

# ПАССАТ 1.07 – теперь с теплообменниками

Постоянные читатели журнала CADmaster уже знакомы с программой ПАССАТ ("Прочностной Анализ Состояния Сосудов, Аппаратов, Теплообменников"), которая с 2004 года разрабатывается в ООО "НТП Трубопровод". Сейчас готовится к выпуску очередная версия – 1.07 (на момент написания статьи она проходит бета-тестирование).

ПАССАТ – первая отечественная программа на платформе Windows для прочностных расчетов сосудов и аппаратов. При ее разработке основное внимание уделялось простоте и удобству использования.

Программа позволяет рассчитывать большое число элементов аппарата в различных условиях и с учетом взаимного влияния элементов. В качестве исходных данных требуются лишь размеры и рас-

положение элементов относительно друг друга, их материальное исполнение и условия нагружения. Расчетные величины, такие как вес, расчетные длины, опорные нагрузки, характеристики колец жесткости (как в цилиндрических обечайках, так и в седловых опорах), длины хорд окружностей и прочие, определяются автоматически. Визуально контролировать введенные данные позволяет отображение трехмерной модели рассчитываемого аппарата. Важной особенностью программы является форма представления результатов: пользователь получает не просто заключение о работоспособности, а полный, оформленный по ЕСКД протокол расчета, включая примененные формулы, ссылки на нормативные документы и промежуточные вычисления, что позволяет имитировать расчет вручную.

В новой версии появился долгожданный модуль по расчету элементов кожухотрубчатых теплообменников. Таким образом, ПАССАТ состоит уже из четырех 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** включает иностранные методики расчета шту-

