

MSC Nastran Embedded Fatigue - интеграция и ускорение инженерных расчетов в области прочности и долговечности изделий

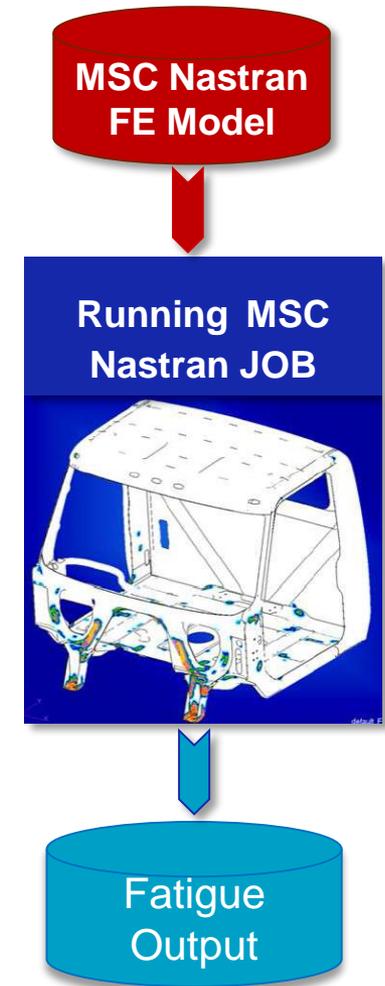
Presented By: Валерий Ширококов

XVII VPD Russian User Conference, October 13, 2014, Moscow

Что такое MSC Nastran Embedded
Fatigue?

MSC Nastran Embedded Fatigue (NEF)

- ❑ В 2014 году корпорация MSC Software выпустила новую версию проблемно-ориентированного модуля MSC Nastran Embedded Fatigue для расчета усталостной прочности и долговечности изделий.
- ❑ MSC Nastran Embedded Fatigue (NEF) 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.
- ❑ Результатом работы новой версии MSC Nastran со встроенным модулем NEF является оценка прочности и долговечности исследуемых компонентов изделия с возможностью последующего решения задачи оптимизации конструкции с учетом критериев прочности и долговечности.



Традиционная схема реализации численного интегрирования

- Файлы OP2, Patran DB и FES – “узкие места” традиционного подхода, делающие анализ моделей большой и сверхбольшой размерности затруднительным

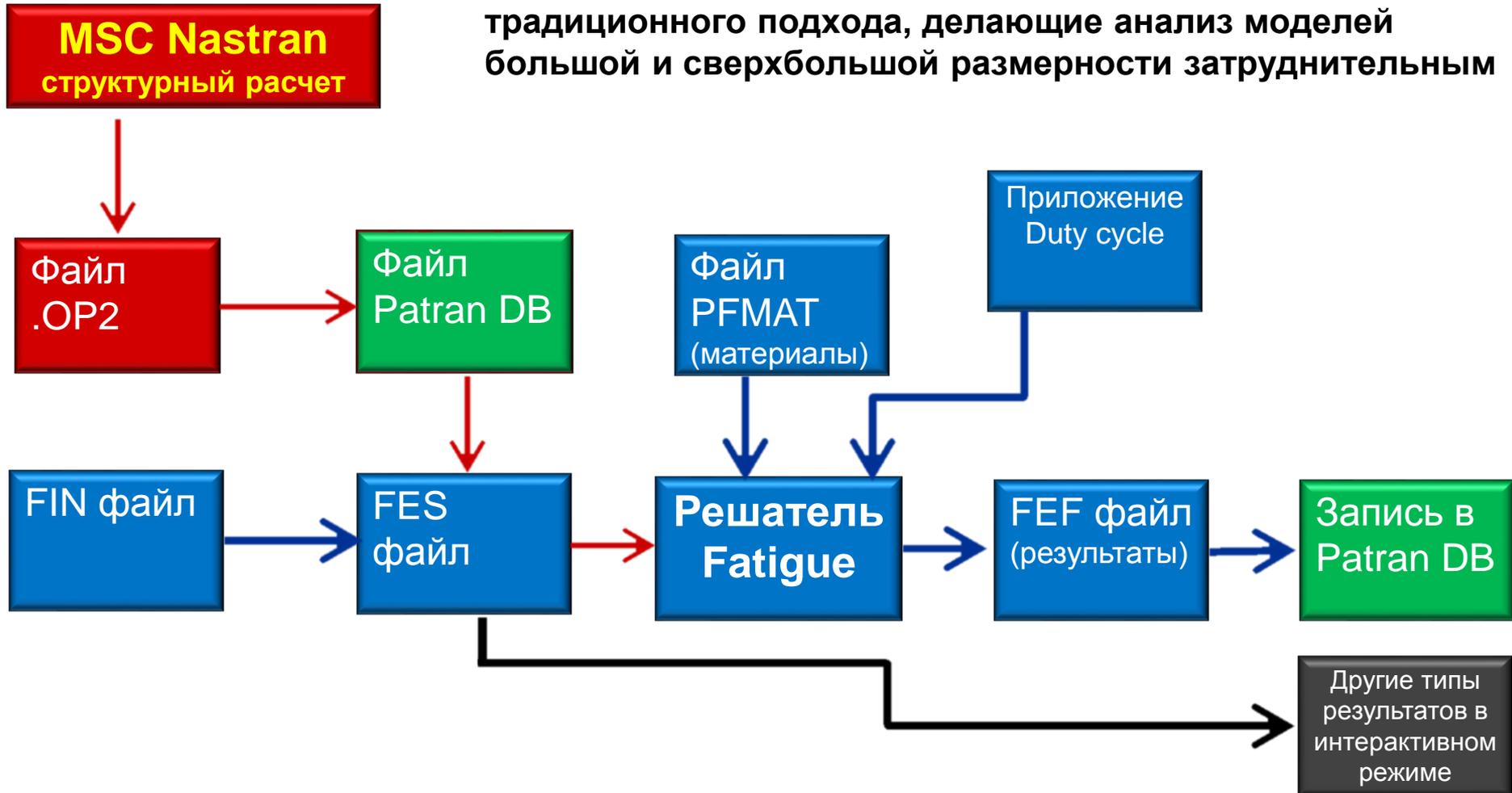
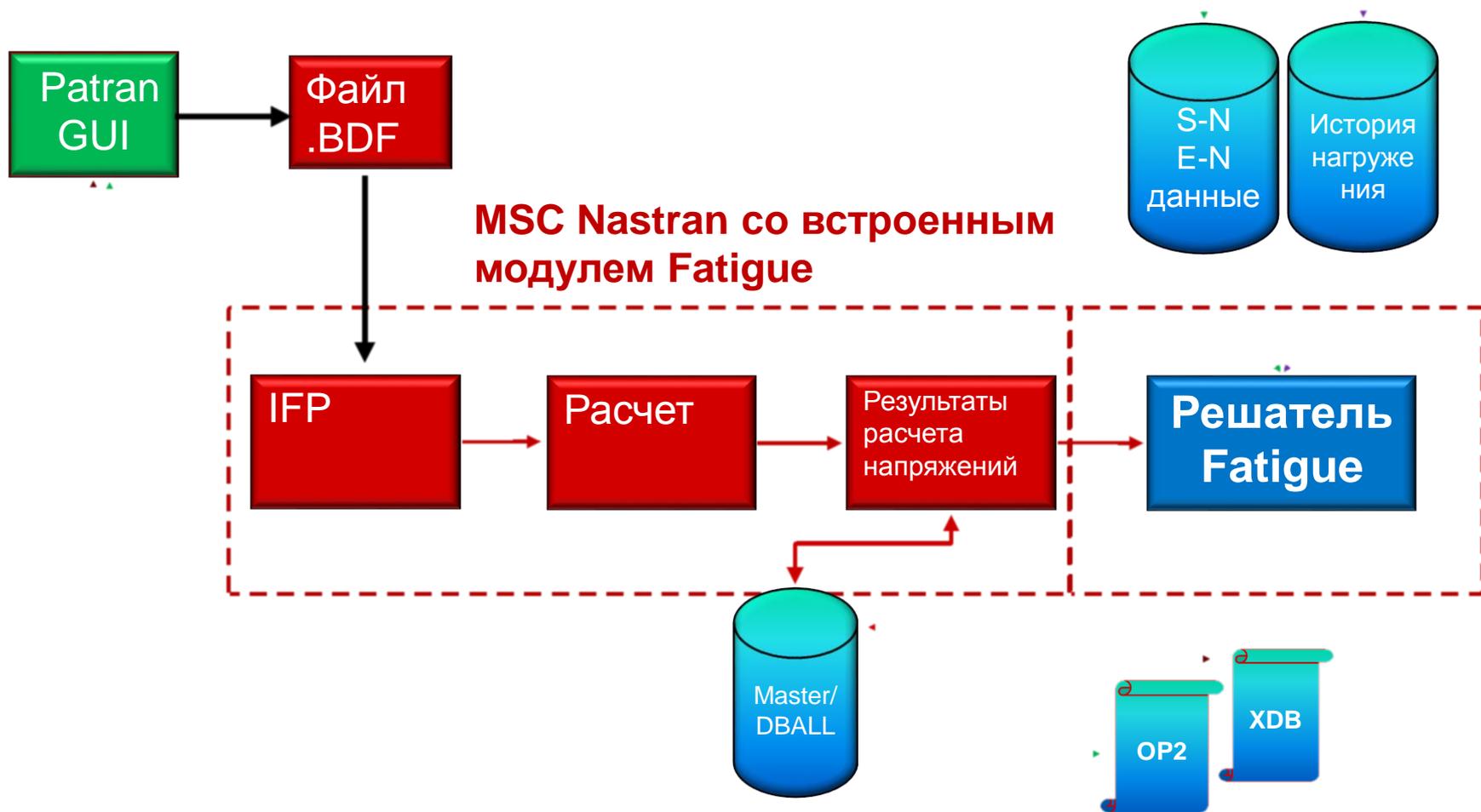


