

СЕССИЯ 5.
ОТ РАЗРОЗНЕННЫХ РАСЧЁТОВ
К ЦЕЛОСТНОЙ МОДЕЛИ ИЗДЕЛИЯ

T-FLEX АНАЛИЗ: РАЗВИТИЕ РАСЧЁТНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ КОНСТРУКТОРА-РАСЧЁТЧИКА

Анастасия Кузьмичева

Ведущий аналитик по направлению инженерного анализа
Компания «Топ Системы»

T-FLEX Анализ - интегрированная с T-FLEX CAD среда для проведения инженерного анализа методом конечных элементов

Редактор геометрии

Создание/упрощение геометрической модели

Препроцессор

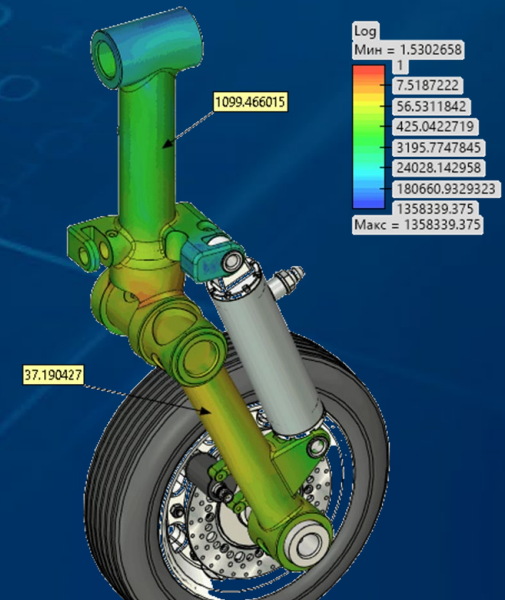
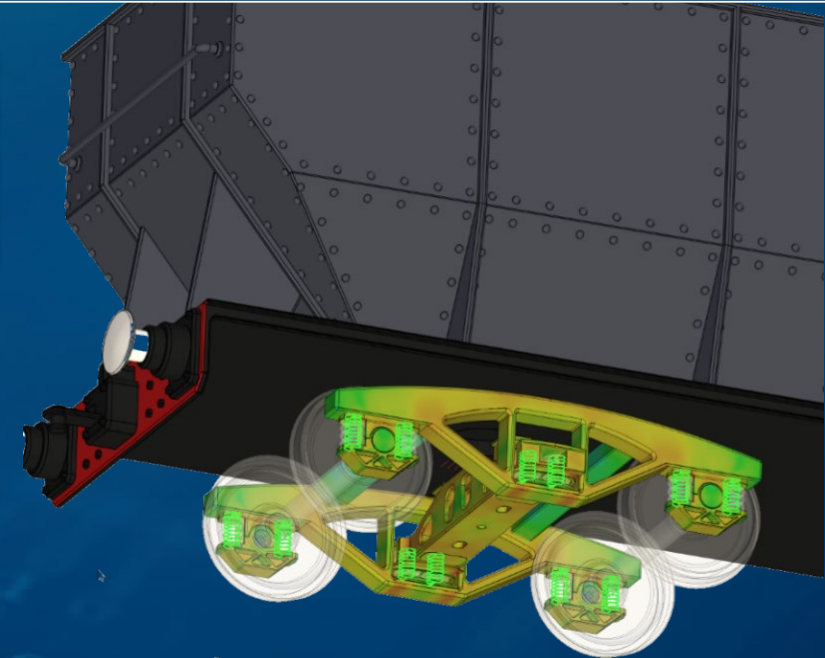
Генерация сетки, задание материалов, граничных условий и др.

Процессор (Решатель)

Процесс генерации и решения систем уравнений

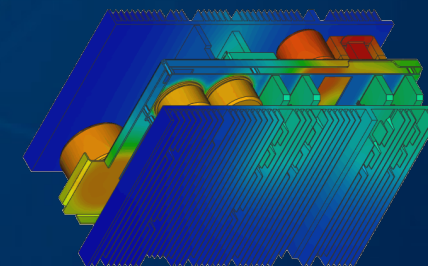
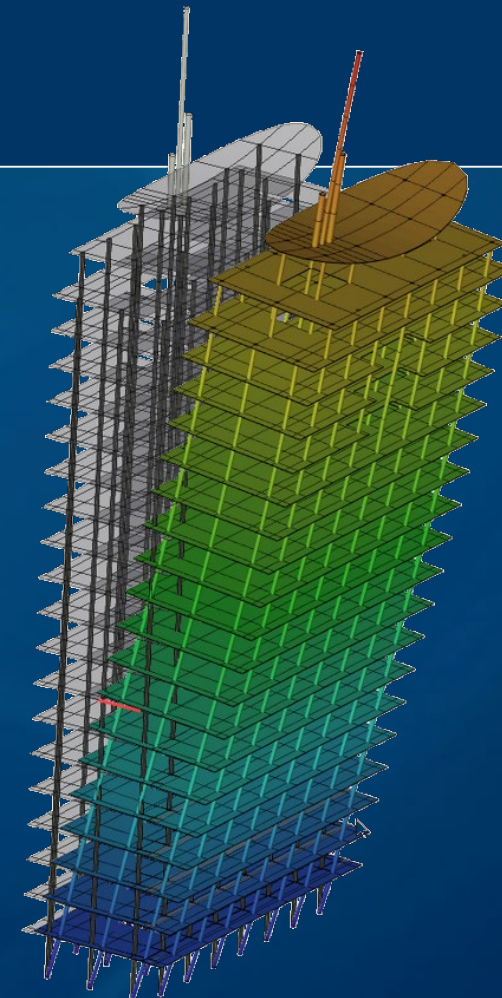
Постпроцессор

Визуализация и анализ результатов



T-FLEX Анализ

Группы задач и расчётные модули



Создание/подготовка расчетной геометрии

Препроцессор

Процессор

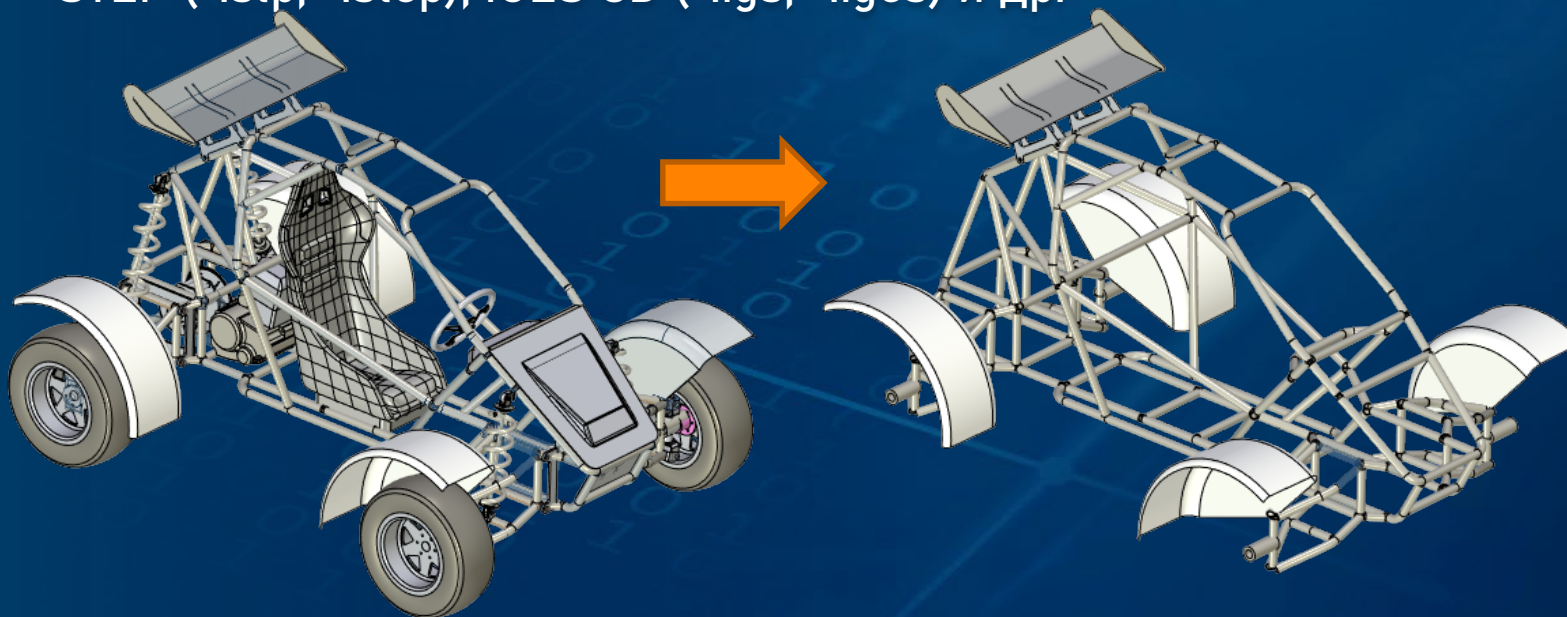
Постпроцессор

Подготовка расчетной геометрии

Расчётная геометрия – это геометрическая модель, детализации которой достаточно для корректного проведения расчёта.

Модель может быть создана непосредственно в T-FLEX CAD или импортирована из других CAD-систем.

Форматы для импорта: Parasolid (*.xmt_txt, *.x_t, *.x_b, *.xmt_bin); STEP (*.stp, *.step); IGES 3D (*.igs, *.iges) и др.



Создание/подготовка
расчетной геометрии

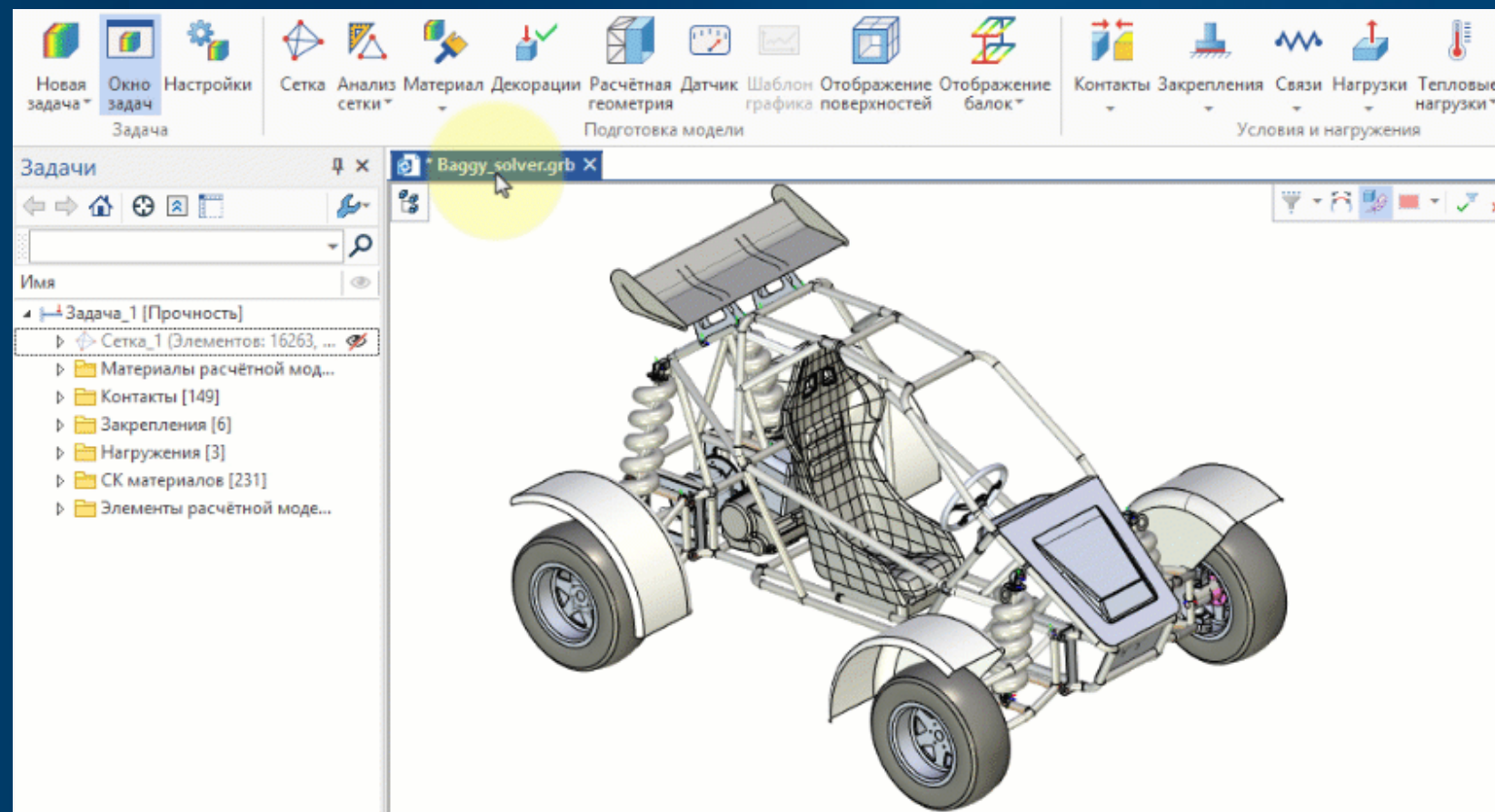
Преппроцессор

Процессор (Решатель)

Постпроцессор

Проведена модернизация:

- ленты преппроцессора
- диалогов создания задачи, сетки и материалов
- команд преппроцессора с использованием современных элементов управления
- внешнего вида декораций граничных условий и нагрузок



Создание задачи:

- Группировка элементов задачи
- Добавление балочных объектов (1D) в состав задачи
- Блок управления отображением пластин и оболочек

Построение конечно-элементной сетки:

- Поддержка создания гибридных сеток (1D/2D/3D)
- Новые сценарии построения и обновления сетки:
 - задание индивидуальных параметров для групп;
 - возможность поэтапного создания сетки;
 - частичная регенерация сетки.
- Анализ качества сетки (информация о сетке/элементах)
- Выбор областей сетки (в т.ч. фильтрация сетки по группам)

Задание материалов:

- Команда «Материал»
- Инструменты для моделирования слоистых композитов
- Инструменты для моделирования монослойных композитов
- Модели гиперупругого поведения материала
- Модели пластического поведения материала
- Команда «Ориентация материала»

Задание условий и нагрузок:

- Переработанные диалоги нагрузок «Сила» и «Давление»
- Новые методы задания неравномерных нагрузок
- Команда «Пружина»
- Команда «Многоточечное соединение» (RBE-2,3)
- Команда «Поиск контактов» (границы/ребра/вершины)
- Команда «Конструкционные соединения» для 1D- и 2D-элементов, в т.ч. автоматический поиск соединений и пересечений балок
- Обновлены декорации граничных условий и нагрузок

Другие сервисы препроцессора:

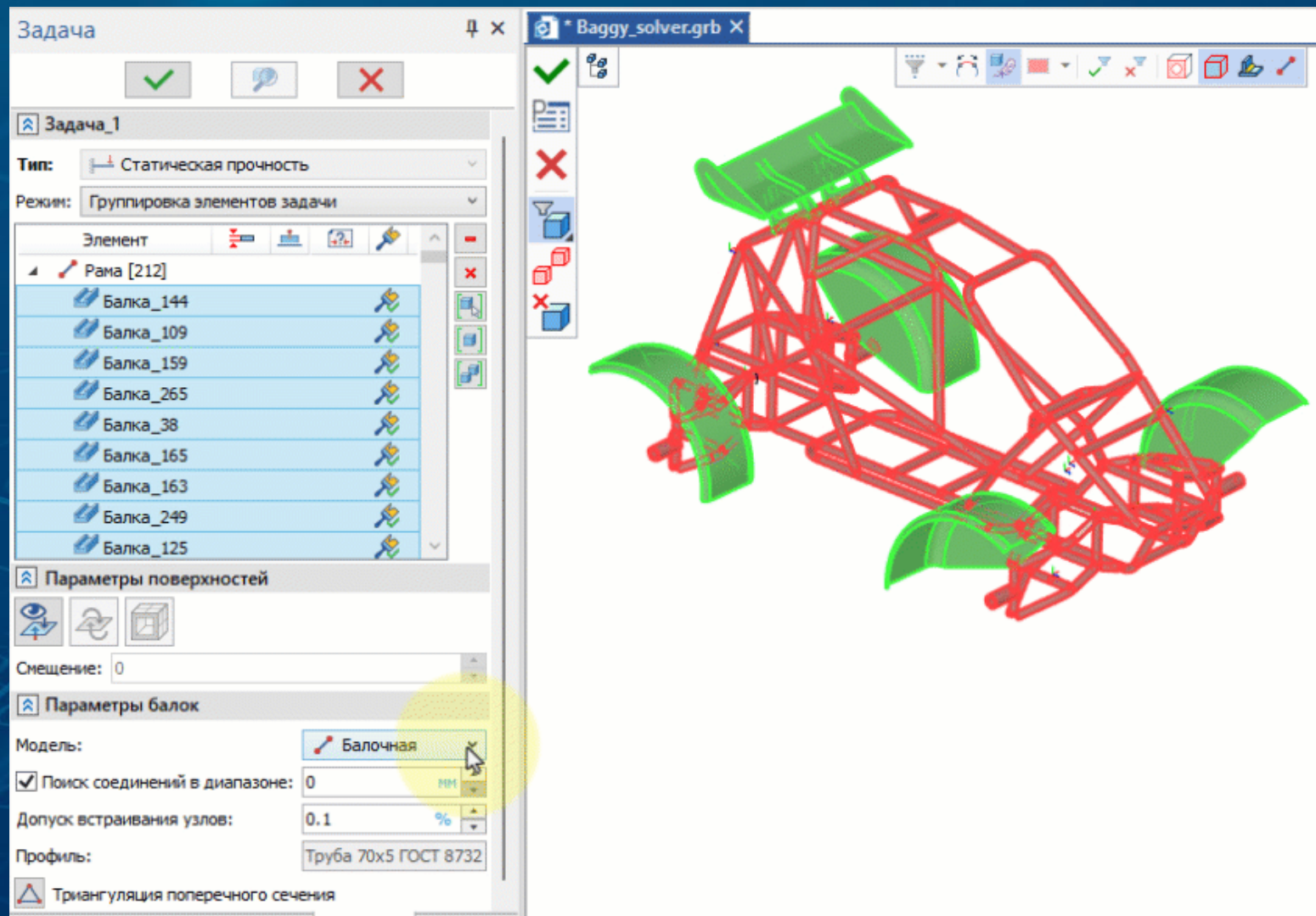
- Переработана и дополнена лента «Анализ»
- Переработана команда «Настройки T-FLEX Анализ»
- Команда «Расчётная геометрия»
- Несколько режимов отображения балок и оболочек
- Создание срединных поверхностей
- Команда «Управление расчетными случаями»
- Импорт данных
- И другие...

