

T-FLEX Анализ версии 11 – профессиональная проверка на прочность

*Ануфриков Павел Александрович
Ивахненко Илья Александрович
Козлов Сергей Юрьевич
Суцких Александр Леонтьевич*

В статье рассказывается о новой версии отечественной системы конечно-элементных расчетов T-FLEX Анализ, автором которой является ведущий отечественный производитель программного обеспечения САПР – компания «Топ Системы».

В начале года компания «Топ Системы» (www.topsystems.ru) объявила о выходе 11-й версии комплекса систем автоматизированного проектирования T-FLEX CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM. Для отечественного пользователя САПР комплекс программных систем T-FLEX интересен, прежде всего, широтой охватываемых задач. Действительно, все актуальные вопросы современного автоматизированного машиностроения и подготовки производства имеют своё решение в тех или иных системах комплекса:

- электронный документооборот – T-FLEX DOCs;
- высокофункциональное, на уровне мировых стандартов, трёхмерное моделирование – T-FLEX CAD 3D;
- системы технологической подготовки производства – T-FLEX Технология – и программирования ЧПУ – T-FLEX ЧПУ;
- целый комплекс универсальных систем инженерных расчетов T-FLEX Динамика, T-FLEX Анализ.

До сих пор ни один отечественный производитель САПР не может предложить аналогичного по универсальности комплексного решения, объединяющего все модули на единой программной платформе.

В данной статье мы расскажем о новых возможностях 11-й версии уникальной отечественной интегрированной системы конечно-элементных расчётов T-FLEX Анализ (www.tfanalysis.ru). На сегодняшний день T-FLEX Анализ является единственным отечественным *полностью интегрированным с CAD-системой* приложением, позволяющим осуществлять различные конечно-элементные расчеты. Полная интеграция с CAD-системой подразумевает, что пользователь может использовать для расчетов трёхмерную модель изделия, созданную при разработке конструкторской документации. Большинство нововведений в 11-й версии системы можно разбить на три основные группы:

- Расширение классов моделируемых изделий;
- Расширение типов граничных условий;
- Повышение вычислительной производительности системы.

Рассмотрим новые возможности подробнее.

Расширение классов моделируемых изделий

Изначально T-FLEX Анализ разрабатывался для решения конечно-элементных задач в объёмной постановке. Трёхмерная твердотельная модель изделия моделируется объёмными конечными элементами – тетраэдрами (рис. 1). Такая постановка математической модели наиболее естественна с точки зрения использования автоматизации для построения расчётной математической модели изделия по её трёхмерной твердотельной модели. Однако пользователи T-FLEX CAD работают в самых разных областях проектирования. Это не только типичные объекты машиностроения – детали приводов, приборов и т.п., но и самый широкий круг задач в области промышленного строительства (металлоконструкции, резервуары, кровли), судостроения и авиации. Особенностью последних отраслей является широкое использование т.н. «тонкостенных» или «оболочечных» изделий. В тонкостенных конструкциях один из трёх основных геометрических размеров изделия (длина, ширина, высота) значительно меньше двух других. Этот наименьший параметр принято называть «толщина». При анализе тонкостенных конструкций с помощью объёмных элементов (тетраэдров) необходимо создавать конечно-элементное разбиение со средним размером тетраэдра, сопоставимым с толщиной стенки (а лучше, если размер конечного элемента будет раза в два меньше толщины стенки). Такая высокая степень дискретизации приводит к системе алгебраических уравнений очень высоких порядков, что делает затруднительным корректное решение физических задач для тонкостенных конструкций при дискретизации только объёмными элементами. Учитывая эти обстоятельства и просьбы профессиональных расчётчиков – пользователей T-FLEX Анализ, компанией «Топ Системы» было принято решение о расширении функциональности системы конечно-элементного анализа специальными

инструментами для расчётов тонкостенных конструкций. В системе T-FLEX Анализ версии 11 эти инструменты стали доступны пользователю. Библиотека конечных элементов пополнилась треугольными конечными элементами для расчёта пластин и оболочек (рис.2).