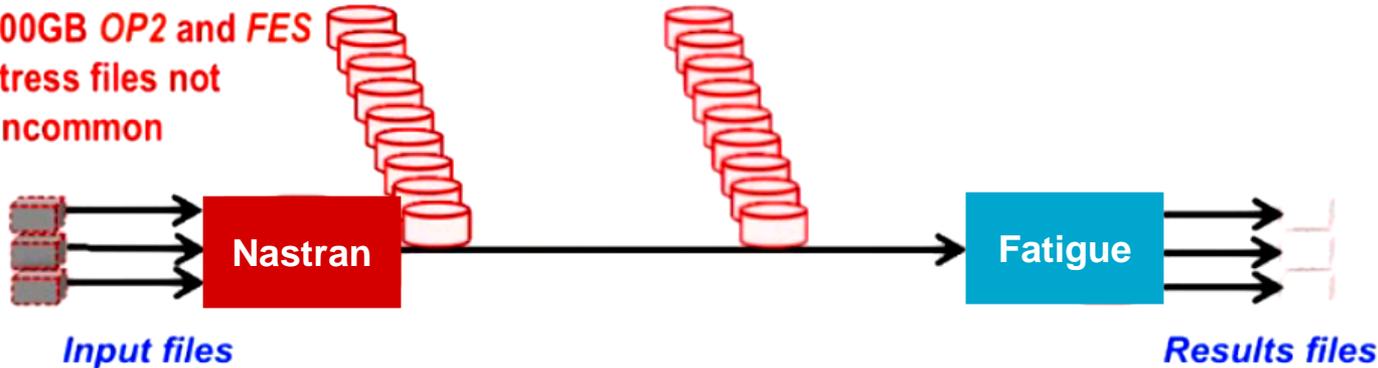
Схема реализации процесса численного интегрирования в NEF



Реализация рабочего процесса в MSC Fatigue и Nastran Embedded Fatigue (NEF)

MSC Fatigue с графическим интерфейсом Patran

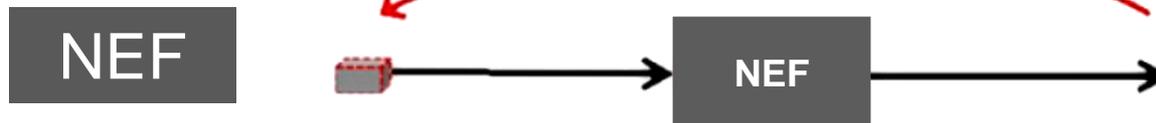
200GB OP2 and FES stress files not uncommon



Recent GUI based run
44 hours

Typical file sizes with NEF 10MB for input and 50MB for output

Comparable NEF run
1.2 hours

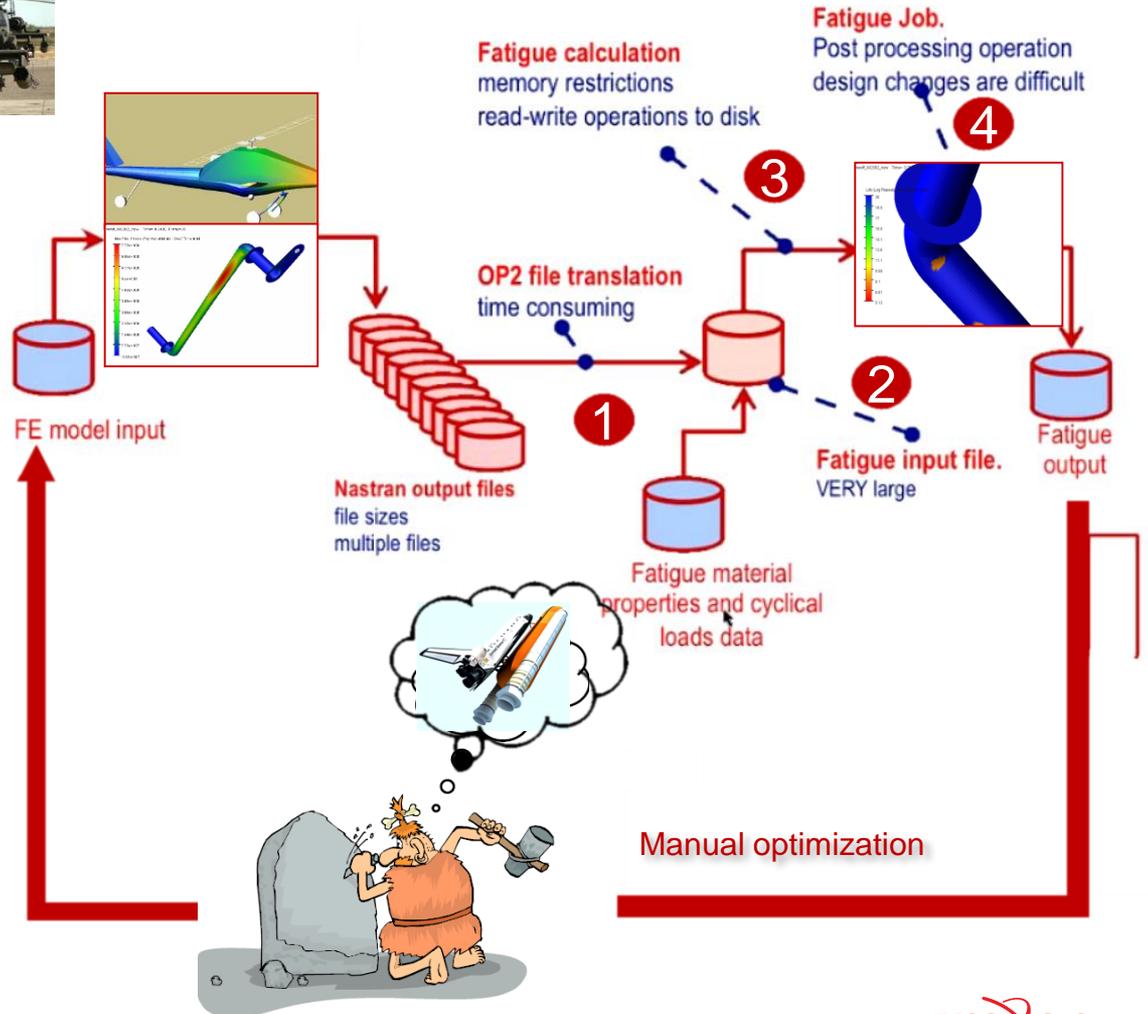


Реализация рабочего процесса MSC Fatigue и NEF

Стадии расчета, **существенно** влияющие на производительность:



- Трансляция OP2 файлов
- Формирование входного файла для Fatigue
- Расчет долговечности с использованием большого количества **FEF** файлов большой размерности
- Трансляция и анализ результатов расчета с использованием большого количества **FES** файлов большой размерности



