



➤ ПРОЕКТ SOLAR IMPULSE

Кругосветный полет без единой капли топлива

Фетар и NX Nastran применяются для оптимизации конструкции и прочностных расчетов первого в мире самолета, способного облететь земной шар исключительно на солнечной энергии.

Полет вокруг света на энергии Солнца

Solar Impulse — проект самолета на солнечных батареях, возглавляемый швейцарским психиатром и аэронавтом Бертраном Пиккардом (Bertrand Piccard), который был вторым пилотом на борту первого в мире воздушного шара, совершившего беспосадочный кругосветный полет, а также швейцарским инженером и предпринимателем Андре Боршбергом (André Borschberg). Цель проекта состоит в кругосветном путешествии на самолете, приводимом в движение только солнечной энергией¹. Построенный для кругосветного путешествия самолет — уже второй,

созданный в рамках проекта. Его швейцарский регистрационный номер — HB-SIB, а название — Solar Impulse 2. Предшественник с бортовым номером HB-SIA, впервые поднявшийся в небо в 2009 году, смог продержаться в воздухе целые сутки, включая девять часов в тем-

ноте. Общая продолжительность полета, состоявшегося в июле 2010-го, достигла 26 часов.

На основе опыта, полученного при испытаниях самолета HB-SIA, у модели Solar Impulse 2 размах крыльев увеличен до 71,9 м. Это лишь чуть меньше, чем у самого большого в мире пассажирского самолета Airbus A380. Кроме того, полезный объем кабины вырос в три раза, что обеспечивает выполнение многодневных трансконтинентальных полетов и пересечение океанов. Один из наиболее интересных аспектов конструкции Solar Impulse 2 состоит в том, что при столь огромном размахе крыльев и тяжелых аккумуляторах (633 кг) масса самолета (2300 кг) лишь немного превышает массу среднего легкового автомобиля. Разумеется, снижение массы стало одной из главных задач при разработке проекта. "На самолете необходимо установить много аккумуляторов, а они очень тяжелые, — поясняет Гери Пиллер (Geri Piller), главный специалист



«Описание слоев выполняется очень просто. Работая в Фетар, мы быстро освоили эту процедуру».

Гери Пиллер,
руководитель отдела прочностных
расчетов проекта Solar Impulse



¹ Кругосветное путешествие, подготовке к которому посвящена эта статья, уже стало свершившимся фактом: в ночь на 26 июля 2016 г. самолет приземлился в Абу-Даби (ОАЭ), полностью выполнив программу полета. В общей сложности (без учета времени промежуточных посадок) Solar Impulse 2 провел в пути 505 часов. Самолет по очереди пилотировали Бертран Пиккард и Андре Боршберг (Прим. ред.).

по прочностным расчетам проекта Solar Impulse. — При этом КПД солнечных батарей совсем невелик, поэтому весь самолет должен быть предельно легким".

Все виды конечно-элементных расчетов — в одной системе

Возглавляемая Пиллером группа инженеров-прочнистов, в которую входят еще четыре человека, выполняла конечно-элементные расчеты самолетов HB-SIA и HB-SIB в системе Femap™ с NX™ Nastran®, разработанной компанией Siemens PLM Software, которая специализируется на решениях по управлению жизненным циклом изделия. Femap с NX Nastran компания внедрила в 2007 году. Эти системы продолжают активно применяться и сегодня для совершенствования конструкции самолета Solar Impulse 2 в ходе его подготовки к кругосветному полету.

Пиллер выбрал решение Femap с NX Nastran, потому что именно эту систему используют в швейцарской компании AeroFEM (www.aerofem.com), являющейся партнером Siemens PLM Software. Компания AeroFEM была привлечена к проекту Solar Impulse для выполнения особых видов расчетов, в частности —

аэроупругости и динамики вращающихся тел. Femap с NX Nastran выполняет самые разные виды расчетов (прочностные, расчеты деформированного состояния, больших деформаций и пр.), необходимые для проекта Solar Impulse. Выбор этого решения обеспечил надежную совместную работу двух групп специалистов. "Инженеры компании AeroFEM фактически стали частью моей команды, — отмечает Пиллер. — Наша совместная работа идет просто отлично".