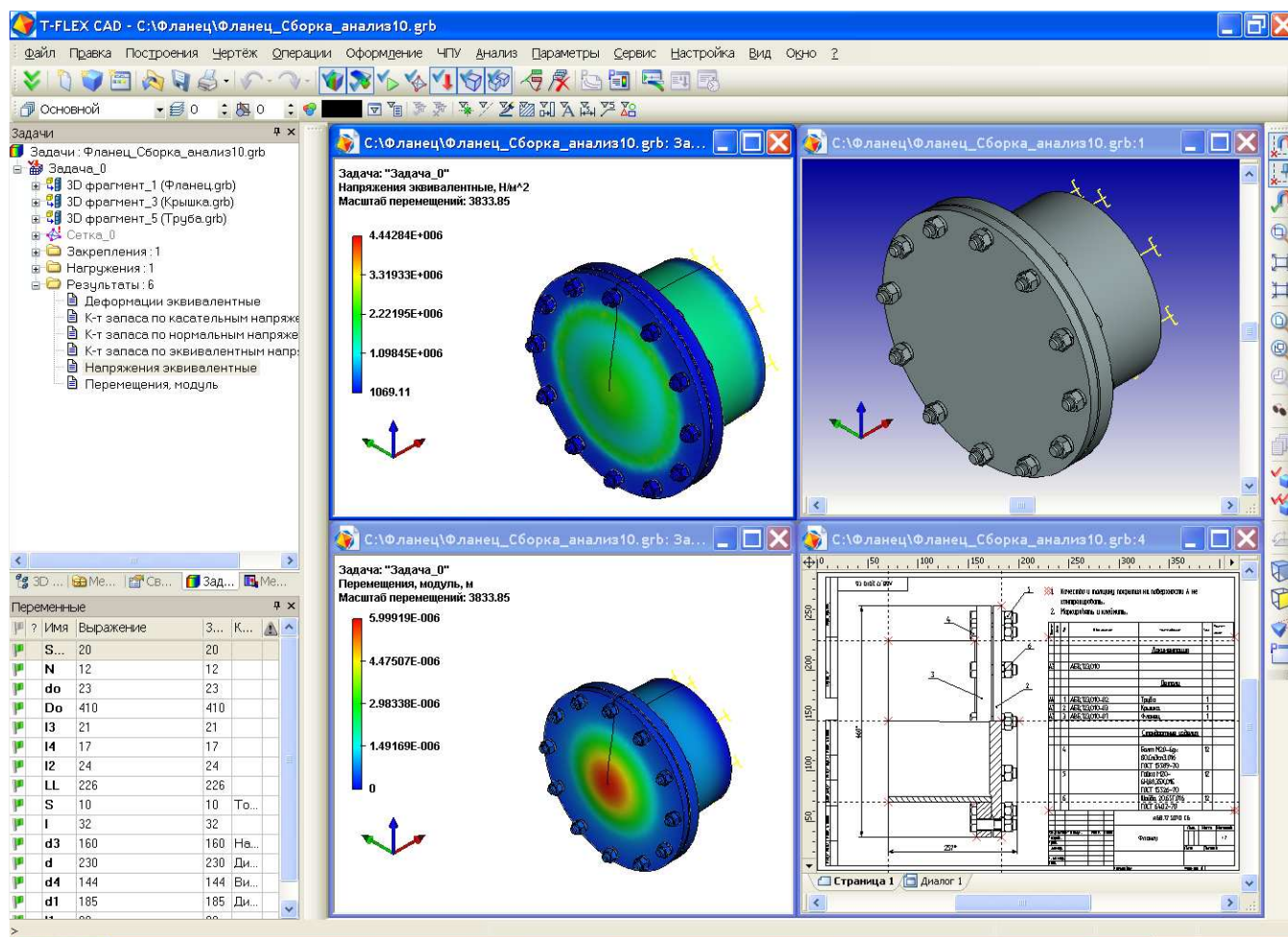
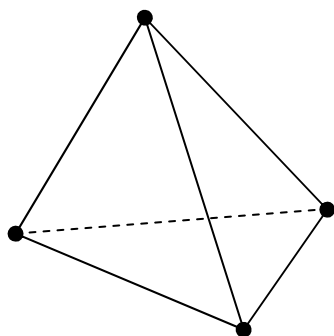
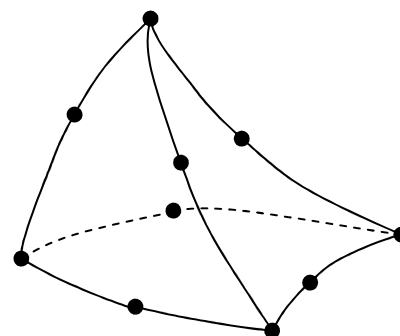
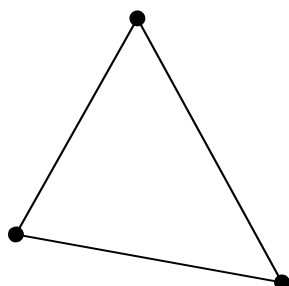


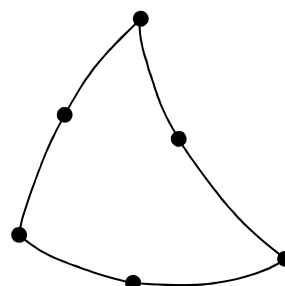
Рис.1 Расчёт на прочность в T-FLEX Анализ.