Преимущества

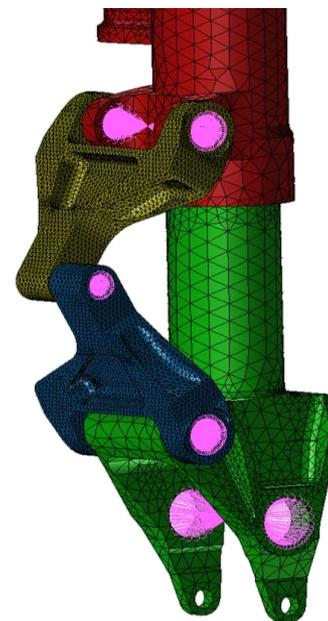
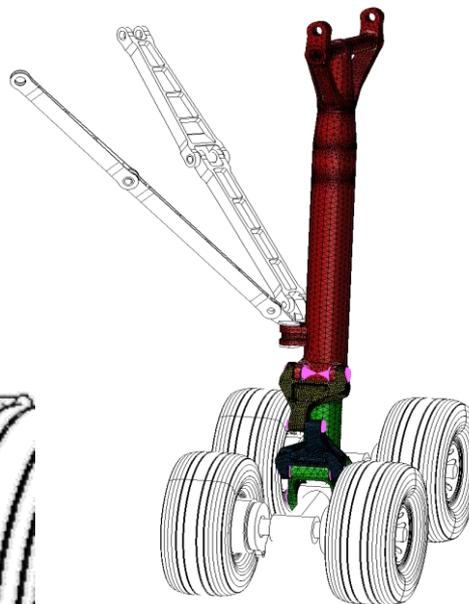
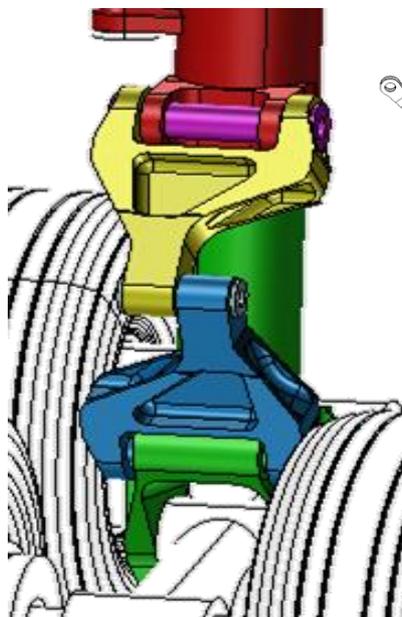
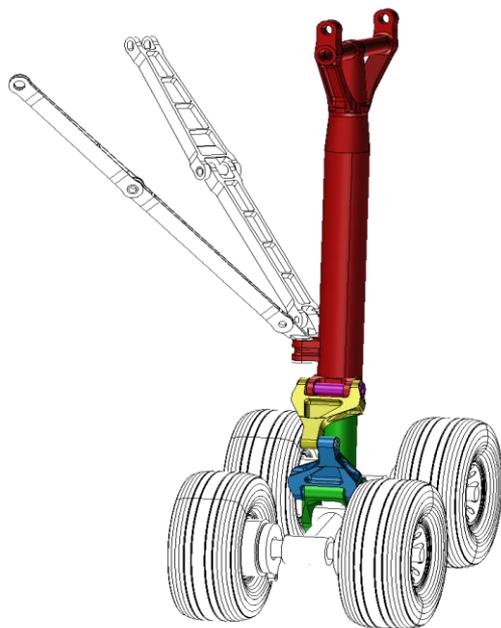
MSC Nastran Embedded Fatigue (MSC Nastran 2014)

- Передача файлов, содержащих большие объемы информации больше не требуется
- Нет необходимости в организации сложного управления входными файлами и файлами результатов
- Существенное снижение уровня требований к производительности центрального процессора
- Процесс вычисления долговечности для моделей большой размерности теперь может быть реализован в оперативной памяти компьютера
- Открывает новые возможности для полномасштабной оптимизации расчетной модели в MSC Nastran SOL 200 с учетом полученных усталостных характеристик
- Комплексный расчет долговечности изделия, включая динамическое поведение, фактически становятся опцией **MSC Nastran**

Пример решения задачи оптимизации с использованием NEF

Решение задачи оптимизации с учетом ресурса изделия

- Исследуемый объект: стойка шасси ЛА

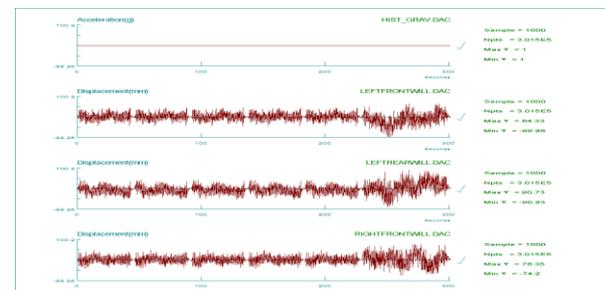


Геометрическая модель

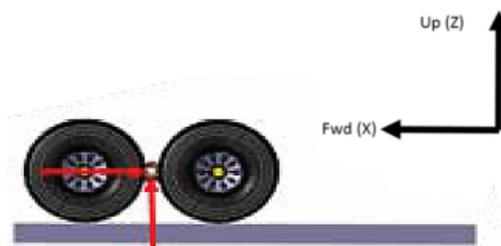
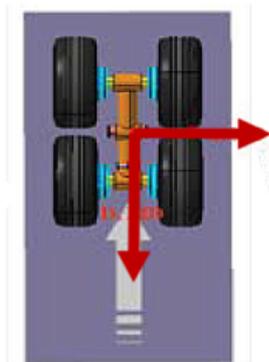
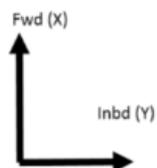
Конечно-элементная модель

Исходные данные для расчета

- Упрощенный блок/история нагружения, соответствующая посадочному циклу ЛА



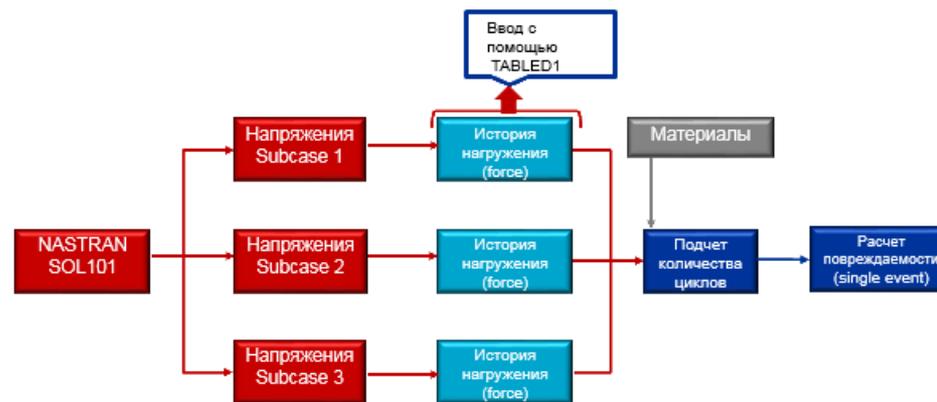
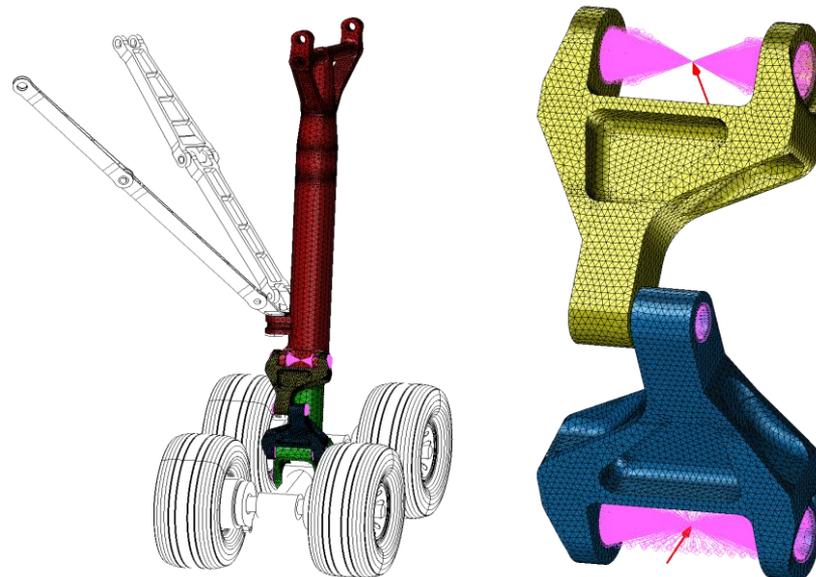
Режим работы	F_x [lbs]	F_y [lbs]	F_z [lbs]	M_x [lbs in]	M_y [lbs in]	M_z [lbs in]	Количество повторений в нагрузочном цикле
Касание ВПП	0	0	180,000	0	0	0	1
Торможение	-60,000	0	140,000	0	1,335,000	0	1
Боковой увод/поворот колес шасси	0	5,000	150,000	-111,000	0	-3,000,000	1



