

## ➤ НОВЫЙ ВЕКТОР "ШТУЦЕРА-МКЭ"

Долгое время программа "Штуцер-МКЭ" развивалась неспешно, оставаясь в тени ПАССАТа, на развитие которого трагались основные ресурсы.

Сейчас ситуация изменилась. В команду разработчиков программ прочностных расчетов был принят опытный специалист, один из создателей известной программы CRPE, к.т.н. Роман Владимирович Унесихин, который оживил процесс развития программы "Штуцер-МКЭ". Разработка теперь идет полным ходом по новому перспективному плану, с которым мы хотим вас познакомить.

### Сначала немного истории

"Штуцер-МКЭ" создавалась как программа для расчета методом конечных элементов (МКЭ) узлов врезки патрубков в корпус сосуда (аппарата).

Точнее, сначала это была просто программа "Штуцер", которая считала врезки без МКЭ, по нормам.

Норм аналитического расчета узлов врезки (в том числе тройников) произвольной конфигурации не существует: есть WRC 107, 297 для определения допускаемых напряжений ортогональных врезок без накладных колец, ГОСТ 24755-89 для расчета укрепления отвер-

стия (эта методика переключалась в современные стандарты) и РД 26.260.09-92 для расчета двух простейших видов ортогональных врезок. Прочие конструкции — даже распространенный случай врезки штуцера в эллиптическое днище со смещением — рекомендуется рассчитывать "инженерными методами", то есть фактически методом конечных элементов, с использованием специализированного ПО (например, ANSYS). Это непростой процесс, требующий от расчетчика высокой квалификации и больших затрат времени. Кроме того, после выполнения такого расчета и получения напряжений расчетной модели остается неясным, по какому критерию их оценивать и принимать решение о работоспособности узла. Широкому кругу расчетчиков нужен специализированный инструмент, решающий эти проблемы.

Поэтому "Штуцер" почти сразу начал превращаться в "Штуцер-МКЭ" — чтобы рассчитывать любые врезки и тройники. Разработчики новой программы стремились сделать расчет доступным как можно большему числу специалистов, не требующим детального знания МКЭ и способов построения конечно-элементной модели, позволяющим осуществлять выбор метода расчета и т.д.

Для оценки напряжений была разработана и реализована специальная методика, вошедшая в нормативный документ СА 03-004-07.

Таким образом, появился новый удобный инструмент — "Штуцер-МКЭ" (рис. 1), — позволяющий быстро оценить работоспособность врезки произвольной конфигурации, получить таблицу допускаемых напряжений и не требующий специфических знаний в области МКЭ.

В дальнейшем "Штуцер-МКЭ" в основном развивался горизонтально: добавились отчеты в стиле ПАССАТа, обновлялась база данных материалов (опять же синхронно с ПАССАТом), реализовывались требования новых нормативных документов и т.д.

С самого начала результаты разработки "Штуцера" (еще не МКЭ) применялись в программах СТАРТ и ПАССАТ. В обеих программах используются фрагменты расчета для определения прочности ("ПАССАТ-Штуцер") и жесткости ("СТАРТ-Штуцер") узла врезки. Кроме того, ПАССАТ умеет сохранять узлы врезки в виде файлов "Штуцер-МКЭ", но это односторонний интерфейс.

Добавлялись и расчетные модели — новые виды обечаек, расположений штуцеров, дополнительные способы закрепле-



Рис. 1. Структура текущей версии "Штуцер-МКЭ"

ния обечайки, но все это в рамках базовой геометрической модели и способов разбивки на КЭ.

## Шаги вперед

Нам, конечно, хотелось превратить программу в универсальный инструмент, позволяющий моделировать и рассчитывать произвольную геометрию. Основными препятствиями на этом пути оказались использовавшиеся подсистемы геометрического моделирования и разбиения (mesher), ориентированные на распространенный, но частный случай "одна обечайка — один штуцер". Поэтому расчетные модели были предопределены заранее, и пользователь мог

только выбрать одну из них.

Для преодоления этих недостатков нужны инструменты, и они у нас есть!

## Геометрическое ядро

ПАССАТ уже довольно давно использует геометрическое ядро C3D, созданное компанией АСКОН в рамках развития программы "КОМПАС-3D", но уже несколько лет независимо разрабатываемое в компании C3D-Labs и доступное в виде отдельной библиотеки. Это довольно мощный инструмент, получивший признание на международном рынке геометрических ядер.

Мы планируем использовать его для построения модели и в "Штуцер-МКЭ".

Приятный плюс, что при этом упростится обмен данными с ПАССАТом.