4-узловой плоскогранный конечный элемент (линейный)



10-узловой криволинейный конечный элемент (квадратичный)

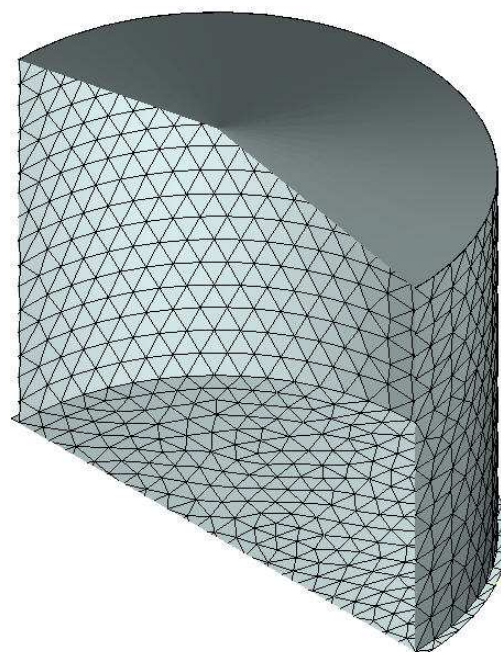


3-узловой конечный элемент пластины-оболочки (линейный)

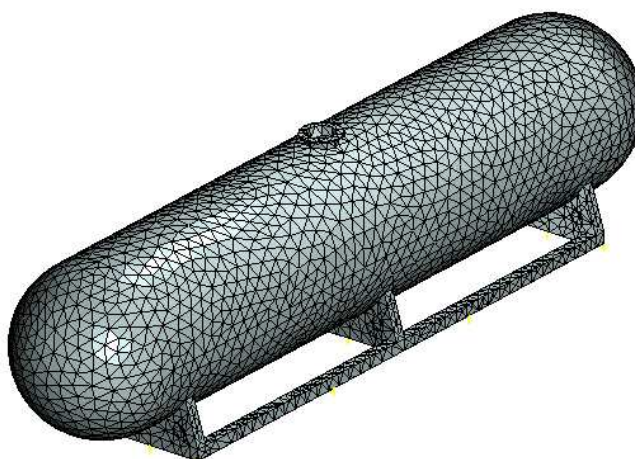
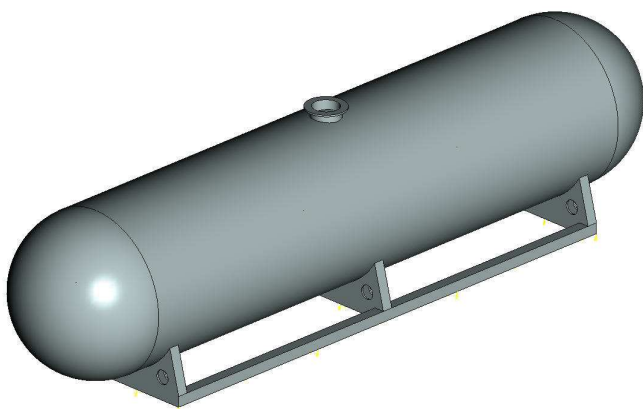
6-узловой криволинейный конечный элемент пластины-оболочки (квадратичный)

Рис. 2. Типы конечных элементов, доступные в T-FLEX Анализ 11.

При создании задачи конечно-элементного анализа пользователь может теперь самостоятельно определить, в какой постановке МКЭ (объёмной или оболочечной) он предполагает моделировать отдельные элементы твёрдотельной конструкции. В качестве оболочки можно выбирать поверхностные тела или грани твёрдотельной модели. Система автоматически построит поверхностную сетку конечных элементов для заданных пользователем участков модели. При этом элементы модели, которые лучше моделировать традиционными объёмными конечными элементами, будут аппроксимированы тетраэдрами. Таким образом, у пользователей T-FLEX Анализ появилась возможность эффективно решать целый класс «смешанных» задач, трудно поддающихся моделированию в унитарной постановке – только пластинами или только объёмными элементами. Это, прежде всего, различные армированные оболочки, резервуары с усилением, кровли под нагрузкой и т.п. Примечательно, что препроцессор T-FLEX Анализ в большинстве случаев позволяет осуществить построение адекватной конечно-элементной модели непосредственно по исходной трёхмерной модели изделия. Это позволяет точно передать геометрию и сохранить все параметрические связи между твёрдотельной геометрией и конечно-элементной моделью.



Емкость для хранения нефтепродуктов.



Цистерна

Рис.3. Примеры тонкостенных конструкций для расчёта в T-FLEX Анализ.