Процесс решения задачи долговечности и последующей оптимизации конструкции

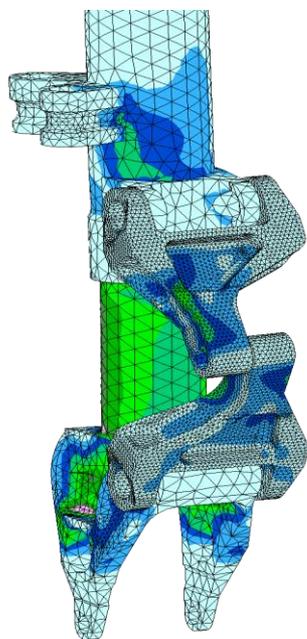
- ❑ Первоначально нагрузки прикладываются к модели механизма шасси для получения НДС всех элементов конструкции
- ❑ Затем полученные нагрузки прикладываются к более подробной конечно-элементной модели шлиц-шарнира
- ❑ Полученное НДС на подробной расчетной модели используется для решения задачи долговечности и последующей оптимизации.

– **MSC Nastran SOL 200 Optimization + Nastran Embedded Fatigue**

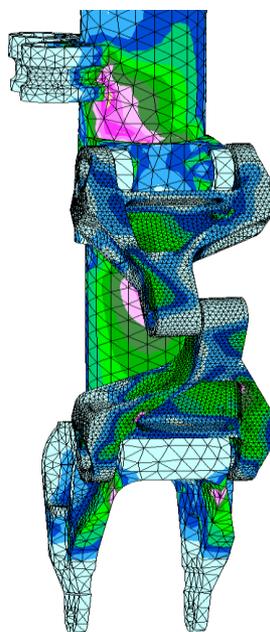


Результаты решения структурной задачи

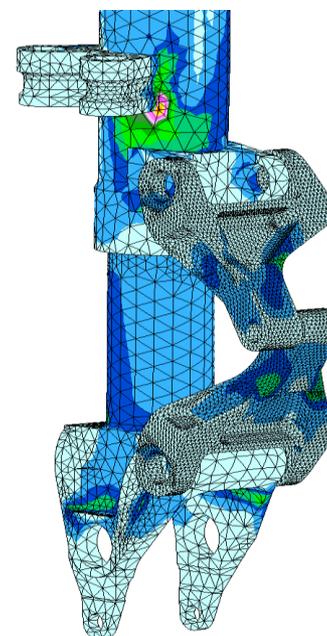
- ❑ Результаты расчета НДС по трем вариантам нагружения



Landing



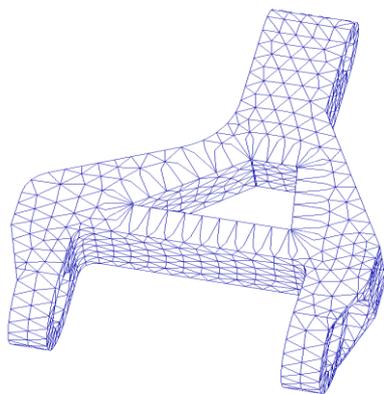
Braking



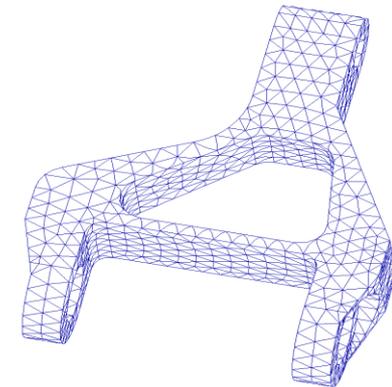
Turning

Постановка задачи оптимизации для MSC Nastran Embedded Fatigue + MSC Nastran SOL200

Условия оптимизации	Параметры оптимизации
Переменные проектирования	Геометрические размеры
Целевая функция	Минимизация веса конструкции
Ограничения	1. Максимальные напряжения 2. Долговечность в повторениях нагрузочного цикла



Начальная форма конструкции

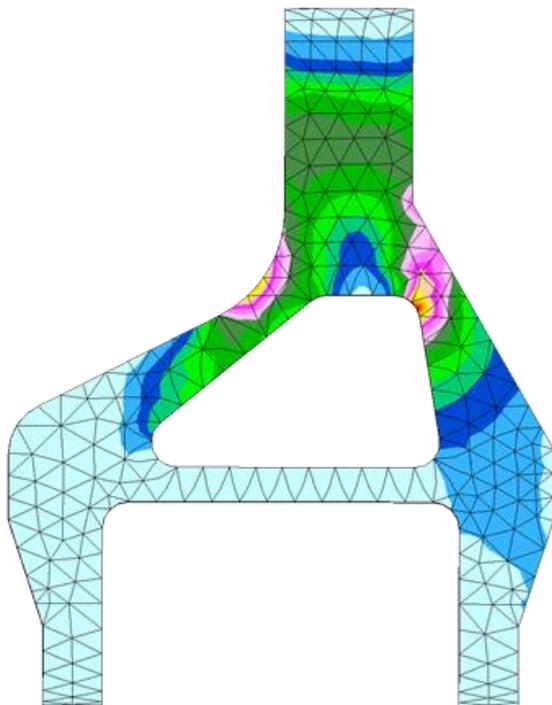


Оптимизированная форма конструкции

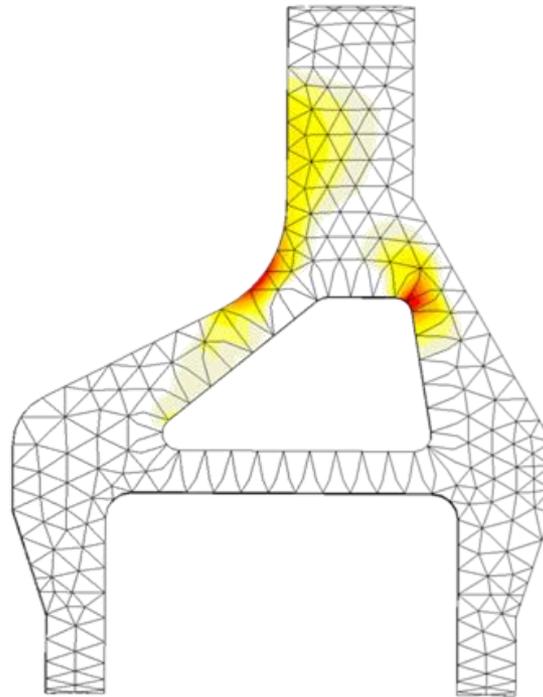
Note: mesh shown around cutout is not actual, post-processing artifact

Результаты решения задачи оптимизации с учетом ресурса исследуемой конструкции

- ❑ Оптимизированная форма конструкции – НДС (Stress Results)