## Генератор сеток

Для построения сеток с четырехугольными элементами некоторое время назад мы приобрели генератор четырехугольных сеток (QuadMesher), разработанный австралийскими специалистами для расчетов по МКЭ. Генератор требовал доработки, но мы получили исходные тексты и право модифицировать их. После доработки получился весьма приличный по скорости и качеству генератор, позволяющий строить адаптивные (с переменным шагом) сетки на произвольной геометрии (рис. 2).

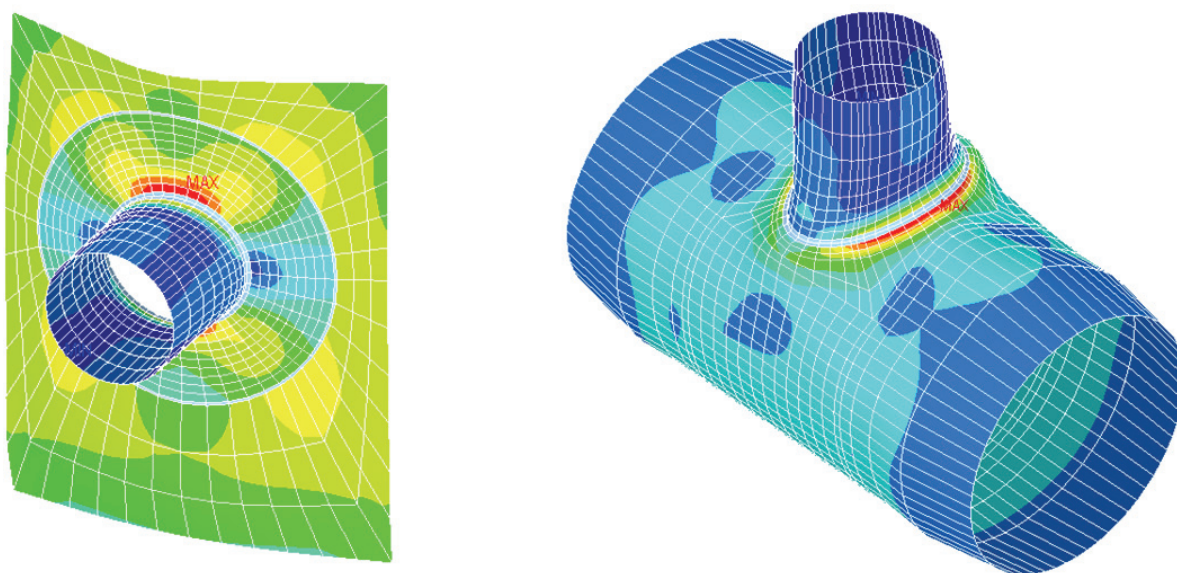


Рис. 2. Сетка и результаты расчета с новым генератором сеток

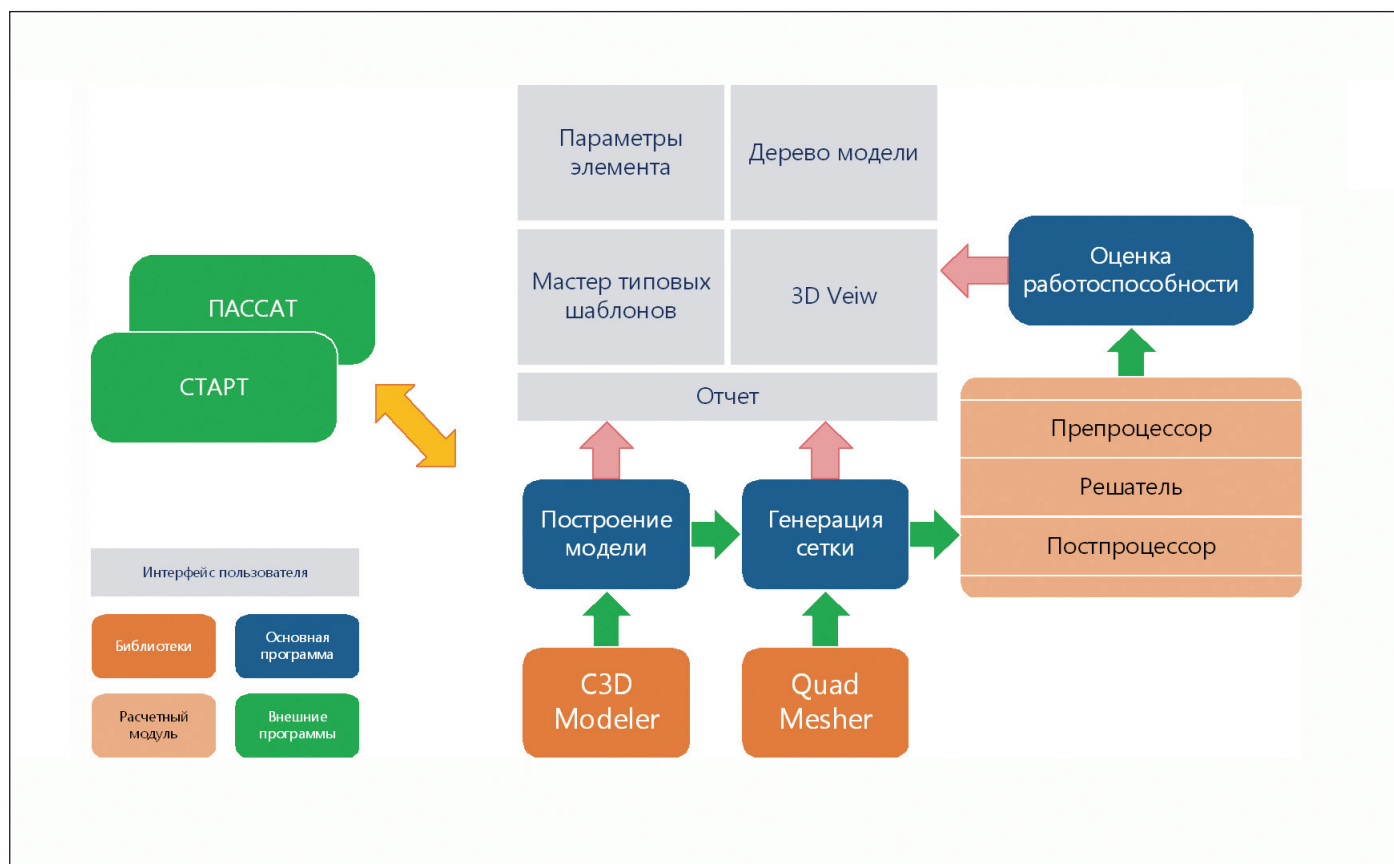


Рис. 3. Будущая структура программы "Штуцер-МКЭ"

## Новый старый интерфейс

Естественно, если мы отказываемся от статичных моделей в пользу произвольных, потребуется соответствующее изменение интерфейса пользователя: должны добавиться средства моделирования и трехмерный просмотр модели. Тогда и результаты можно будет представлять в 3D-окне, а не только как готовые картинки в отчете. Из этих соображений начал вырисовываться контур будущего интерфейса пользователя, включающий несколько компонентов:

- окно дерева проекта: иерархический показ и выбор элементов модели, закреплений, нагрузок и результатов;
- окно трехмерного просмотра модели, сетки, результатов расчета (напряжений и деформаций);
- окно задания исходных данных трансформируется в окно свойств элемента, выбранного в дереве проекта;
- навигация по отчету, которая может осуществляться в дереве проекта.

