC Apex Generative Design

Инструментарий специализированной топологической оптимизации и сглаживания геометрических поверхностей, ориентированный на аддитивные технологии, реализованный в графической среде MSC Apex. При минимальных затратах времени и усилий, пользователь может поставить задачу оптимизации и получить варианты конструкций со сглаженной геометрией готовые к 3D-печати.

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

Особенности MSC Apex

К числу ключевых 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. При этом, сохраняется возможность работы с отдельно стоящим решателем MSC Nastran;
- Средства автоматического поиска, визуализации и удаления ненужных геометрических особенностей как для простых геометрических объектов, так и для произвольных наборов, сформированных пользователем для удаления;
- Инструменты чистки и реставрации корректного описания объектов геометрической модели полученной из CAD-системы (серия инструментов Geometry Cleanup);

- Высокопроизводительный, адаптивный генератор конечно-элементных сеток различных типов с возможностью учета геометрических особенностей и их характерных размеров;
- Средства подготовки и условного подразделения объемной геометрии практически любого уровня сложности на более простые подобласти с последующим созданием связанной КЭ-сетки из HEXA-элементов;
- Средства восстановления геометрических объектов из КЭ-модели (в случаях, если нет никакого геометрического описания, а имеется только КЭ-сетка). Уникальная технология построения параметризованных геометрических объектов с гладкими поверхностями (NURBS) на основе исходной КЭ-сетки позволит использовать весь накопленный опыт предприятия в виде существующих КЭ-моделей и применить новые эффективные инструменты для работы с геометрической моделью.

Одним из важнейших показателей любой коммерческой системы инженерного моделирования и анализа является возможность подключения пользовательских алгоритмов и подпрограмм, подразумевающая поддержку какого-либо языка программирования. MSC Apex имеет такие возможности и для этих целей используется современный объектно-ориентированный скриптовый язык высокого уровня Python.



При работе в среде MSC Apex можно записывать макросы как последовательность команд на языке Python. Затем их можно модифицировать в виде скриптов с включением дополнительных модулей и подпрограмм, циклов и проверки условий. В MSC Apex открыт обширный набор внутренних функций для программирования (MSC Apex API — Application Programming Interface, программный интерфейс приложения), который хорошо документирован. С применением этих возможностей могут быть созданы скрипты различного уровня сложности автоматизирующие многие рутинные операции. Например, автоматизация поиска и замещения отверстий определенного диаметра коннекторами выбранного типа и с заданными характеристиками, отыскание и удаление из модели деталей или наборов объектов, подобных образцу. Степень автоматизации может варьироваться в зависимости от степени проработки скрипта.

Пользователь может создать любое количество своих собственных инструментов, разработать графический пользовательский интерфейс и назначить для инструмента клавиатур-

ное сокращение и/или кнопку на пользовательской панели инструментов.

Особое внимание в MSC Apex уделено комфорту и продуктивности работы инженера-расчетчика. В этой связи 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.

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 достаточно высокого 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.

MSC Apex может применяться как самостоятельно, так и в сочетании с другими средствами моделирования и анализа проектируемой конструкции. Существуют различные сценарии использования MSC Apex в этой связи. Например, MSC Apex выступает в роли инструмента отладки и подготовки геометрической модели, строителя КЭ-сетки высокого качества для больших

сборок. Затем геометрия и КЭ-сетка передаются в традиционную CAE-систему, где к модели прикладываются нагрузки и граничные условия и задаются специфические для того или иного решателя параметры задачи и выполняется расчет. Альтернативный сценарий, когда MSC Apex является пре- и постпроцессором для решателя MSC Nastran. При этом, результаты расчета поставляются в MSC Apex в эффективном современном формате HDF5. Такой подход находит наибольшее распространение у опытных пользователей MSC Nastran.

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.