Поддерживаемые типы тел:

- Объемные (3D-тела)
- Поверхности (2D-тела)
- Балки (1D-тела)
- Фрагменты сборок

Добавление балочных объектов в состав задачи :

- Изменение представления балок в задаче:
 - Балочная модель
 - Объемная модель
- Автоматический поиск соединений балочно-оболочечной конструкции
- Настройка триангуляции профиля
- Просмотр характеристик поперечного сечения балки



T-FLEX Анализ | Препроцессор

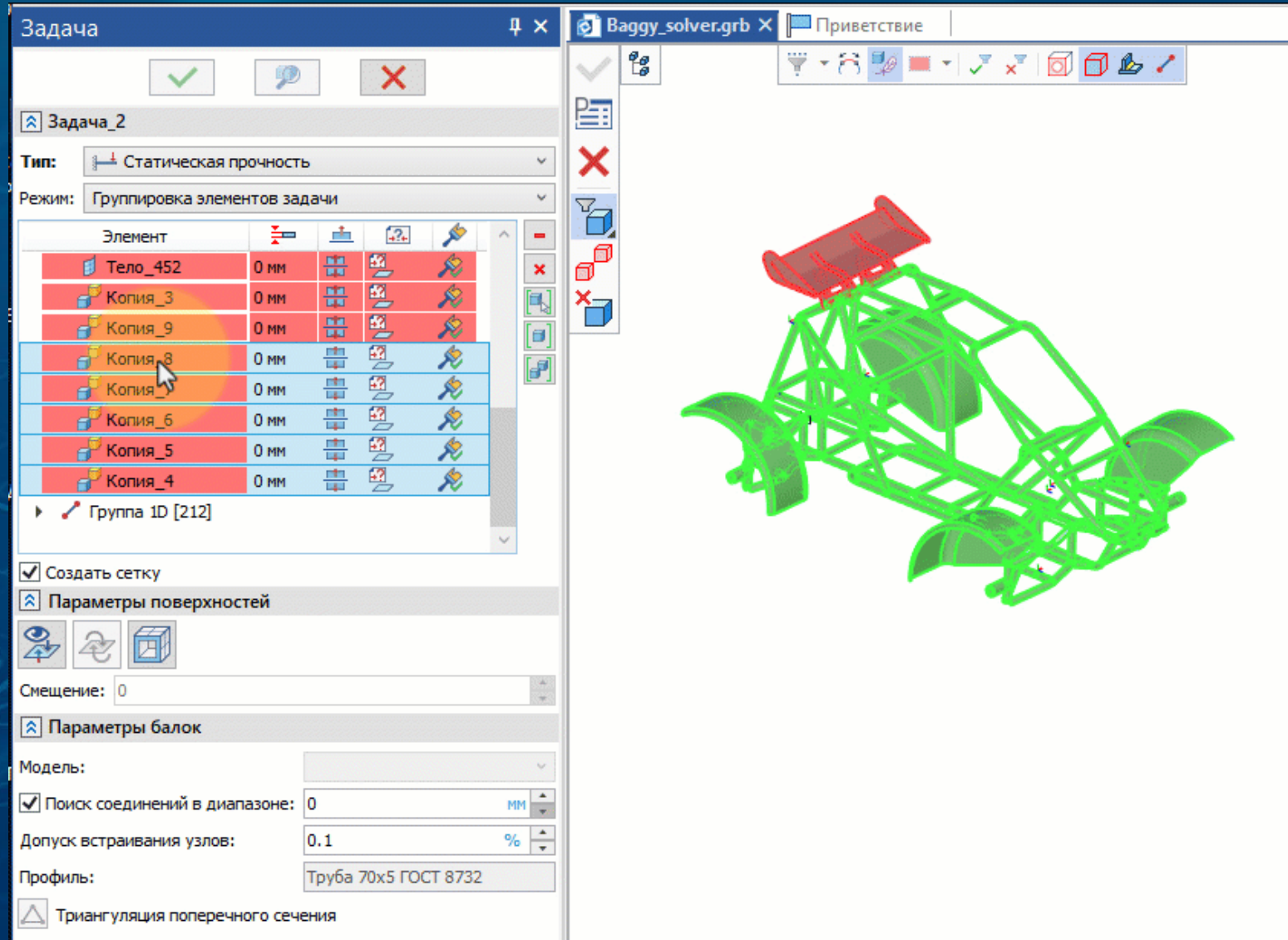
Новый диалог создания задачи. Группировка

Добавление поверхностей в состав задачи:

- Изменение толщины, смещения, гипотезы расчета пластин (поддержан мультиселект)
- Отображение и смена нормалей
- Разные режимы отображения толщин пластин в сцене

Группировка элементов задачи позволяет:

- объединить элементы задачи по типам (3D/2D/ 1D-тела);
- создавать пользовательские группы;
- переименовывать созданные группы для удобства дальнейшей идентификации.



T-FLEX Анализ | Препроцессор

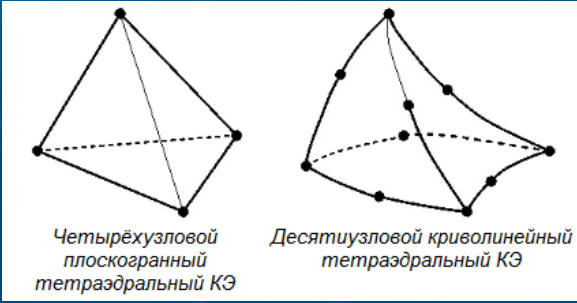
Управление конечно-элементной сеткой



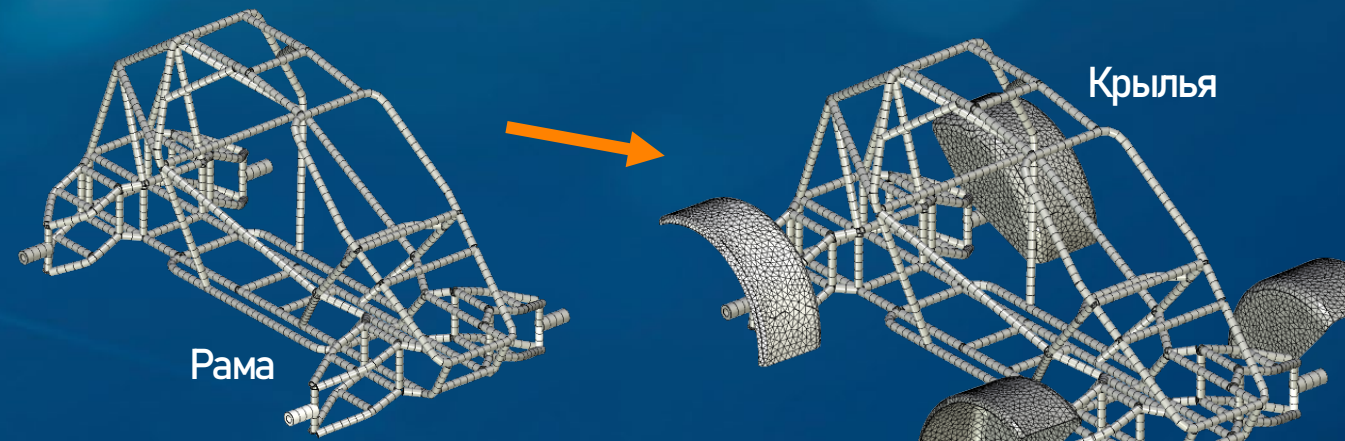
1D сетка
(балочная)



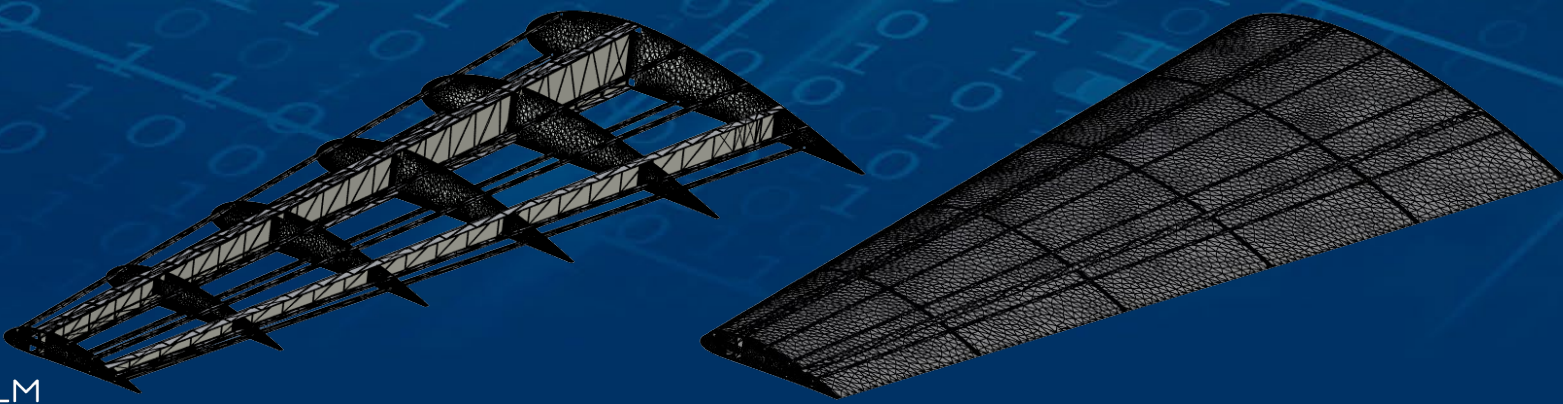
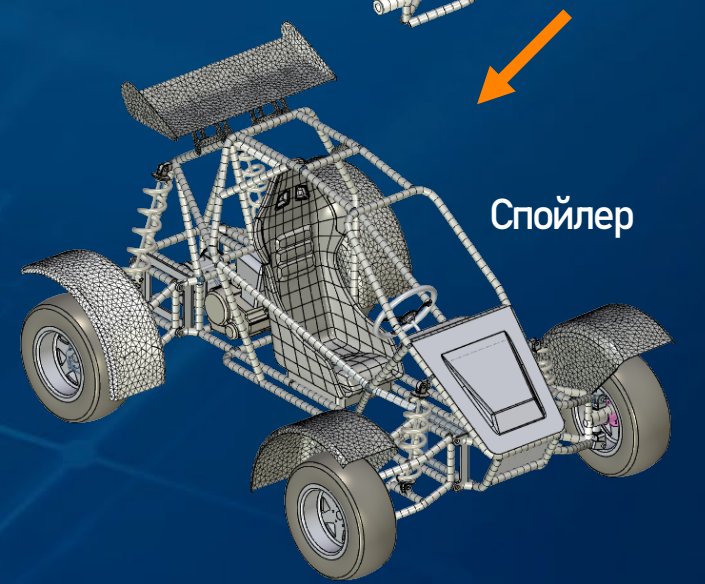
2D-сетка
(пластинчатая)



3D-сетка
(объёмная)



- Новые сценарии при работе с сеткой:
- Задание индивидуальных параметров для групп одного и того же типа
 - Поэтапное создание сетки
 - Частичная регенерация сетки для выбранных групп

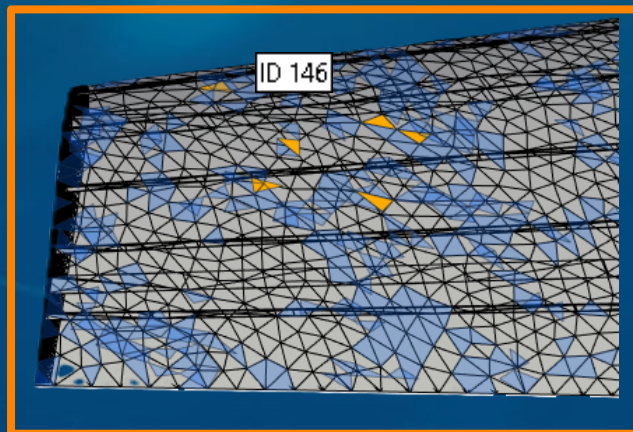
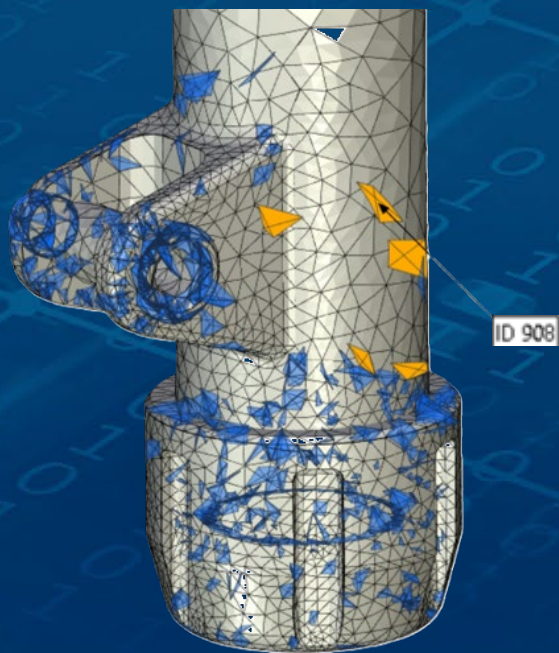


T-FLEX Анализ | Препроцессор

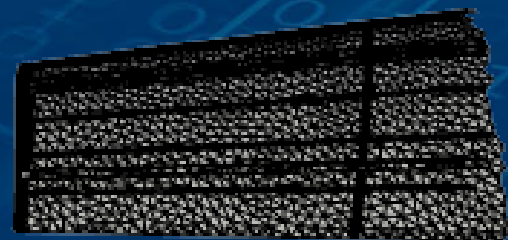
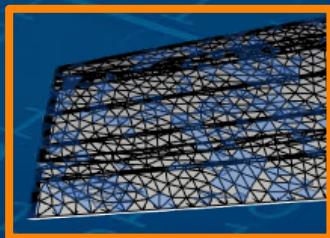
Анализ качества конечно-элементной сетки

Анализ качества сетки:

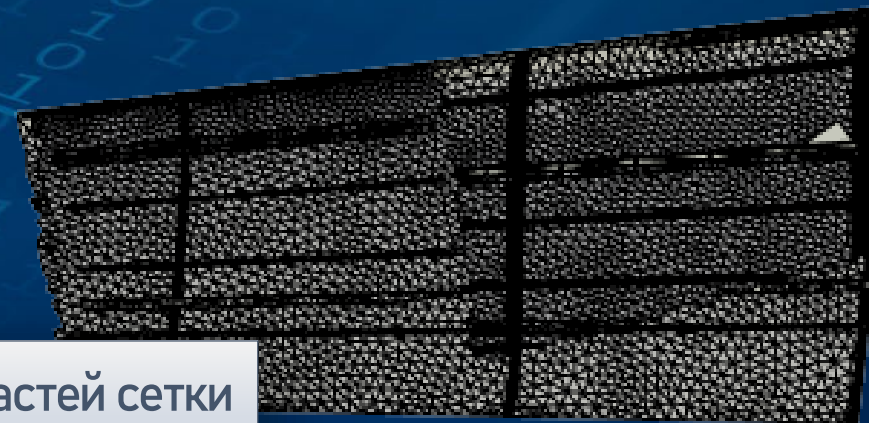
- Анализ сетки по критериям качества
- Информация о сетке (в т.ч. по группам)
- Информация об элементах
- Выбор областей сетки (скрыть/отобразить)



Анализ сетки



Выбор областей сетки





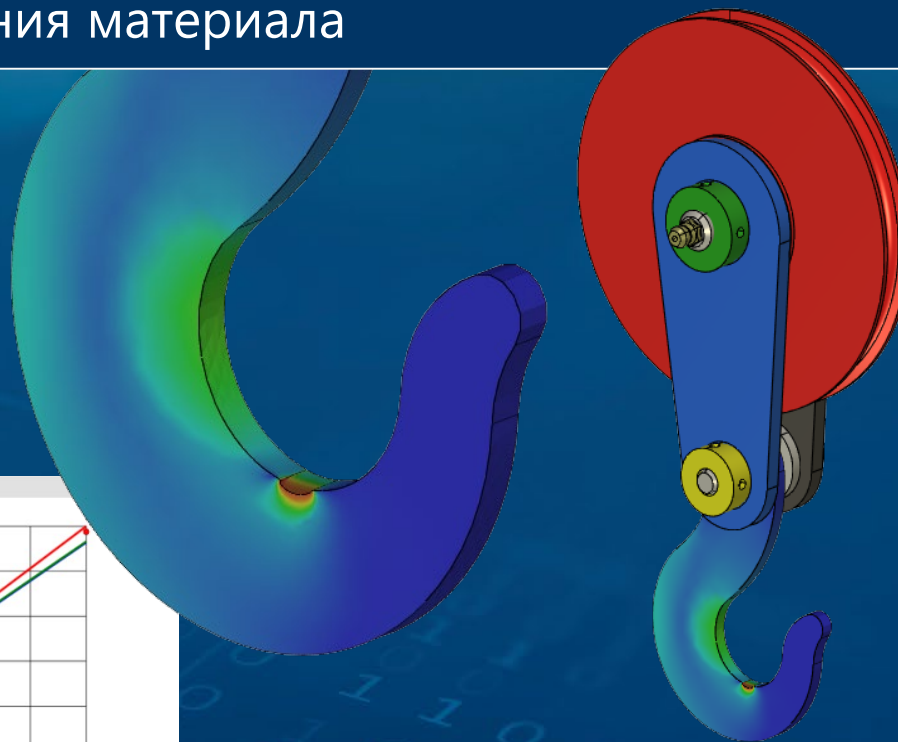
Гиперупругие и пластические модели поведения материала

Модели пластического поведения материала:

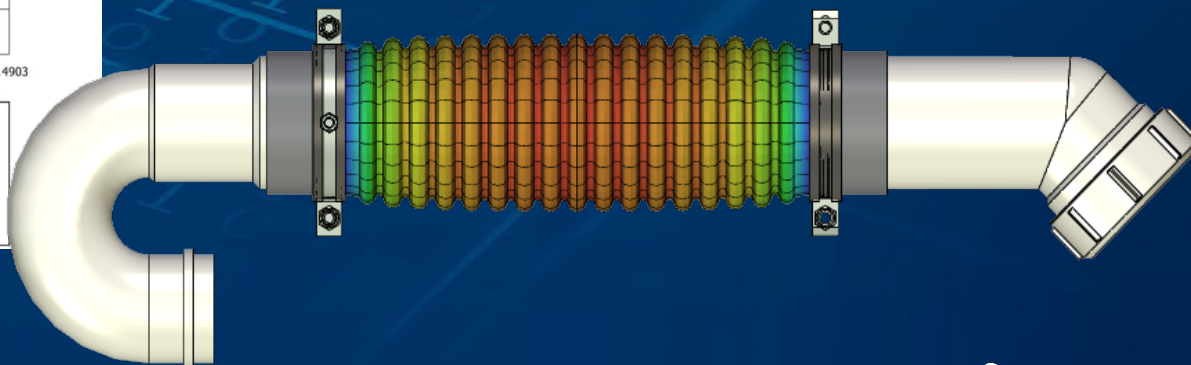
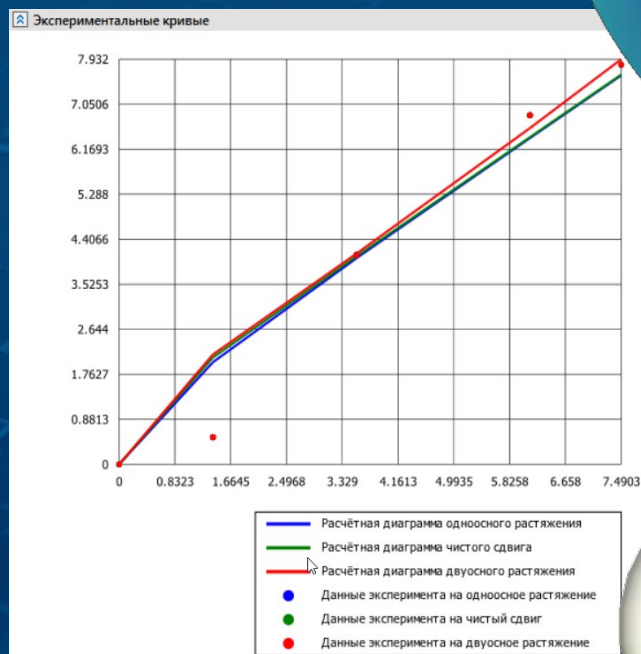
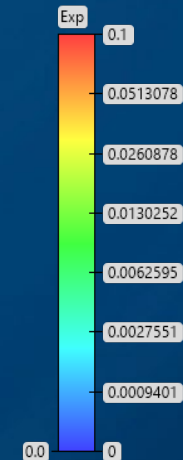
- Билинейная модель
- Мультилинейная модель