Широкие функциональные возможности подготовки данных для расчетов и анализа получаемых результатов

Созданная конструкторами самолета Solar Impulse геометрия загружается в Femap в исходном формате файлов CAD-системы либо в форматах STEP или IGES. На основе этой геометрии строятся конечно-элементные модели. При этом в системе Femap имеется и собственный редактор моделей. По мнению Пиллера, с ним очень удобно работать, особенно при расчетах композитных материалов, из которых выполнена большая часть деталей самолета. "Описание слоев выполняется очень просто, — от-

Резюме проекта

Продукт

Femap с NX Nastran.
(Подробнее о продукте Femap:
www.siemens.com/plm/femap)

Проблема

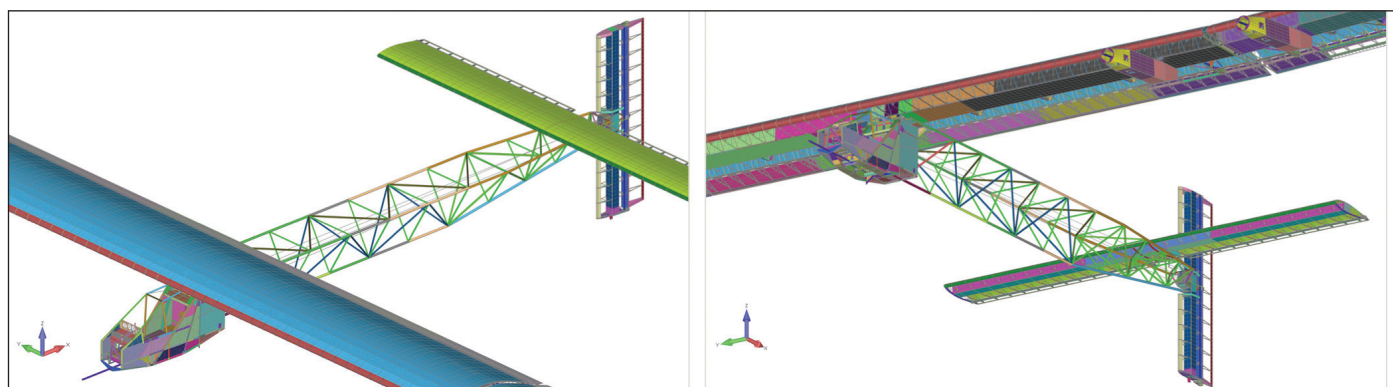
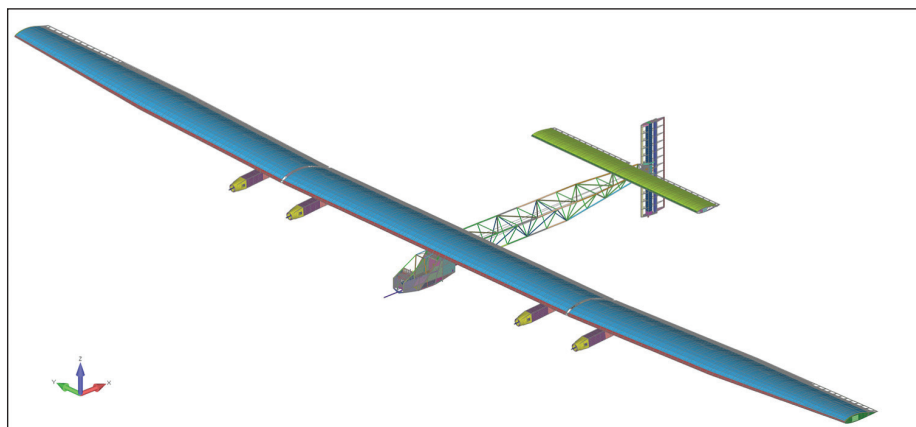
Оптимизация конструкции металлических, композитных и многослойных кевларовых деталей самолета с целью снижения массы.

Ключи к успеху

- Интегрированный конечно-элементный решатель, пре- и постпроцессор, поддерживающий самые различные виды расчетов.
- Возможность импорта геометрии из CAD-систем.
- Разработка собственных программ при помощи Femap API.
- Быстрая оценка результатов по таблицам данных, возможность объединения результатов различных расчетов.
- Сотрудничество с компанией AeroFEM, партнером компании Siemens.

