

Применение NX CAE для расчетного обоснования выбора геометрии и конструкции крыла

Антон Кавалеров, ведущий специалист CAE (Консалтинговая группа "Борлас")

На сегодняшний момент мировые производители борются за сокращение сроков и удешевление разработки и производства новых изделий. Одним из основных источников достижения сокращения сроков разработки без ущерба для технических характеристик, качества и надежности изделий является широкое применение средств инженерного анализа и оптимизации конструкции изделий на всех стадиях разработки. В процессе разработки новых изделий, на этапе выбора геометрии, основных размеров, силовой конструкции возникает потребность в исследовании большого количества вариантов конструкции и её параметров. Причем, изменение одного геометрического параметра, как правило, влияет на целый ряд других параметров, изменение которых также должно быть учтено для достижения заданных технических характеристик (например, аэродинамических) изделия в целом. Общее число возможных вариантов расчетной модели и итераций выполнения расчета может оказаться значительным, что требует не только применения новых инструментов инженерного анализа, но и изменений в организации взаимодействия конструкторских и расчетных отделов.

Прежде всего, при решении сложных расчетно-аналитических задач возрастает роль предварительных "конструкторских" расчетов, которые позволяют быстро найти оптимальное конструктивное решение среди множества различных вариантов. Для таких задач нужен инструмент, знакомый и привычный для конструктора, удобный для расчетчика и обладающий необходимым функционалом для инженерного анализа.

Переходя от теории к практике, мы хотели бы рассказать в данной статье о примере расчета консольной части крыла (КЧК), который выполнялся в среде NX CAE для предварительного определения геометрии КЧК. Последующий окончательный "поверочный" расчет, который был выполнен в других, специализированных системах, традиционно используемых аэродинамиками, полностью подтвердил все конструктивные решения, определенные по результатам предварительного расчета. Все данные инженерных расчетов хранились в среде Teamcenter, что позволило отслеживать все варианты модели конструкции и расчетной модели.

Постановка задачи

В рамках разработки небольшого беспилотного летательного аппарата, изготавливаемого из композиционных материалов, была поставлена задача обоснования выбора конструкции консольной части крыла. Для этого необходимо было определить нагрузки от аэродинамических сил и выполнить расчеты напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкции для оценки её прочности.

Расчет состоит из следующих этапов:

- 1 создание 3D-модели конструкции КЧК;
- 2 создание геометрии конструкции для проведения CFD-расчета (CFD – Computational Fluid Dynamics, вычислительная гидрогазодинамика);
- 3 создание конечно-объемной модели для расчета CFD;
- 4 создание конечно-элементной модели для расчета НДС;
- 5 создание расчетной модели CFD, расчет и анализ обтекания крыла;
- 6 создание расчетной модели для расчета НДС, приложение нагрузок, полученных из CFD-расчета, расчет и анализ.

Весь комплекс работ производился в NX 9 под управлением Teamcenter 10.1 (разработчик – Siemens PLM Software) и включал в себя несколько связанных частей расчета.

Для проведения расчета используются следующие виды моделей:

- мастер-модель – геометрическая 3D-модель, которую разрабатывает конструктор;
- идеализированная модель – ассоциативная копия мастер-модели, с которой работает расчетчик. При изменении мастер-модели появляется предупреждение для расчетчика и обеспечивается возможность автоматически изменить идеализированную модель;
- конечно-элементная модель (КЭМ) – идеализированная модель, пространство которой заполнено конечными элементами;
- расчетная модель – КЭМ с приложенными граничными условиями и свойствами материалов.

Рассмотрим последовательно все этапы работы.

Создание параметризированной геометрии конструкции

Прежде всего необходимо было определиться, какой способ геометрического моделирования следует применять для создания 3D-моделей конструкции: параметрическое или синхронное.