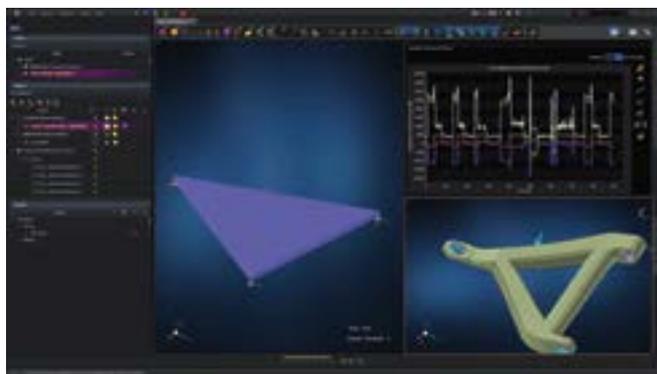
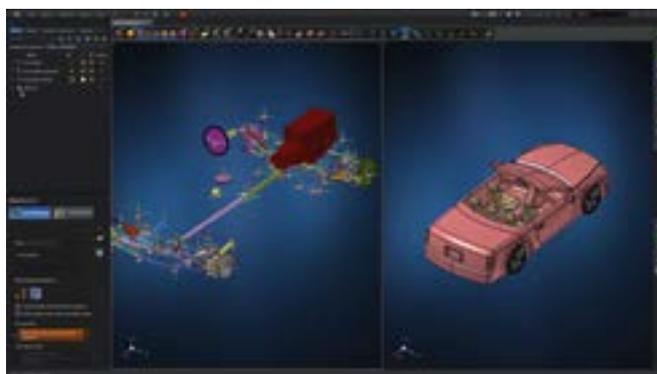
На разработку CAE-модели, представленной на рисунке конструкции авиационного силового шпангоута (подготовка геометрической модели и генерация КЭ-сетки) с помощью традиционного подхода было затрачено 50 часов. При ис-

пользовании MSC Apex Modeler данный процесс занял всего 5,5 часов и потребовал гораздо меньше усилий (табл. 1). Этап подготовки геометрической модели и построения КЭ-сетки включал в себя следующие операции:

- 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.

Работа с моделями и результатами Adams/Car в среде MSC Apex

Проблемно-ориентированный модуль Adams/Car в экосистеме приложений Adams в сочетании с другими модулями Adams предназначен для создания полнофункциональных моделей транспортных средств на основе параметризованных моделей-шаблонов. Основные функции Adams/Car доступны в среде MSC Apex, в том числе импорт и визуализация шаблонов, моделей и треков, отображение результатов динамического расчета элементов конструкции, идентификация критических точек динамического отклика конструкции в истории нагружения по времени.



Так как MSC Apex является средой конечно-элементного моделирования и анализа, открываются широкие возможности по передаче нагрузок из Adams/Car на конечно-элементное представление деталей конструкции в MSC Apex.

В свою очередь, детальные конечно-элементные представления позволяют точно отразить динамику упругих элементов кинематической модели. С использованием MSC Apex Structures производится серия квази-статических КЭ-расчетов для различных конфигураций динамической системы в различные моменты времени, в том числе, критические с точки зрения внешнего воздействия и отклика конструкции.

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, линейного анализа потери устойчивости и динамического анализа на гармоническое воздействие в модельной постановке.

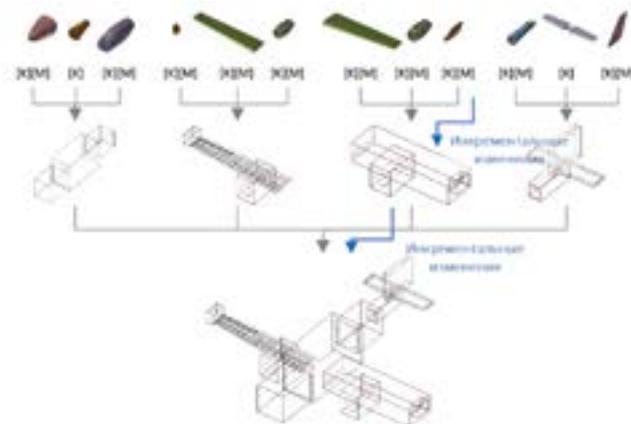
Модуль MSC Apex Structures предлагает как современный графический пользовательский интерфейс для задания различных сценариев расчета и обработки результатов, так и интегрированный решатель. Такой подход является уникальным, поскольку сочетает в себе технологию расчетных компонентов и сборок с высокопроизводительной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



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.