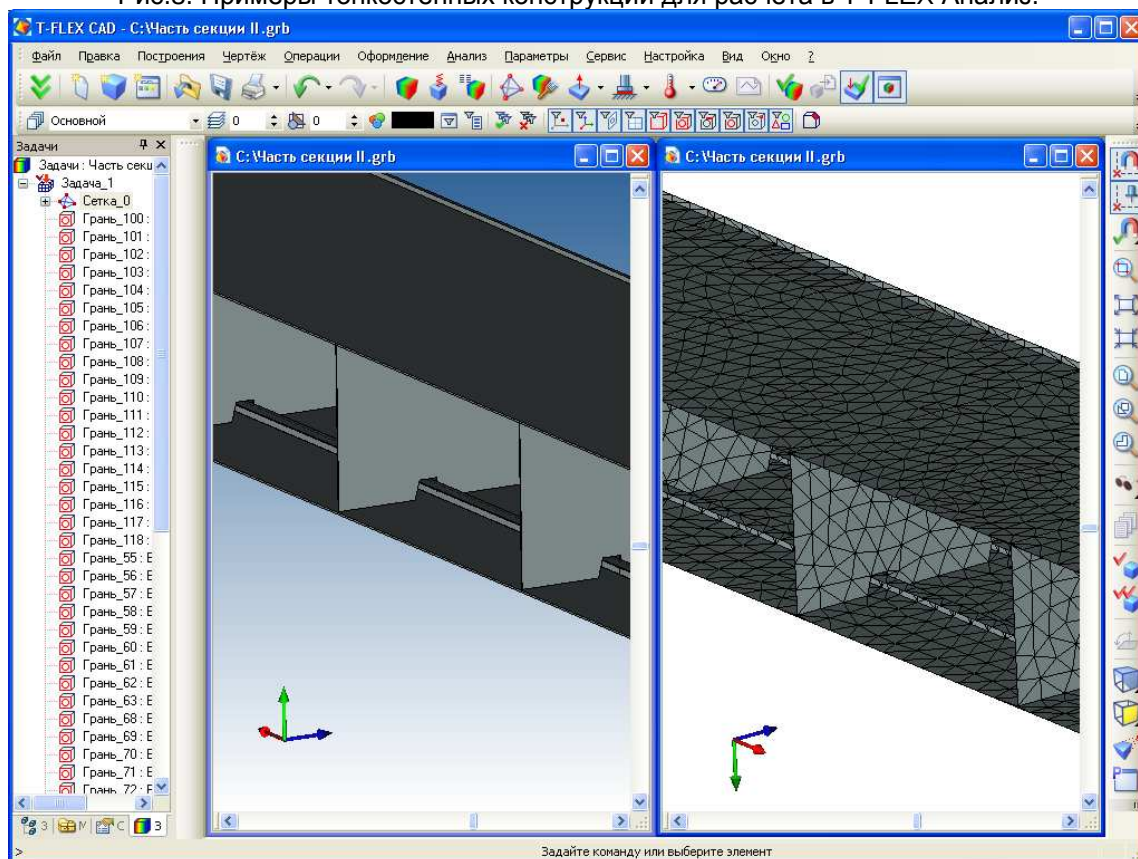
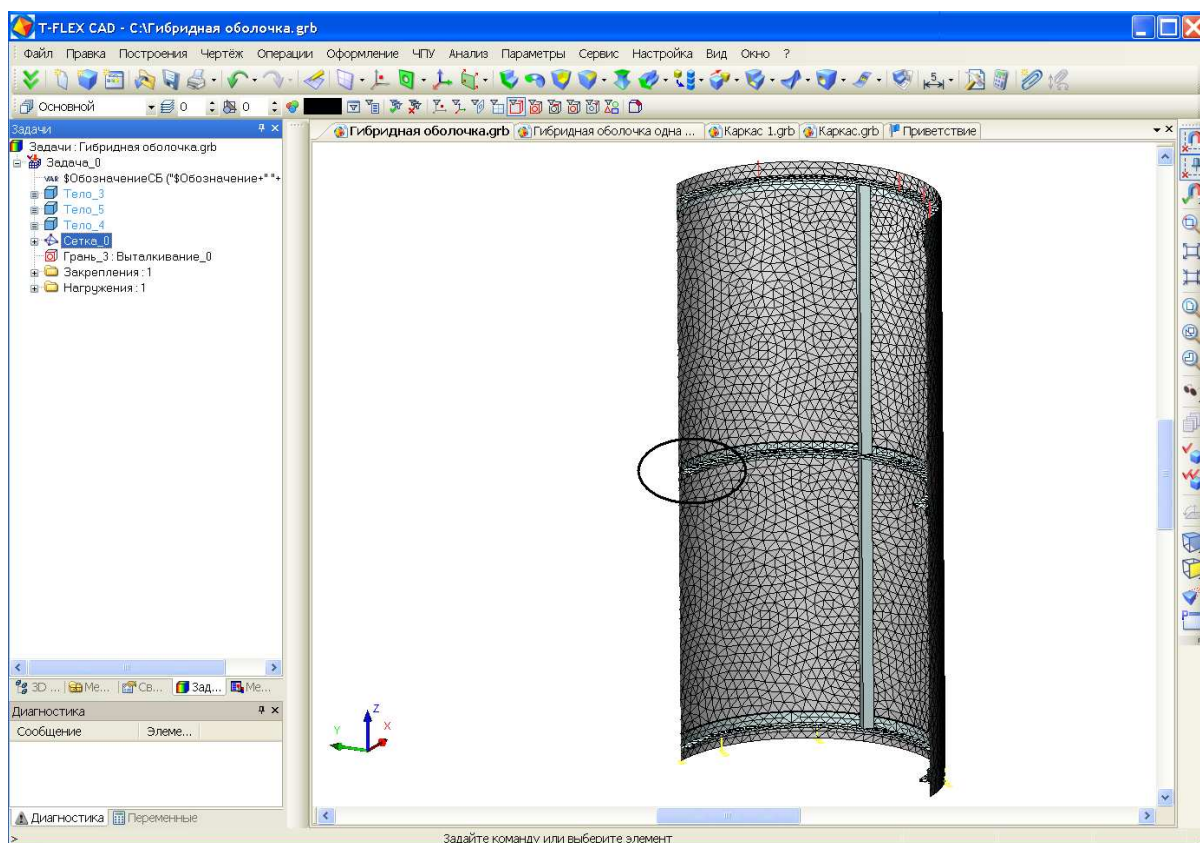