Параметрическое (эскизное) моделирование подразумевает, что в основе большинства манипуляций по созданию 3D-модели изделия лежит создание параметрической модели элементов на основе эскизов. Синхронное (прямое) моделирование подразумевает создание новых элементов геометрии на основе существующих без дополнительного построения эскизов и, в общем случае, без построения дерева модели. В принципе, оба способа позволяют сохранять историю построения и ассоциативную связь между элементами, поэтому одинаково эффективны для работы. Конструктор или расчетчик, руководствуясь своим опытом, выбирает тот или иной вариант в зависимости от своих задач. В нашем случае мы так и поступили: использовали оба способа для

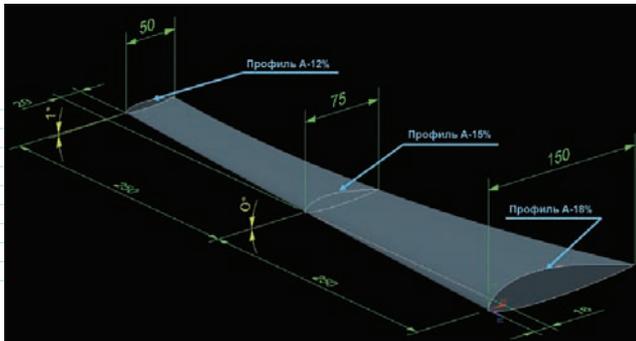


Рис. 1. Скелетон с управляющими размерами

различных построений, что позволило в целом сократить затраты времени на подготовку расчетных моделей примерно в полтора-два раза по сравнению с применением какого-либо одного способа моделирования.

Расчетчики отлично знают, что 3D-модель для проведения расчетов (идеализированная модель) отличается от конструкторской (мастер-модель). Это связано с тем, что многие элементы мастер-модели можно упростить или вовсе исключить из идеализированной модели без влияния на результаты расчета. Выбор элементов для упрощения – это задача инженера-расчетчика, решение которой основывается на его опыте и знаниях.

Мастер-модель КЧК состоит из скелетона и связанных с ним 3D-моделей всех элементов КЧК. Скелетон – это управляющая часть всей 3D-модели; изменяя скелетон, мы изменяем все связанные элементы (рис. 1). В данном случае скелетон состоит из внешней теоретической поверхности КЧК, образованной тремя аэродинамическими профилями [1], как показано на рис. 2.

Трехмерная модель КЧК (рис. 3) состоит из обшивки, лонжерона со стенкой, нервюр и механизации (элерон).

Как уже было сказано выше, при изменении параметров скелетона автоматически изменяется вся связанная с ним геометрия. На некоторые размеры элементов были наложены ограничения, которые позволяют этим размерам изменяться только в определенном диапазоне величин в зависимости от пересчета других параметров. При выходе за пределы заданного диапазона ограничений появляется соответствующее предупреждение, и процесс изменения геометрии возвращается к предыдущим размерам.

Идеализированная модель в данном расчете является оболочечным представлением мастер-модели.

