

# РАСЧЕТ СОСУДОВ И АППАРАТОВ В ПРОГРАММЕ **ПАССАТ**

Программа ПАССАТ компании НТП "Трубопровод" позволяет производить расчет на прочность и устойчивость конструкций сосудов и аппаратов для оценки несущей способности в рабочих условиях, а также при испытаниях и монтаже.

ПАССАТ предназначен для организаций, проектирующих аппараты или сосуды. Название программы – аббревиатура, которая расшифровывается как "Прочностной анализ состояния сосудов, аппаратов, теплообменников".

**Пролог, в котором описываются идеи, заложенные в программу, ее назначение и используемые методы расчета**

Разработчики программы ПАССАТ стремились создать эффективный, удобный и наглядный инструмент для автоматизации проектирования, поскольку на современном рынке отсутствуют отечественные программы, соответствующие нашим представлениям об инженерных инструментах.

Программу ПАССАТ выгодно отличают от зарубежных аналогов (Compress, Vessel, PV Elite и т.д.) ориентация на российскую нормативно-правовую базу, более доступная цена, интуитивно понятный русскоязычный интерфейс, наличие встроенной базы отечественных материалов.

В программе реализовано объемное графическое отображение геоме-

трии отдельных элементов и модели в целом.

Расчетная модель создается в трехмерной среде, что позволяет уже на этапе ввода исходных данных оценить габариты емкости и автоматически исключить нестыковку элементов модели из-за несовпадения размеров. Возможность вывода "каркасного" изображения (Wireless) обеспечивает полную видимость всех элементов, включая внутренние. ПАССАТ автоматически проверяет геометрию модели, позволяя пользователю выбрать способ стыковки элементов. Виртуальная расчетная модель, создаваемая в полном соответствии с заданным рассчитываемым аппаратом (сосудом), обеспечивает правильность ввода исходных размеров.

Программа создана в соответствии с основными нормативами и методиками, применяющимися в Российской Федерации. К сожалению, они не полностью регламентируют все стадии расчета, поэтому в отдельных случаях при расчете тех или иных элементов используются зарубежные методические документы.

Программа ПАССАТ производит расчет на основе:

- ГОСТ 14249-89;

- ГОСТ 25221-82;
- ГОСТ 26202-84;
- ГОСТ 24755-89;
- РД 26-15-88;
- РД РТМ 26-01-96-77;
- РД 26-02-62-98;
- норм расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок;
- ГОСТ 27772-88;
- ГОСТ 25859-83;
- ASME VIII;
- ASME II;
- WRC-107;
- WRC-297;
- BS-5500.

Для оценки прочности и устойчивости заданной конструкции сосуда или аппарата реализованы следующие функции:

- определение расчетных толщин и допускаемых значений давления, сил и моментов;
- автоматическое определение расчетных величин, таких как вес, длины и диаметры элементов, характеристики колец жесткости (в цилиндрических обечайках и в седловых опорах) и др.;
- расчет прочности места соединения штуцера с сосудом (аппаратом);
- расчет арматурных фланцевых соединений с учетом воздействия давления, внешних сил и моментов, температурных напряжений и т.д.

