

Интегрированный инжиниринг и анализ авиационных конструкций

F. Berger (Siemens Industry Software SAS, France), S. Tucker (Siemens PLM Software, USA)

Краткий обзор

Проблемы, возникающие при расчетах прочности авиационных конструкций

Большинство авиастроительных компаний сталкиваются с фундаментальными проблемами в инженерных отделах. Больше всего это ощущается в области прочностных расчетов, поскольку растет не только сложность изделий, но и требования к безопасности и сертификации. Основными проблемами анализа прочности авиационных конструкций являются автоматизация, стандартизация, прослеживаемость и внедрение.

Комплексный подход к процессу моделирования предполагает, что многие инженерные команды плотно сотрудничают на всех этапах от создания CAD-моделей до подготовки CAE-моделей и проведения расчетов напряженно-деформированного состояния (НДС). Автоматизация процесса является ключевым фактором ускорения и повышения эффективности итераций “проектирование – расчет”.

Кроме того, подбор материалов и определение размеров деталей для обеспечения прочности конструкций в соответствии с требованиями к сертификации самолета – всё это требует проведения тысяч прочностных расчетов. Процесс сертификации затрудняется и удлиняется из-за отсутствия прозрачности между разными этапами: результатами расчетов прочности и исходными данными, расчетными методами, коллективной работой и выпуском отчетов о проведенных расчетных обоснованиях. Стандартизация процесса помогает решить эту проблему, улучшая согласованность и уменьшая риск возникновения ошибок.

Проблемы обеспечения автоматизации и стандартизации процессов являются ключевыми для анализа прочности авиационных конструкций, при этом приходится постоянно бороться за сохранение прозрачности и прослеживаемости конкретных данных, моделей и процессов/методов – от аванпроекта до конечного изделия.

Наконец, для сохранения конкурентного преимущества крупное предприятие может наладить обмен моделями со смежниками, что предъявляет серьезные требования к обеспечению безопасности данных и интеллектуальной собственности такого предприятия, и накладывает определенные ограничения на порядок организации работ.

Как реализовать комплексный подход к процессу расчета авиационных конструкций?

Siemens PLM Software предлагает комплексное решение для расчетов авиационных

конструкций, позволяющее прослеживать данные и результаты при сохранении контроля над процессом в целом.

Simcenter – это обширный набор инструментов для проведения расчетов (в том числе специальными методами) и управления данными, которые ускоряют весь процесс расчетного обоснования – от создания CAD-геометрии до расчетов в программных продуктах CAE.

Помимо расчетов на основе локальных конечно-элементных моделей (КЭМ), инженеры могут подбирать материалы и определять размеры деталей авиационных конструкций с помощью ряда аналитических расчетных методик. Ускорить процесс проектирования можно за счет использования прозрачного и интегрированного процесса проведения расчетов, реализующего комплексный подход к организации выполнения расчетов. При этом в отчетах о выполненных расчетах прочности будут приводиться и соответствующие исходные данные и результаты.

В общем контексте растущего количества данных и результатов, с которыми инженерам приходится иметь дело и обмениваться с другими отделами, решение *Teamcenter for Simulation* позволяет обеспечить управление и прослеживание моделей, результатов расчетов и использованных расчетных средств.

Программные решения *Siemens PLM Software* могут быть внедрены и использованы на территориально-распределенных площадках по всему миру, что позволяет авиастроительным предприятиям распределять задачи и создавать внутреннюю конкуренцию между поставщиками. При этом, инженеры будут работать в интегрированной среде с доступом к соответствующим методикам и инструментам.



Рис. 1. Siemens PLM Software ускоряет общий процесс расчета

В заключение можно сказать, что проблемы автоматизации и стандартизации процесса анализа прочности авиационных конструкций решаются компанией *Siemens PLM Software* в полном объеме. Решения *Siemens PLM Software* предоставляют инженерам интегрированную среду, охватывающую всю цепочку расчетов и уделяющую особое внимание сбору и прослеживанию данных и информации для заказчиков.