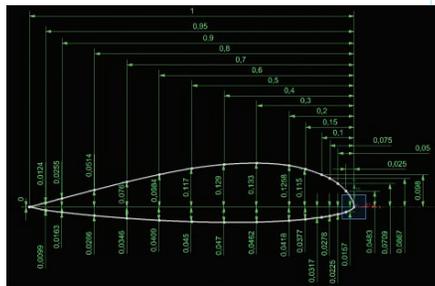


Рис. 2. Аэродинамический профиль с управляющими размерами

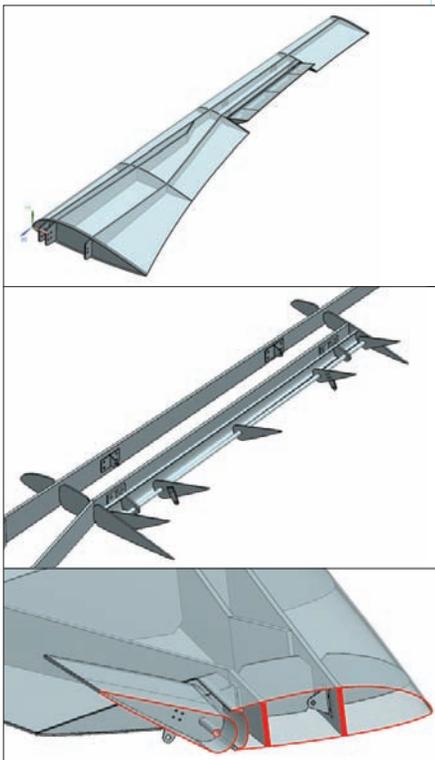


Рис. 3. Мастер-модель консольной части крыла

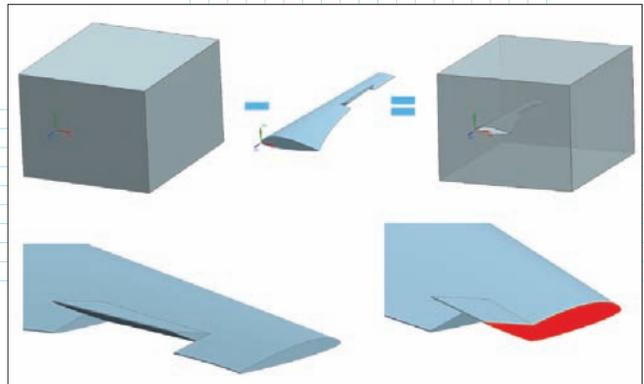


Рис. 4. Процесс создания геометрической модели для CFD-анализа

Создание геометрической модели для CFD-расчета

Для проведения аэродинамического расчета методом конечных элементов (конечных объемов) был создан объем внешней среды (рис. 4). При этом применялись инструменты синхронного моделирования и специальные инструменты модуля NX CAE.

Следует отметить, что в NX CAE Flow, модуле для расчета гидрогазодинамики, есть специальный инструмент – Fluid Domain, который позволяет автоматически создавать геометрию и конечно-элементную сетку для внешней среды вокруг объекта. Причем, Fluid Domain имеет инструменты для автоматической корректировки геометрии – например, устранения лишних зазоров или нестыковок. Однако использование Fluid Domain в NX 9 при решении данной задачи накладывало некоторые ограничения на настройку параметров конечно-элементной сетки, в связи с чем было принято решение прибегнуть к синхронному моделированию для обеспечения возможности ручной настройки параметров сетки.

Концепция создания конечно-элементных моделей

Создание конечно-элементной модели для того или иного вида расчета происходит в модуле NX CAE Advanced Fem. Предлагается обширный инструментарий для подготовки геометрии (создание идеализированной модели) и работы с сеткой, а также возможность выбора типов элементов (линейный, нелинейный, тетраэдральный, гексаэдральный

и т.д.). Имеется и возможность подключать сторонние решатели (*ANSYS, Abaqus* и др.) с их собственным набором элементов. Можно пойти и другим, более универсальным путем: создать сетку, назначить группы узлов и элементов для последующего приложения граничных условий и сохранить модель в формате хранения данных того решателя, который выбран, либо в универсальном формате. Далее, при открытии модели непосредственно в стороннем решателе, надо будет только задать граничные условия и их значения. Такой подход позволяет сохранить связь между мастер- и конечно-элементной моделью, что сводит к минимуму потери данных и поиск необходимой информации в дальнейшем.

Конечно-объемная модель для CFD-расчета

Конечно-объемная модель для этого расчета в нашем случае состоит из 613 653 тетраэдральных элементов со сгущением у поверхности обдуваемой конструкции (рис. 5).

На рис. 6 представлены различные варианты модели – со структурированной сеткой у пограничного слоя и без него.

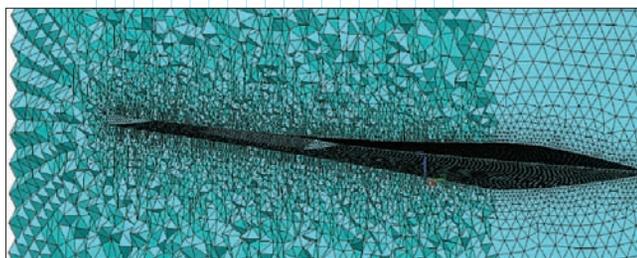


Рис. 5. Конечно-объемная модель для проведения CFD-расчета

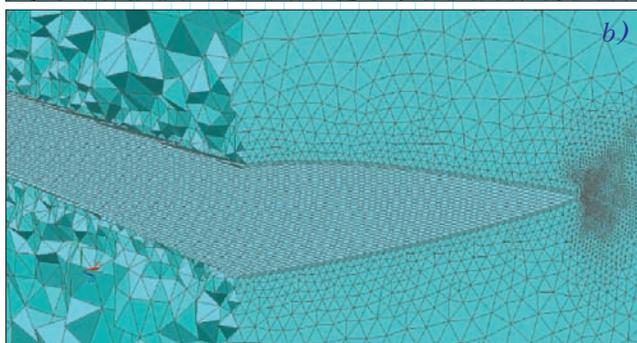
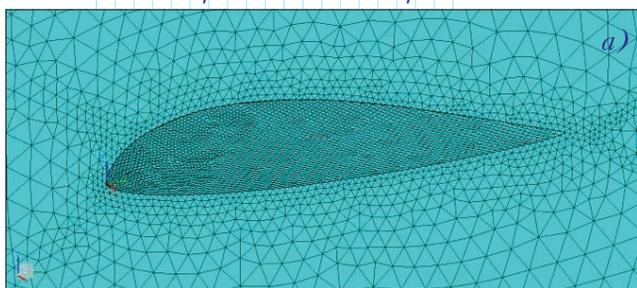