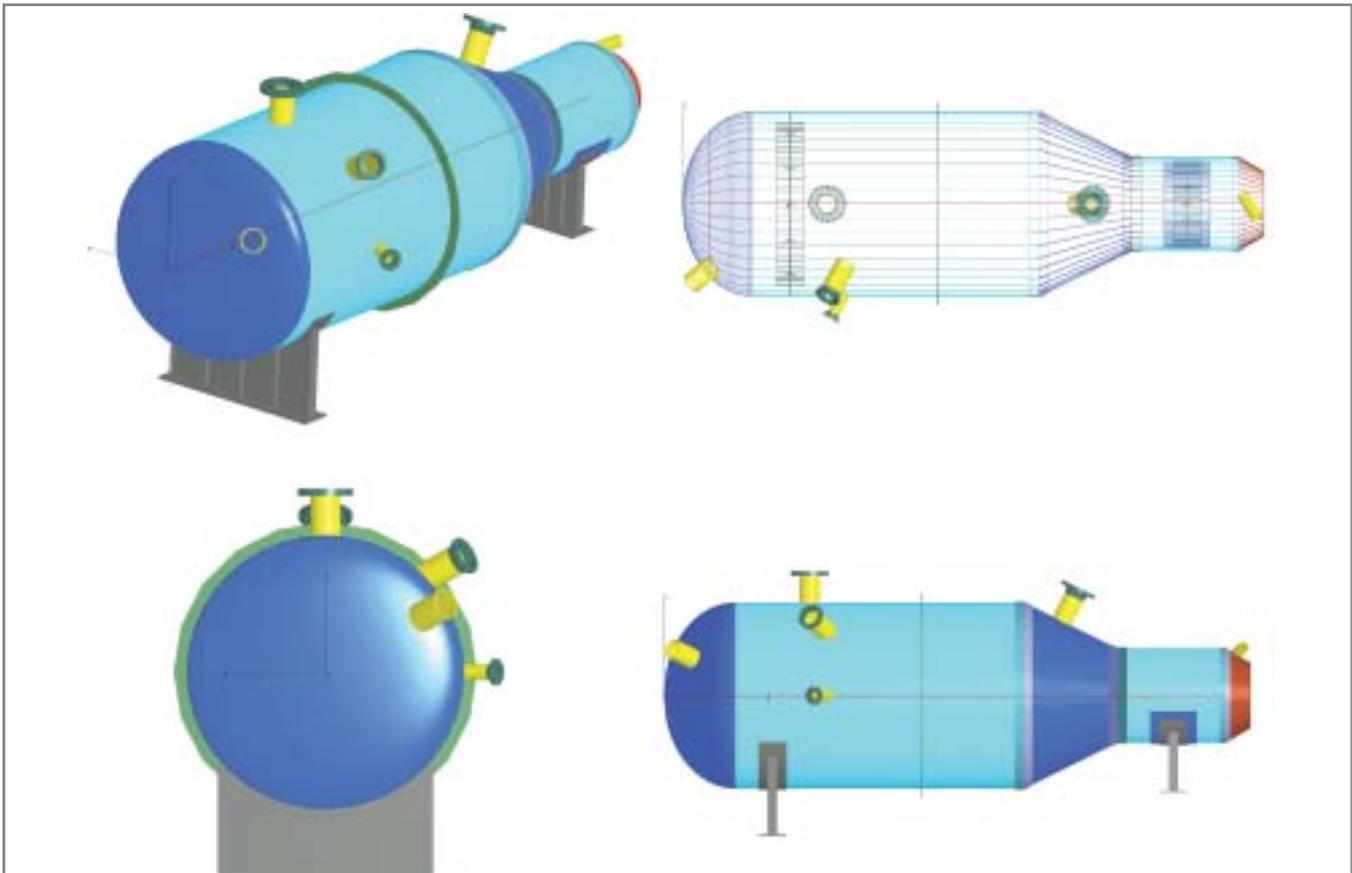


Рис. 1

Кроме того, программа ПАССАТ обеспечивает выполнение ряда вспомогательных функций:

- настройка размерностей;
- ввод и анализ исходных данных. В случае, если пользователь не ввел всех данных, необходимых для выполнения расчета, или ввел их некорректно, программа выдает предупреждение до тех пор, пока все данные не будут заданы;
- автоматические изменения в смежных элементах всей модели при изменении геометрических параметров или условий нагружения в одном из элементов;
- выбор используемых материалов из базы данных с возможностью ее пополнения;
- автоматическое изменение величины допускаемых напряжений, модулей упругости и т.д. при изменении материала, температуры или толщины стенки;
- формирование, просмотр и печать полного отчета по расчетам элементов модели с промежуточными результатами вычислений.

ПАССАТ содержит открытую базу данных материалов, применяемых

в СНГ, доступную для пополнения и корректировки.

Программа предназначена для проектно-конструкторских бюро и отделов, которые специализируются на проектировании и реконструкции сосудов и аппаратов, работающих под давлением, а также для организаций нефтеперерабатывающей, химической, нефтехимической, газовой, нефтяной, теплоэнергетической и других отраслей промышленности.

Системные требования программы ПАССАТ весьма скромны: программа работает в среде Windows 9x/2000/XP, рекомендуется видеокарта с поддержкой OpenGL.

### Глава об интерфейсе, исходных данных и результатах расчета

ПАССАТ имеет дружелюбный интерфейс, а также интуитивно понятную структуру создания моделей и расчета сосудов и аппаратов. Параметризованные элементы, применяемые в программе вместо геометрических примитивов, значительно упрощают работу и позволяют существенно экономить время.

На рисунках 2-4 в качестве примеров показано создание конической обечайки и цилиндрического элемента.