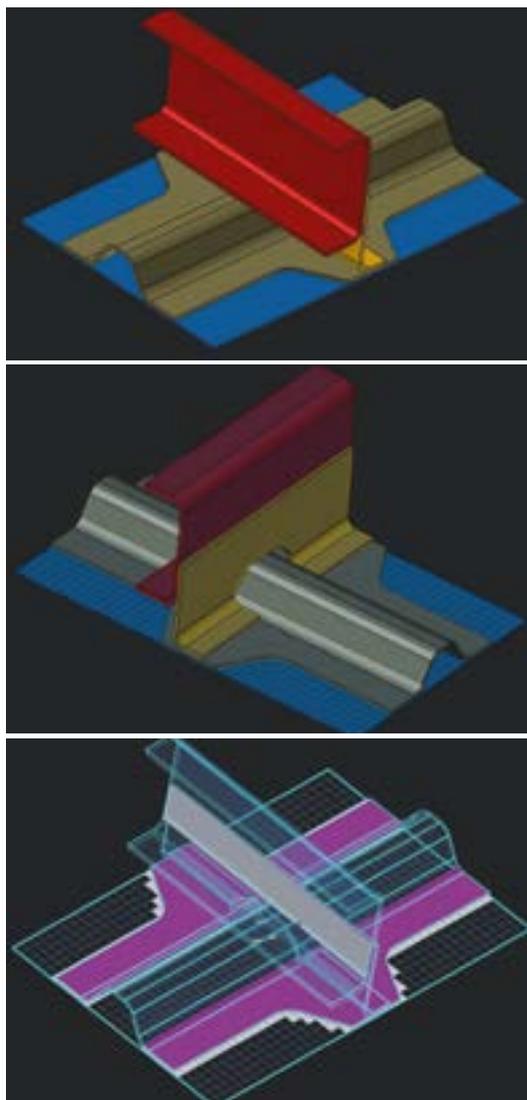
Поскольку расчетные компоненты и сборки являются полностью независимыми объектами, пользователь получает возможность проводить экспресс-анализ практически любых конфигураций деталей в сборке, а также предварительный анализ отдельных деталей (инкрементальная поддетальная валидация модели). Это позволяет 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 различные инструменты создания соединений между деталями. Сюда относятся:

- Mesh Independent Tie – создание клевого контакта между разными деталями вне зависимости от конфигурации и без изменения уже существующей сетки на деталях;
- Mesh Dependent Tie — создание взаимосвязи между кромками и гранями разных деталей в виде совпадающей КЭ-сетки, при этом, существующая сетка на одной из деталей локально адаптируется с целью стыковки узлов по границе соединения;
- Discrete Tie — создание жесткого или интерполяционного соединения между выбранными узлами одной детали и узлом другой детали (по аналогии с MSC Nastran — RBE2 и RBE3 элементы);
- Connector — создание соединения в виде пружины, демпфера, комбинации пружины и демпфера, жесткой балки, упругой балки между деталями, при этом центральный элемент стыкуется с узлами на деталях посредством жестких или интерполяционных связей в автоматическом режиме;
- Joint — создание связей между деталями в виде шарниров, с возможностью раскрепления по силам и моментам по выбранным степеням свободы

в зависимости от выбранного типа шарнира и ориентации его в пространстве.

Моделирование связей между деталями и/или их частями оптимизировано с точки зрения удобства работы. Так, например, для создания постоянного клеевого соединения (Mesh Independent Tie) пользователю достаточно выбрать детали, которые следует соединить и задать область поиска (Tolerance) зоны 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.



Далее, при любых перестроениях КЭ-сетки, зона контакта или список узлов, по которым накладываются связи, автоматически перестраивается без участия пользователя. MSC Apex отслеживает актуальность связей при новых условиях. Таким образом существенно снижается нагрузка на инженера-расчетчика при построении сложных моделей, рутинные операции по поддержанию актуальности и совместимости объектов и действий над ними передаются системе. В этом суть так называемого генеративного подхода, реализованного в MSC Apex.