Рис.4. Создание расчетной пластинчатой модели по трёхмерной модели листовой металлической конструкции.



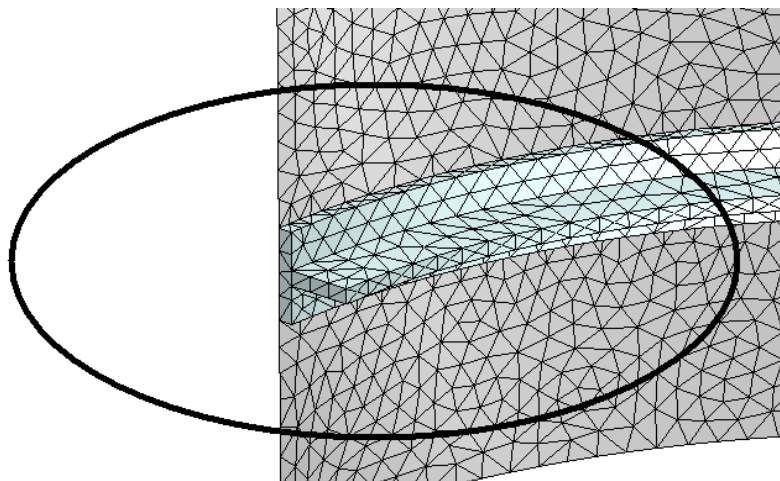


Рис.5. Гибридная конечно-элементная сетка для расчёта армированной оболочечной конструкции.

Расширение типов граничных условий

Другой важной новинкой T-FLEX Анализ 11, которую по праву смогут оценить профессионалы-расчётчики, является расширение инструментария по заданию граничных условий моделирования задач. Во-первых, в команды «Сила» и «Частичное закрепление» естественным образом добавлены режимы для учета краевых эффектов нагружения и закрепления оболочечных элементов конечно-элементной модели. Препроцессор системы T-FLEX Анализ определяет тип выбранного пользователем элемента задачи (пластина или объёмное тело) и автоматически активирует необходимые режимы команд задания граничных условий (рис. 6).