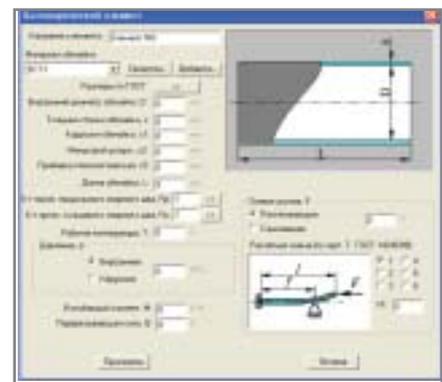


Рис. 2

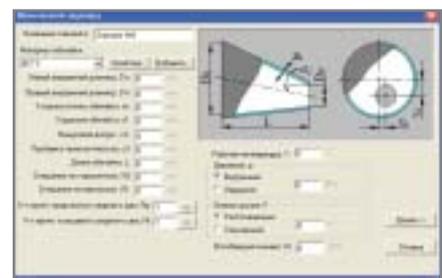


Рис. 3

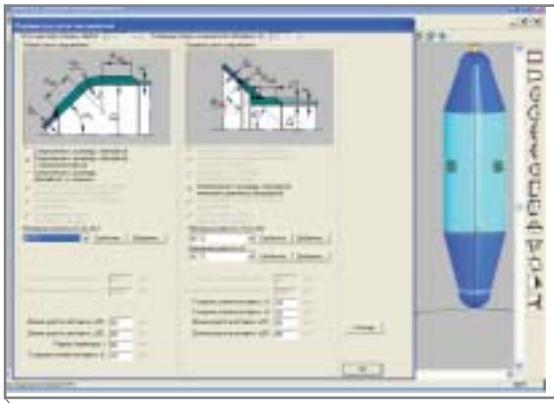


Рис. 4

Из иллюстраций видно, что для создания элемента, корректно пристыкованного к модели, инженеру достаточно заполнить поля в коротком диалоге, иллюстрированном наглядной схемой, и выбрать необходимую схему соединения.

Особо подчеркнем, что для работы с программой пользователю не требуется большой опыт работы с системами 3D-моделирования – достаточно владеть обычным набором знаний инженера-расчетчика.

Исходными данными в ПАССАТ являются тип, геометрические характеристики и материал элементов сосуда или аппарата, тип и расположение опор, вид испытаний, величины нагрузок. Выбор используемых материалов производится из базы данных.

Процесс завершается выдачей полного отчета по расчетам элементов модели с промежуточными результатами вычислений, который пользователь может либо экспортировать в Word, либо, при необходимости, модифицировать, внося изменения в конструкцию и/или условия. Заметим, что экспорт расчета осуществляется поэлементно – это позволяет пользователю компоновать отчет в соответствии со своими требованиями.

В качестве примера приведен образец такого документа: в нем отражены результаты расчета эллиптического днища горизонтального сосуда в условиях гидроиспытаний.



Рис. 5

### Расчет в условиях испытаний (гидроиспытания)

#### Условия нагружения при испытаниях:

Рабочая температура, Т 20° С  
 Внутреннее давление, р: 0.5 МПа

По ГОСТ 14249-89 расчет на прочность при испытаниях не проводится, если выполнено условие:

$$P_{исп} < 1,35 \cdot P_{расч} \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}$$

$$\begin{aligned} 1,35 \cdot P_{расч} \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} &= \\ &= 1,35 \cdot 1,2 \cdot \frac{154}{154} = \\ &= 1,62 \text{ МПа} \geq 0,5 \text{ МПа} \end{aligned}$$

Допускаемые напряжения для материала ВСТ3 при температуре 20° С (условия испытаний):

$$[\sigma] = \frac{R_e}{n_T} = 250/1,1 = 227,3 \text{ МПа}$$

Коэффициент  $n_T$  выбирается в зависимости от группы аппарата.

Модуль продольной упругости при температуре 20° С:

$$E = 199\,000 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения при температуре 20° С:

$$\alpha = 1,16 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

#### Днища, нагруженные внутренним избыточным давлением (п. 3.3.1).

Расчетная толщина стенки с учетом прибавок:

$$\begin{aligned} s_{ip} + c &= \frac{p \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi - 0,5 \cdot p} + c = \\ &= (0,5 \cdot 1330) / (2 \cdot 227,3 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,5) + 0 = \\ &= 1,47 \text{ мм} \end{aligned}$$

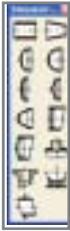
Допускаемое давление:

$$\begin{aligned} [p] &= \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi \cdot (s_f - c)}{R + 0,5 \cdot (s_f - c)} = \\ &= 2 \cdot 227,3 \cdot 1 \cdot (10 - 0) / (1330 + 0,5 \cdot (10 - 0)) = \\ &= 3,4 \text{ МПа} \geq 0,5 \text{ МПа} \end{aligned}$$

Заключение: условие прочности выполнено.