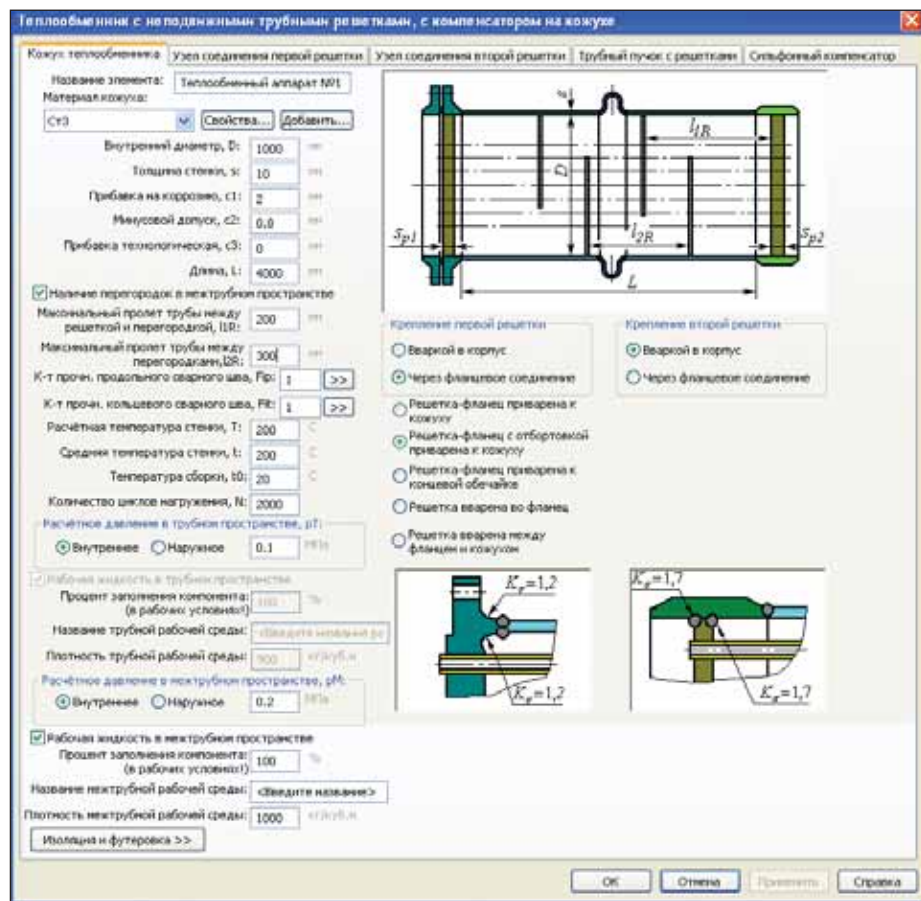


Рис. 1. Задание компоновки ТА и размеров кожуха

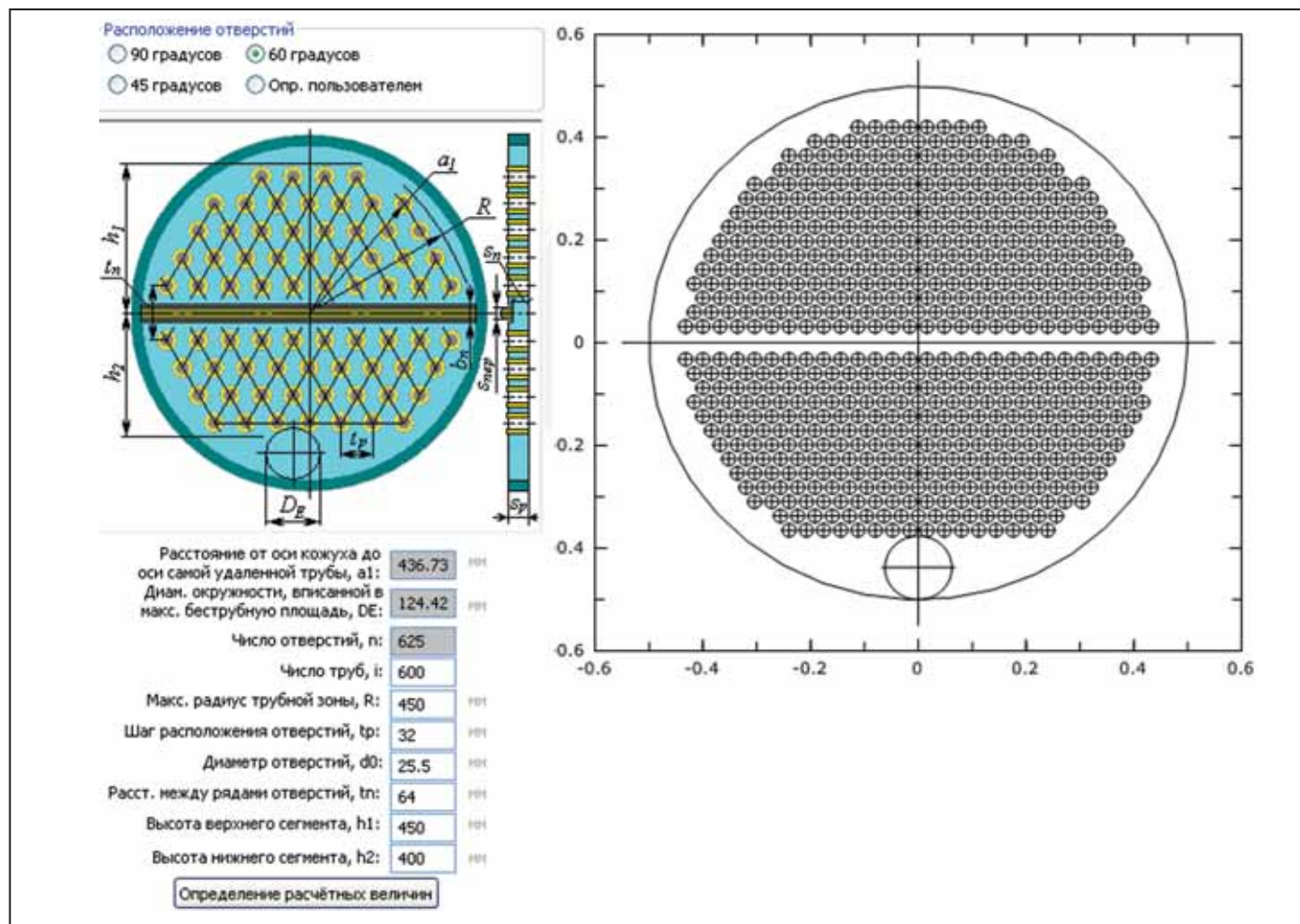


Рис. 2. Задание характеристик трубной решетки

церов и аппаратных фланцев WRC-107/297, ASME VIII и др.;