Рис. 6. Фрагменты конечно-объемной модели для CFD-расчета: без структурированного пограничного слоя (а) и со структурированным пограничным слоем (б)

Создание конечно-элементной модели для расчета НДС

При создании модели для расчета НДС использовалась технология “сборки сеток” (*assembly fem*). Суть технологии заключается в следующем: создается обычная конструкторская сборка, и на каждую деталь сборки – своя конечно-элементная модель. Таким образом, общая конечно-элементная модель состоит из сборки из сеток. Такой подход дает возможность использовать повторяющиеся элементы, причем эти элементы будут ассоциативны. Например, если в вашей модели имеется несколько одинаковых кронштейнов, то достаточно создать сетку только для одного кронштейна,

На рис. 7 представлена идеализированная модель для расчета части вертикального теплообменника. В трубной доске имеется 73 отверстия. Трубки привариваются по торцу к зеркалу трубной доски. Катет шва сварного соединения – удвоенная толщина трубки. Таким образом, для инженера-расчетчика эта конструкция (трубная доска и трубки) представляет собой одно тело.

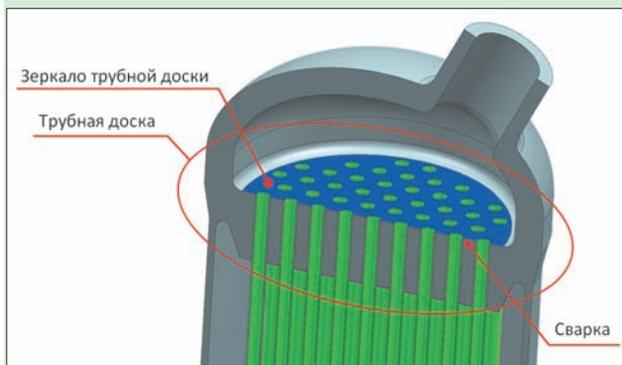


Рис. 7. Фрагмент идеализированной модели для расчета части вертикального теплообменника

Описываемая технология позволяет также автоматизировать процесс создания контактов между деталями. Например, контакты между наружной поверхностью трубки и внутренней поверхностью отверстия в доске созданы только на одной трубке и автоматически сгенерированы в аналогичных трубках (рис. 8).

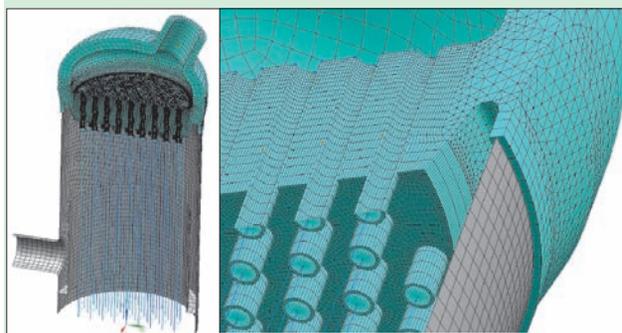


Рис. 8. Конечно-элементная модель части теплообменника

и она автоматически встанет на места остальных кронштейнов. В дальнейшем, при необходимости изменения конечно-элементных моделей повторяющихся деталей, достаточно будет изменить только одну сетку, и остальные изменятся в соответствии с первой.

Эта технология подходит не только для сборок, но и для деталей – например, если у вас имеется сложная деталь, в которой существует большое количество повторяющихся элементов. Используя подход “сборки из сеток”, вы получаете возможность существенно ускорить процесс создания качественной конечно-элементной модели. В качестве иллюстрации могут служить примеры КЭ-моделей на рис. 7, 8.

Вернемся к задаче КЧК.