1. Введение

Компании, работающие в авиационно-космической отрасли, сталкиваются с проблемами высокой стоимости разработки, соблюдения сроков поставок, управления внедрением инноваций и одновременным обеспечением качества продукции. Для выхода на новый уровень эффективности, качества, соответствия техническим условиям и стоимости им необходима трансформация подхода “проектирование на основе моделирования”. Это сложная и многомерная проблема, в которой необходимо учитывать взаимосвязи между процессами, инструментами и организациями для принятия наиболее верных решений. Необходимо принимать решения на как можно более ранних стадиях проектирования, а также улучшать взаимосвязанность и прослеживаемость таких ключевых факторов, влияющих на принятие решений, как требования, функции, планы испытаний, верификация и сертификация.

Ключевым аспектом является поддержка непрерывной связанности в рамках цифровых технологий и интеграции между различными командами. Это позволяет им реализовывать бесшовные рабочие процессы, обеспечивает совместный и управляемый доступ к информации на всём протяжении цикла проектирования. Еще одним ключевым фактором является объединение в единую цифровую систему таких дисциплин и предметов, как: архитектура изделий, проектные требования, планирование и проведение испытаний, расчеты и верификация, а также управление CAE-данными и процессами.

Ведущие компании авиастроительной отрасли в настоящее время создают и реализуют стратегии, которые связывают бизнес-цели усовершенствования рабочих процессов с конкретными инициативами, дающими эффект ускорения и приводящими к достижению цели.

2. Проблемы авиастроения

Проблема удержания стоимости программ разработки воздушных судов в рамках отведенного бюджета, несмотря на срыв сроков разработки, особенно заметна в области прочностных расчетов, что обусловлено высокой сложностью изделий и постоянно растущими требованиями по безопасности и сертификации.

Программа проектирования конструкции самолета

Разработка гражданского воздушного судна является длительным и сложным процессом,



Рис. 2. Стандартные этапы программы разработки конструкции самолета

занимающим в среднем от 7 до 15 лет. На рис. 2 представлена стандартная программа разработки конструкции самолета; как мы видим, это многоэтапный процесс, включающий несколько стадий.

На этапе аванпроекта изучаются несколько возможных вариантов исполнения воздушного судна и соответствующие им конфигурации планера и технологии. Например, исследуются такие конфигурации, как с расположением двигателя сзади или на крыльях, оценивается возможность применения композитных материалов или металлических сплавов в конструкции.

Как только выбрана конфигурация, начинается этап эскизного проекта, который направлен на разработку топологии и принципов построения конструкции – таких, например, как количество шпангоутов. Целиком облик самолета постепенно вырисовывается путем исследования и отбора компромиссных решений, чтобы определить лучший вариант по нескольким критериям.

Как только конструкция планера определена, можно приступить к рабочему проекту. Например, рассматриваются схемы укладки композитного материала с детальным моделированием сбегов слоев или подробными профилями стрингеров (то есть высота стенки шпангоута, толщина стенки шпангоута и фланца).

После детальной проработки конструкции воздушного судна проводится утверждение и сертификация уполномоченными организациями на основании соответствующих документов. Это этап изготовления опытных образцов.

На каждом из этих этапов зачастую требуется выполнять несколько циклов изменения конструкции и действующих на нее нагрузок – для получения оптимальной конструкции, удовлетворяющей требованиям сертификации; это тоже приводит к дополнительным задержкам, которые влияют на весь процесс разработки.

Увеличение давления на стоимость

Авиакосмические компании сталкиваются с проблемами высокой стоимости разработок, соблюдения сроков поставок, управления внедрением инноваций в условиях необходимости обеспечения качества продукции.



Рис. 3. Пример затрат на разработку самолета и штрафов (согласно О. Уман)

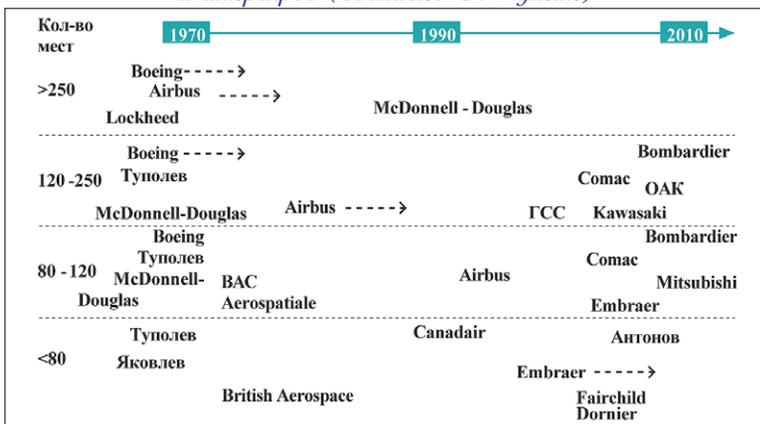


Рис. 4. Конкуренстная среда производителей гражданских турбореактивных самолетов с ранжированием по пассажиреместимости (Cay-Bernhard Frank)