■ **Модуль ПАССАТ-Теплообменники** рассчитывает кожухотрубчатые теплообменные аппараты на основе РД 26-14-88, РД 24.200.21-91, ГОСТ 25859-83, ГОСТ 30780-2002 и др.

Возможности базового модуля, а также модулей ПАССАТ-Колонны и ПАССАТ-Штуцер подробно освещены в [1].

Расчет теплообменных аппаратов (ТА) включает в себя расчет элементов кожухотрубчатых теплообменников: трубных решеток, труб, перегородок, кожуха, компенсатора или расширителя (при их наличии), плавающих головок. Расчеты обечаек, днищ, патрубков, фланцевых соединений и др. проводятся по методикам, изложенным в соответствующих разделах [2].

Основные расчетные параметры — расчетная температура, рабочее, расчетное и пробное давление, коэффициенты запаса прочности и устойчивости, модули упругости материалов, свойства материалов, коэффициенты прочности сварных швов, прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов — принимаются в соответствии с [3].

Методики расчетов элементов ТА основаны на отечественных нормах, приведенных в перечне нормативно-технических документов с некоторыми дополнениями и уточнениями. В случае неточности или отсутствия методик расчета в отечественных нормативных документах используются соответствующие широко применяемые зарубежные источники.

При создании расчетной модели ТА пользователю предлагаются несколько типов теплообменного элемента:

- с неподвижными решетками;
- с компенсатором на кожухе;
- с расширителем на кожухе;
- с U-образными трубами;
- с плавающей головкой.

Исходные данные взаимовлияющих частей теплообменного элемента (кожуха, трубных решеток, узлов их соединения, трубного пучка, компенсатора и кожуха при их наличии) задаются в едином диалоге (рис. 1).

При определении конструкции кожуха предусмотрена возможность задания изоляции и футеровки. Параметры стандартных фланцевых соединений могут быть выбраны из базы данных. Определение конструкции трубных решеток

(количество и размещение труб, расчет максимального диаметра беструбной зоны) автоматизировано (рис. 2).

После создания теплообменного элемента к нему можно присоединить остальные элементы — камеры, штуцеры, днища, крышки, опоры. Режим полупрозрачного представления (рис. 3, 4) позволяет контролировать правильность задания внутренних элементов теплообменника (труб, перегородок и др.).

Помимо расчета теплообменного элемента проводятся расчеты всех элементов по соответствующим нормативным документам. Добавлен расчет на прочность (в том числе малоцикловую) и устойчивость сильфонного (линзового) компенсатора. При этом эквивалентные осевые перемещения компенсатора с учетом угловых и поперечных деформаций кожуха определяются автоматически по методике [10] (рис. 5).

Общее эквивалентное перемещение в компенсаторе:

$$\Delta x = |\Delta x_F| + |\Delta x_M| + |\Delta x_Q|.$$

Анализ отечественных и зарубежных нормативно-технических документов [7-11], посвященных расчетам прочности и жесткости компенсаторов, показал, что в [8-11] используется практически