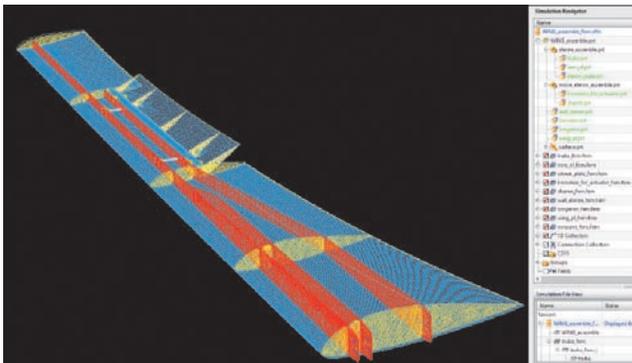


Рис. 9. Конечно-элементная модель для расчета НДС, созданная по методу “сборка сеток” и дерево построения модели

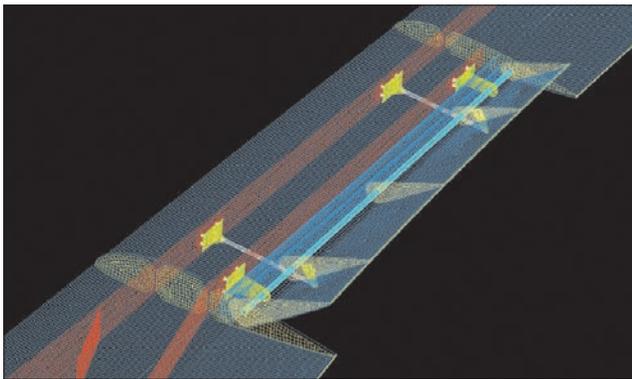


Рис. 10. Фрагменты конечно-элементной модели КЧК для расчета НДС

Конечно-элементная модель КЧК для расчета НДС состоит из 184 603 оболочечных элемента типа *CQUAD8* (рис. 9).

Привод отклонения элерона заменен 1D-элементом эквивалентной жесткости для передачи реакции между шарнирами. Элементы крепления шарниров моделировались 1D-элементом, который имитирует тело болта, и *RBE3*-элементами, которые имитируют шляпку и гайку болта (рис. 10).

Конструкция КЧК создана из композиционных материалов с анизотропными свойствами. Однако, для упрощения задачи (напомним, что решение задачи выполнялось в рамках предварительных расчетов для анализа различных вариантов конструкции КЧК), материал модели задан ортотропным с усредненными свойствами по направлениям. Значения свойств и их пересчет взяты из [2]. Имитация клеевых соединений моделировалась при помощи инструмента “склейка” (*Glue connection*).

Создание расчетной модели CFD, расчет и анализ

Аэродинамический расчет обтекания воздухом происходил на скорости потока 100 м/с, условия на уровне моря, температура 20°C, угол атаки 0°, угол отклонения элерона равен -30°. В качестве модели турбулентности использовалась модель *k-ε*.

Результаты расчета представлены на рис. 11, 12.

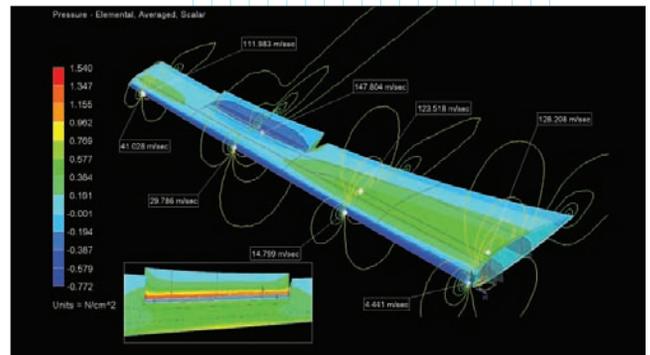


Рис. 11. Распределение статического давления на поверхности и поля скоростей в 4-х сечениях

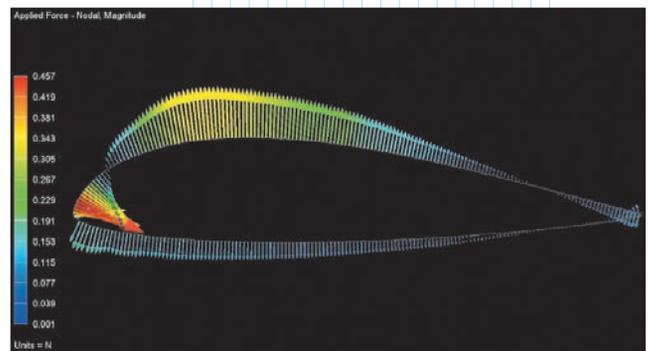


Рис. 12. Эюра сил у корневого сечения КЧК

Создание расчетной модели для расчета НДС; приложение нагрузок, полученных из CFD-расчета; расчет и анализ

В качестве нагрузок использовались результаты аэродинамического расчета, а именно – распределение давлений (рис. 13). Результаты расчета НДС представлены на рис. 14.