Модели гиперупругого поведения материала:

- Муни-Ривлин (2 константы)
- Муни-Ривлин (5 констант)
- Муни-Ривлин (9 констант)
- Нео-Гук
- Блатц-Ко



Задача_1 [Прочность]
Полные деформации, мм
Масштаб перемещений: 5.21
Цветовой переход



Параметры материала

Общие Визуальные Штриховка Состав

Слоёв: 6 Толщина пакета: 6 мм

Схема укладки: s[45/0/-45]

Слой	Материал	Толщина	Угол
6	Углепластик	0.2 мм	-45 °
5	Пенополивинилхлорид (ППВХ)	2.6 мм	0 °
4	Углепластик	0.2 мм	45 °
3	Углепластик	0.2 мм	45 °
2	Пенополивинилхлорид (ППВХ)	2.6 мм	0 °
1	Углепластик	0.2 мм	-45 °

Компоненты монослоя:

Материал

- Стеклоткань
- Углеродный препрег (230 ГПа)
- Стеклоткань

Материалы расчётной модели [1]

- Слоистый композит
 - Состав [6]
 - Слой 1 (45 °, 1 мм)
 - Углепластик
 - Состав [3]
 - Матрица [2]
 - Наполнение (0 °)
 - Слой 2 (0 °, 1 мм)
 - Пенополивинилхлорид (ППВХ)
 - Слой 3 (-45 °, 1 мм)
 - Углепластик
 - Слой 4 (-45 °, 1 мм)
 - Углепластик
 - Слой 5 (0 °, 1 мм)
 - Пенополивинилхлорид (ППВХ)
 - Слой 6 (45 °, 1 мм)
 - Углепластик

Схема укладки

Вид: Таблица

Схема укладки: Подпись:

- Оболочка в целом
- Слои
- Вложенные слои
- Номер слоя
- Материалы
- Углы
- Толщины

Отображение толщин: Равномерное

Масштабный к-т: 0

Раскраска слоёв: Заливка и углы укладки

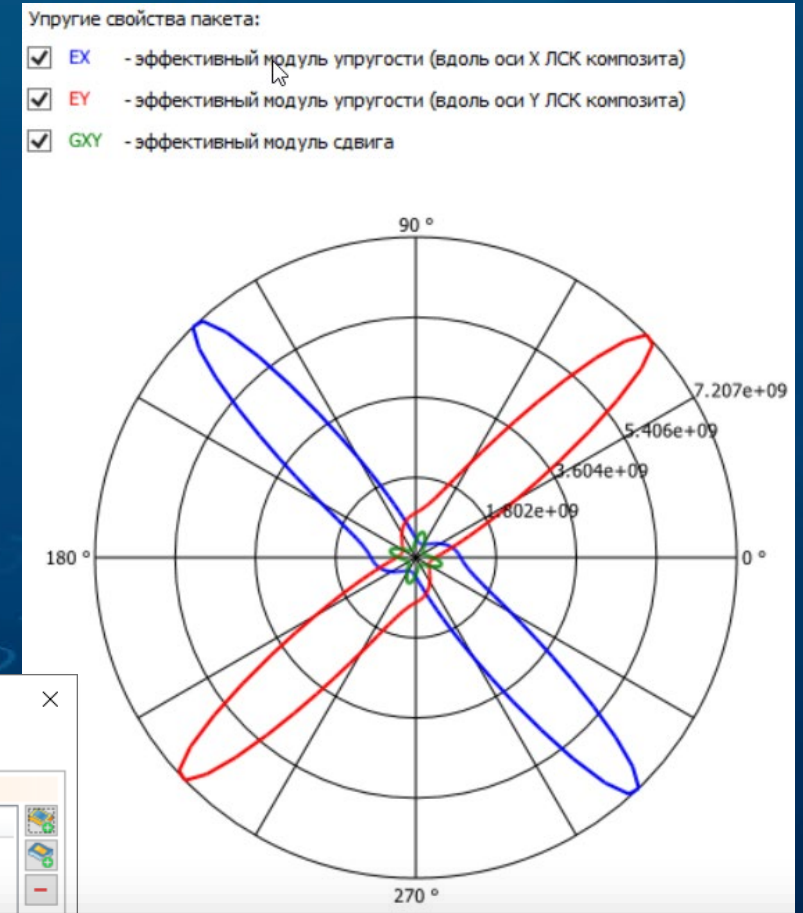
№	Угол	Материал	Угол	Толщ
4		Углепластик	-45 °	0.2 мм
5		Пенополивинилхлорид (ППВХ)	0 °	2.6 мм
6		Углепластик	45 °	0.2 мм

Параметры материала

Общие Визуальные Штриховка Физические Состав

Слои:

Материал	Угол
Стеклоткань	-
Углеродный препрег (230 ГПа)	0 °
Стеклоткань	-



Полярная диаграмма показывает, как рассчитанные эффективные упругие характеристики композитного пакета меняются в зависимости от направления и углов укладки слоёв

Новый диалог «Материал»

Основные параметры

Представление: По элементам

Элемент	Материал
Тело_452	ASA-пластик WR-9...
Тело_451	ASA-пластик WR-9...
Тело_450	ASA-пластик WR-9...
Тело_448	ASA-пластик WR-9...
Тело_441	Многослойный мат...
Тело_421	Многослойный мат...
Тело_422	Многослойный мат...
Тело_430	Многослойный мат...
Тело_429	Многослойный мат...
Тело_424	Многослойный мат...
Тело_423	Многослойный мат...

Другой материал Многослойный м:

Параметры материала

Слои

Слой	Материал	Толщина	Угол
6	Углепластик	3 мм	-45 °
5	Пенополивинилхлорид (ППВХ)	2.6 мм	0 °
4	Углепластик	3 мм	45 °
3	Углепластик	3 мм	45 °
2	Пенополивинилхлорид (ППВХ)	2.6 мм	0 °
1	Углепластик	3 мм	-45 °

Основные параметры

Представление: По материалам

- 12X18H10T ГОСТ...
- ASA-пластик W...
 - Тело_448
 - Тело_452
 - Тело_451
 - Тело_450
- Многослойный...

Другой материал 12X18H10T ГОСТ

Параметры материала

Поведение материала

Описание: ****

Тип материала: Изотропный

Поведение материала: Линейно-упругий

Закон усталости: не задан

Физико-механические свойства

Плотность: 7850 кг/м³

Предел прочности на разрыв: 510 Н/мм²

Предел прочности на сжатие: 510 Н/мм²

Предел текучести: 196 Н/мм²

Удельная теплоёмкость: 49 Дж/(кг·К)

Модуль упругости: 1980000 Н/мм²

Два режима назначения:

- «По элементам» задачи – отображаются элементы задачи и их материалы;
- «По материалам» – отображаются материалы и элементы задачи из данного материала.

Можно использовать данные режимы совместно.

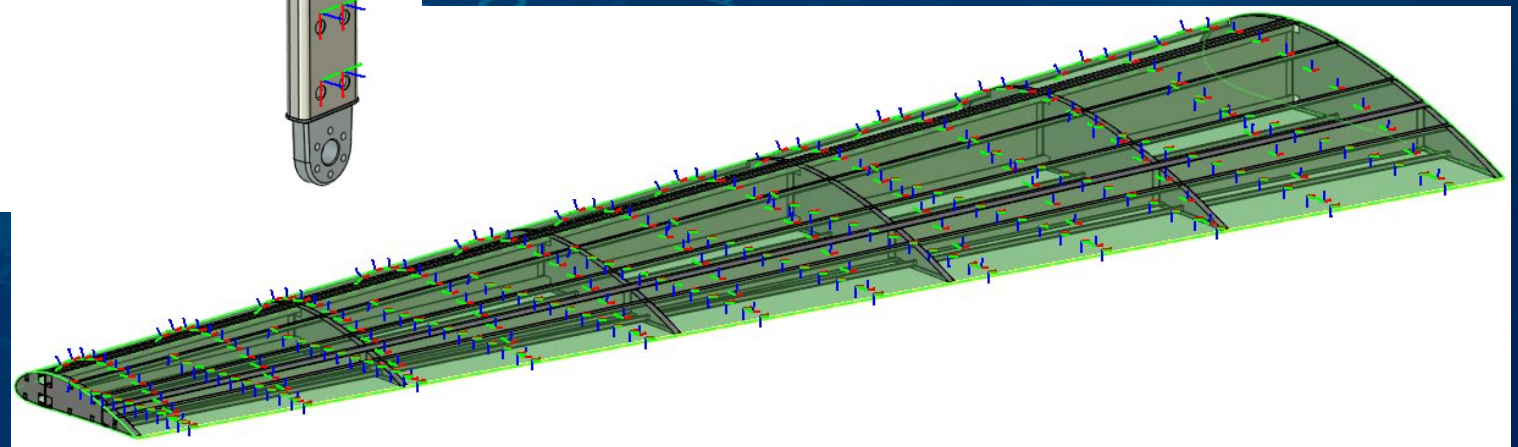
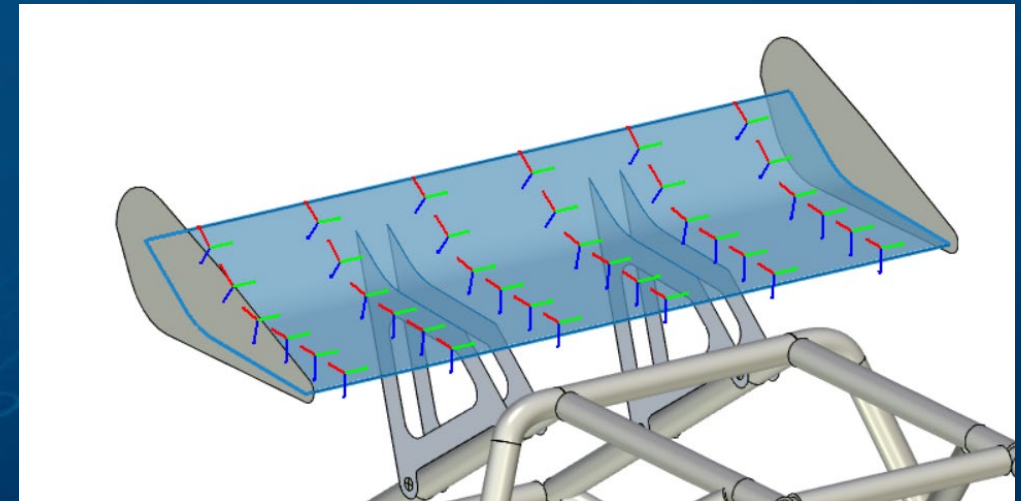
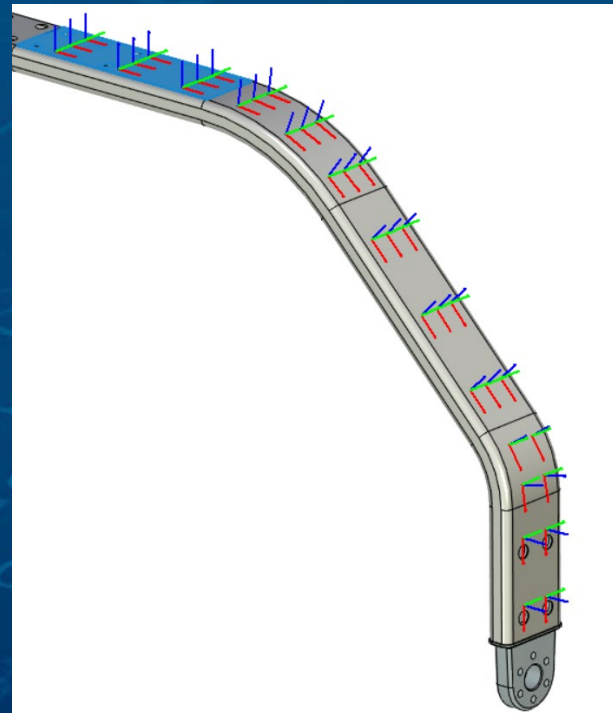
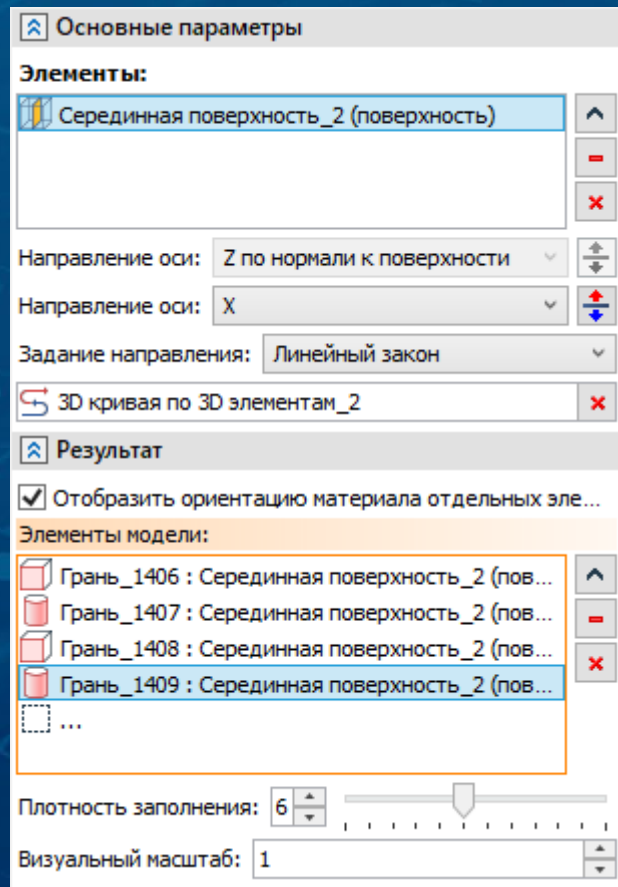
Задача_1 [Прочность]

- Сетка_1 (Элементов: 16263, Узлов: 9467)
- Материалы расчётной модели [3]
 - 12X18H10T ГОСТ 1055-201
 - ASA-пластик WR-9100
 - Многослойный материал
- Контакты [149]
- Закрепления [6]
- Нагрузки [3]
- СК материалов [231]
- Элементы расчётной модели [231]

Многослойный материал

- Состав [6]
 - Слой 1 (-45 °, 0.2 мм)
 - Слой 2 (0 °, 2.6 мм)
 - Слой 3 (45 °, 0.2 мм)
 - Слой 4 (45 °, 0.2 мм)
 - Слой 5 (0 °, 2.6 мм)
 - Слой 6 (-45 °, 0.2 мм)

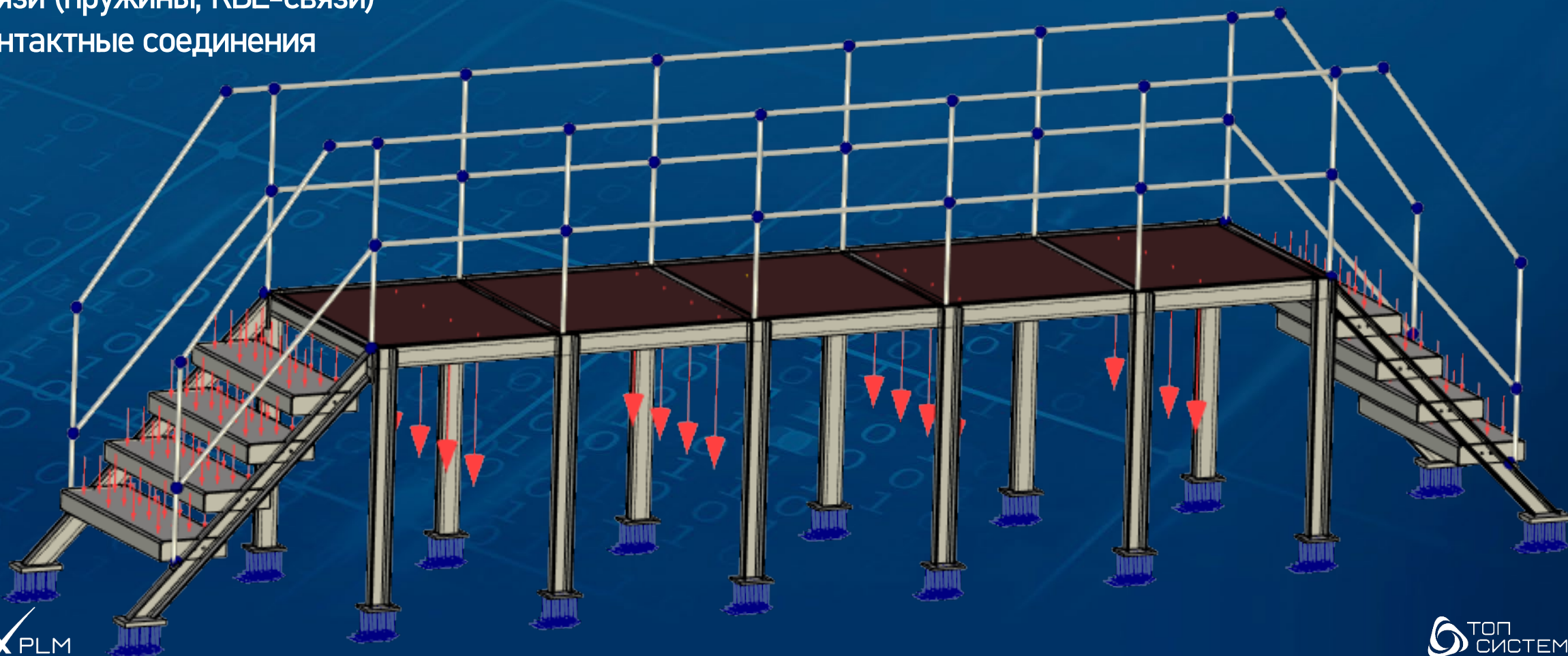
Команда позволяет задавать ориентацию свойств материала как для объемных тел, так и для поверхностей, изготовленных из анизотропных и составных материалов



Граничные условия и нагрузки

В системе реализован большой набор различных граничных условий и нагрузок:

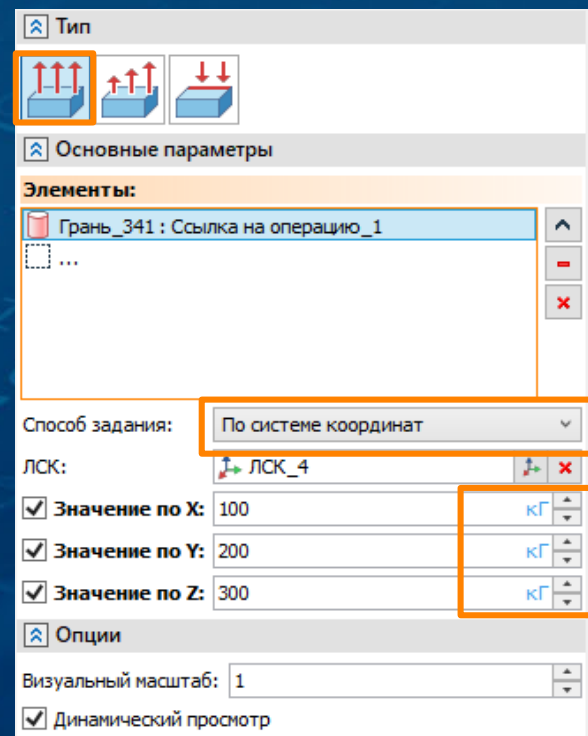
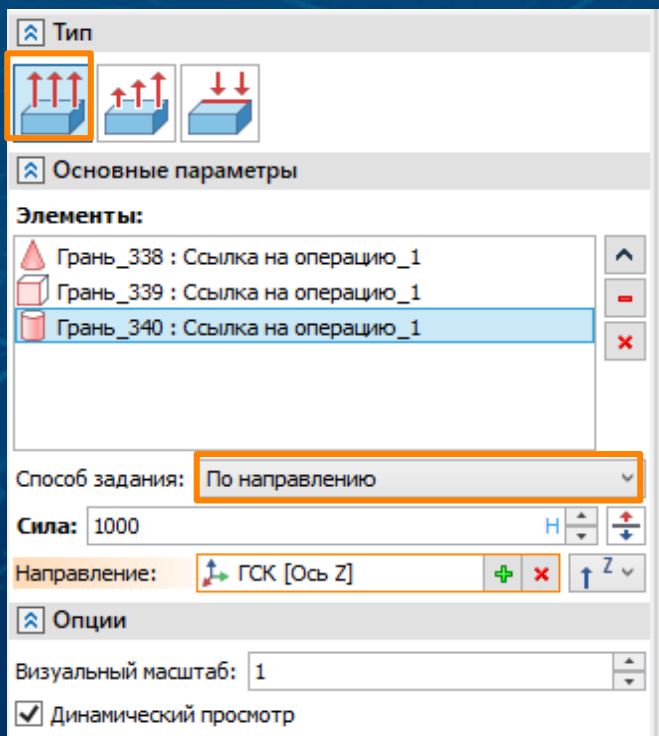
- закрепления (в т.ч. симметрия и упругое основание)
- нагрузки (механические, тепловые, инерционные)
- связи (пружины, RBE-связи)
- контактные соединения



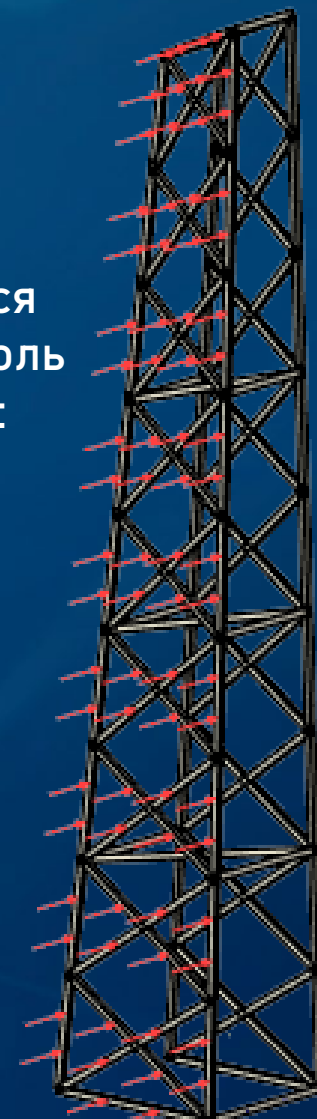
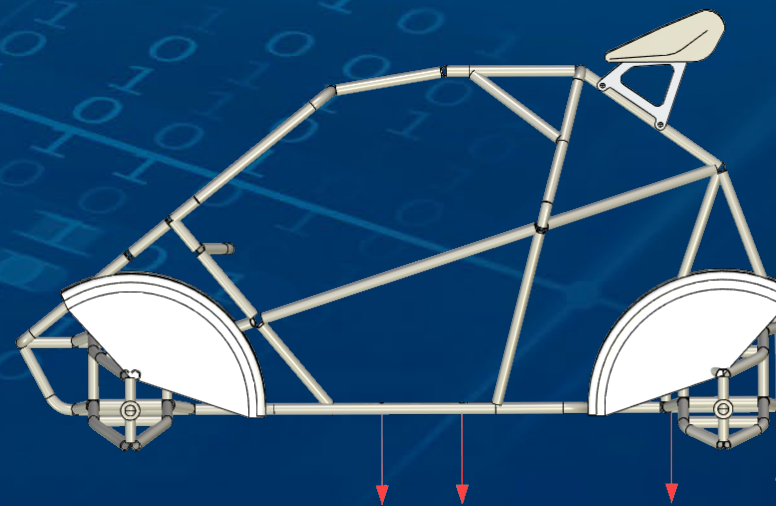
Равномерная и распределенная силы могут задаваться двумя способами:

- как суммарная величина в выбранном направлении;
- по компонентам системы координат.

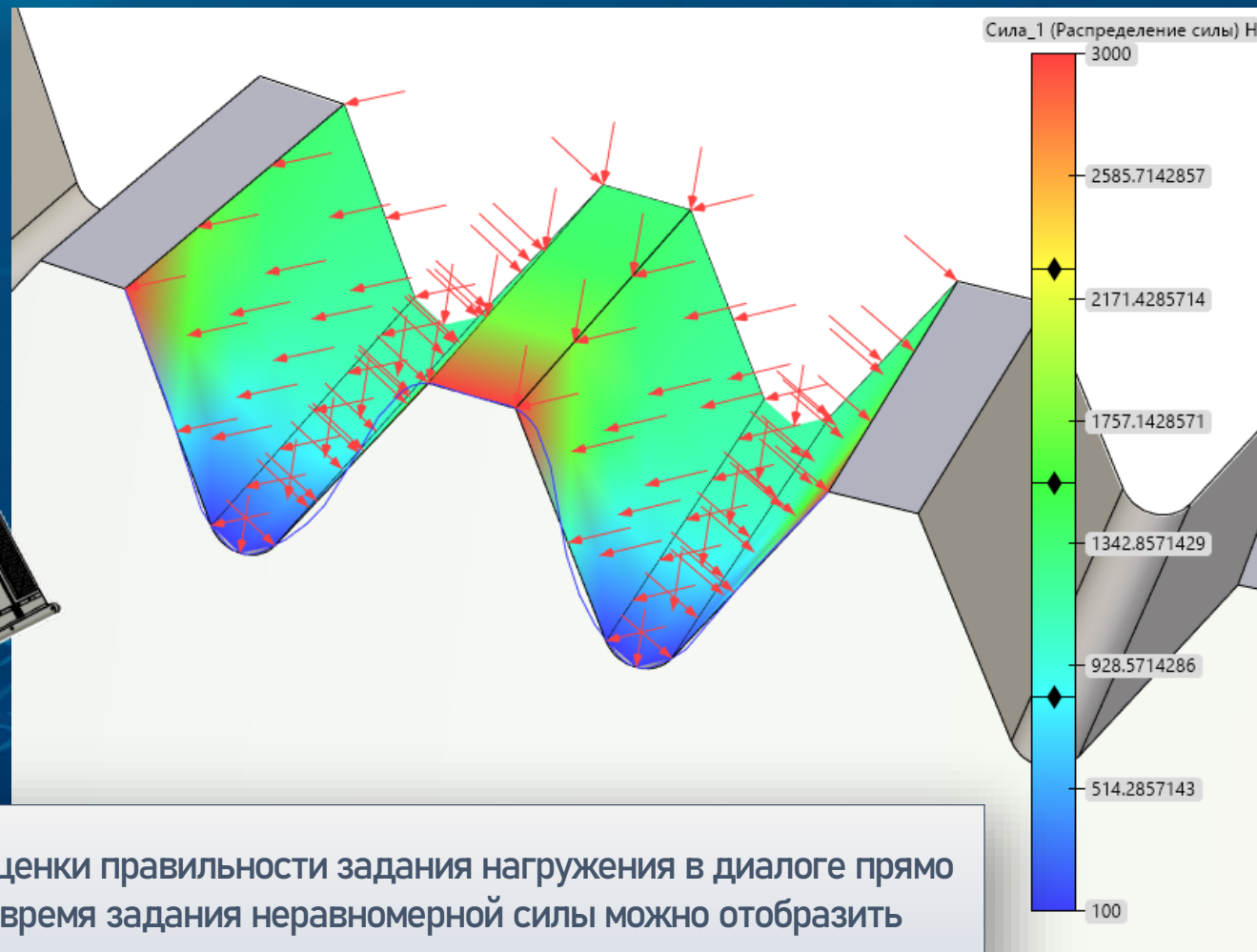
Равномерная сила задаётся как суммарное усилие, распределяемое по выбранной геометрии



Распределённая сила задаётся как интенсивность нагрузки вдоль ребра, то есть в размерности: «сила на единицу длины»



- Метод по набору узлов. Неравномерная нагрузка прикладывается к построенной равномерной сетке из узлов на выбранной грани.
- Между узлов. Указывается четыре узла и величины действия нагрузки в них. Промежуточные значения вычисляются с помощью линейной интерполяции.
- Вдоль узлов кривой. Указываются значения нагрузки по узлам вдоль кривой.



Для оценки правильности задания нагружения в диалоге прямо во время задания неравномерной силы можно отобразить фактическое распределение нагрузки и увидеть результат интерполяции на узлы КЭ сетки.

T-FLEX Анализ | Препроцессор

Граничные условия и нагрузки. Команда «Давление»

Неравномерное давление

Тип

Основные параметры

Метод: По набору узлов

Элемент: Выбрать элемент

Параметры нагружения

Параметры сетки: 2 x 2

Метод перемещения: Локальная СК

Способ задания: По направлению

Данные о нагрузке: Скалярные

№	Координаты	Давление
1	(0,0,0)	0
2	(0,0,0)	1000
3	(0,0,0)	0
4	(0,0,0)	1000

Направление: Выбрать элемент

Масштабный коэффициент: 1

Интерполяция: Метод обратных взвешенных рас

Результаты распределения

Опции

Визуальный масштаб: 1

Использовать манипуляторы

Динамический просмотр

Параметры нагружения

Способ задания: По системе координат

ЛСК: Выбрать элемент

Параметры сетки: 2 x 2

Давление по X Давление по Y Давление по Z

Задать распределение давления по оси X

Данные о нагрузке: Векторные

№	Координаты	PX	PY	PZ
1	(0,0,0)	0	0	0
2	(0,0,0)	1000	0	0
3	(0,0,0)	0	0	0
4	(0,0,0)	1000	0	0

Тип

Основные параметры

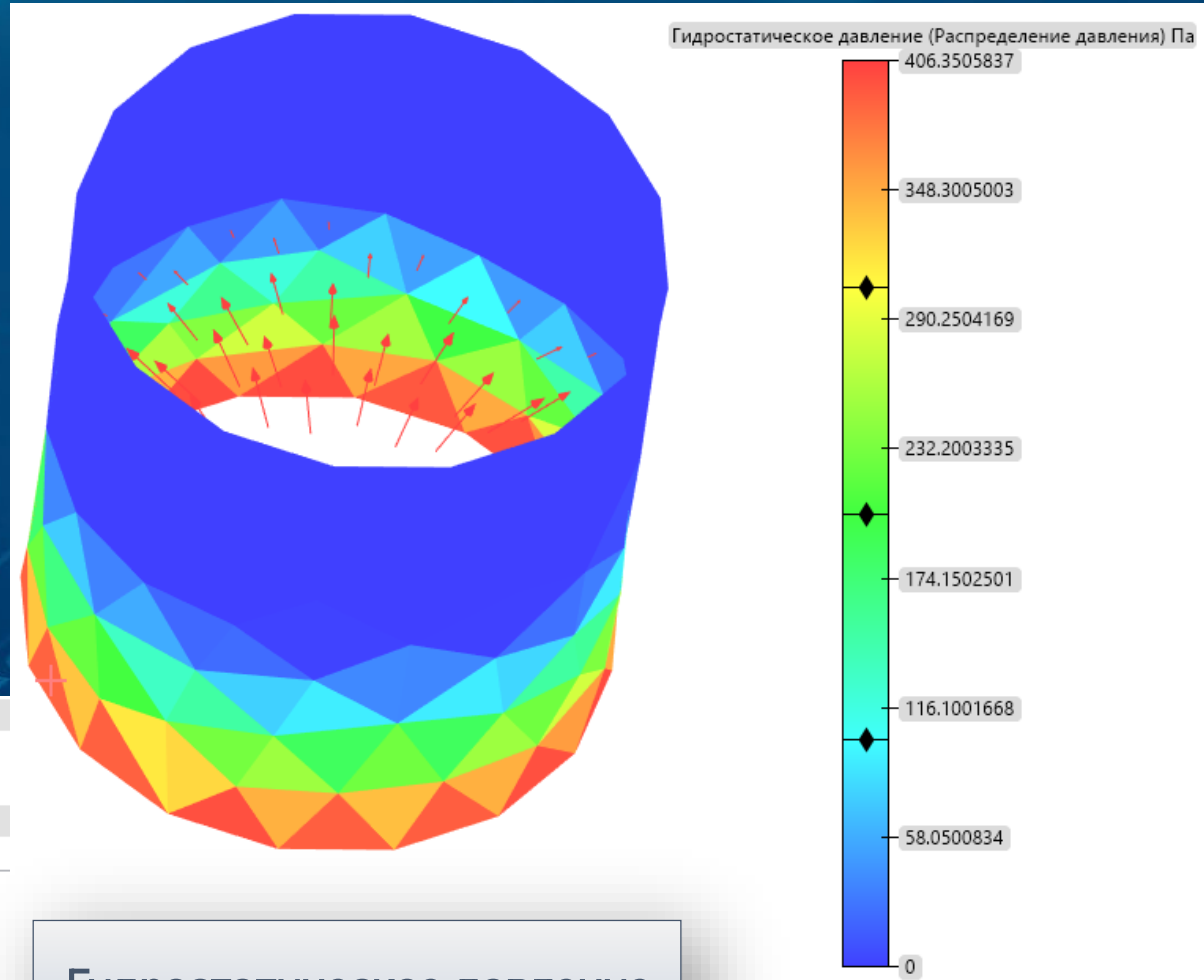
Элементы:

Грань_5 : Параллелепипед_1

Плотность: 0 кг/м³

Расположение свободной поверхности: Выбрать элемент

Результаты распределения

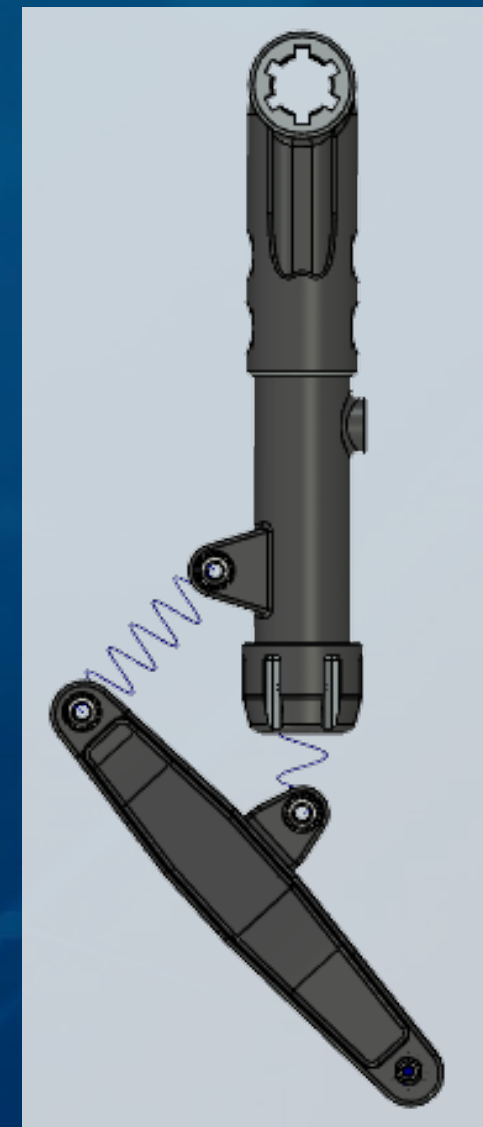
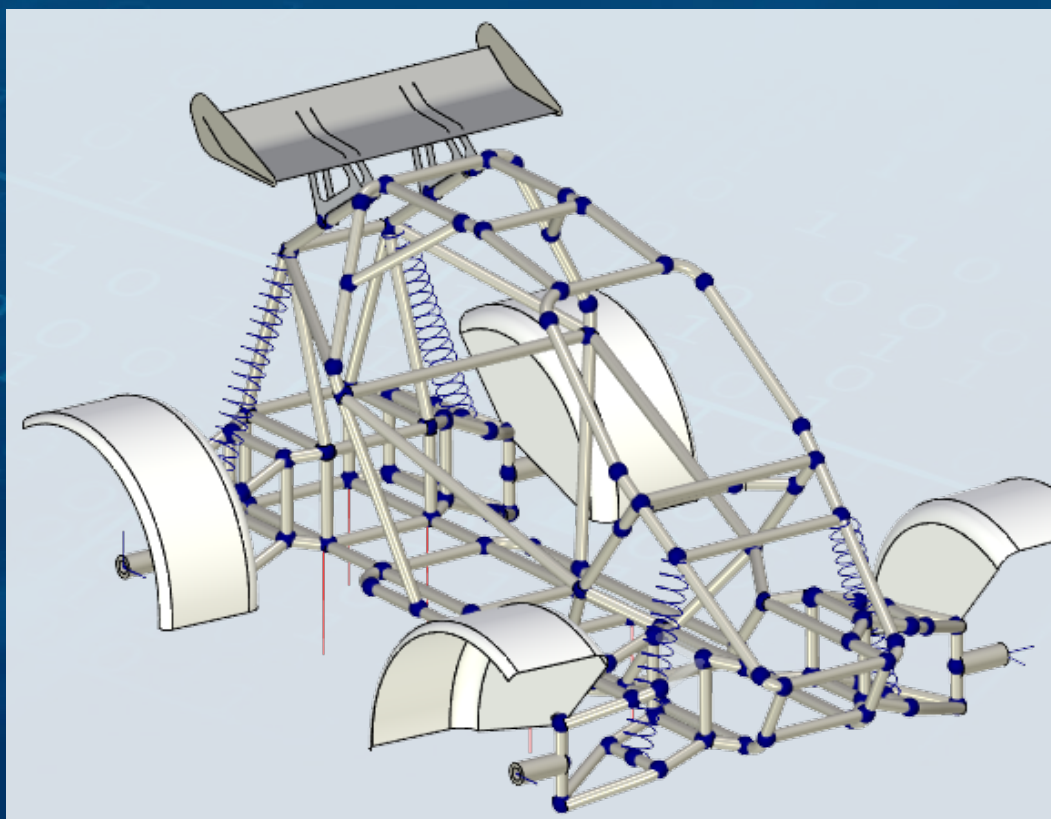
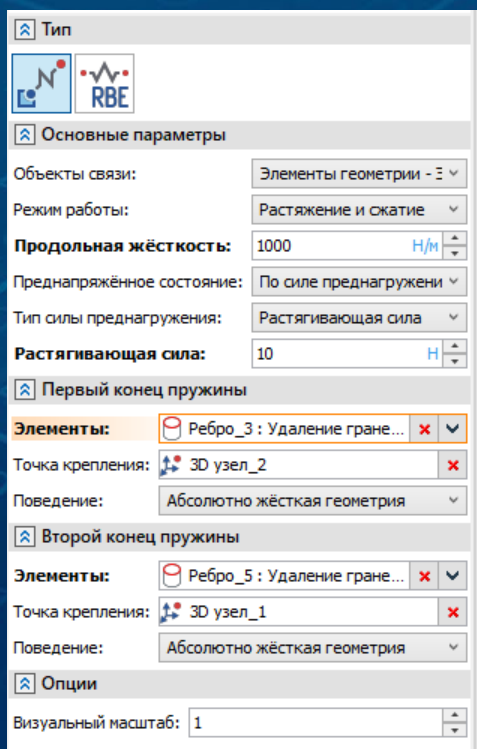


Гидростатическое давление

Пружина позволяет задать упругое взаимодействие между элементами расчётной модели.

