

## ПРОЧНОСТНОЙ АНАЛИЗ СОСУДОВ И АППАРАТОВ В ПРОГРАММЕ

# ПАССАТ

### Проблемы...

Расчет сосудов и аппаратов на прочность и устойчивость – работа довольно сложная и трудоемкая. Расчет отдельных элементов в различных условиях регламентирован большим количеством разрозненных нормативных документов (ГОСТ, ОСТ, РД, РТМ и др.), но в то же время на некоторые виды расчетов (например, расчет прочности штуцеров) отечественная нормативная документация или отсутствует, или ее область применения существенно ограничена. При расчетах зачастую приходится использовать множество вспомогательных величин (расчетная длина, эффективный момент инерции сечения, период собственных колебаний и т.д.), получение которых трудоемко или требует применения методов, не описанных в нормативной литературе.

Эти проблемы каждый специалист решает по-своему, используя ручную расчет, применяя собственные программы для расчета отдельных элементов или обращаясь в специализированные организации. Все это не лучшие решения: вручную – долго и очень непросто, собственные программы используются на свой страх и риск и не всегда применимы, расчет на стороне – долго и дорого... Наиболее опытные используют специальные методы (например, конечно-элементный анализ) – хорошие результаты, но дорого и трудоемко. Существует ряд зарубежных программ (Compress, Vessel, PV Elite и др.) – весьма неплохих, однако, увы, неде-

шевых и ориентированных на зарубежную нормативную базу. В итоге проектировщик постоянно оказывается перед выбором, ищет выход... И этот выход есть!

### ...и решения

В 2004 году НТП "Трубопровод" представил программу ПАССАТ ("Прочностной Анализ Состояния Сосудов, Аппаратов, Теплообменников"), а в январе 2006 года была выпущена очередная версия 1.03. ПАССАТ – не только первая отечественная программа на платформе Windows, предназначенная для прочностных расчетов сосудов и аппаратов, но и, по нашему мнению, наиболее развитая и удобная для пользователя.

ПАССАТ позволяет рассчитывать большое число элементов аппарата в рабочих условиях, а также в условиях

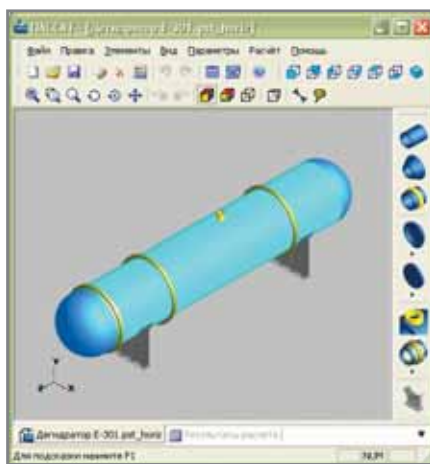
монтажа и испытаний, учитывает взаимное влияние элементов и требует в качестве входных данных только известные проектировщику величины: размеры и взаимное расположение элементов, материал, известные дополнительные нагрузки и т.п.

Особенностью программы является отображение трехмерной модели рассчитываемого аппарата, что позволяет визуально контролировать введенные данные.

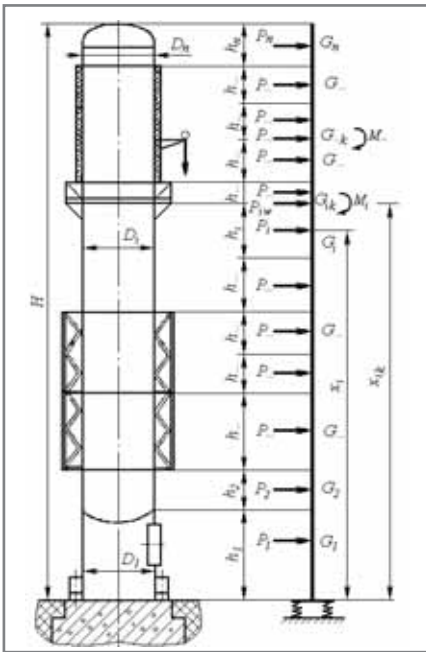
В настоящее время ПАССАТ состоит из трех модулей:

- **Базовый модуль** осуществляет ввод данных, отображение модели, расчет на прочность горизонтальных и вертикальных сосудов и аппаратов с формированием отчетов на основе ГОСТ 14249-89, ГОСТ 25221-82, ГОСТ 26202-84, ГОСТ 24755-89, РД 26-15-88, РД РТМ 26-01-96- 83, РД 10-249-98, РД 26.260.09-92, РД 26-01-169-89 и др.
- **Модуль "ПАССАТ-Колонны"** рассчитывает аппараты колонного типа на прочность и устойчивость от внешних, ветровых и сейсмических нагрузок на основе ГОСТ Р 51273-99, ГОСТ Р 51274-99 и др.
- **Модуль "ПАССАТ-Штуцер"** реализует иностранные методики расчета штуцеров и аппаратных фланцев WRC-107/297, ASME VIII и др.

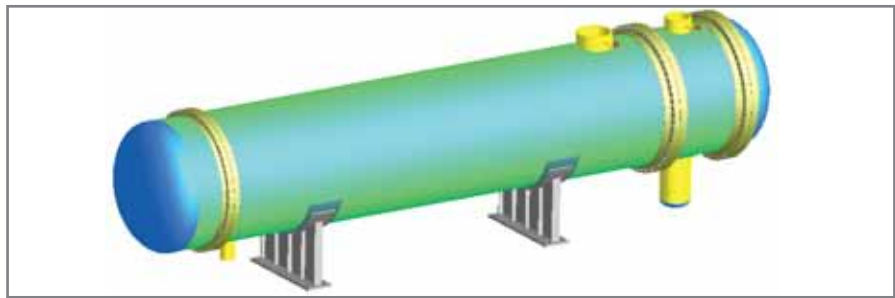
Еще одной особенностью программы является форма представления результатов: пользователь получает не просто заключение о рабо-



Программа ПАССАТ



Расчетная схема аппарата для расчета на прочность



Горизонтальный аппарат на седловых опорах

тоспособности, а полный протокол расчета, включая примененные формулы, ссылки на нормативные документы и промежуточные вычисления — программа полностью имитирует расчет вручную. Этим достигаются две цели: у проектировщика есть возможность проконтролировать весь ход расчета, понять результаты; если расчет неуспешен и нормы не выполнены, сразу ясно, "кто виноват". С другой стороны, такой протокол может быть представлен в надзорные органы для согласования.

### Полируем старые методики

В процессе создания программы была проведена большая работа по изучению методик, лежащих в основе нормативных документов, предложенные полезные расширения, позволяющие устранить имеющиеся ошибки и неточности, уточнить методику расчета отдельных величин, а также снять ряд ограничений<sup>1</sup>. Вот некоторые примеры.

При расчете обечаяк от воздействия опорных нагрузок, в отличие от методики, описанной в [3], программа позволяет рассчитывать сосуды произвольной конструкции, при этом опоры можно размещать в любом месте цилиндрических обечаяк.

Ответ в формате RTF (MS Word)

На основании [10, 15-19] впервые разработана комплексная методика расчета жесткости и прочности мест соединений штуцеров, работающих

под действием внутреннего давления и внешних нагрузок. Часть этой методики (прочность штуцера) реализована в модуле "ПАСКАТ-Штуцер"<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Полное изложение методик, используемых для проведения расчетов сосудов и аппаратов, содержится в СТП-10-04-01 "Расчет на прочность сосудов и аппаратов".

<sup>2</sup>Жесткость штуцера рассчитывается в модуле "СТАРТ-Штуцер" программы прочностного расчета трубопроводов "СТАРТ". Полностью в рамках одной программы методика реализована в программе "Штуцер".