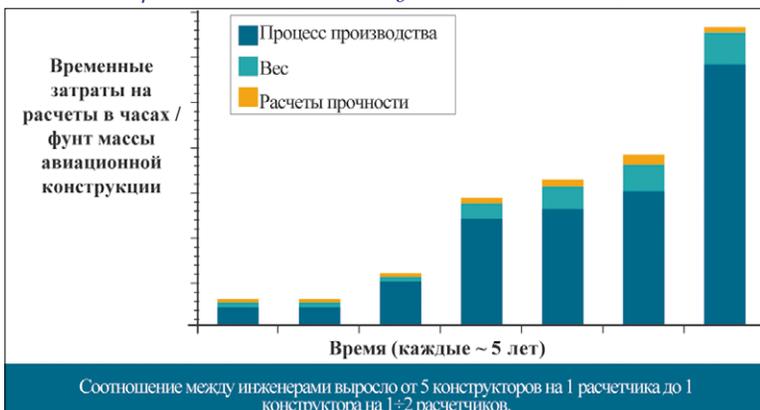


Рис. 5. Сложность порождает спрос на расчеты (по утверждению Keane Barthenheier, ведущего инженера и менеджера проектов в Boeing)

Удержание процессов разработки и подготовки производства новых изделий в рамках бюджета и графика является проблемой для любого производителя самолетов. Задержки выполнения программ в авиастроении могут достигать пяти лет, что выливается в значительное увеличение сроков разработки и сотни миллионов долларов дополнительных расходов. Перерасход составляет 48%, как показано на рис. 3. Вместе с этим, договорные неустойки, которые производители должны выплачивать своим клиентам, достигают миллиардов долларов.

Причины задержек

Растущее количество развивающихся и новых производителей самолетов создают всё большее и большее давление на рынок, вынуждая поставлять продукцию как можно скорее и по конкурентоспособной цене (рис. 4).

Более того, повышение сложности материалов и конструкций увеличивает спрос на прочностные расчеты (рис. 5). Рост числа инженерных расчетов характеризуется изменением соотношения между инженерами-конструкторами и инженерами-расчетчиками – с 5:1 до 1:2.

Наконец, всё более жесткими становятся стандарты экологичности и безопасности, используемые при сертификации.

3. Проблемы при расчетах авиационных конструкций

Задачи стандартного процесса проектирования самолета

На иллюстрации (рис. 6) показан оптимизированный процесс разработки изделия: от модели, основанной на CAD-геометрии базовой архитектуры, создания КЭМ для внутренних нагрузок или глобальной конечно-элементной модели (ГКЭМ) и до анализа НДС и оценки прочности конструкции.

Стандартный процесс складывается в основном из четырех различных дисциплин: проектирование геометрии средствами CAD-системы, определение нагрузок, создание КЭМ и прочностные расчеты, расчет запаса прочности.

✓ Проектирование

CAD-модель обновляется вручную или параметризуется, что зависит от рабочих процессов конкретного предприятия. Однако для проведения расчетов CAD-модель необходимо предварительно подготовить.

Подготовка геометрии для выполнения инженерных расчетов – занятие очень трудоемкое и может занимать до 20% времени выполнения расчета. Здесь также важно иметь возможность быстро учесть изменения



Рис. 6. Стандартный процесс проектирования конструкции самолета

геометрической модели и оценить их влияние на расчетную модель и расчетный процесс в целом.

Большим вкладом в сокращение временных затрат на подготовку геометрической модели к расчету является возможность её идеализации и подготовки параметризованной геометрии самим инженером-расчетчиком, без помощи инженера-конструктора.

✓ Нагрузки

Внешние нагрузки определяются в соответствии с теорией полета, включая аэроупругость. КЭМ внешних нагрузок используется для линейных статических, динамических расчетов, исследования влияния массовых и жесткостных характеристик конструкции на вероятность возникновения флаттера. В дальнейшем это послужит основой для переноса внешних нагрузок в расчеты детальной (локальной) прочности для получения внутренних силовых факторов.