Получается стандартный набор, в небольшой степени уже давно реализованный в других наших программах – СТАРТ, ПАСКАТ, "Гидросистема". Но для "Штуцер-МКЭ" это значительный шаг!

## Схема светлого будущего

В итоге структура программы должна существенно измениться (рис. 3). Мы стремимся улучшить не только сам продукт, но и его интеграцию с ПАСКАТОМ и СТАРТОМ, а также сделать возможным и удобным повторное использование компонентов "Штуцер-МКЭ" в других программах.

Все это уже начало воплощаться в жизнь. Есть сборка "Штуцер-МКЭ" с окном трехмерного просмотра и новым адаптивным генератором сеток. Сейчас мы ее активно тестируем.

Есть идея сделать возможным прямой вызов расчета МКЭ из ПАСКАТа и СТАРТа, и новая архитектура это предусматривает. Это позволит кардинально улучшить возможности программ и их интеграцию.

## В перспективе

Когда приведенная схема будет полностью реализована и интегрирована с программами ПАСКАТ и СТАРТ, инженер-расчетчик получит не только свежий и удобный интерфейс, но и новые, в том числе уникальные возможности:

- расчет сложных схем, включая учет взаимного влияния групп штуцеров, отверстий, смежных элементов;
- расчет ответственных фрагментов аппарата целиком;
- более точный учет нагрузок и условий закрепления;
- расчет узлов врезки непосредственно в ПАСКАТе;
- расчет элементов трубопровода в СТАРТе по МКЭ;
- возможность совместного (!) расчета аппарата и трубопровода.

Мы активно трудимся над этим, следите за выходом новых версий!

*Алексей Тимошкин  
НТП "Трубопровод"*