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 отладку и расчет сложных сборок изделий. Новый подход позволяет проводить данный этап работ в несколько раз быстрее.

MSC Apex — высокоэффективная CAE-платформа

В заключение необходимо отметить, что MSC Apex — не просто очередная CAE-система, это ПЛАТФОРМА для интеграции уже зарекомендовавших себя классических технологий, а также для новых и перспективных инструментов и технологий MSC Software, которые поэтапно добавляются в экосистему MSC Apex и взаимодействуют по единым формализованным правилам в единой современной графической среде (в соответствии с идеей технологии LEAF). Многие подходы, инструменты и, как следствие, возможности для пользователя, на данный момент являются уникальными среди 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.



ООО «Эм-Эс-Си Софтвэр РУС»
Дочерняя компания MSC Software
в России, СНГ и странах Балтии
123022, Москва, 2-я Звенигородская улица,
дом 13, стр. 43, 5 этаж, офис № 521
Телефон: +7 (495) 363 06 83
Email: marketing.russia@mscsoftware.com
mscsoftware.ru

Более полувека корпорация MSC Software занимается разработкой и внедрением компьютерных технологий и систем инженерного анализа. Современные численные методы, эффективные алгоритмы, высокая производительность, удобные интерфейсы пользователя и интеграция в информационную среду разработки изделий — всё это позволяет решениям MSC Software занимать лидирующие позиции в сфере виртуального моделирования и инженерных расчётов. Инновационное программное обеспечение корпорации сопровождает команда профессионалов с многолетним опытом разработки, поддержки и внедрения CAE-систем. В большинстве высокотехнологичных отраслей промышленности и на предприятиях самых разных масштабов внедрение технологий MSC Software значительно повышает конкурентные преимущества изделий, обеспечивая их высокое качество и улучшая экономические показатели процесса разработки.

Московский офис корпорации MSC Software более четверти века работает на территории России, СНГ, Грузии и стран Балтии. Сотрудники отдела продаж и технические специалисты московского офиса имеют большой опыт поставки и внедрения систем MSC Software. Техническая поддержка и услуги по обучению оказываются как в собственном учебном центре, так и непосредственно на предприятиях. Тесная кооперация с пользователями, партнёрами и зарубежными специалистами корпорации позволяет решать самые сложные вопросы, возникающие при эксплуатации решений MSC Software. Методическая литература на русском языке, примеры применения систем, оперативная практическая помощь и поддержка доступны сотням предприятий и тысячам инженеров в регионе.

Высокий уровень междисциплинарных решений и знаний, глубокое понимание потребностей предприятий в технологиях инженерного анализа, способность гибко подходить к нуждам каждого пользователя — всё это определяет выбор многих тысяч компаний по всему миру в пользу программного обеспечения MSC Software.



Hexagon — мировой лидер в области сенсорных, программных и автономных решений, предоставляющих данные и инструментарий для повышения эффективности, производительности и качества в сферах промышленности, производства, инфраструктуры, безопасности и мобильности.

Технологии компании Hexagon формируют городские и производственные экосистемы, делая их более взаимосвязанными и автономными, обеспечивая масштабируемость и надежное будущее.

Hexagon Manufacturing Intelligence — подразделение компании Hexagon. Решения Hexagon Manufacturing Intelligence, использующие данные проектирования и инжиниринга, производства и метрологии выводят предприятия на новый уровень эффективности.

Подробности о компании Hexagon можно найти на сайте hexagon.com. Новости в социальных сетях: [@HexagonAB](https://twitter.com/HexagonAB).

MSC Software, часть Hexagon Manufacturing Intelligence, одна из десяти первых компаний-разработчиков программного обеспечения и мировой лидер в области виртуального моделирования, инженерных расчётов и услуг, значительно расширяющих возможности стандартных промышленных методов и подходов. Узнать больше о продуктах и услугах MSC Software можно на сайте mcssoftware.com.