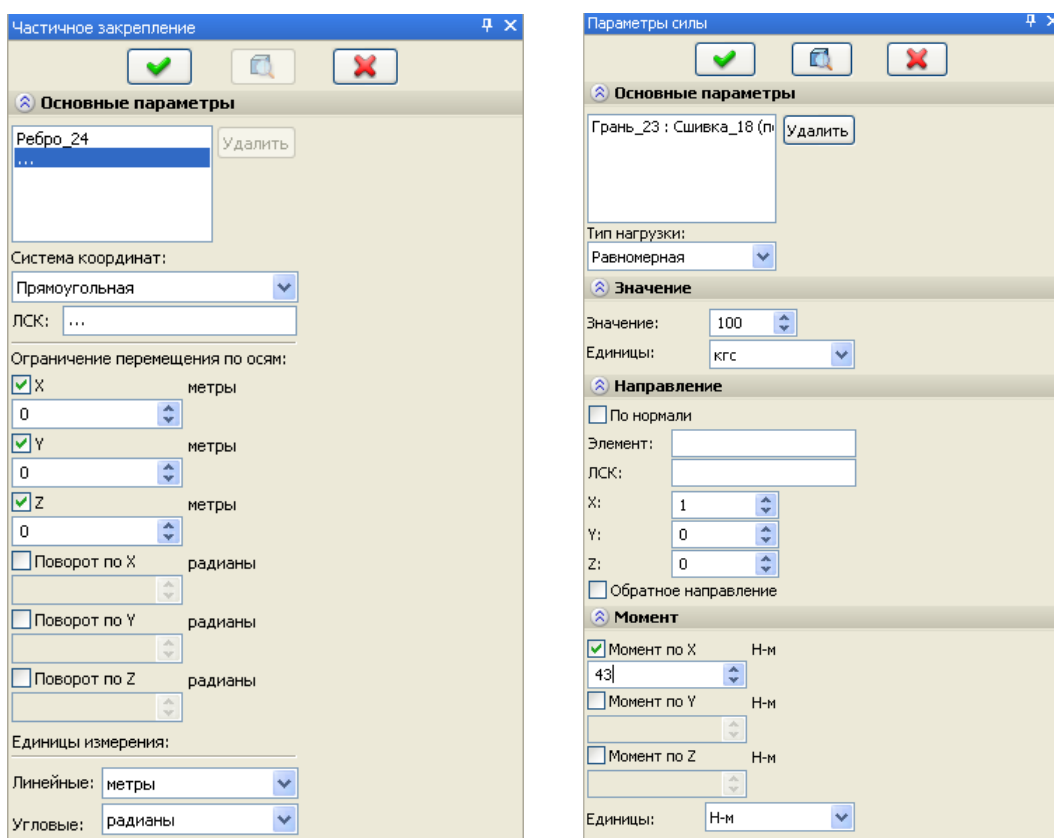


Рис. 6. Новые диалоги создания закреплений и силы.

Во-вторых, команды «Сила» и «Давление» дополнены специальной функциональностью для возможности задания неравномерного нагружения (рис. 7). Пользователь может определить закон распределения силы (давления) по площади нагружаемой грани, используя для этой цели удобный инструментарий:

а) визуальные манипуляторы и таблицу значений функции, характеризующей распределение силы по поверхности в заранее определенных точках поверхностной сетки.

б) можно загрузить в систему (импортировать) рассчитанное во внешнем приложении неравномерное распределение нагрузки. Закон распределения неравномерной нагрузки аппроксимируется линейной или сплайновой интерполяцией.

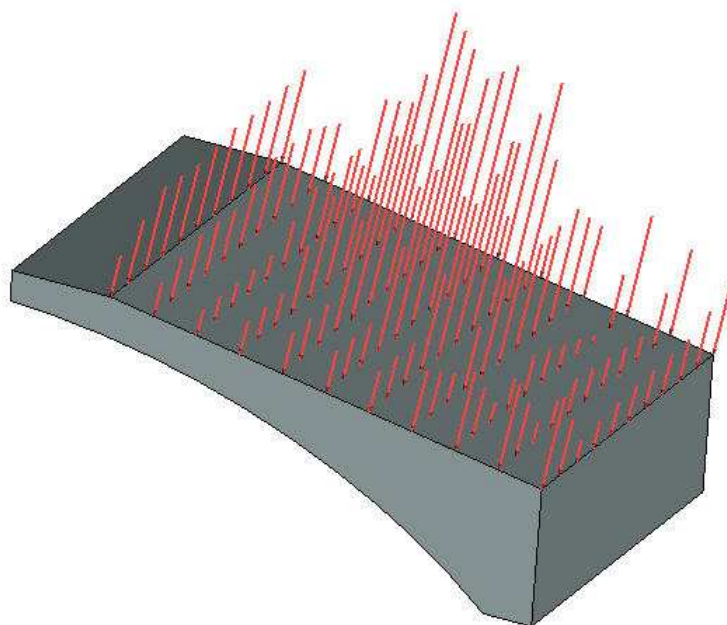
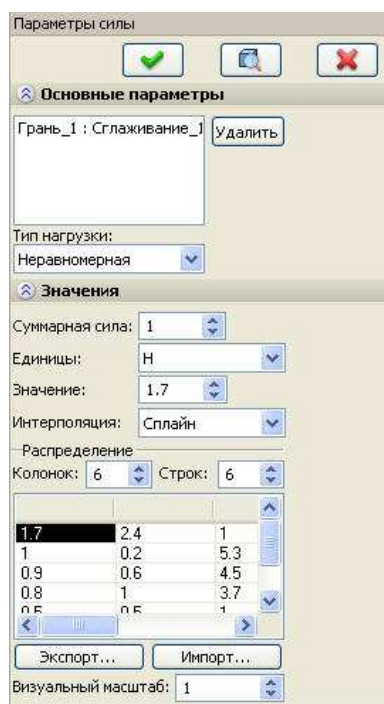


Рис. 7. Задание неравномерного нагружения.