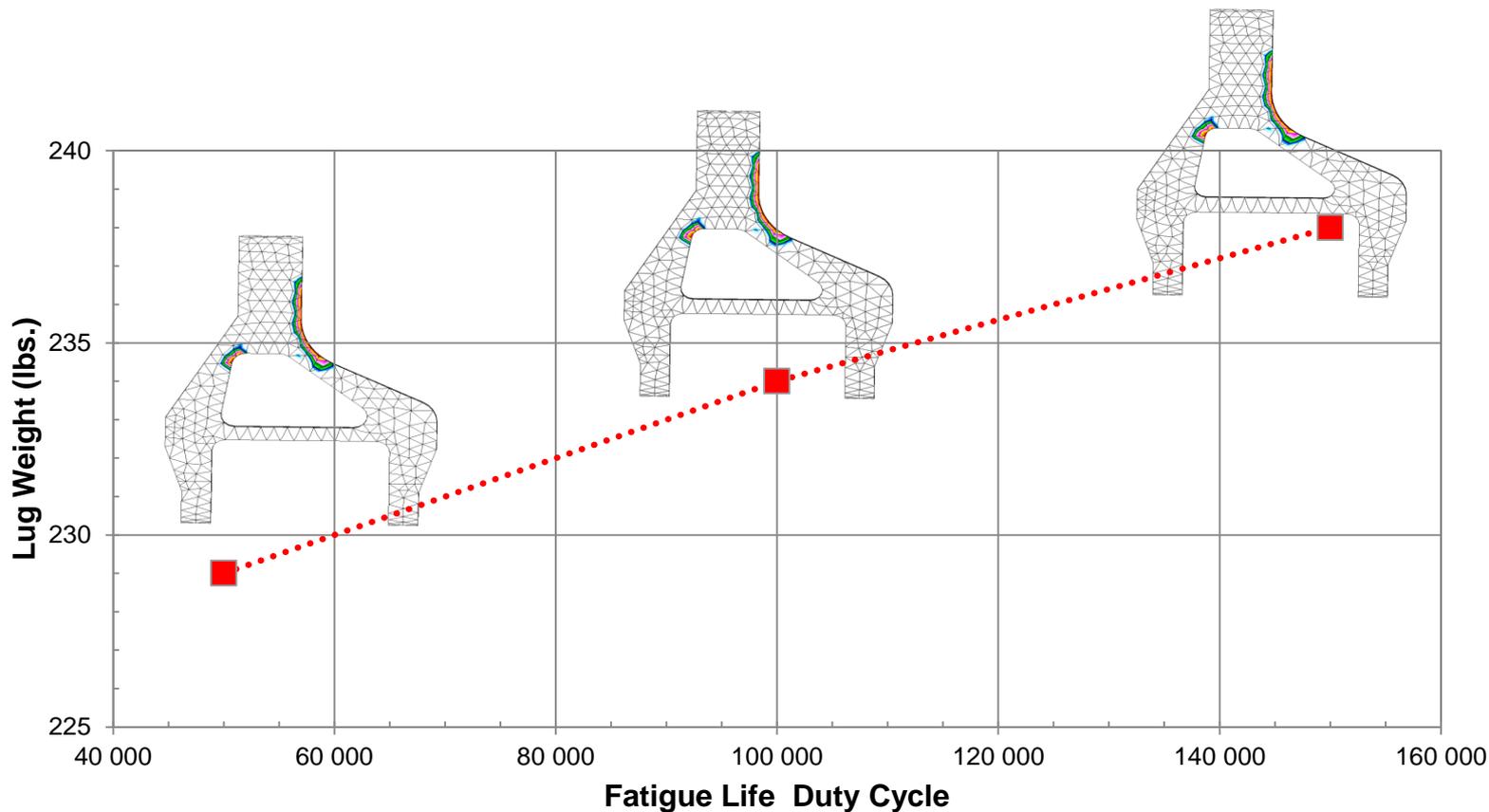
- ❑ Оптимизированная форма конструкции - долговечность (Life Results in repeats)



Результат решения структурной оптимизационной задачи

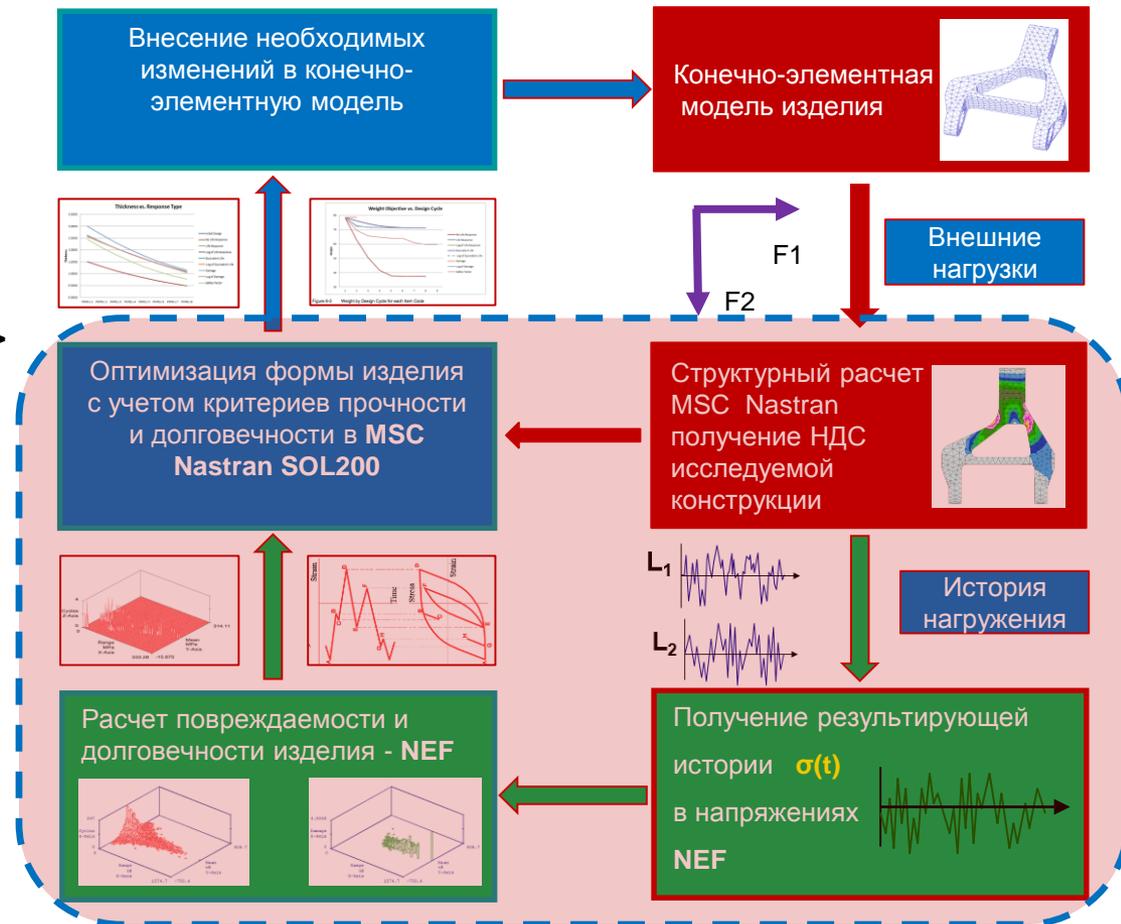


Результат решения оптимизационной задачи с учетом требований к долговечности изделия



Преимущества NEF+SOL200 по сравнению с традиционными последовательностями решения

- NEF обеспечивает возможность объединить несколько этапов расчета в MSC Nastran и создать единый расчетный случай,
- Единый расчетный случай – это цепочка различных видов анализа – *структурный расчет (получение напряженно-деформированного состояния) >> расчет долговечности >> оптимизация изделия с учетом требований прочности и долговечности.*
- Использование NEF обеспечивает проведение всех этих видов анализа за один запуск модели на расчет.
- MSC Nastran Embedded Fatigue (NEF), обеспечивает внедрение критериев долговечности в оптимизационный цикл на ранних этапах проектирования изделия, что позволяет избежать неоправданных финансовых затрат и рисков в будущем.