Для арматурных фланцевых соединений расчет проводится в соответствии с [13] – с дополнительным учетом внешних нагрузок и изгибающих моментов, а также напряжений, вызванных разницей линейных удлинений материалов фланцев и крепежа при температурном воздействии, определяемых по [5].

При расчете сейсмических и ветровых нагрузок, действующих на вертикальные аппараты колонного типа, для определения периода собственных колебаний используется (в отличие от [7]) метод Рэлея, позволяющий рассчитать конструкцию с произвольным количеством элементов.

В качестве расчетной схемы колонного аппарата принимается консольный упруго защемленный стержень. Упругое защемление позволяет учитывать свойства грунта и фундамента колонны.

Определение наиболее слабого сечения опорной обечайки аппарата колонного типа – очень трудоемкая операция. ПАССАТ выполняет этот расчет самостоятельно, используя итерационный метод. Это позволяет эффективно рассчитывать опорные обечайки с любым числом и расположением патрубков различной формы.

### ПАССАТ как инструмент проектирования

Расчеты, выполняемые программой ПАССАТ, – проверочные: пользователь проверяет допустимость нагрузок на заданную им конструкцию. При этом программа содержит и элементы проектирования, упрощающие процесс конструирования аппарата.

При вводе и редактировании элемента конструкции проектировщику доступна функция *Определение расчетных величин*, которая рассчитывает зависящие параметры для отдельного элемента. Например, по толщине стенки можно определить расчетное давление, и наоборот, по заданному давлению – требуемую толщину стенки.

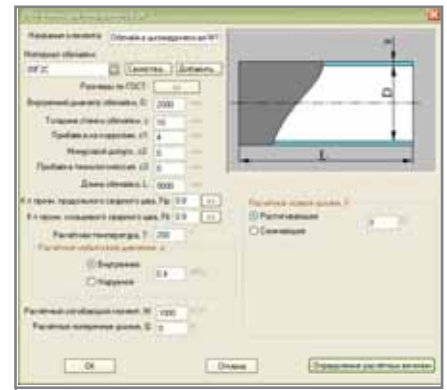
Еще одна полезная функция программы – подготовка отчетов в формате RTF. Отчеты формируются на основе шаблонов, созданных пользо-

вателем, что позволяет быстро получить результаты расчета в требуемом виде, а также изменять их в Microsoft Word или другом текстовом редакторе. В составе программы поставляется шаблон отчета, оформленный в соответствии с ЕСКД, благодаря чему вы можете сразу же получить соответствующий раздел проекта.

### Просто, быстро, удобно

Программа ПАССАТ очень проста в работе: пользователь задает конструкцию аппарата поэлементно, вводя известные ему величины (геометрические размеры, местоположение, материал, температуру, условия испытаний, нагрузки на аппарат). Правильность ввода контролируется визуально. Существуют режимы прозрачного и каркасного представления модели, а также средства навигации, позволяющие детально рассмотреть устройство аппарата – в том числе элементы, находящиеся внутри. Корректность параметров элементов (в том числе выполнение условий применимости методик) проверяется программой на этапе ввода – при обнаружении проблемы выдается соответствующее диагностическое сообщение. Диалоги ввода параметров элементов снабжены детальными схемами, иллюстрирующими назначение каждого параметра.

При создании нового элемента часть параметров инициализируется значениями, зависящими от ранее



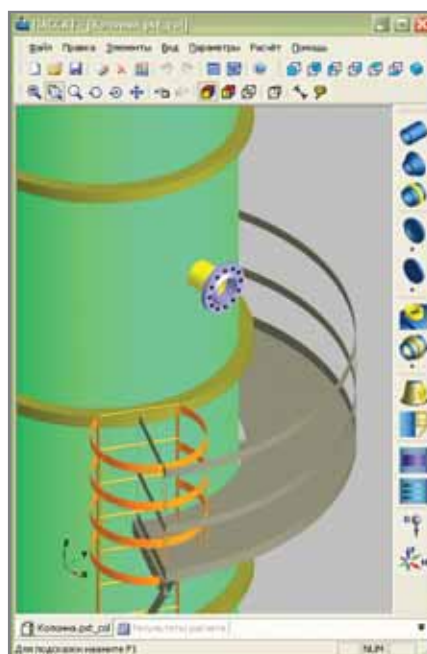
Диалог параметров цилиндрической обечайки

введенных величин, что значительно сокращает время ввода.