Обычно внешние нагрузки изменяются от трех до пяти раз в ходе программы разработки самолета. Поэтому важно иметь возможность быстро изучить влияние изменения нагрузок и неопределенности по нагрузкам.

✓ КЭМ для внутренних нагрузок

Эта модель (её также называют “глобальная конечно-элементная модель”, ГКЭМ) создается на основе CAD-модели, либо берется (с изменениями) из предыдущей программы разработки самолета. ГКЭМ может быть создана в виде отдельных участков конструкции, которые затем интегрируются в единую сборку, что приводит к необходимости управления большим количеством моделей и данных.

ГКЭМ используется для линейного статического анализа основных несущих элементов конструкции, а также для определения нагрузок “свободного тела” для последующего детального анализа прочности.

Внутренние нагрузки служат в качестве входных данных для расчетов детальной прочности на основе детальных конечно-элементных моделей (детализированная КЭМ) или для аналитических расчетов (в основном, с помощью собственных инструментов предприятия или стандартной справочной литературы).

Задача здесь состоит в том, чтобы ускорить создание детализированной КЭМ посредством автоматизации, управления сборками различных подмоделей

в случае необходимости, а также интеграции стандартов предприятия по созданию КЭ-сеток (например, правила создания сетки, проверки качества).

✓ Детализированная КЭМ

Детализированная КЭМ предназначена для подробного исследования НДС в линейной и нелинейной постановке. Такие модели, как правило, используются для геометрически сложных деталей.

✓ Запас прочности

Этот показатель, в основном, вычисляется аналитическими методами по результатам расчетов прочности деталей и узлов (по стандартным авиационным справочникам или по стандартам предприятия).

Значения внутренней нагрузки и геометрические параметры извлекаются непосредственно из CAD-модели или КЭМ и результатов расчетов, а расчеты запаса прочности проводятся аналитическими методами из справочников. Это должно обеспечить полную прослеживаемость – от входных исходных данных, используемых методов до итоговых показателей запаса прочности (рис. 7).

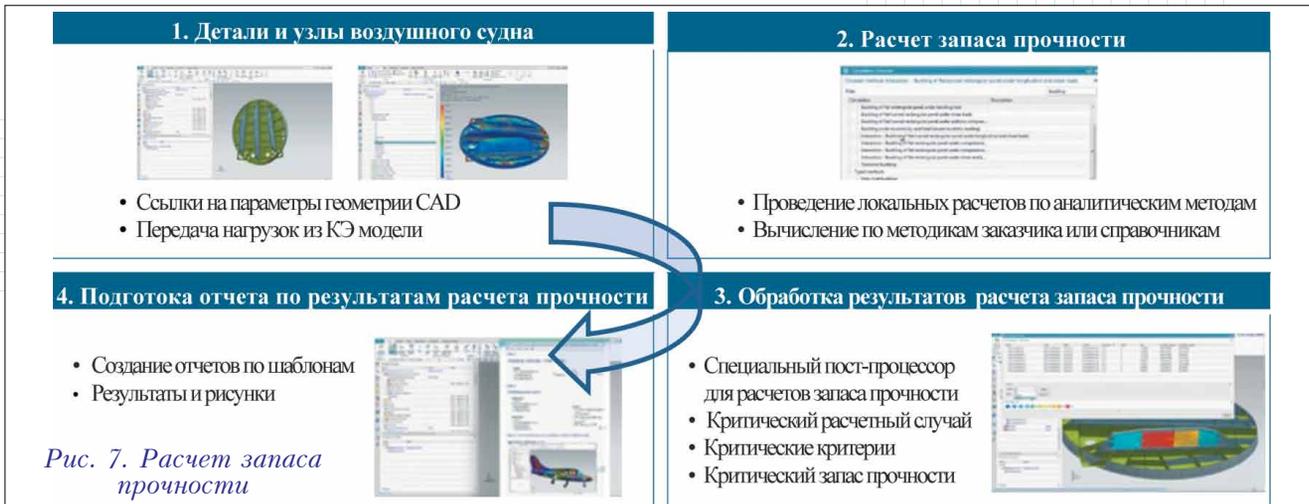
Задача состоит в том, чтобы ускорить подготовку данных (на это уходит 30% времени, затрачиваемого инженерами-расчетчиками), использовать правильные методики и сохранить прослеживаемость от входных данных до соответствующих показателей запаса прочности, что необходимо для сертификации.