Применение:

- моделирование податливых опор;
- учёт жесткости соединений;
- имитация работы амортизаторов и демпфирующих элементов.

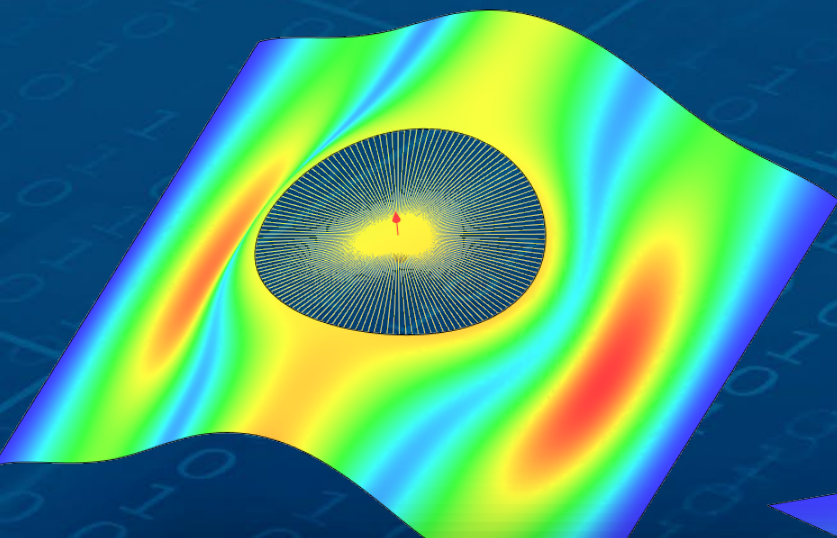


Связи. Команда «Многоточечное соединение»

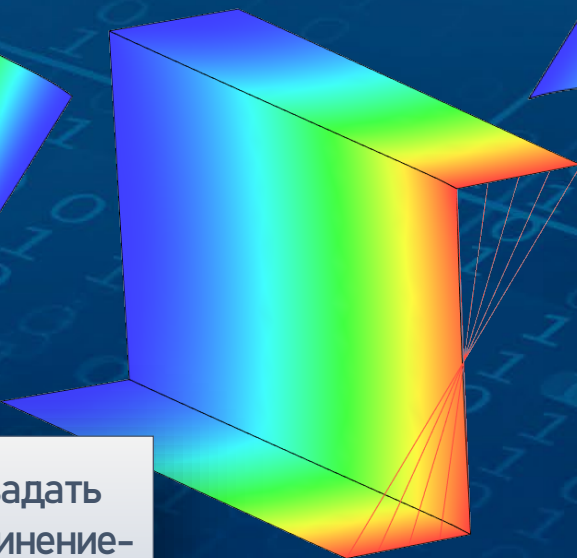
Многоточечное соединение (RBE - Rigid Body Elements) позволяет кинематически связать управляющую точку с группой узлов расчётной модели и передавать через неё нагрузки.

Применение:

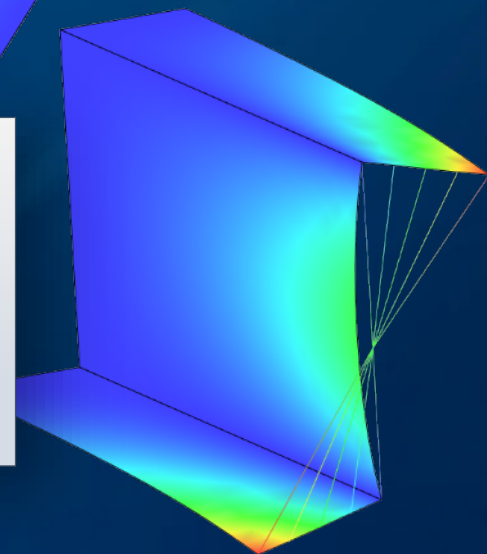
- распределение нагрузок по группе узлов;
- задание удалённых нагрузок и закреплений;
- передача усилий без детального моделирования крепежа.



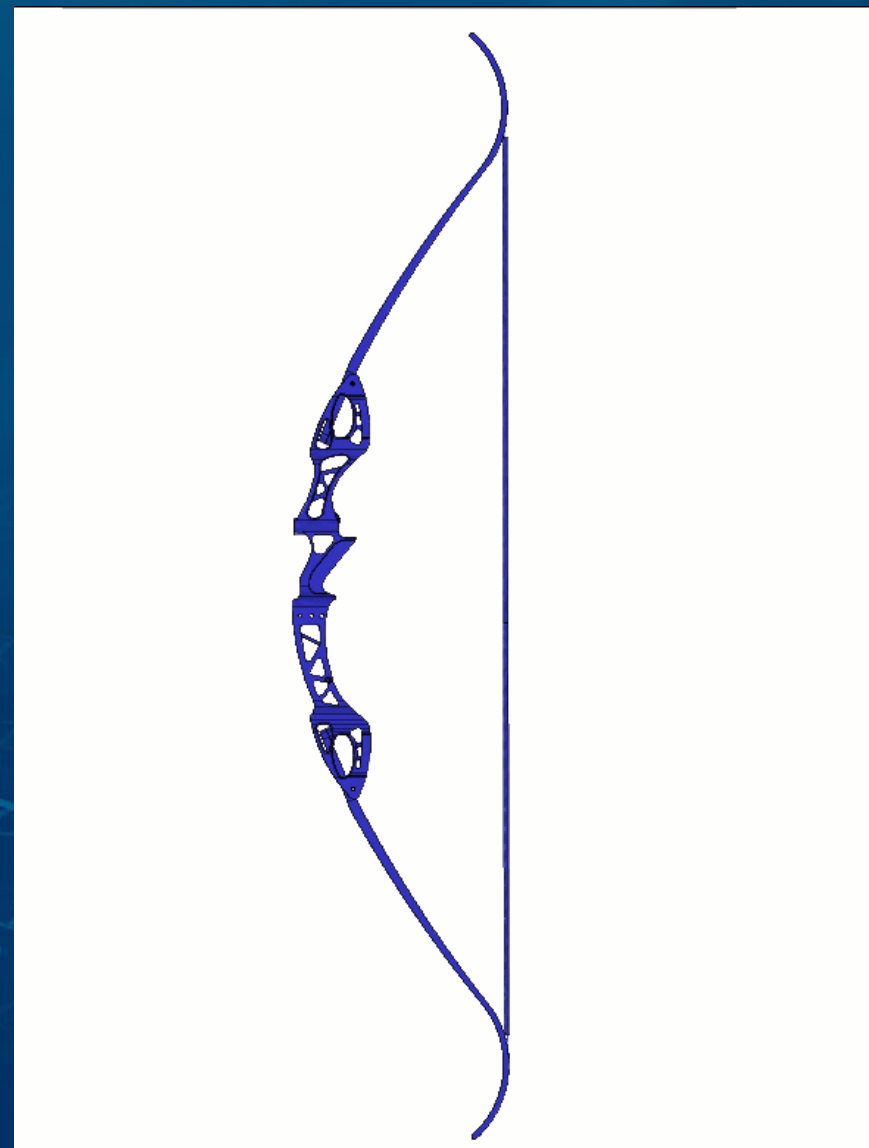
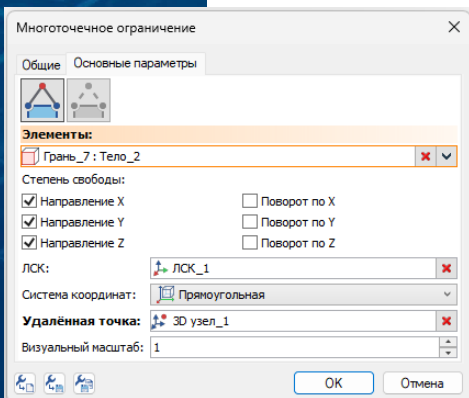
RBE-2 используется, когда нужно задать более жёсткое кинематическое соединение – плоские сечения остаются плоскими



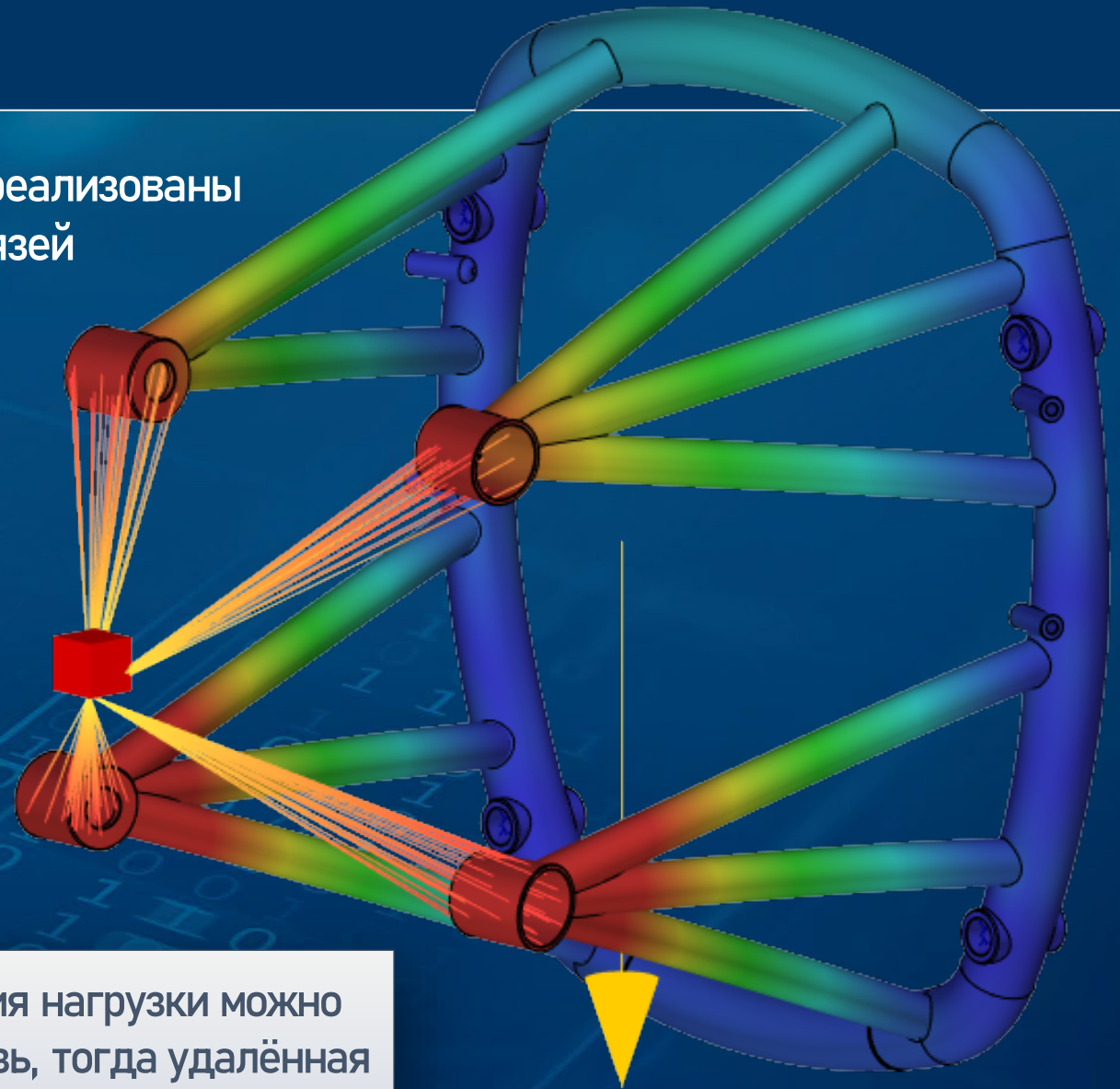
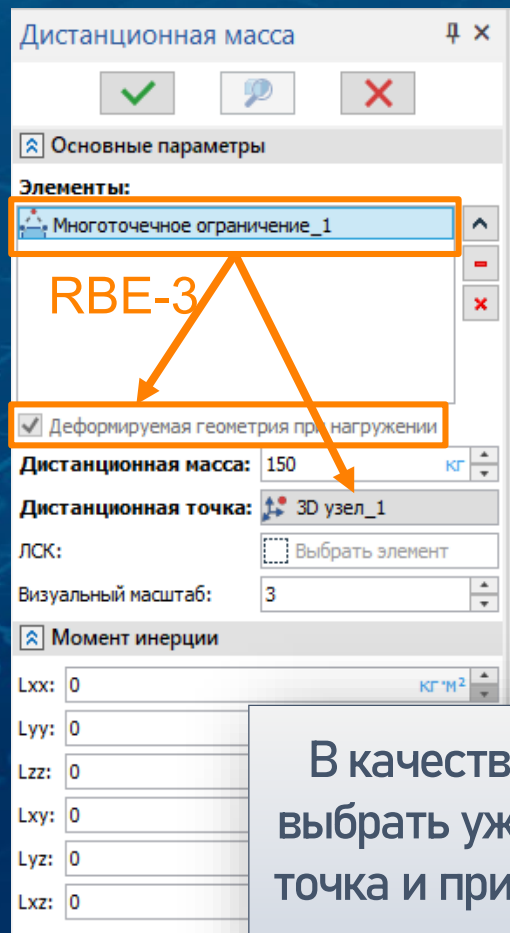
RBE-3 используется когда важно распределить нагрузку по группе узлов без лишнего переужесточения конструкции – допускает коробление сечения и трёхмерный характер деформации



Моделирование «шарнирного» соединения твердотельных элементов посредством связи RBE-2

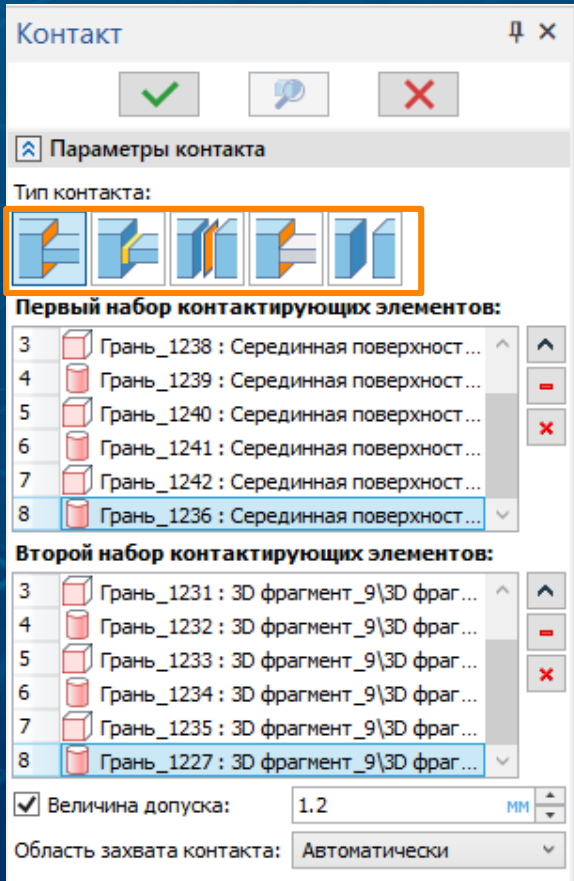


Дистанционные нагрузки (масса, сила и момент) реализованы как частный упрощённый случай RBE-связей



В качестве элемента приложения нагрузки можно выбрать уже созданную RBE-связь, тогда удалённая точка и признак жёсткой или деформируемой группы элементов будут определены автоматически

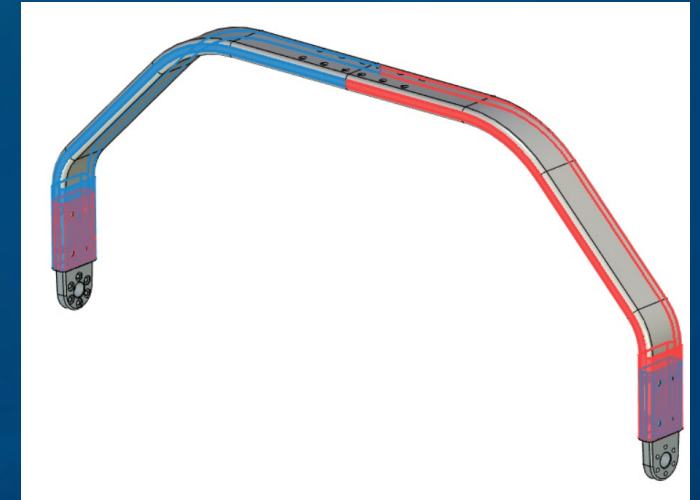
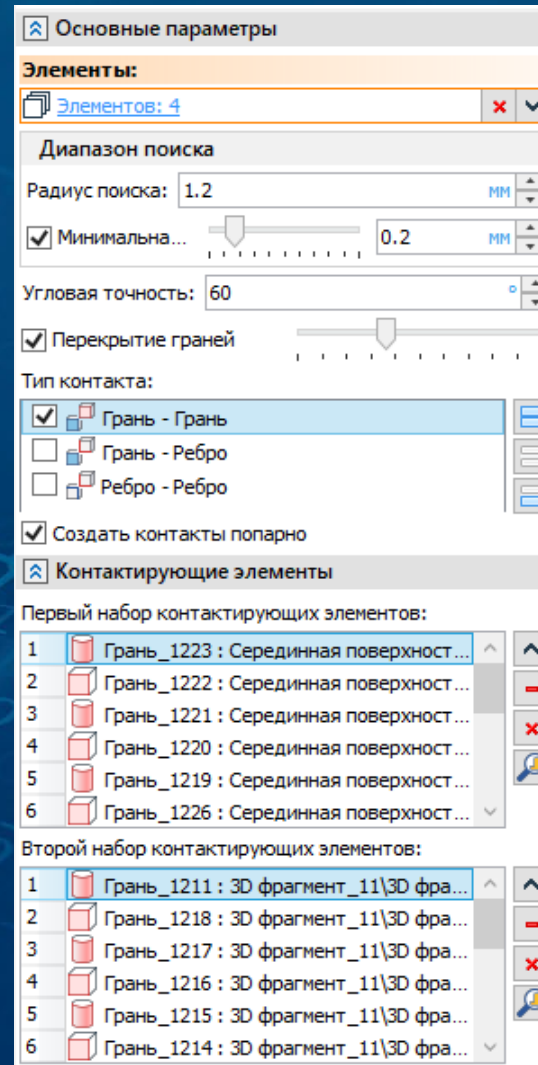
Контакты (создание вручную)