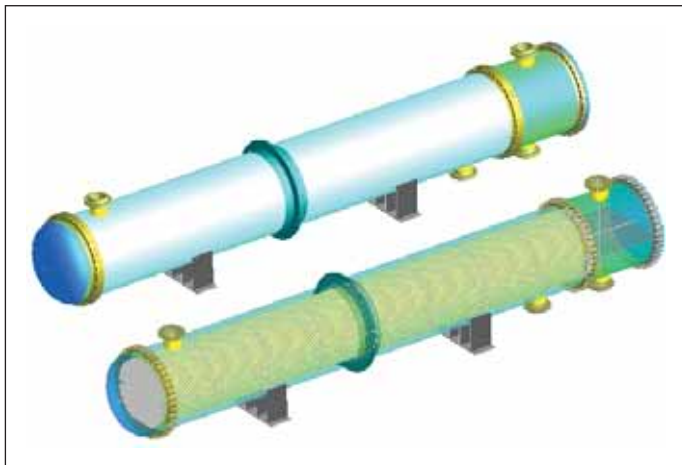


Рис. 3. Горизонтальный аппарат с компенсатором

одна и та же методика. Расчет осевой жесткости и прочности компенсаторов, предложенный в [7], также основан на методике [8-11].

В [7] для определения прочности и жесткости используются упрощенные формулы с большим количеством табличных коэффициентов, что неудобно для практического применения. При

этом в отечественных НД отсутствует расчет компенсаторов на устойчивость. Сравнительный анализ результатов расчетов компенсаторов, выполненный по [8-11], [7] и с помощью метода конечных элементов (МКЭ), показал, что расчеты, вы-



Рис. 4. Вертикальный аппарат с компенсатором

полненные по [8-11] и МКЭ, имеют удовлетворительную сходимость — именно эти документы и легли в основу методики расчета компенсаторов.