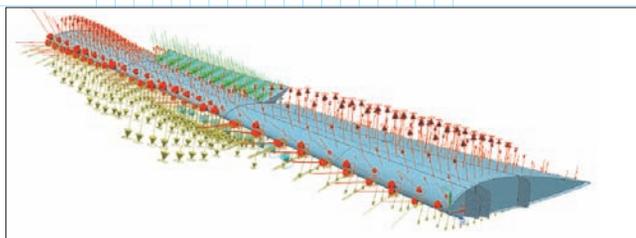


Рис. 13. Приложение распределения давлений

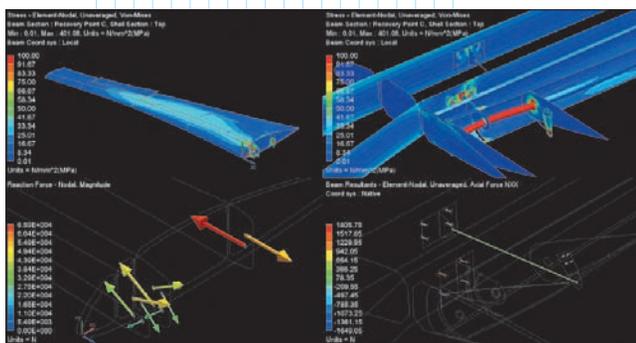


Рис. 14. Результаты расчета НДС

Хранение данных и управление данными

Хранение и управление расчетными данными осуществлялось в среде *Teamcenter 10.1*, для чего применялся соответствующий модуль – *Teamcenter for Simulation*, который позволяет хранить всю структуру расчетной модели, начальные и граничные условия, результаты расчета (рис. 15–17). Система *Teamcenter* позволяет отслеживать взаимосвязи компонентов, их изменения и версии расчетов, а также хранить информацию о всех лицах,

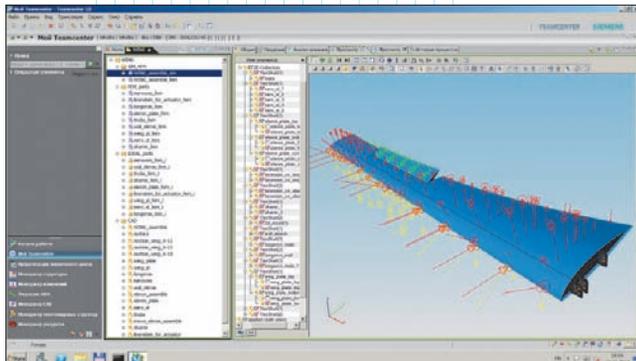


Рис. 15. Представление модели в среде *Teamcenter*. Приложение “Мой *Teamcenter*”

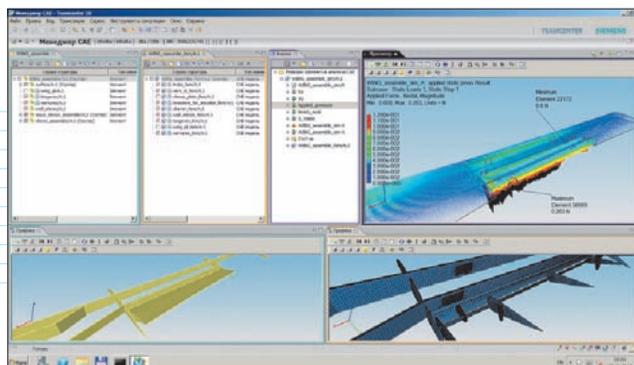


Рис. 16. Представление модели в *Teamcenter for Simulation*. “3D-модель – КЭ-модель – Результаты”. Приложение “Менеджер САЕ”

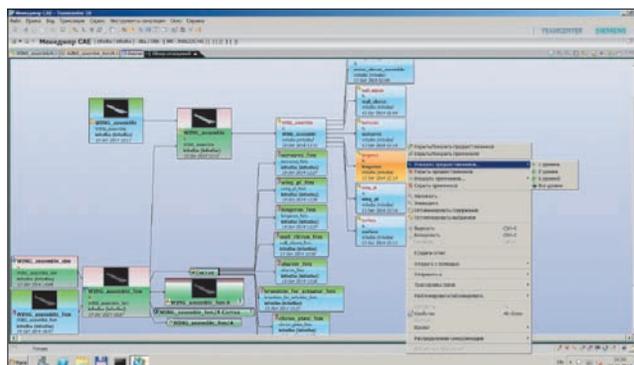


Рис. 17. Представление модели в *Teamcenter for Simulation*. Обзор отношений. Приложение “Менеджер САЕ”

которые принимали участие в формировании моделей и выполнении расчетов. Таким образом, всегда можно отследить, откуда, кем и когда были внесены изменения в расчет или в требования к нему.