Таким образом, интеграция различных областей (нагрузки/CAD/CAE/запас прочности) является частью задачи повышения производительности программы разработки воздушных судов и снижения затрат на разработку. При этом устанавливаются следующие ключевые требования:

- 1) Необходимо оптимизировать процесс выполнения прочностных расчетов → автоматизация процесса;
- 2) Требуется доступ к геометрии и обновление конструкции → интеграция CAD/CAE для повышения производительности;
- 3) Необходимо применять стандартизованные методы и рабочие процессы → обеспечение открытости для реализации методов и рабочих процессов предприятия;
- 4) Требуется прослеживаемость → управление конфигурацией моделей – материал, нагрузки и пр. – управление расчетными данными.

Помимо этих операций, “Управление данными” относится к диспетчеру, управляющему расчетными данными и всем процессом расчета. Задача здесь состоит в том, чтобы реализовать:

- сбор и управление **всеми САЕ-данными** (геометрия, модели, входные данные, стандартные случаи, результаты, отчеты и т. д.);
- сбор **расчетных файлов**, а также связанных с ними **метаданных**;



- хранение и управление **устаревшими, находящимися в работе и утвержденными** расчетными данными;
- управление большими файлами** в базе данных (в случае необходимости их можно хранить и проследить вне базы данных).

Кроме того, поскольку 60% затрат на создание гражданского самолета (30% для военного самолета) приходится на проектирование его конструкции, то любое улучшение процесса анализа прочности будет иметь положительное влияние на сокращение задержек и перерасходов (рис. 8).

В настоящее время стандартный подход к процессу расчета прочности представляет собой комбинирование коммерческого программного обеспечения с собственными разработками и инструментами предприятия, только в редких случаях имеющими связь между собой, но при этом необходимо:

- предоставлять доступ к геометрии и обновлениям конструкции;
- обеспечивать итеративный процесс определения и задания нагрузок;
- обеспечивать стандартизацию процесса и прослеживаемость.

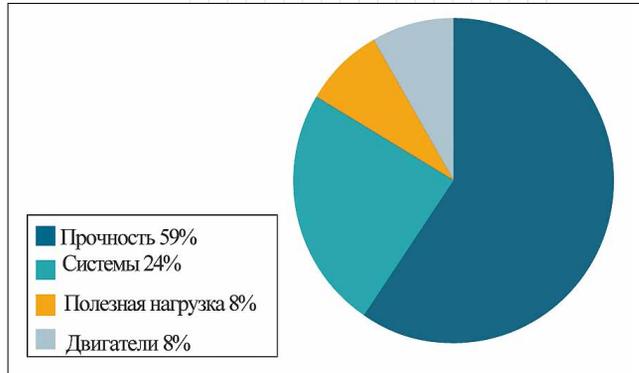


Рис. 8. Перераспределение затрат на создание гражданского самолета (Jacob Markish)

4. Решение Siemens для авиационных конструкций

Siemens PLM Software предлагает интегрированное комплексное решение (рис. 9), целиком покрывающее весь процесс разработки авиационных конструкций и позволяющее:

- устранить зазор между CAD и CAE (обновление моделей, конечно-элементные сборки и пр.);