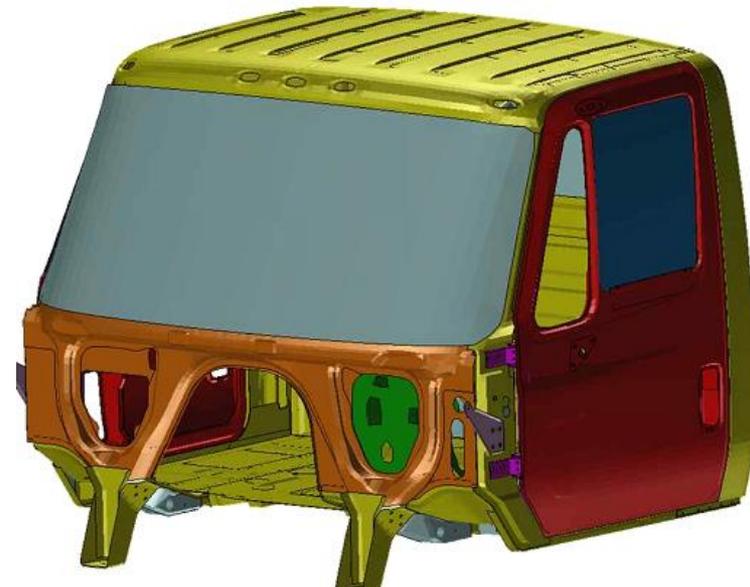
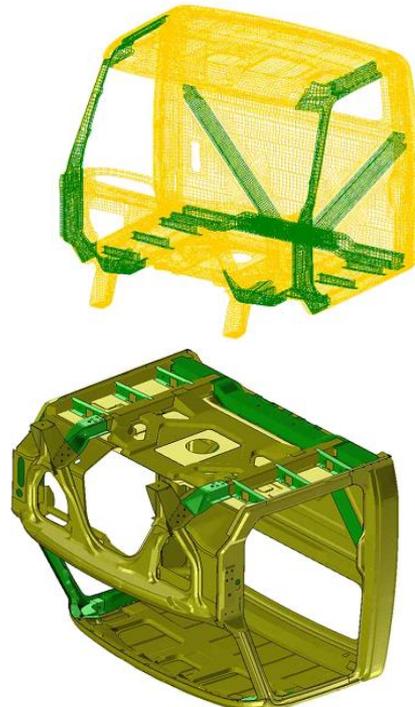
MSC Nastran Embedded Fatigue –
существенное увеличение скорости
вычислений

NEF – примеры использования

Кабина магистрального тягача Navistar Heavy Duty Track

Расчетная модель

- ❑ Всего в модели **91 783** конечных элемента **96793** узла, **580 758** степеней свободы
- ❑ Тип конечных элементов:
 - 85491 QUAD,
 - 6033 TRIA,
 - 17 BEAM
 - 234 Spring
 - 8 Lumped mass
- Две исследуемые области
- Материалы
 - А6 оцинкованная сталь
 - 50 116 элементов
 - 50k оцинкованная сталь
 - 14 818 элементов

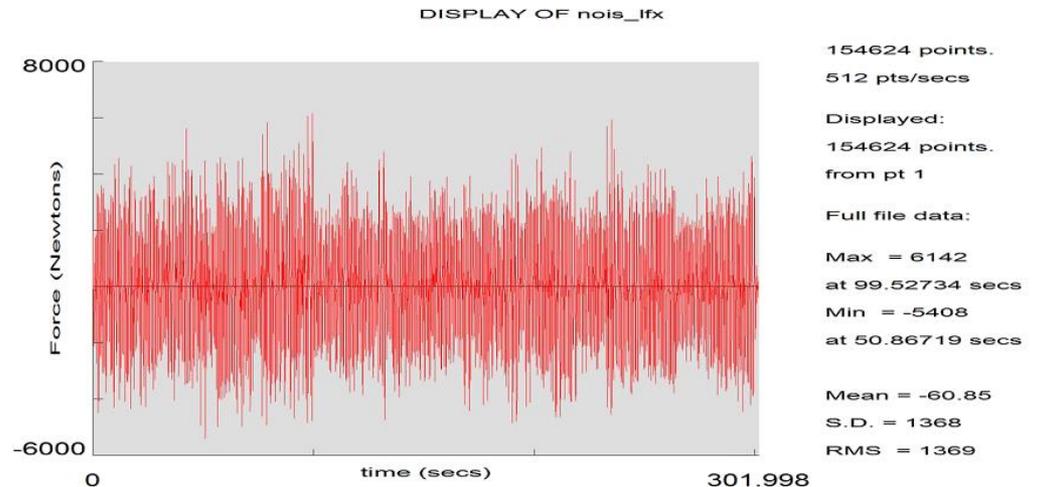
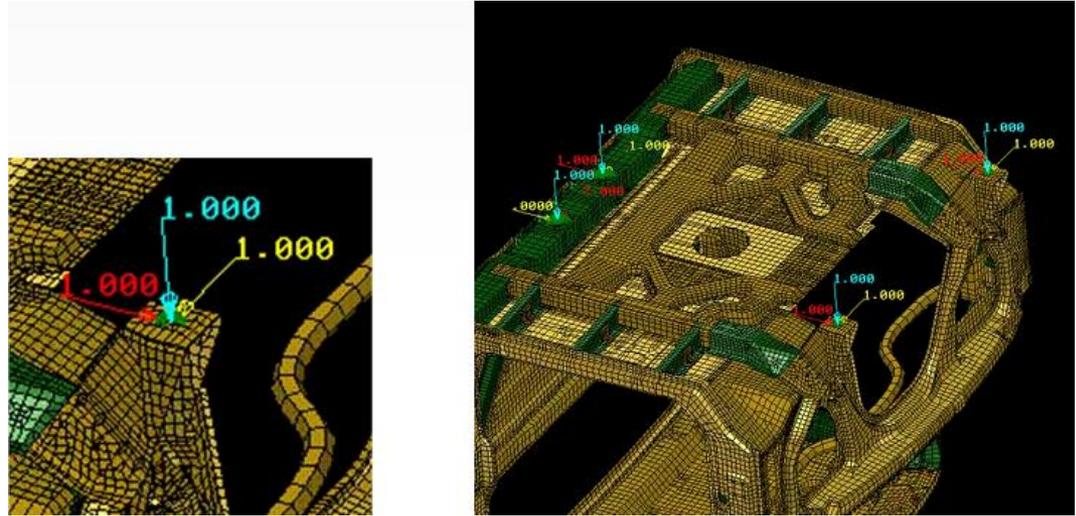


NEF – примеры использования

Расчетная модель

Нагружение

- **Точки приложения**
 - 4 геометрических места приложения нагрузки
 - 3 оси нагружения
 - x, y, z
 - Суммарно - 12 точек приложения нагрузки
- **Блок нагружения**
 - 11 *events* /событий историй нагружения
 - 12 точек приложения нагрузки
 - Всего – 132 блока нагружения
- **Ввод результатов**
 - Длительность процесса – 620 сек
 - 12 отдельных историй нагружения формируют каждый отдельный *event*
 - Частота дискретизации – 512 Гц
 - Всего 3 809 280 точек



NEF – примеры использования

- **Duty cycle**

- Дорожные испытания
- “*shaker test*”
- Время одного цикла - 3478 секунд
 - 58 минут
- Эквивалент – 1197 миль

- **Цель испытаний**

- 300 000 миль пробега
- 250.6 повторений нагрузочного цикла
- 10.1 дней
- Визуальный контроль после каждого цикла

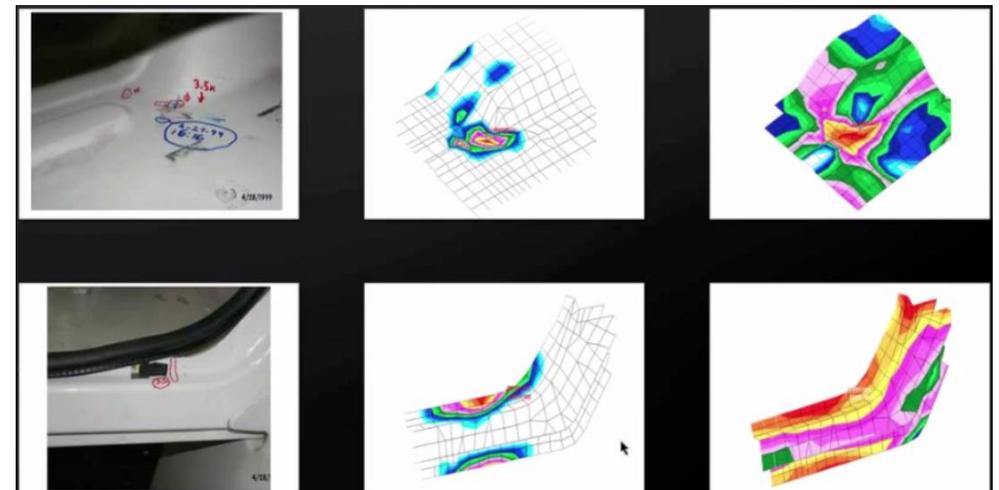
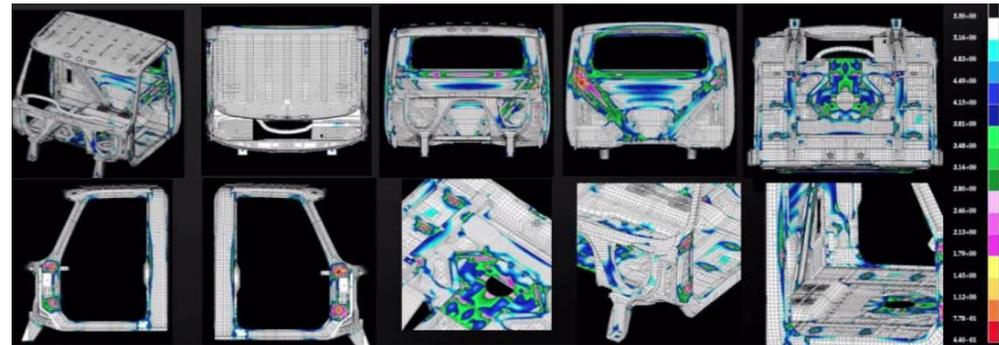
Event #	Name	Description	Duration (s)	Repeats	Total Time (s)
1	ea10	Empty Abbreviated Belgian Blocks at 10 mph	38.0	4	152.0
2	egvl	Empty Gravel Road	14.0	3	42.0
3	er20	Empty Railroad Crossing at 20 mph	6.0	3	18.0
4	er30	Empty Railroad crossing at 30 mph	6.0	3	18.0
5	lp10	Loaded Primary Belgian Blocks at 10 mph	96.0	5	480.0
6	lp12	Loaded Primary Belgian Blocks at 12 mph	58.0	29	1682.0
7	lp14	Loaded Primary Belgian Blocks at 14 mph	54.0	7	378.0
8	lr20	Loaded Railroad Crossing at 20 mph	6.0	3	18.0
9	lr30	Loaded Railroad Crossing at 30 mph	6.0	3	18.0
10	ls20	Loaded Supplemental Course at 20 mph	34.0	2	68.0
11	nois	Shaped Noise	302.0	2	604.0