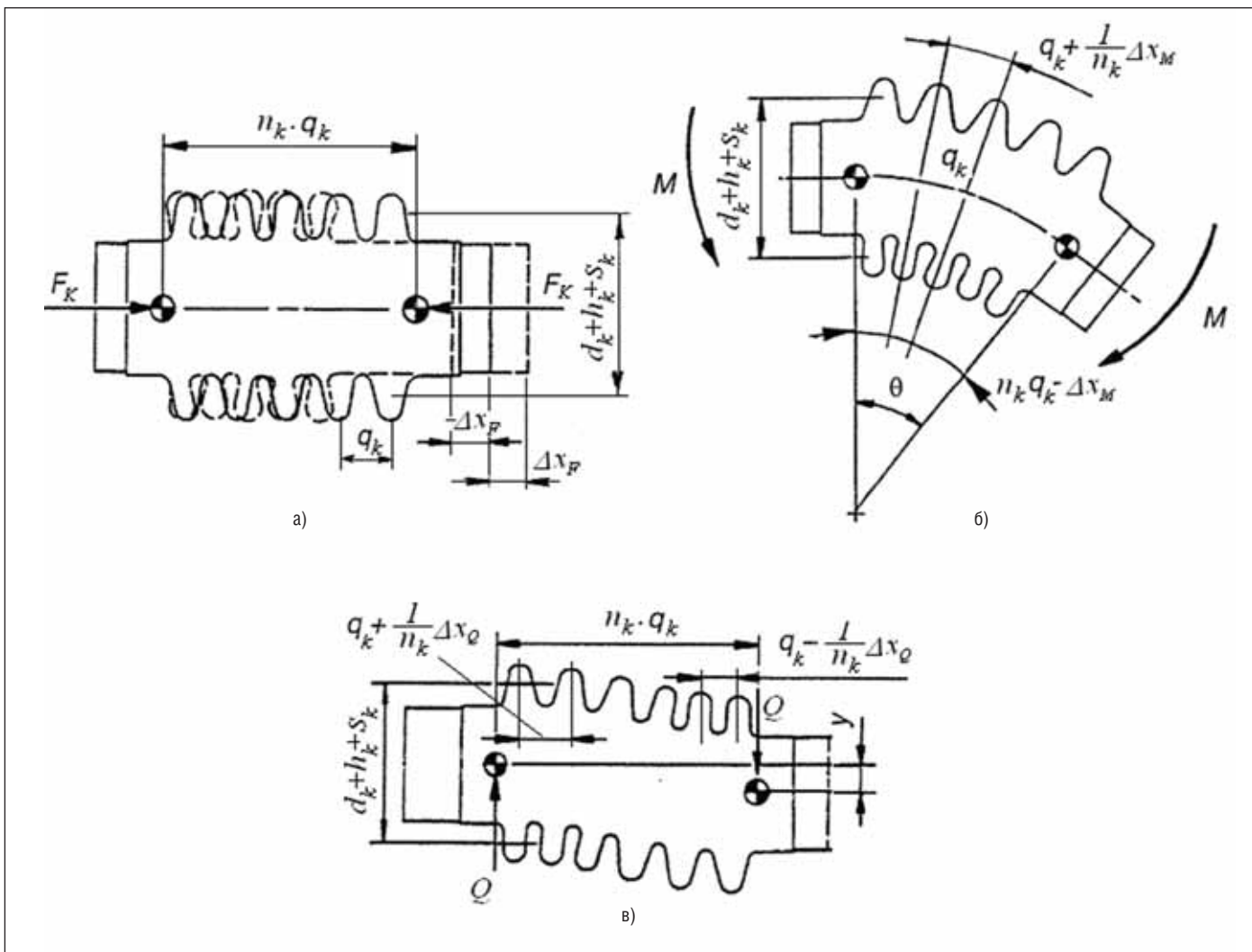


Рис. 5. Эквивалентные перемещения компенсатора под действием осевой силы (а), изгибающего момента (б) и поперечной силы (в)

ПАССАТ позволяет рассчитывать ТА не только с цилиндрическим кожухом, но и U-образными трубами и плавающей головкой с коническими обечайками (рис. 6).

При определении распределения сил и моментов, действующих на корпус и опоры аппарата, учитывается жесткость трубного пучка. Проконтролировать распределение поперечных сил, моментов и перемещений для горизонтальных аппаратов можно с помощью эпюр (рис. 7).

Таким образом, пользователь получил еще один удобный и эффективный инструмент для прочностного расчета оборудования.

## Литература

1. Краснокутский А.Н., Тимошкин А.И. Прочностной анализ сосудов и аппаратов в программе ПАССАТ // CADmaster, №3/2006 – с. 86-89.
2. СА 03-004-07. Расчет на прочность сосудов и аппаратов. Стандарт ассоциации экспертных организаций техногенных объектов повышенной опасности "Ростехэкспертиза".
3. ГОСТ 14249-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.
4. ГОСТ 25859-83. Сосуды и аппараты стальные. Нормы и методы расчета на прочность при малоцикловых нагрузках.
5. РД 26-14-88. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Элементы теплообменных аппаратов.
6. РД 24.200.21-91. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность элементов плавающих головок кожухотрубчатых теплообменных аппаратов.
7. ГОСТ 30780-2002. Сосуды и аппараты стальные. Компенсаторы сильфонные и линзовые. Методы расчета на прочность.
8. РТМ 38.001-94. Указания по расчету на прочность и вибрацию технологических стальных трубопроводов.
9. Standards of the Expansion Joint Manufacturers Association, INC, 8th Edition, 2003.
10. EN 13445-3. European Standard. Unfired pressure vessels. — Part 3. Issue 1 (2002-05).
11. ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Sect.VIII, Div.1, Appendix 26.

Андрей Краснокутский,  
Алексей Тимошкин  
НТП "Трубопровод"  
E-mail: [passat@truboprovod.ru](mailto:passat@truboprovod.ru)  
Internet: [www.truboprovod.ru](http://www.truboprovod.ru)