Типы соединений:

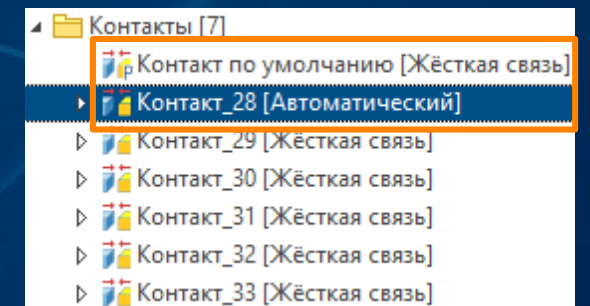
- Жёсткая связь
- Касание
- Зазор
- Жёсткая стенка
- Нет контакта

Поиск контактов



Типы задания контактов:

- По умолчанию
- Вручную
- Автоматически

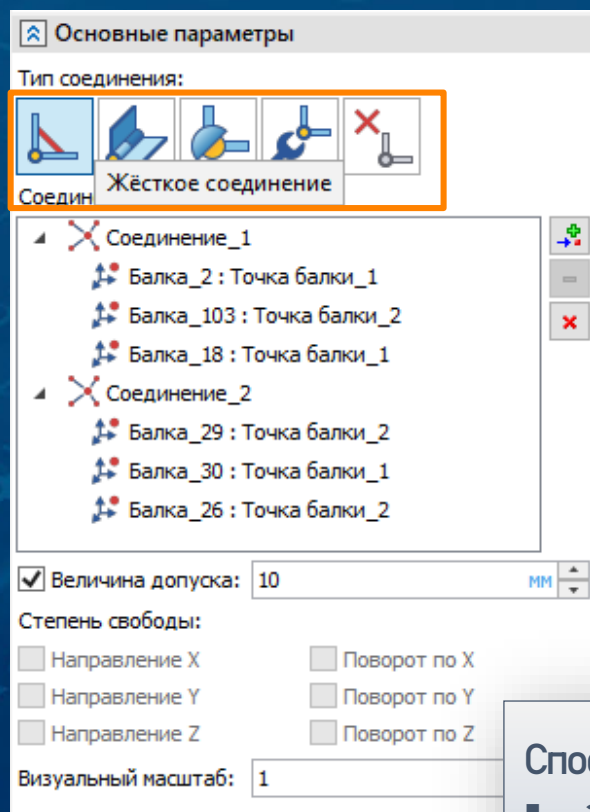


Контакты. Конструкционное соединение

Команда «Конструкционные соединения» позволяет вручную соединять 1D- и 2D-элементы расчётной модели

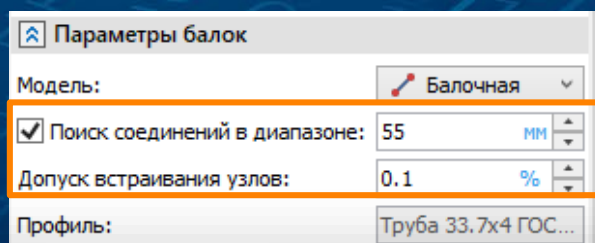
Применение:

- соединение балок с оболочками;
- расчёт рамных и каркасных конструкций.



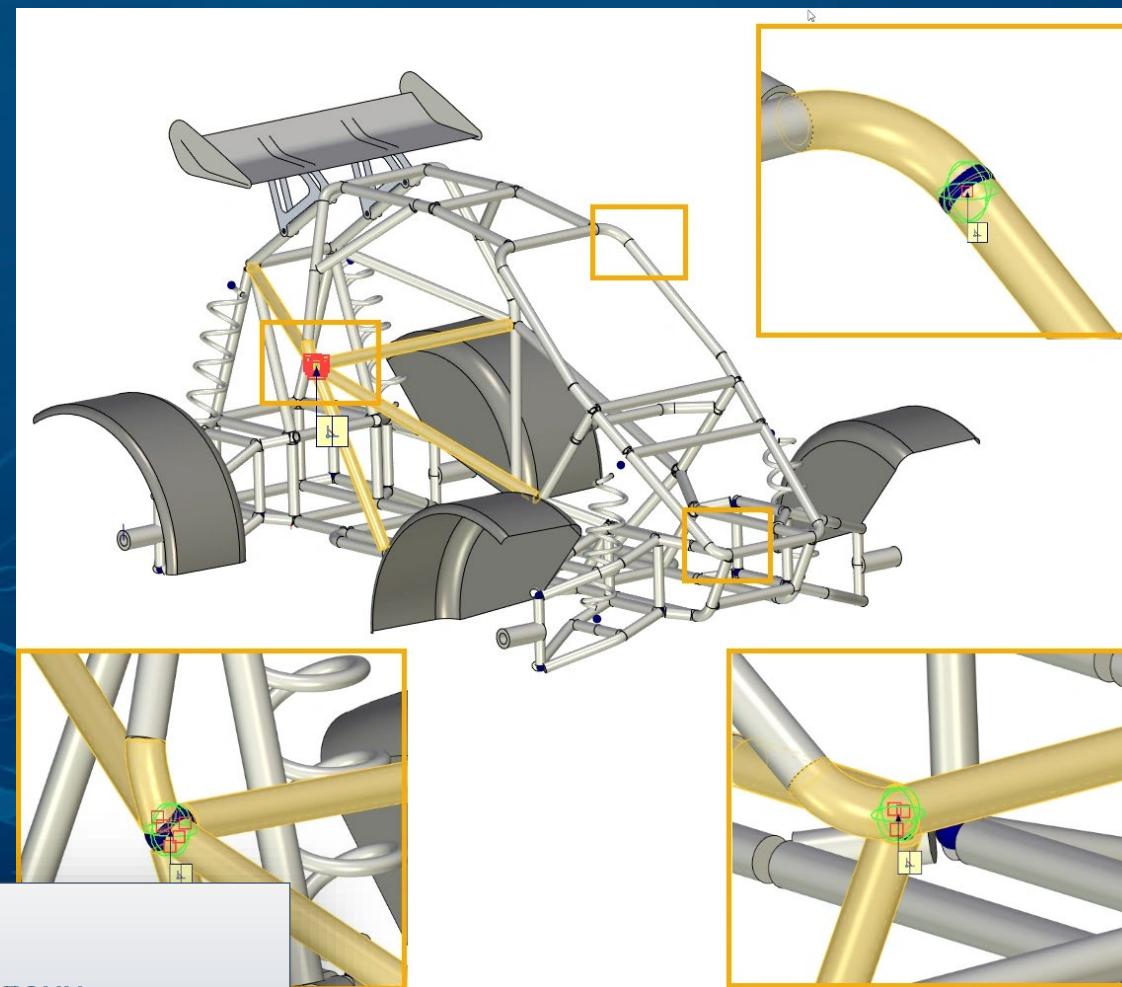
Типы соединений:

- Жёсткое соединение
- Цилиндрический шарнир
- Сферический шарнир
- Настраиваемое соединение
- Нет соединения



Способы соединения 1D и 2D-элементов:

- автоматический – при создании новой задачи
- ручной – через команду «Конструкционное соединение»



Создание/подготовка
расчетной геометрии

Препроцессор

Процессор (Решатель)

Постпроцессор

Перечень основных доработок решателя в T-FLEX Анализ 18

- Исправление, доработка и оптимизация имеющегося функционала
- Расчёт балочных конструкций
- Расчёт слоистых композитов
- Расчёт монослойных композитов
- Расчёт с гибридными сетками (1D/2D/3D)
- Расчёт многоточечных соединений (RBE-2, RBE-3)
- Развитие контактных алгоритмов
- Расчёт соединений балок
- Расчёт нелинейного поведения материалов:
 - гиперупругое;
 - пластическое.
- Запуск решателя в фоновом процессе
- Поддержка создания расчетных случаев
- Новые типы результатов

Развитие решателей собственной разработки – это длительный непрерывный процесс, связанный с улучшением и верификацией имеющихся алгоритмов, а также добавлением новых математических моделей

Создание/подготовка
расчетной геометрии

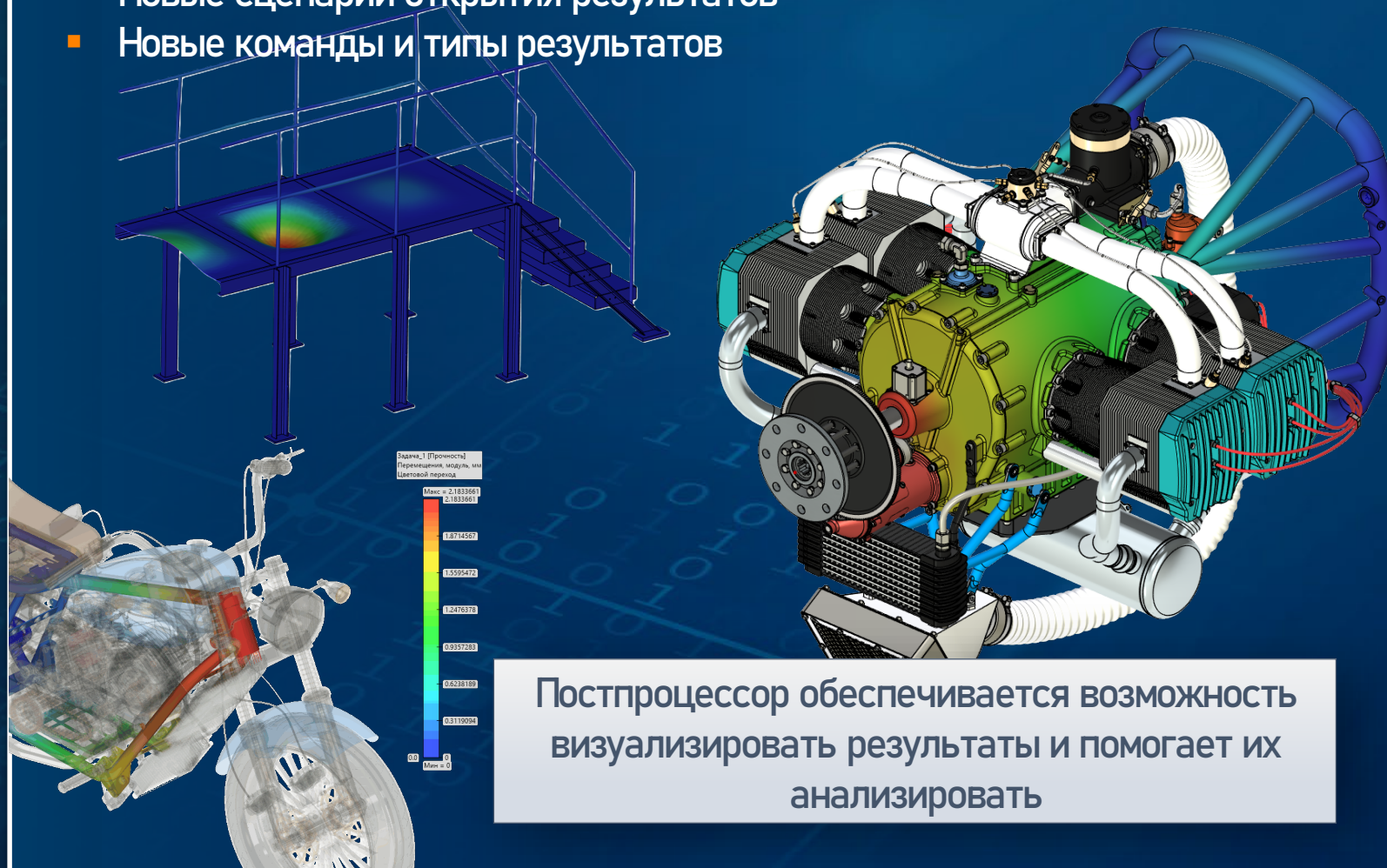
Препроцессор

Процессор (Решатель)

Постпроцессор

Постпроцессор T-FLEX Анализ 18 полностью переработан:

- Модернизирована лента и команды постпроцессора
- Новый диалог «Параметры результата»
- Новые сценарии открытия результатов
- Новые команды и типы результатов



Постпроцессор обеспечивает возможность
визуализировать результаты и помогает их
анализировать

Новые возможности препроцессора T-FLEX Анализ 18

Новый диалог «Параметры результатов»:

- Отображение результатов для отдельных элементов конструкции
- Создание дополнительных результатов
- Специальные режимы отображения эпюр
- Настройка отображения композитных оболочек
- Настройка положения результата

Дерево/открытие в новом окне:

- Новая логика компоновки результатов
- Открытие результатов в основной сцене
- Объединение результатов в новом окне

Новые команды:

- Локальный результат
- Выбор областей сетки
- Сравнение результатов
- Объединение шкал
- Тело по сетке

Новые типы результатов:

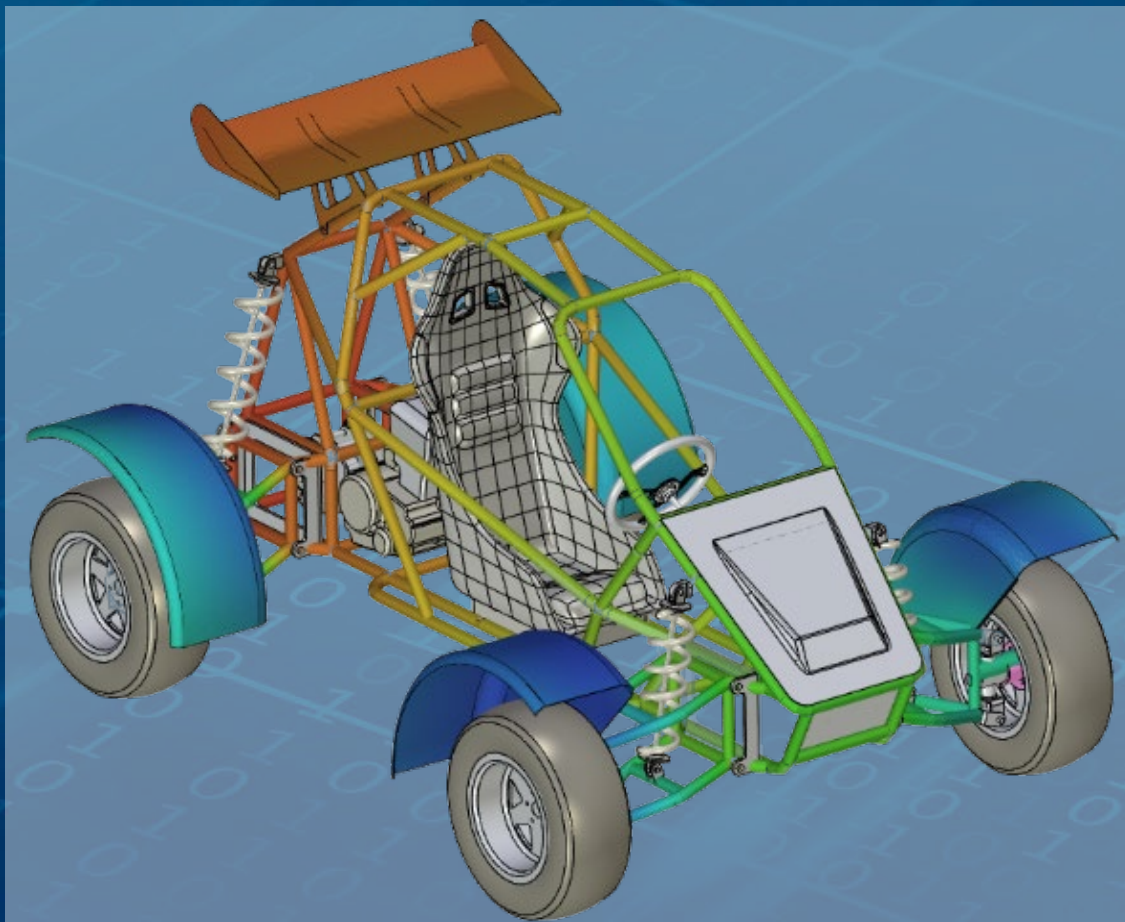
- Критерии запаса прочности композитных оболочек (Цая-Хилла, Цая-Ву, максимальных напряжений)
- Коэффициент запаса «Минимальный» - минимум по всем слоям
- Нормальное и касательное напряжения Коши
- Интенсивность упругих и пластических деформаций
- Триаксиальность
- Эффективные массы
- Поток напряжений для пластин

Сервисы постпроцессора:

- Единая сцена для геометрической и расчётной модели
- Универсальный инструмент «Шкала»
- Режимы отображения результатов для балок
- Режимы отображения результатов для оболочек
- Развитие команды «Измеритель»
- Унификация команды «Анимация процессов»
- Переработка команды «Отчет» (html, pdf)
- Интеграция с внешним ПО CAE
- Внешнее хранение результатов T-FLEX Анализ
- Отображение результатов расчёта из внешних ПО CAE
- И другие...

Открытие эпюры результатов в основной сцене

На единую сцену выведены геометрическая и расчётная модель



Погашено окружение, не участвующее в расчёте, и отображена только расчётная геометрия



Открытие результатов в новом окне. Команда «Объединение шкал»

The image displays a finite element analysis (FEA) post-processor interface with four stress analysis results for a mechanical part. Each result is accompanied by a color scale legend and a callout box indicating maximum and minimum values.

Leftmost result: Max 15.25 мм, Min 0.5965 мм

Second result: Max 4.811 мм, Min -0.219 мм

Third result: Max 15.2486591 мм, Min 0.59651 мм

Rightmost result: Max 4.8105936 мм, Min -0.219 мм

The **«Объединение шкал»** (Merge Scales) dialog box is open, showing the following table:

Имя результата	Объединя:	Главная	Имя объединённой шкалы
Задача_1 [Прочность] Перемещения, Z (рычаг левый перед), мм	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Задача_1 [Прочность] Перемещения, X (рычаг левый зад), мм	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Additional settings in the dialog box: Единицы измерений: мм; Объединить диапазоны шкал: . The **«Ручной пересчёт шкалы»** (Manual Scale Recalculation) option is highlighted in the left sidebar.