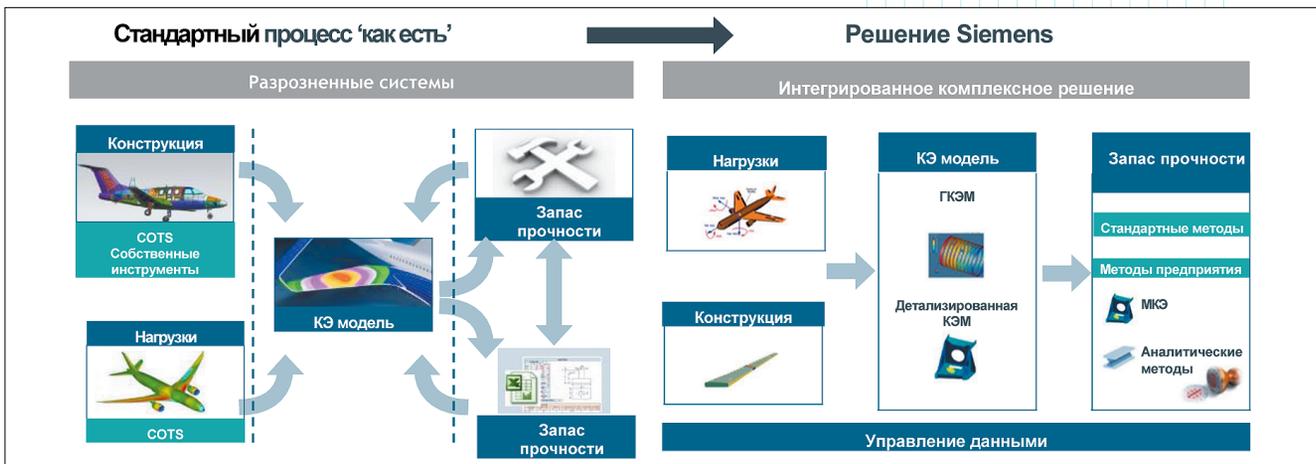


Рис. 9. От разрозненных систем – к интегрированному комплексному решению

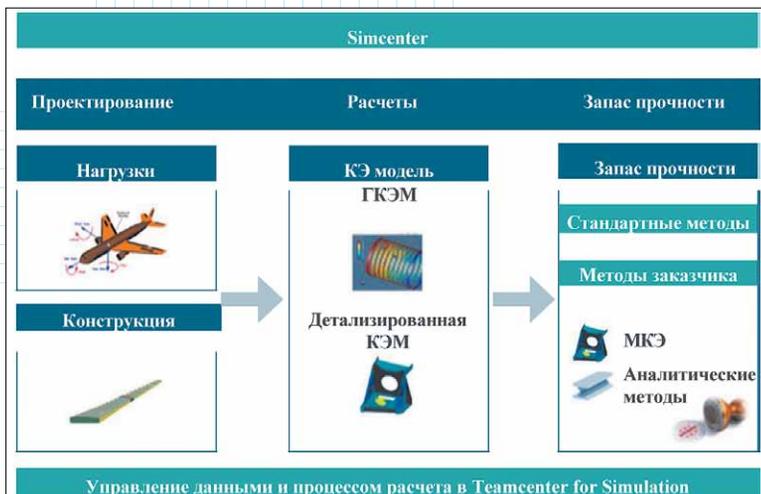


Рис. 10. Комплексное интегрированное решение Simcenter 3D

- управлять изменениями конструкции, итерациями задания нагрузок;
- обеспечить прослеживаемость от стадии аван-проекта до сертификации;
- оптимизировать и стандартизировать процесс расчета прочности (на основе аналитических методов или КЭМ);
- обеспечить интеграцию методов, рабочих процессов предприятия и методик проектирования.

Simcenter 3D представляет собой обширный набор инструментов для расчетов (включая специальные методы) и управления данными, которые ускоряют процесс расчетного обоснования в целом – от создания CAD-геометрии до расчетов в программных продуктах CAE (рис. 10).

В общем контексте растущего количества данных и результатов, с которыми инженерам приходится иметь дело и обмениваться с другими отделами, в *Teamcenter for Simulation* можно наладить управление и прослеживаемость моделей, результатов расчетов и использованных расчетных средств.

Заключение

Интегрированный комплексный процесс разработки авиационных конструкций задействует расчеты на протяжении всего жизненного цикла изделия, что необходимо для выпуска инновационных изделий в срок и с ожидаемыми характеристиками.

При этом наблюдаются следующие результаты:

1 Сокращение продолжительности подготовки модели на 70%:

- ускоренное изменение расчетной модели при изменении геометрической модели для проведения расчетов “что, если”;
- повышение производительности на 30% за счет интеграции приложений, цикл проектирования ускоряется в 10 раз по сравнению с применением устаревшего программного обеспечения;

- повышение продуктивности пользователей путем предоставления настраиваемого интерфейса и методик расчетов (период подготовки нового пользователя сокращается на 20%).

2 Ускорение итераций “проектирование – расчет”:

- ассоциативная связь расчетных и геометрических моделей позволяет расчетчикам быстро вносить изменения в расчеты при изменении конструкции.

3 Исследование компромиссных вариантов конструкции по нескольким направлениям:

- интегрированная среда помогает изучить влияние конструкторских решений на различные рабочие характеристики изделия.