Результаты

- Объем кабины увеличился втрое, а масса — менее чем в два раза.
- Оптимизация толщины и числа слоев композитных материалов позволила снизить массу крыла.
- Новая мотогондola выдерживает большие нагрузки при минимальном приросте массы.
- Достигнута минимально возможная масса самолета при достаточной для кругосветного полета прочности конструкции.





мечает он. — Работая в Femar, мы быстро освоили эту процедуру".

В качестве примера задачи, для решения которой применяется и импортированная, и созданная в Femar геометрия, Пиллер упоминает прочностной расчет крыльев. Сначала для расчета применялась созданная в CAD-системе геометрия внешних обводов крыла. При этом была создана простая расчетная модель, позволившая выявить пути нагружения. Затем при помощи Femar к модели были добавлены трехмерные твердотельные элементы, представляющие собой ячеистую внутреннюю структуру из кевлара. Это позволило выполнить более точные расчеты, в частности — оценить локальные и глобальные деформации конструкции.

Конечно-элементные модели металлических деталей самолета содержат от 50 до 500 тысяч элементов. Модель крыла состоит из двух миллионов элементов. Как правило, в прочностном расчете рассматривается 10-20 вариантов нагружения, а в расчете долговечности — до 160.

Группа Пиллера воспользовалась наличием в системе Femar интерфейса для подключения внешних приложений (API) и разработала программы автоматизации ряда видов расчетов. Одна такая очень полезная программа применяет принятые в проекте нормы прочности при расчетах композитов, что автоматизирует процесс контроля деталей из таких материалов. Другая программа запускается по окончании расчета композитных деталей и автоматически оценивает полученные результаты, выявляя наиболее нагруженные слои. При этом сразу же видны места возможных разрушений в композите или многослойной структуре. "Подобные программы экономят время и, что не менее важно, помогают

достичь высокой точности расчетов", — отмечает Пиллер.

Расчетчики часто применяют формируемую системой Femar таблицу данных для быстрой оценки результатов проведенного анализа. Например, функция ранжирования сразу же показывает минимальное и максимальное значения механических напряжений в конструкции. "Мы широко применяем эту возможность. Она особенно полезна тем, что позволяет объединять результаты разных расчетов", — рассказывает Пиллер.



Объем кабины вырос в три раза, а масса — менее чем в два

Конкретный пример пользы, приносимой Femar с NX Nastran в рамках данного проекта — разработка кабины. Конечно-элементные расчеты сыграли здесь важнейшую роль. Одноместная кабина самолета для кругосветного путешествия очень мала (3,8 м³), но это в три раза больше, чем было на первом самолете Solar Impulse (на самом деле новая кабина стала настолько просторнее, что на сайте проекта Solar Impulse появилась

шутка: "Мы пересадили пилота в бизнес-класс").

Хотя новая кабина выросла в три раза, ее масса увеличилась менее чем вдвое (60 кг по сравнению с 42 кг на первом самолете).

Конструкция крыла — еще один пример того, как применение Femar помогло заметно снизить массу. Крыло состоит из ячеистого кевларового заполнителя, покрытого современным углепластиком. Поскольку скорость нового самолета будет выше, крыло должно выдерживать более высокие нагрузки. Специалисты

применили систему Femar для оптимизации расположения слоев углеволокна, чтобы достичь нужной прочности при минимальном приросте массы. Материал с массой 100 г/м² был заменен материалом, квадратный метр которого весит всего лишь 25 граммов, что дало существенное снижение массы. Кроме того, мотогондла нового самолета также должна выдерживать более высокие нагрузки при минимальном приросте массы. Этого удалось достичь, в частности, переходом от каркасной конструкции к многослойной несущей обшивке, а также применением конечно-элементных расчетов для оптимизации таких элементов, как обтекатели и полки лонжеронов.

Благодаря применению системы Femar Пиллер с коллегами смогли быстро определить наилучшие способы снижения массы самолета при сохранении прочности, достаточной для трудного кругосветного полета. "Работая в Femar, очень легко выявлять места, требующие доработки и оптимизации", — отмечает Пиллер.

*По материалам компании
Siemens PLM Software*