Расчеты производятся по следующим элементам:

- цилиндрические обечайки (гладкие и подкрепленные кольцами жесткости);
- конические переходы;
- днища (сферические, эллиптические, торосферические, конические, плоские, сферические неотбортованные);
  - врезки (штуцеры) в обечайки и выпуклые днища;
  - седловые опоры в горизонтальных сосудах и аппаратах;
  - опорные стойки и лапы в вертикальных сосудах и аппаратах.



Существующие конструкции сосудов и аппаратов, а также условия их работы часто не позволяют без значительного упрощения расчетных моделей выполнить расчеты в строгом соответствии с нормами, что приводит к искажению полученных результатов. После долгой и глубокой проработки методик нам удалось создать универсальную программу, значительно расширив сферу ее применения.

Это касается, в частности, расчета прочности и жесткости узлов врезок штуцеров в цилиндрические обечайки и выпуклые днища с учетом внутреннего давления и внешних нагрузок. В основе методики такого расчета лежат известные зарубежные разработки.

Существенно расширена область применения горизонтальных сосудов и аппаратов на седловых опорах: в отличие от методики, описанной в ГОСТ 26202-84, стало возможным определять изгибающие моменты и силы (как над опорами, так и между ними) сосудов произвольной конструкции, а также опор, расположенных в любом месте цилиндрических обечайек.

Расчет арматурных фланцев производится в соответствии с ASME VIII. При этом помимо давления учитываются внешние нагрузки и изгибающие моменты, а также напряжения, вызванные разницей линейных удлинений фланцев и шпилек (болтов) при температурном воздействии.

### Эпилог, в котором описывается дальнейшая судьба программы

Внимательные читатели заметили, что мы не упомянули о теплообменниках — последней составляющей аббревиатуры ПАССАТ. Функцией расчета теплообменников программа пополнится в ближайшей перспективе.

Кроме того, планируется реализовать:

- расчет аппаратов колонного типа в соответствии с ГОСТ Р 51273-99 и ГОСТ Р 51274-99;
- расчет сейсмических и ветровых нагрузок, воздействующих на вертикальные аппараты колонного типа, в том числе — при определении периода собственных колебаний (без ограничений количества элементов);
- расчет рубашек сосудов и аппаратов по ГОСТ 25867-83;
- расчет вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов;
- БД стандартных узлов и элементов в полном соответствии с требованиями ОСТ, ГОСТ и АТК.

К уже реализованной функции расчета арматурных фланцевых соединений будет добавлен расчет фланцевых соединений сосудов и аппаратов.

В эти дни проводится открытое бета-тестирование, участниками которого стали более 20 предприятий различных отраслей промышленности.

С 1 июня 2004 года НТП "Трубопровод" осуществляет опрос заинтересованных организаций. Опросный лист размещен по адресу:

<http://www.truboprovod.ru/cad/demo/PollPassat.doc>

По результатам опроса и бета-тестирования мы сможем установить приоритетные направления развития программы и определить, в какие программные системы будет осуществляться импорт/экспорт расчетных моделей, созданных в программе ПАССАТ.

### Литература, использованная при создании программы ПАССАТ

1. ГОСТ 14249-89. Сосуды и аппараты. 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 обечайек 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 26-01-96-77. Плоские круглые крышки и днища с ребрами жесткости.
7. РД 26-02-62-98. Расчет на прочность элементов сосудов и аппаратов, работающих в коррозионно-активных сероводородсодержащих средах.
8. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. - М., Энергоатомиздат, 1989. — 525 с.
9. ГОСТ 27772-88. Прокат для строительных стальных конструкций.
10. ГОСТ 25859-83. Сосуды и аппараты стальные. Нормы и методы расчета на прочность при малоцикловых нагрузках.
11. ASME VIII, Div 1, 2002, Appendix 2.
12. ASME II, 1998, Appendix 2.
13. WRC-107 Welding Research Council. Bulletin. — "Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings", 1979.
14. WRC-297 Welding Research Council. Bulletin. "Local Stresses in Cylindrical Shells due to External Loadings on Nozzles, — Supplement to WRC Bulletin №107", 1987.
15. BS-5500: 1976 Specification for Unfired fusion welded pressure vessels. British Standards Institution.
16. WRC-368 Welding Research Council. Bulletin. "Stresses in Intersecting Cylinders subjected to Pressure", — 1991. — 32 P.
17. 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.
18. Zick L.P. "Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports", — Welding Research Journal Supplement, September, 1951.

Евгений Чурдалев  
НТП "Трубопровод"  
Тел.: (095) 741-5942

E-mail: [churdalev@truboprovod.ru](mailto:churdalev@truboprovod.ru)