Параметры результата. Отображение композитных оболочек

Основные параметры

Отобразить результат по элементам: Выбранные

Выбрать элементы:

Элемент расчётной модели		
Рама [212]	<input type="checkbox"/>	
Крыло_1 [1]	<input type="checkbox"/>	
Спойлер [15]	<input checked="" type="checkbox"/>	
Крыло_2 [1]	<input type="checkbox"/>	
Крыло_3 [1]	<input type="checkbox"/>	
Крыло_4 [1]	<input type="checkbox"/>	

Результат: Новый результат/верх/6 слой

Единицы и формат записи

Единицы измерения: Н/м²

Тип: Линейная

Количество знаков: 3

Научный

Визуальные свойства эпюры

Режим эпюры: Изолинии

Количество уровней: 12

Параметры прорисовки: Сетка

Отображение оболочек

Режим отображения: Послойная эпюра

Компонента: Верх

Номер слоя: 6

Положение результата

Положение камеры: Камера_1

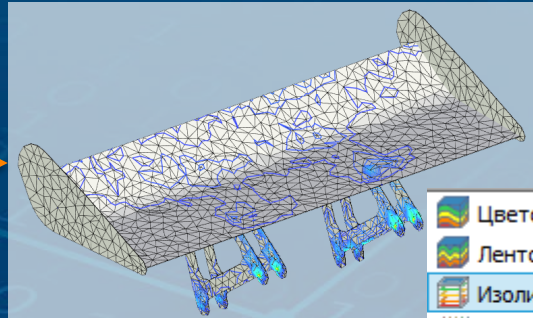
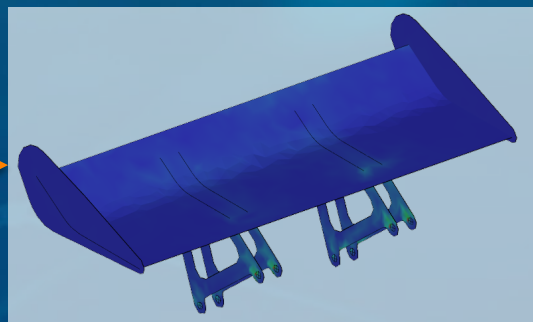
Группа фильтрации: Группа фильтрации_2

Опции

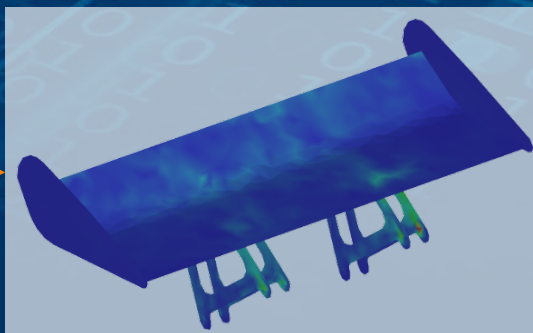
Динамический просмотр

Открыть результат в новом окне

Создать метку для эпюры доп. результата



- Цветовой переход
- Ленточный
- Изолинии**
- Изоповерхности
- Стрелки
- Сферы
- Кубы



Напряжения [4]

- Касательное напряжение
- Напряжения эквивалентные
- Новый результат/верх/6 слой**
- Нормальное напряжение

Новый результат/верх/6 слой
Тип: Напряжения эквивалентные
Слой: 6

Результаты с компонентами:

Основные параметры

Отобразить результат по элементам: Все

Результат: Перемещения, модуль

Компонента вектора: модуль

Единицы и формат записи

Единицы измерения: мм

Тип: Линейная

Количество знаков: 7

Научный

Отображение оболочек

Режим отображения: Оболочка в целом

Компонента: Верх

Положение резу

Положение камеры: Мембрана

Группа фильтрации: Изгиб

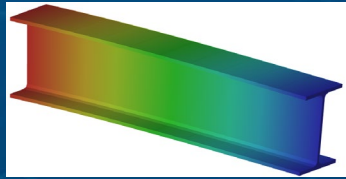
Переход в 3D

Отображение балочных результатов

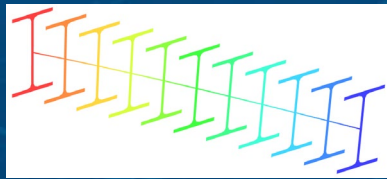
Добавлена поддержка балочных объектов:

- поддержаны разные режимы отображения балок в пре- и постпроцессоре;
- добавлены эпюры силовых факторов для анализа работы балочной модели.

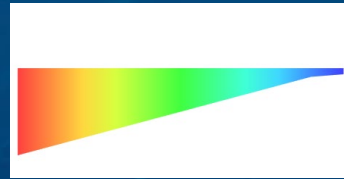
Отображение балок:



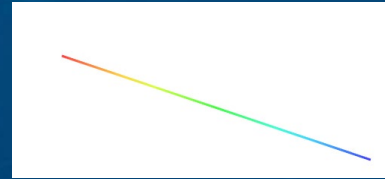
Объемное



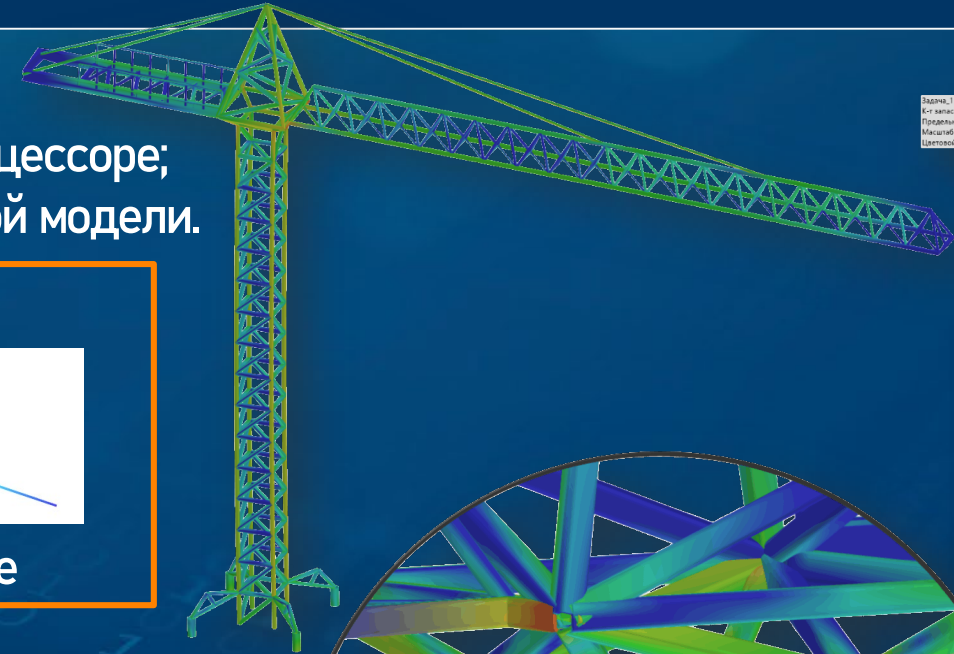
Упрощенное



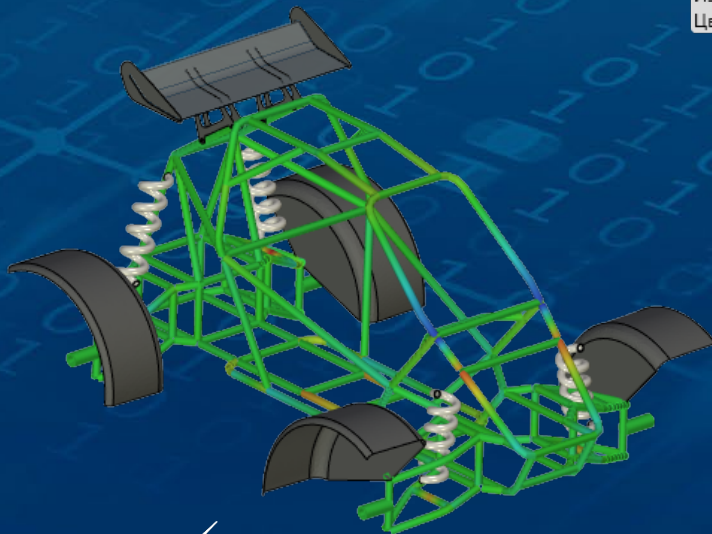
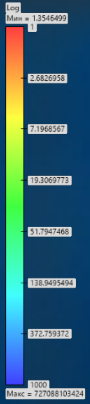
Плоское



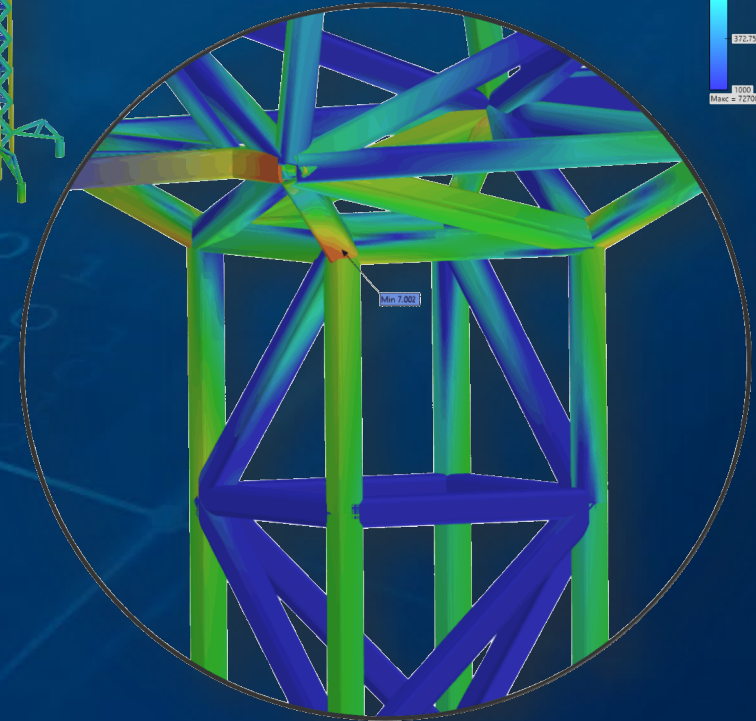
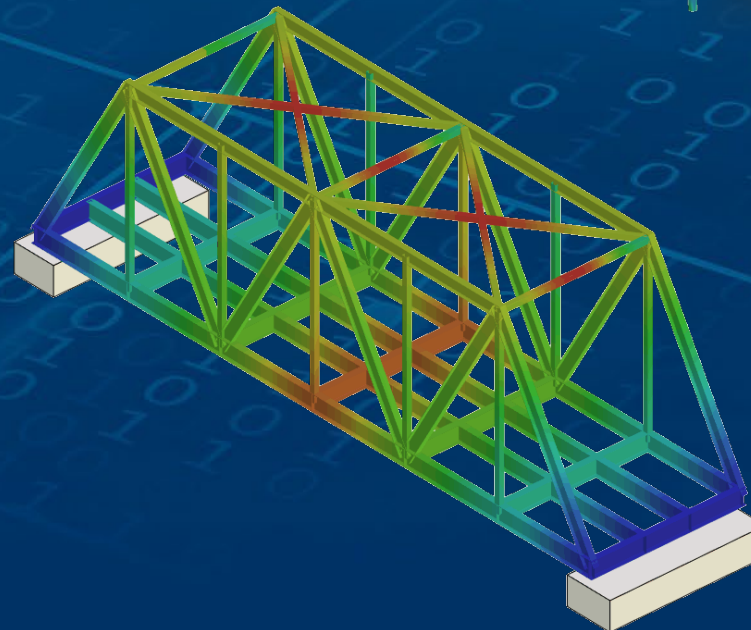
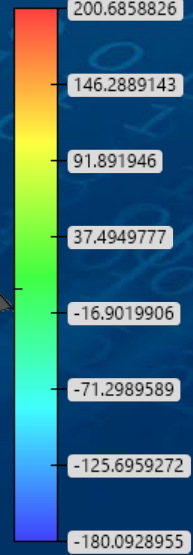
Проволочное



Задача_1 [Прочность]
См. анализ по эквивалентному напряжению
Предельно допустимое напряжение: 220 МПа
Масштаб перепадов: 10.67
Цветовой переход:

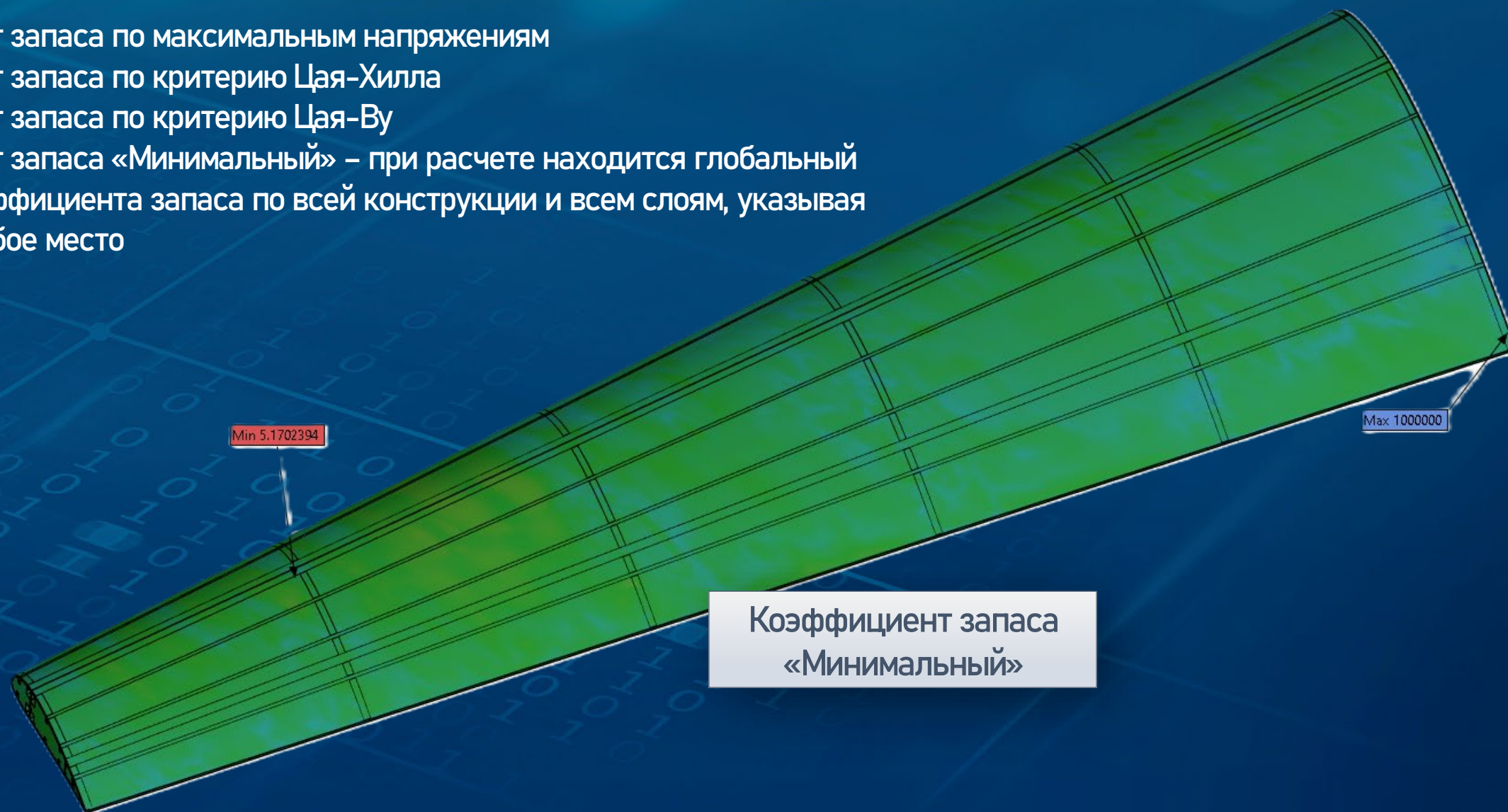


Задача_1 [Прочность]
Изгибный момент Mx, Н-м
Цветовой переход
200.6858826



Новые типы результатов. Коэффициенты запаса для композиционных материалов

- Коэффициент запаса по максимальным напряжениям
- Коэффициент запаса по критерию Цзя-Хилла
- Коэффициент запаса по критерию Цзя-Ву
- Коэффициент запаса «Минимальный» – при расчете находится глобальный минимум коэффициента запаса по всей конструкции и всем слоям, указывая на самое слабое место



T-FLEX Анализ | Постпроцессор

Новые типы результатов. Эффективные массы

Параметры

Эффективные массы

Компоненты эффективных масс

Форма	Частота, Гц	X, %	Y, %	Z, %	RX, %	RY, %	RZ, %
1	13.085783	6.334441	0.000004	0	0.000002	0.000005	18.860323
2	13.107599	0.000237	0	0	0	0.000001	0.000656
3	14.501966	0.000003	0.000001	0	0	6.026428	0.000096
4	14.519749	0	0	0	0	0.014842	0
5	17.052927	0.117416	0	0.000001	0	0.000004	0.013235
6	17.05829	0.007274	0	0.000001	0	0	0.000817
7	21.784517	0	0	0.000002	0	0.318255	0.000002
8	21.794056	0	0.000001	0.000012	0	0.022474	0
9	28.083231	0.20959	0.000003	0.000003	0.000003	0.000013	0.005068
10	28.100061	0.004434	0.000003	0.000199	0.000039	0	0.000067
11	30.783129	0.000004	0	7.641912	2.840589	0.000189	0.000002
12	30.805014	0.000003	0	0.001968	0.000707	0.637791	0.000001
13	35.231567	0.000001	0.000001	0.000001	0.000009	0.715276	0.000002
14	35.258511	0.000001	0.000003	0.000135	0.000107	0.006196	0
15	44.199375	0.69945	0	0	0.000001	0.000022	0.292035
16	44.251312	0.003166	0.000006	0.000008	0.00002	0.000001	0.001324
17	53.73439	0.000006	0.000003	0.000001	0.000002	2.570141	0
18	53.91346	0.000002	0.000003	0.000001	0.000001	0.004867	0.000001
19	55.416035	2.836708	0.00006	0.00002	0.000039	0.000497	1.792059
20	55.644787	0.001751	0	0	0.000005	0.001185	0
21	59.190887	0.000557	0.000003	0	0.000005	0.157649	0.000365
22	59.209759	0.000018	0.000001	0.000011	0.000024	0.000767	0.000011
23	65.304504	0.000447	0.000002	0.363551	0.057173	0.000698	0.000334
24	65.313957	0.000105	0.000001	0.004128	0.000719	0.074704	0.000052
25	69.305016	0.531708	0.019679	0.000013	0.000005	0.00076	0.618158
26	69.311348	0.065957	0.085653	0.000104	0.000023	0.000147	0.090133
27	69.894623	50.616135	0.002261	0.000768	0.002995	0.01517	34.837074

Система координат: ГСК

График: Эффективная масса по компонентам

Степень свободы:

- Направление X
- Направление Y
- Направление Z
- Поворот по X
- Поворот по Y
- Поворот по Z

Ось абсцисс: Форма колебаний

Отобразить легенду

3D Модель | Элементы модели | Меню документов | Параметры | Задачи

Диагностика

Команда

Сообщение	Элемент
Нет элементов	

Диаграмма эффективных масс

Форма колебаний

Диаграмма эффективных масс

Форма колебаний

Задача_1_0 [Собственные частоты]
 Перемещения модуль
 Форма 27 - резонансная частота: 69.895 Гц
 Масштаб перемещений: 2.09
 Цветовой переход

T-FLEX PLM

ТОП СИСТЕМЫ

T-FLEX Анализ | Постпроцессор

Выбор областей сетки. Локальный результат

Выбор областей сетки



- Группы фильтрации
 - Группа фильтрации_1
 - Сечение плоскостью [2]
 - Сечение плоскостью
 - Сечение плоскостью

Тип

Основные параметры

Режим отображения:

Режим выбора элементов:

Выбор областей сетки:

- Группа фильтрации_1
- Сечение плоскостью
- Сечение плоскостью

Опции

- Динамический просмотр

Метка № 2
Величина 3.862755 МПа
Положение { -0.79079302, -0.04500002, -0.43392702 }

Метка № 1
Величина 2.769819 МПа

Основные параметры

№	Имя	Значение
1	Напряжения эквивалентные, Н...	Метка № 1 Величина 341... Слой 6 Верх Узел 353 Положение { -...