В-третьих, при задании нагружения «Давление» можно выбрать тип нагрузки «Гидростатическая» (рис. 8), что позволит легко определить неравномерное давление, возникающее на стенках сосудов и емкостей под действием силы тяжести наполняющей их жидкости. Уровень жидкости определяется связанной с нагрузкой локальной системой координат, а направление силы тяжести задаётся противоположно оси Z этой же системы координат.

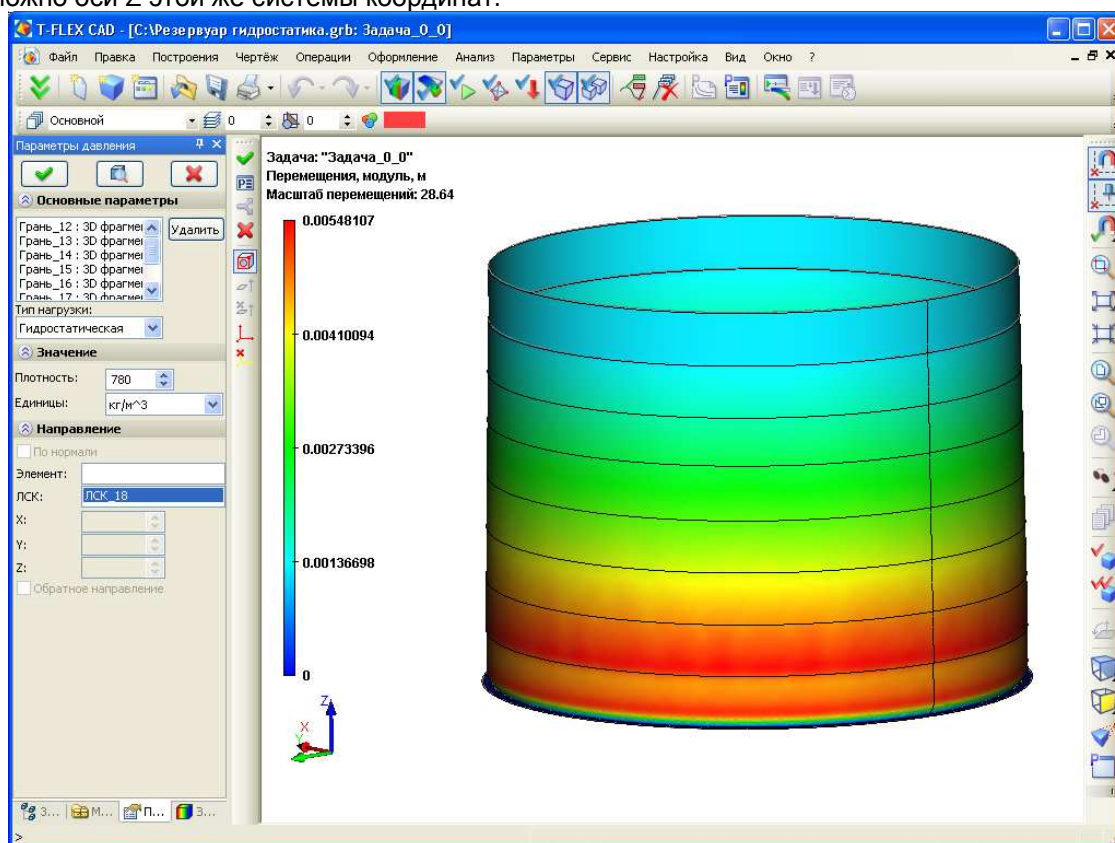


Рис. 8. Диалог задания гидростатического давления и результат «Перемещения» в резервуаре, наполненном жидкостью.

Повышение вычислительной производительности системы

В системе T-FLEX Анализ версии 11 значительным усовершенствованиям подверглись алгоритмы подготовки данных для расчётов и алгоритмы решения систем алгебраических уравнений. Всё это в совокупности позволило значительно (в ряде случаев в разы) поднять скорость решения задач (в оперативной памяти) по сравнению с предыдущей версией T-FLEX Анализ. Библиотеки для решения систем линейных уравнений позволяют также использовать многопроцессорность (многоядерность процессора) для решения систем уравнений.