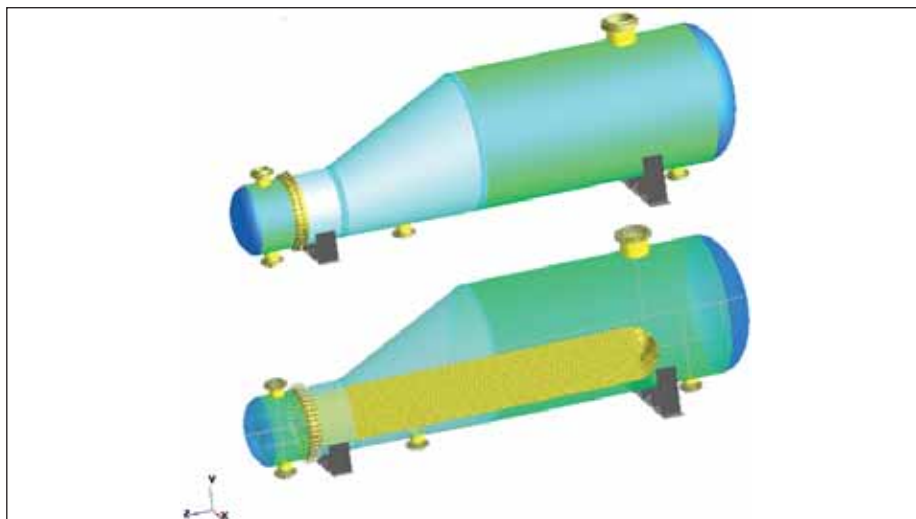


Рис. 6. Испаритель с паровым пространством и U-образными трубами

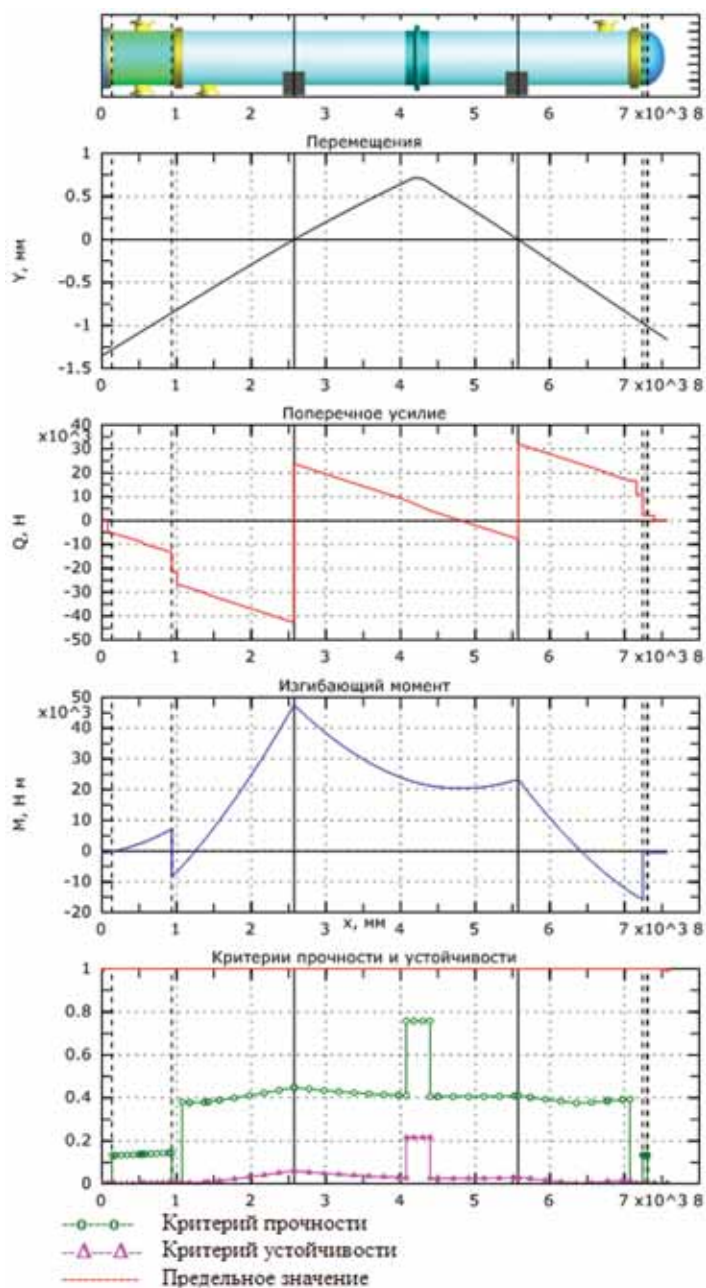


Рис. 7. Эпюры распределения перемещений, поперечных усилий, моментов