4 Ускорение проектирования для своевременного выпуска продукции:

- управление расчетными данными – начиная с ранних стадий проектирования и заканчивая стадией эксплуатации;
- единый источник данных для проектирования и расчетов служит гарантией того, что результаты расчетов основываются на корректных данных;
- повышение скорости и качества расчетов путем внедрения и автоматизации передовых методик на всем предприятии.

5 Повышение качества затрат на проектирование:

- обеспечение прослеживаемости за счет создания ассоциативных связей между показателями запаса прочности, CAE-моделями и CAD-геометрией для прохождения сертификации;
- сохранение прослеживаемости за счет стандартизации методов и рабочих процессов. 🧐

Литература

1. Norris G. *Boeing's New Midsize Airplane: Low Development Cost, Price Are Key*. Aviation Week & Space Technology, 2016.
2. Wyman O. *Stop the multibillion dollar delays*, 2014 // www.oliverwyman.com
3. Markish J. *Valuation Techniques for Commercial Aircraft program*. Massachusetts Institute of Technology, 2002, 60 p.
4. Gharbi A. *Geometric Feature extraction in support of the single digital thread approach to detailed design*: Georgia Institute of Technology, 2016.
5. Barthenheier K. *Simulation Process Data Management-Boeing*. Global Product data interoperability Summit, 2014.
6. Malherbe B., Raick C., Colson B. *The Airbus A350 aircraft's structural detailed analysis with Siemens's LMS Samtech Caesam*. NAFEM world congress, 2015.
7. Cay-Bernhard F. *Civil Aviation 2025. A.T. Kearney's perspective on success factors for the Civil Aviation business of tomorrow*. A.T. Kearney, 2010.



**ADVANCE
ENGINEERING**



ООО «Аванс Инжиниринг» является партнером Siemens PLM Software по распространению и поддержке ПО Siemens PLM Software для инженерного анализа, управления процессами и данными расчетов. Специалисты ООО «Аванс Инжиниринг» обладают необходимыми экспертными знаниями в соответствующих предметных областях и более чем **десятилетним опытом внедрения систем инженерных расчетов.**

На базе платформы Simcenter 3D для прогностического инженерного анализа и PLM-системы Teamcenter предлагаем различные варианты сотрудничества.

➤ **Технологический аудит процессов проектирования и расчетов** на Вашем предприятии, с целью определения «узких мест», уровня проникновения цифровых технологий проектирования, повышения эффективности взаимодействия расчетных и конструкторских подразделений и выработки рекомендаций:

- по **снижению сроков проектирования** за счет ускорения расчетов, в том числе с использованием комбинаций 1D, 2D и 3D технологий;
- по **улучшению качества конструктивных решений** за счет автоматизации расчетов и внедрения технологий параметрической/топологической оптимизации;
- по **снижению затрат** на применяемые расчетные инструменты и аппаратное обеспечение;
- по **перераспределению расчетных работ** между конструкторскими и расчетными подразделениями путем создания и внедрения типовых автоматизированных методик;
- консультирование выделенных инженеров-расчетчиков для дальнейшего **повышения уровня решаемых задач.**



- Комплексное **внедрение технологий инженерного анализа Siemens** в цикл проектирования Вашего предприятия с учетом методик расчетов, принятых в Вашей организации, а также уже имеющихся расчетных систем, в том числе собственных расчетных программ организации.
- Организация управления **расчетными данными и процессами** на базе Teamcenter – создание единого хранилища проектных и расчетных данных с отладкой процессов взаимодействия между подразделениями.
- Выполнение расчётов и **разработка расчётных методик.**
- Повышение **квалификации** специалистов.



ООО «Аванс Инжиниринг» требуются таланты в областях прочности, гидрогазодинамики и теплообмена; IT систем по управлению информацией о материалах. Предлагаем интересные, масштабные инженерные проекты и высокий доход. С нетерпением ждём Ваши резюме по адресу hr@advengineering.ru.

Контакты ООО «Аванс Инжиниринг»

125438, г. Москва, ул. Михалковская,
д. 63 Б, строение 4, помещение 1, офис 11–12
Тел.: 8 (495) 760-98-52
E-mail: info@advengineering.ru



www.advengineering.ru

620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт,
д. 12, строение 3, офис 311
Тел.: 8 (495) 760-98-52
E-mail: info@advengineering.ru