Результаты расчета Transient Dynamic в Patran

Fatigue Loading

Расчетный цикл (Duty Cycle)

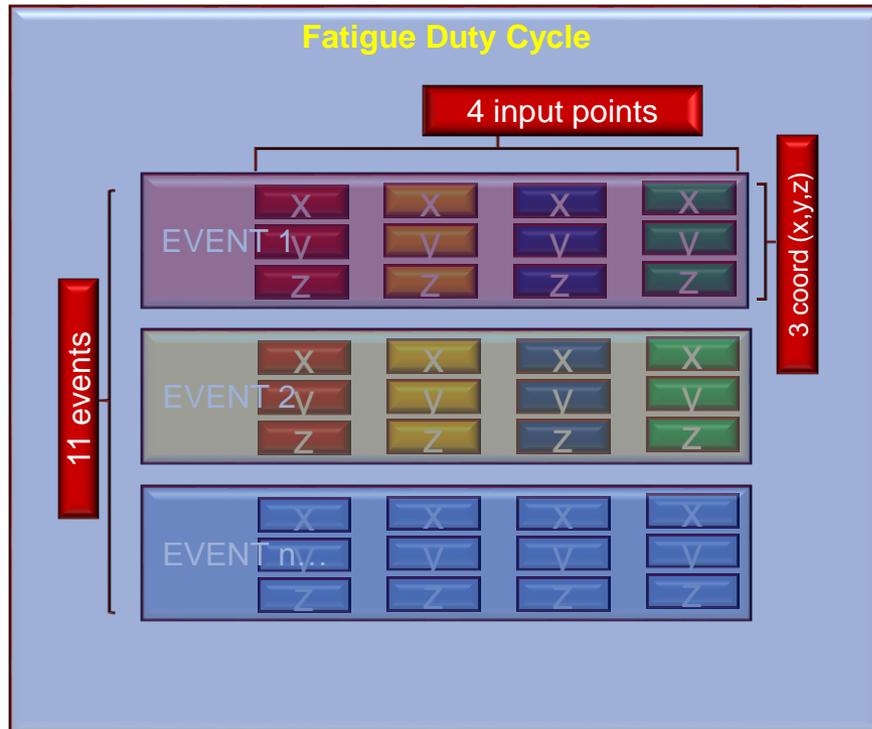
Fatigue predicted Life – 316228 miles



Test

Quasi-static

Transient



Стоимость вычислений - Время расчета

❑ Вычислительные ресурсы:

- 4-х ядерный компьютер DELL под управлением OS Windows 7
- Тактовая частота процессора – 2,500 GHz
- Оперативная память – 16 Gb

Время расчета, мин:

Стадия расчета	Псевдо-статический расчет MSC.Fatigue (Patran GUI)	Переходный процесс (Modal Transient) MSC.Fatigue (Patran GUI)	Псевдо-статический расчет NEF	Переходный процесс (Modal Transient) NEF
Структурный расчет	1,92	17,84	-----	-----
Генерация исходных данных Fatigue	8,44	21,87	-----	-----
Решатель Fatigue	38,20	79,08	-----	-----
Суммарное время расчета	48,56	118,79	11,67	24,55

Использование дискового пространства

Требуемый объем дискового пространства, Мб:

Используемые типы файлов	Расширение	Псевдо-статический расчет MSC.Fatigue (Patran GUI)	Переходный процесс MSC.Fatigue (Patran GUI)	Псевдо-статический расчет NEF	Переходный процесс NEF
Хранение данных структурного расчета	.xdb	79.95	271,546.57	-----	-----
Файл исходных данных для Fatigue	.fin	0.10	21,87	-----	-----
Файл исходных данных для Fatigue	.fes	157.27	11,040.96	-----	-----
Файлы результатов Fatigue	.fef*	71.40	71.40	(71.40)	(71.40)
Файлы результатов Fatigue	.op2*	-----	-----	31,02	31,02
В сумме		308.52	282,660.21	31,02	31.02

*- .fef файл содержит результаты только для DUTY CYCLE

*-.op2 файл, содержит все *events* и *duty cycle* = 108 Mb

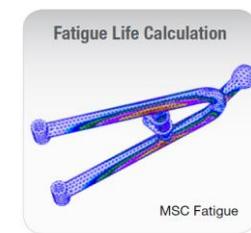
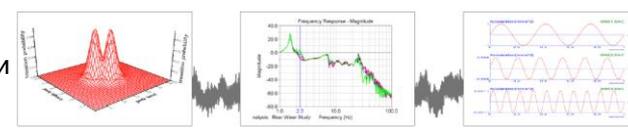
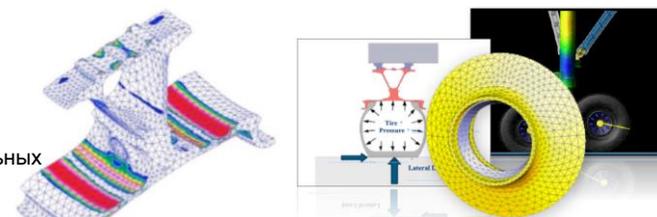
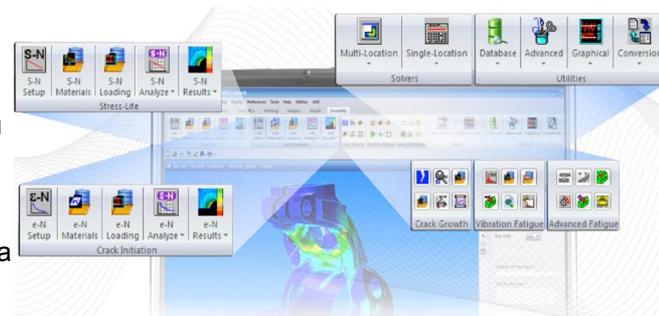
Менеджмент расчетных данных

Стадии решения	Тип данных	Расширение	Псевдо-статический Расчет MSC.Fatigue (Patran GUI)	Переходный процесс MSC.Fatigue (Patran GUI)	Псевдо-статический Расчет NEF	Переходный процесс NEF
FEA MSC Nastran	Input	.dat	1	11	1	1
	Result	.xdb	1	11		
	Result	.op2	-----	-----	1	1
Fatigue	Load history	.dac	132 (12x11)	132		
	Input	.fin	11	11		
	Input	.fes	11	11		
	Result	.fef	11	11		
	Material DB	.adb /.mdb	2	2		
	Load DB	.adb /.tdb	2	2		
В СУММЕ			171	191	2	2