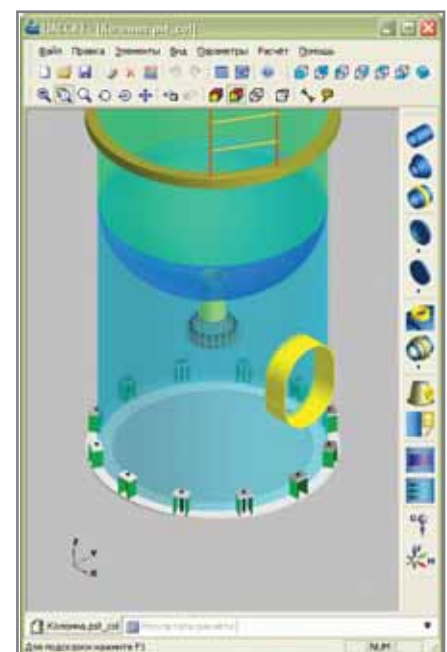
В соответствии со своими задачами пользователь может самостоятельно выбирать единицы измерения различных величин. Так, например, толщину стенки можно задавать в миллиметрах, а длину аппарата – в метрах или даже дюймах. При изменении единиц измерения ранее введенные величины будут корректно пересчитаны: значения хранятся во внутренних единицах программы, не зависящих от выбора пользователя.

ПАССАТ содержит открытую для пополнения базу данных, где собраны параметры наиболее часто используемых материалов.

Расчет выполняется нажатием на одну кнопку – через несколько секунд вы получаете отчет, причем



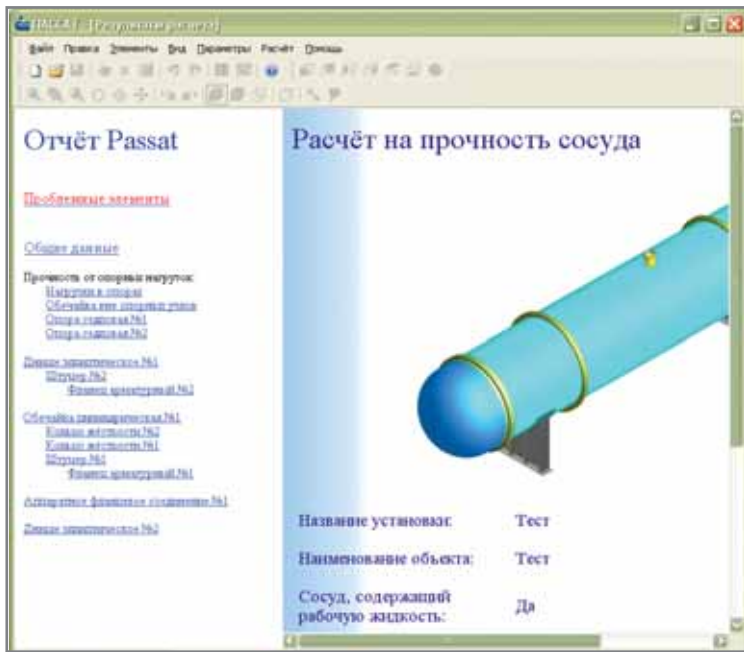
Фрагмент аппарата колонного типа



Фрагмент аппарата колонного типа (прозрачный режим)



Окно расчетных величин



Окно результатов расчета

проблемные элементы будут помечены цветом и вынесены в отдельные строки.