Параметры метки

Цвет фона: 14=Жёлтый

Цвет текста: 0

Прозрачность: [Slider]

Цвет выноски: 0

Окончание: Стрелка

Опции

- Режим выбора по узлам сетки
- Отобразить единицы измерения
- Отобразить номер метки
- Отобразить положение
- Отобразить результат для оболочек
- Отобразить слой

Метка № 2
Величина 34136916.000000 Н/м²
Слой 6 Верх
Узел 353
Положение { -0.08206002, -0.15259102, 0.00000002 }

Локальный результат

T-FLEX Анализ | Постпроцессор

Сравнение результатов

Основные параметры

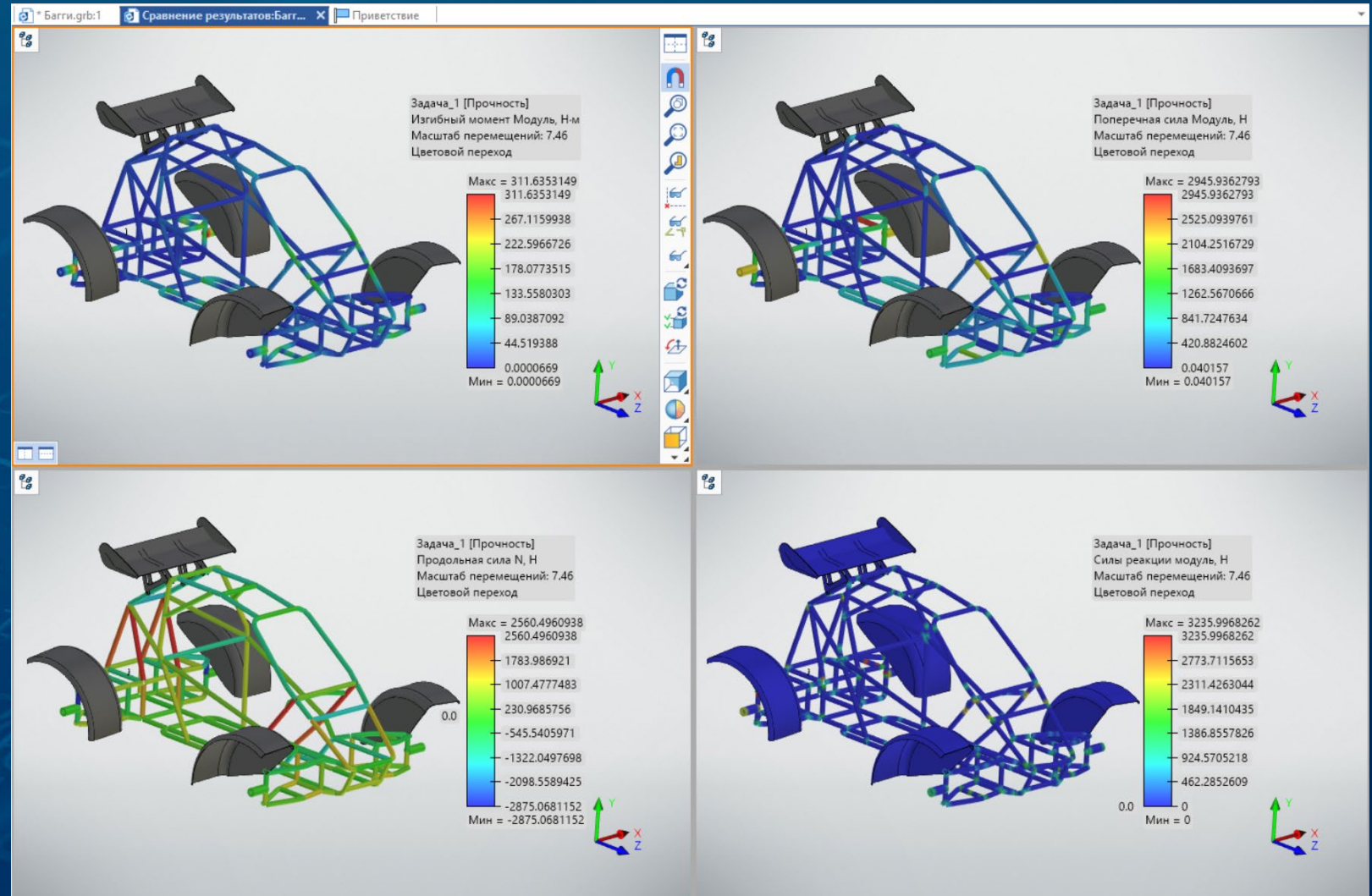
Сравнить результаты: В разных задачах

Задача_1 [Прочность]

- Кoeffициент запаса по напря...
- Напряжения
- Перемещения
- Реакции
 - Силы реакции
 - Моменты реакции
 - Продольная сила N
 - Крутящий момент MZ
 - Изгибный момент Модуль
 - Изгибный момент MX
 - Изгибный момент MY
 - Поперечная сила Модуль
 - Поперечная сила QX
 - Поперечная сила QY

Общие настройки шка... Силы реакции

Синхронизировать виды



Переработка команды отчет:

- Новый диалог
- Полная информация о модели
- Полная информация о материалах
- Сводная таблица коэффициентов запаса
- Возможность сохранять отчет в .html и .pdf

Основные параметры

Место хранения: Багги - Задача_1.html=C:\Users\Kuzmicheva\...

Общая информация

Название: Задача_1
 Автор: Кузьмичева Анастасия
 Компания: Топ Системы

Разделы отчёта: **Список результатов**

Название раздела

- Информация о задаче
- Информация о модели
- Материалы
- Информация о сетке
- Граничные условия и нагружения
- Датчики
- Результаты
- Графики
- Информация о расчёте
- Сводная таблица к-тов запаса
- Структура изделия

Комментарий для выбранного раздела:

Дополнительные параметры

Положение камеры: Вид по умолчанию

Параметры изображения

Формат: PNG

Размер изображения:
 Ширина: [1024] Высота: [512]

Цвет фона: Прозрачный

Показывать целостный результат
 Показать метки граничных условий и нагрузок

Опции

Открыть отчет после создания

Разделы отчёта: **Список результатов**

Название результата	3D HTML	3D PDF
<input checked="" type="checkbox"/> Перемещения	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Нормальные напряжения	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Касательные напряжения	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Напряжения эквивалентные	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Силы реакции	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Моменты реакции	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Продольная сила N	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Прочность

Baggy_solver.grb

Задача_1

- Информация о задаче
- Информация о модели
- Материалы
- Информация о сетке
- Граничные условия и нагружения
- Результаты
- Информация о расчёте
- Структура изделия

Информация о задаче

Название задачи	Задача_1
Автор	Кузьмичева А.В.
Компания	Топ Системы
Дата	18.05.2026 1:28:16
Имя файла	C:\project\Flex\Dev\Tests\GUI\Program\Tests\2_CAEUsersScripts\Recalculate\Baggy_solver.sikul\Baggy_solver.gr

Информация о модели

Элементы	Тип элемента расчётной модели	Габариты расчётной модели	Свойства
Балка_144 : Труба 33.7x4 ГОСТ 8732	Балка		
Балка_109 : Труба 33.7x4 ГОСТ 8732	Балка		
Балка_159 : Труба 33.7x4 ГОСТ 8732	Балка		
Балка_265 : Труба 33.7x4 ГОСТ 8732	Балка		
Балка 38 : Труба 33.7x4			

Информация о сетке

Элементы	Тип КЭ	Статистика
Рама [212]	1D элемент Балка	Элементов: 1326 Узлов: 1401
Крыло_1 [1]	Треугольник	Элементов: 3095 Узлов: 1624
Спойлер [15]	Треугольник	Элементов: 2235 Узлов: 1678
Крыло_2 [1]	Треугольник	Элементов: 3203 Узлов: 1677
Крыло_3 [1]	Треугольник	Элементов: 3201 Узлов: 1677
Крыло_4 [1]	Треугольник	Элементов: 3203 Узлов: 1678
Общая информация: Baggy_solver.grb - Задача_1	Гибридная КЭ модель	Элементов: 16263 Узлов: 8058

Схема укладки

Номер слоя	Графическое обозначение	Материал	Угол укладки	Толщина
6		Углепластик [монослой]	-45°	0.2 мм
5		Пенополивинилхлорид (ППВХ)	0°	2.6 мм
4		Углепластик [монослой]	45°	0.2 мм
3		Углепластик [монослой]	45°	0.2 мм
2		Пенополивинилхлорид (ППВХ)	0°	2.6 мм
1		Углепластик [монослой]	-45°	0.2 мм

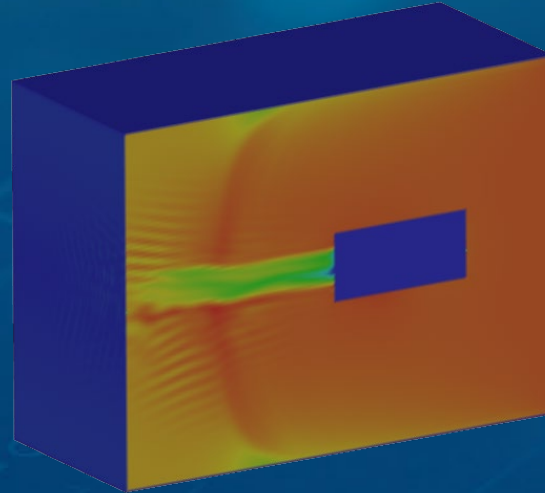
Результаты

График

EX - эффективный модуль упругости (вдоль оси X ЛСК композита)
 EY - эффективный модуль упругости (вдоль оси Y ЛСК композита)
 GXY - эффективный модуль сдвига

Внешнее хранение результатов расчёта
Оценочный размер файла результатов, МБ: 1
Свободно на диске, МБ: 588213

Файл результатов VTK (*.vtu, *
Файл результатов VTK (*.vtu, *.vti)
Файл результатов T-FLEX Анализа (*.tfea)
Все файлы (*.*)

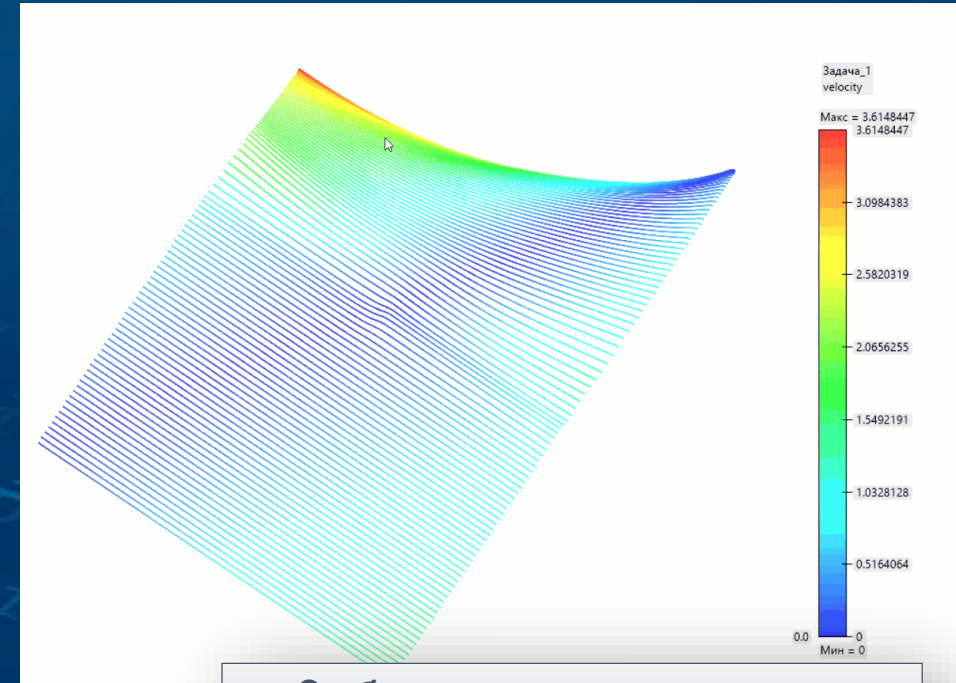


Механизм внешнего хранения результатов позволяет открывать и просматривать только результаты расчёта без исходных данных по задаче

Для партнёров осуществлены доработки функций в API



Импорт результатов расчёта из сторонних CAE систем



Отображение результата в виде линий тока


Управление расчетными случаями. Интерактивный метод

Функционал «Управление расчётными случаями» позволит объединить несколько расчётных случаев в одной задаче, сохранив общую геометрию, сетку и другие исходные данные. Это уменьшает дублирование и ускоряет расчёт набора вариантов.

Управление расчётными случаями

Метод создания: Интерактивный

Настройка подзадач:



Состав расчётной схемы подзадач

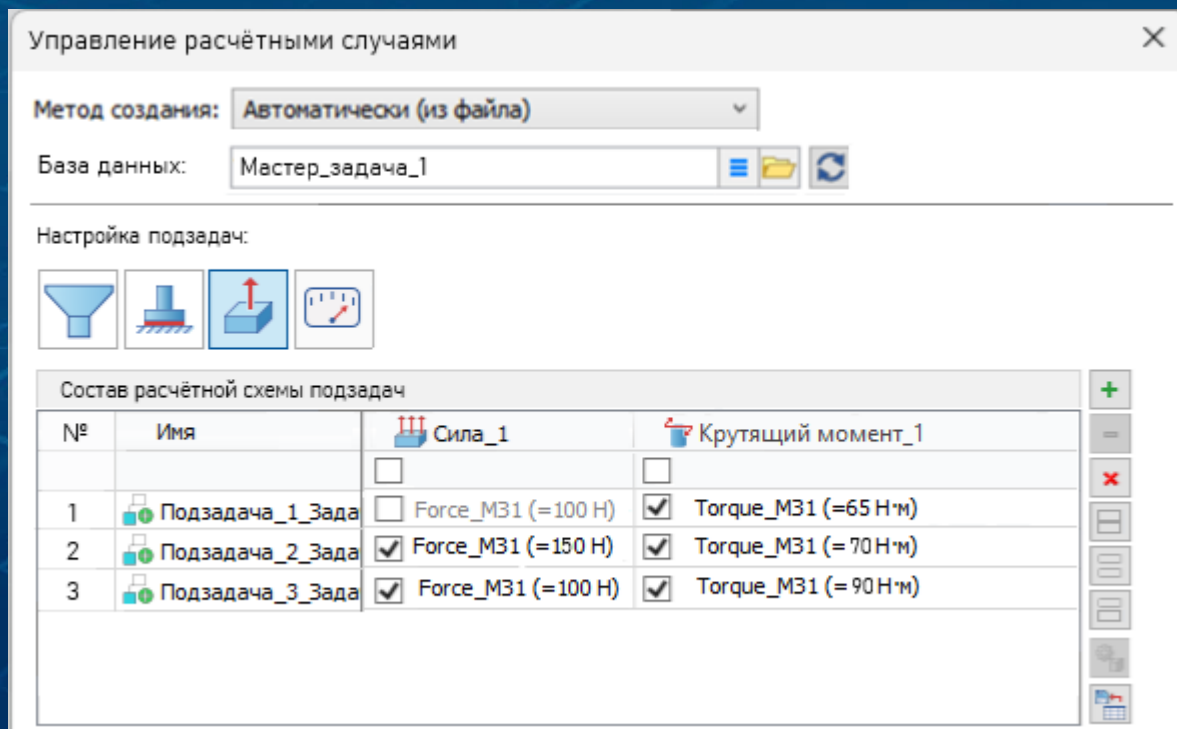
№	Имя	Сила_1	Давление_1	Сила_4	Сила_5	Вращение_1
1	Подзадача_1_Зада	<input type="checkbox"/> 1000 кН	<input type="checkbox"/> Таблица	<input type="checkbox"/> Force (=1000 кН)	<input type="checkbox"/> Force_2 (=400 кН)	<input type="checkbox"/> Rotation_w (=8 рад/с) Rotation_a (=10 рад/с ²)
2	Подзадача_2_Зада	<input type="checkbox"/> 1000 кН	<input type="checkbox"/> Таблица	<input checked="" type="checkbox"/> Force (=300 кН)	<input checked="" type="checkbox"/> Force_2 (=1000 кН)	<input checked="" type="checkbox"/> Rotation_w (=1 рад/с) Rotation_a (=1 рад/с ²)
3	Подзадача_3_Зада	<input checked="" type="checkbox"/> 1000 кН	<input checked="" type="checkbox"/> Таблица	<input checked="" type="checkbox"/> Force (=500 Н)	<input checked="" type="checkbox"/> Force_2 (=200 кН)	<input checked="" type="checkbox"/> Rotation_w (=7 рад/с) Rotation_a (=3 рад/с ²)

Задача_1 [Прочность]

- Сетка_1 (Элементов: 1595, Узлов: 2604)
- Материалы расчётной модели [1]
- Контакты [2]
- Закрепления [1]
- Нагрузки [2]
 - Вращение_1 (1 рад/с, 2 рад/с²)
 - Сила_1 (100 Н)
- Элементы расчётной модели [1]
- Расчётные случаи [2]
 - Подзадача_1_Задача_1
 - Закрепления [1]
 - Нагрузки [1]
 - Вращение_1 (3 рад/с, 4 рад/с²)
 - Результаты [1]
 - Перемещения [1]
 - Подзадача_2_Задача_1
 - Закрепления [1]
 - Нагрузки [1]
 - Сила_1 (200Н)
 - Результаты [3]
 - Коэффициент запаса по напряжениям [1]
 - Напряжения [1]
 - Перемещения [1]

Автоматический режим создания расчётных случаев:

- автоматическое создание подзадач на основе данных из базы данных T-FLEX CAD;
- снижение объёма ручной подготовки расчётов.



Мастер_задача_1 (Значение переменных для расчётных случаев)

№	Force_M31	Torque_M31
1	100	65
2	150	70
3	100	90

Режим отображения: Все подзадачи

Значения переменных, используемых в расчётной схеме подзадач

№	Имя	Force_M31	Torque_M31
1	Подзадача_1_Зада	100	65
2	Подзадача_2_Зада	150	70
3	Подзадача_3_Зада	100	90

Решение инженерных задач методом конечных элементов (Finite Element Analysis, FEA)

- Современный инструмент для:
 - инженера-конструктора ★★★★★
 - специалиста-расчетчика ★☆☆☆☆
- Единая инженерная среда T-FLEX PLM
- Работа с геометрией из разных CAD-систем
- Широкий набор расчётов для практических инженерных задач
- Наглядное представление результатов расчёта





АНАСТАСИЯ КУЗЬМИЧЕВА

Ведущий аналитик по направлению
инженерного анализа
kuzmicheva@topsystems.ru