Teamcenter for Simulation позволяет создавать так называемые инструменты симуляции, которые без программирования обеспечивают интеграцию с любой расчетной средой, включая собственные прикладные разработки. Интеграция осуществляется путем создания связи объекта в *Teamcenter* и папки в файловой системе пользователя. Далее происходит выгрузка необходимых данных в эту папку, и с ней идет вся работа по проведению расчета. Когда необходимо, пользователь загружает данные обратно в *Teamcenter* (либо это делается автоматически – по каким-либо событиям).

Благодаря такому подходу и базовым технологиям *Teamcenter*, вы всегда будете знать, где находится версия вашего расчета, сможете узнать, какие расчеты произведены для конструкции, а также будете уверены в сохранности и достоверности результатов.

Заключение

Созданная параметрическая расчетная модель консольной части крыла позволила оперативно

изменять геометрические параметры элементов конструкции и, тем самым, сократить затраты времени на перерасчет для нового вида профиля и конструкции крыла в достаточно широких пределах её изменения. Данный подход оперативно дает оценочные результаты сразу для нескольких видов расчета: аэродинамического, силового и прочностного. Использование единой модели и единого информационного пространства для управления расчетными данными – это существенный выигрыш во времени проведения расчетов, а также оптимизация и структурирование хранения данных этих расчетов.

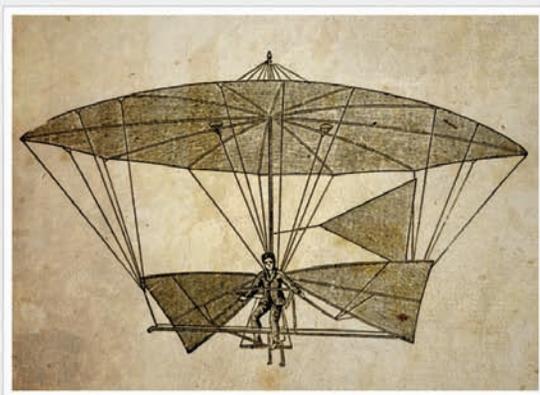
При решении задач поиска оптимального конструктивного решения, при необходимости выполнения нескольких итераций расчетов различных видов, становится очевидной необходимостью по-новому организовать процессы взаимодействия и конструкторских и расчетных отделов. Прежде всего, необходимо обеспечить возможность проведения предварительных расчетов в удобной среде непосредственно в конструкторских подразделениях. Для этого идеально подходят CAE-инструменты, интегрированные в среду NX. Следует отметить, что расчеты, выполненные в среде NX CAE, практически в 100% случаев подтверждаются поверочными расчетами в любых специализированных CAE-системах.

Использование модуля *Teamcenter for Simulation* позволяет отслеживать все стадии и версии выполнения расчета, разграничить полномочия участников процесса поиска решения, строго контролировать принимаемые решения. Вы всегда можете вернуться на предыдущий этап расчета или к одному из предыдущих вариантов. *Teamcenter for Simulation* позволяет управлять данными, которые создаются и хранятся в различных системах, включая разработанные самим пользователем. Всё это позволяет существенно сократить трудоемкость и длительность проектно-конструкторских работ, выполнения инженерных расчетов, а также повысить качество и технические характеристики изделия в целом. А значит, в конечном итоге, обеспечит конкурентоспособность изделия на рынке, снизив при этом общую стоимость подготовки его производства. 🧐

Литература

1. Справочник авиационных профилей // kipla.kai.ru/liter/Spravochnik_avia_profiley.pdf
2. Васильев В.В., Протасов В.Д., Болотин В.В. и др. Композиционные материалы. Москва: Машиностроение, 1990.

Одни идеи рождаются,
но остаются мечтами



Другие становятся
реальностью



Какой будет судьба вашей идеи?
PLM. Инструмент реализации идей.