Нужно отметить, что пользователям систем T-FLEX доступна специальная версия T-FLEX CAD x64 для использования в 64-разрядных версиях ОС Windows. Отличительной особенностью 64-битных версий программного обеспечения является практически неограниченный объём виртуальной памяти, который могут использовать программные приложения для хранения и обработки данных. В 32-битных версиях Windows максимальный объём адресуемого пространства был ограничен двумя гигабайтами ОЗУ, что затрудняло решение «больших» задач. Теперь, с появлением T-FLEX Анализ x64 для 64-разрядной ОС Windows, ограничения размерности решаемых задач существенно расширились. Верхний практический предел эффективно решаемых с помощью T-FLEX Анализ задач может достигать 8-10 миллионов степеней свободы (на компьютере с 8 Гбайт оперативной памяти). Этого вполне достаточно для решения многих практических задач (рис. 9).

Средства визуализации и сохранения результатов расчётов также оптимизированы для работы с большими массивами данных.

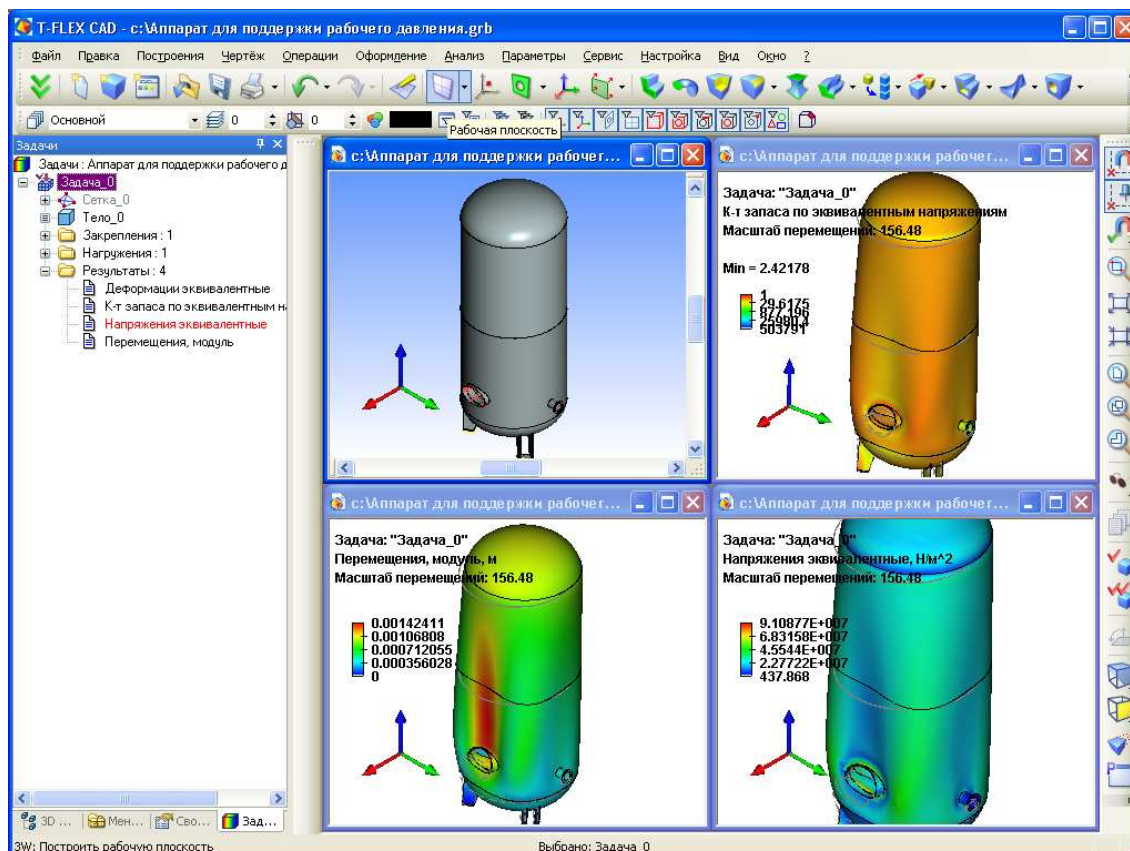


Рис. 9. Расчёт на прочность емкости высокого давления в T-FLEX Анализ. Число степеней свободы 8,7 миллионов.

Заключение

Таким образом, новая версия системы T-FLEX Анализ предоставляет своим пользователям возможность эффективного решения нового класса задач – расчеты на прочность, устойчивость, колебания **тонкостенных оболочечных конструкций**, что подтверждает статус системы T-FLEX Анализ как серьезного инструмента для конечно-элементных расчётов.