MSC Fatigue 2014 – возможности расчета

- ❑ Проведение расчета по методу общей долговечности - HCF
- ❑ Расчет малоцикловой усталости LCF
- ❑ Анализ роста трещин & Crack Growth Analyser
- ❑ Возможность обмена данными с конечно-элементными решателями и расчетными комплексами для анализа многомассовых систем и механизмов (Static, Transient, Modal, FRF, PSD)
 - MSC Nastran™
 - Adams™
 - Marc®
- ❑ Специальные расчетные модули **Advanced Fatigue**:
 - Модуль **Multiaxial Fatigue** – расчет сложного многоосного состояния в т.ч. с учетом непропорционального нагружения),
 - Модуль **Vibration Fatigue (Shaker Fatigue)** – определение долговечности на основании информации о спектральных характеристиках входного воздействия.
 - Модуль **Welding (Spot & Seam)** расчет сварных конструкций

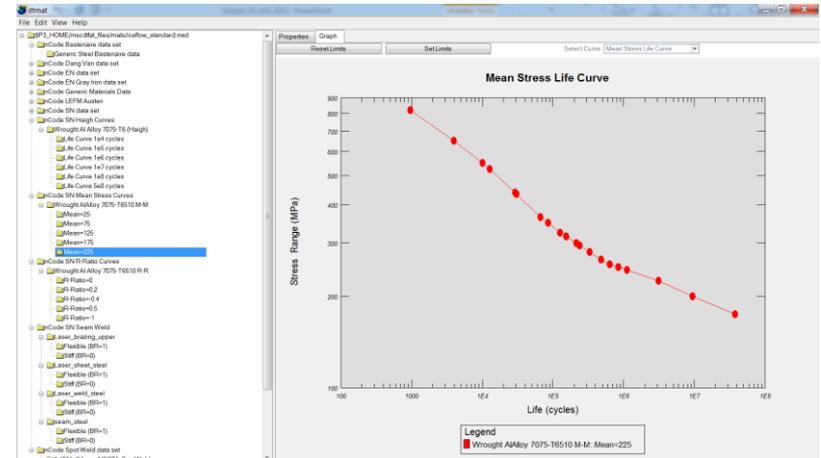
- Модуль **Software Strain Gauge** – виртуальные датчики деформаций
- Модуль **Wheels** – расчет осесимметричных вращающихся конструкций,
- Модуль **Utilities** - Специальные утилиты для подготовки исходных данных и работе с результатами расчетного моделирования,
- Модуль **Fracture** – анализ скорости роста трещин
- Модуль **Optimization** - оптимизация исследуемой конструкции по долговечности с учетом:
 - Изменения масштабного коэффициента нагрузки
 - Свойств Материалов
 - Чистоты поверхности
 - Способов упрочнения
 - Вероятностной природы экспериментальных данных
- ❑ Широкие возможности корреляции расчетных и экспериментальных данных
- ❑ Набор инструментов для создания сложных циклов нагружения и подготовки программы испытаний **Duty Cycle Analyser (Multiple Analysis)**



MSC Fatigue 2014 – основные улучшения

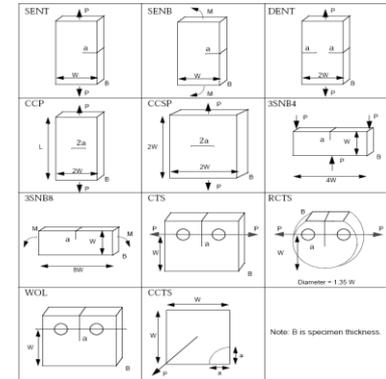
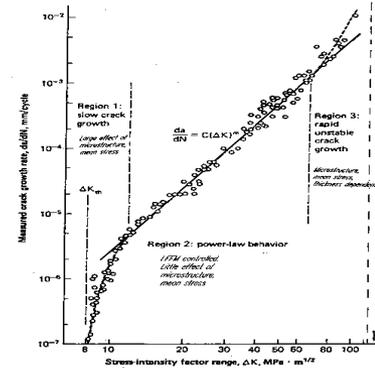
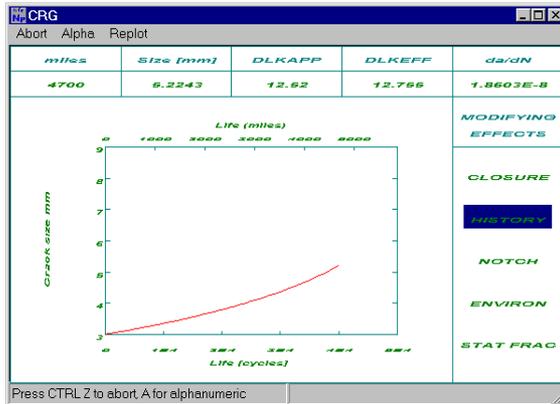
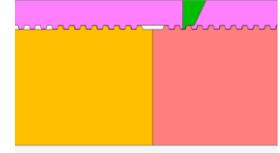
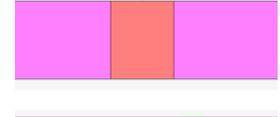
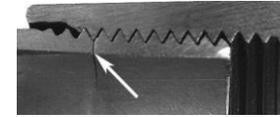


- Улучшенный интуитивно понятный интерфейс.
- Обновленный инструментарий для препостпроцессора **Patran**.
- Расширенная **база данных** по усталостным характеристикам материалов **DTLib**, включающая усталостные характеристики материалов сварных швов **spot/seam weld**.
- Содержит принципиально новый решатель **DTLib** позволяющий реализовать процесс высокопроизводительных параллельных вычислений
- Новый менеджер **Dtmat** для работы с базой данных **DTLib**.
- Обладает возможностями работы с моделями **большой размерности (миллионы степеней свободы)** для прогноза усталостной долговечности.
- Модуль **Dtmat** предоставляет следующие возможности для работы с библиотекой материалов:
 - экспорт/импорт данных в формате XML
 - редактирование, сохранение изменений
 - внесение собственных данных
 - создание запросов к базе данных



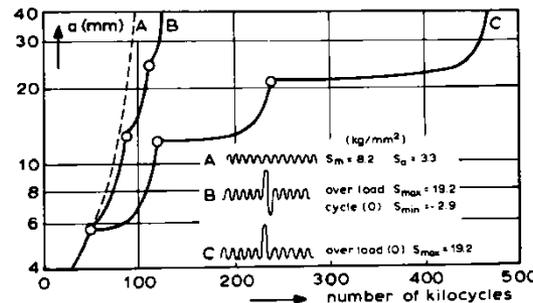
Оценка скорости роста трещины в MSC Fatigue

- Вычисляется скорость роста трещины из начального дефекта и время ее роста до заданной длины или до разрушения структуры
- Расчет учитывает следующие факторы:
 - Эффект закрытия трещины (Crack Closure), статические формы разрушения
 - Эффект истории нагружения, возможных разовых перегрузок
 - Условия окружающей среды
 - Библиотека вычисления КИН для стандартных типов трещин



Кинетическая диаграмма усталостного разрушения

Библиотека поправочных коэффициентов для вычисления КИН



$$K = Y\sigma\sqrt{\pi a}$$

$$Y = C_1 + C_2\left(\frac{a}{T}\right)^1 + C_3\left(\frac{a}{T}\right)^2 + C_4\left(\frac{a}{T}\right)^3 + C_5\left(\frac{a}{T}\right)^4$$

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m$$

Области применения NEF и “традиционного” подхода с использованием MSC Fatigue

MSC Fatigue (Patran GUI)

- ❑ **Используется:**
 - При исследовании механизма разрушения
 - При анализе чувствительности конструкции (изменение амплитуды нагрузки и т.д.)
 - При использовании входных данных полученных с помощью сторонних решателей
 - Для интерактивного процесса отладки модели
 - При большом количестве типов данных для постпроцессинга

MSC Nastran Solver Fatigue

- ❑ **Используется:**
 - При расчете хорошо отлаженных моделей
 - При расчете моделей большой и сверхбольшой размерности
 - При использовании DUTY CYCLE
 - При наличии множества точек приложения входного сигнала
 - При решении задачи оптимизации
 - При необходимости существенно увеличить скорость расчета
 - При необходимости оперативно внести изменения в расчетную модель (используется только .bdf файл)

“Despite 150 years of fatigue research, unintended fatigue failures still occur. More research will not reduce the incidence of fatigue failure – more education will”

*Prof. D. Socie
University of Illinois,
1990*

Спасибо за внимание