### Перспективы

ПАССАТ — быстро развивающаяся программа. Перечислим лишь некоторые из средств, которые будут доступны пользователю в следующих версиях:

- базы данных стандартных элементов (в первую очередь фланцев) позволят значительно сократить время ввода параметров;
- еще более гибкие средства создания отчетов обеспечат возможность получать выходные данные в произвольном виде — в том числе формировать краткие отчеты, не содержащие промежуточных вычислений, вставлять в отчет таблицы штуцеров и т.д.;
- модуль расчета теплообменных аппаратов будет выполнять расчеты по РД 26-15-88, РД 24.200.21-91 и др.;
- будут реализованы расчеты аппаратов с рубашками (ГОСТ 25867-83), расчет резервуаров для хранения нефтепродуктов (ПБ 03-381-00), расчет остаточного ресурса и др.;
- экспорт модели в другие системы позволит использовать модель аппарата при создании чертежей.

### Литература

1. ГОСТ 14249-89. Сосуды и аппара-

ты. Нормы и методы расчета на прочность.

2. ГОСТ 25221-82. Сосуды и аппараты. Днища и крышки сферические неотбортованные. Нормы и методы расчета на прочность.
3. ГОСТ 26202-84. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок.
4. ГОСТ 24755-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий.
5. РД 26-15-88. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность и герметичность фланцевых соединений.
6. РД РТМ 26-01-96-83. Крышки и днища плоские круглые с радиальными ребрами жесткости сосудов и аппаратов.
7. ГОСТ Р 51273-99. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Определение расчетных усилий для аппаратов колонного типа от ветровых нагрузок и сейсмических воздействий.
8. ГОСТ Р 51274-99. Сосуды и аппараты. Аппараты колонного типа. Нормы и методы расчета на прочность.
9. РД 26-02-62-98. Расчет на прочность элементов сосудов и аппаратов, работающих в коррозионно-активных сероводородосодержащих средах.
10. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. — М.:

Энергоатомиздат, 1989. — 525 с.

11. ASME VIII, Div 1, 2002.
12. WRC-107 Welding Research Council. Bulletin. "Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings", 1979.
13. WRC-297 Welding Research Council. Bulletin. "Local Stresses in Cylindrical Shells due to External Loadings on Nozzles — Supplement to WRC Bulletin №107", 1987.
14. BS-5500: 1976 Specification for Unfired fusion welded pressure vessels. British Standards Institution.
15. WRC-368 Welding Research Council. Bulletin. "Stresses in Intersecting Cylinders subjected to Pressure". 1991. — 32 p.
16. Bilty, Les M., 2000, "A Proposed Method for Finding Stress and Allowable Pressure in Cylinders with Radial Nozzles", PVP Vol. 399, ASME, New York, NY, pp. 77-82.
17. ГОСТ 25867-83. Сосуды и аппараты. Сосуды с рубашками. Нормы и методы расчета на прочность.
18. РД 26-02-63-87. Технические требования к конструированию и изготовлению сосудов, аппаратов и технологических блоков установок подготовки нефти и газа, работающих в средах, вызывающих сероводородное коррозионное растрескивание.
19. РД 10-249-98. Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды.
20. РД 26-01-169-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность днищ в местах крепления опор-стоек.
21. РД 24.200.21-91. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность элементов плавающих головок кожухотрубчатых теплообменных аппаратов.
22. РД 26-18-8-89. Сварные соединения приварки люков, штуцеров и муфт. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
23. РД 26.260.09-92. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность цилиндрических обечаек и выпуклых днищ в местах присоединения штуцеров при внешних статических нагрузках.
24. С. Е. Freese. Vibrations of Vertical Pressure Vessels. Journal of Engineering for Industry, 1959.

*к.т.н. Андрей Краснокутский,  
Алексей Тимошкин  
НТП "Трубопровод"  
E-mail: passat@truboprovod.ru  
Internet: www.truboprovod.ru*