



**Инженерно-промышленная  
нефтехимическая компания**



**Научно-техническое  
предприятие «Грубопровод»**

# **РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ СОСУДОВ И АППАРАТОВ**

## **ПАССАТ**

Версия 3.6

**Руководство пользователя**

**Москва**

**2023**

## Аннотация

Программа «ПАССАТ» предназначена для расчета прочности и устойчивости сосудов, аппаратов и их элементов с целью оценки несущей способности в рабочих условиях, а также в условиях испытаний и монтажа.

Программа состоит из ядра – базового модуля «ПАССАТ», который осуществляет расчет прочности и устойчивости горизонтальных и вертикальных сосудов и аппаратов по отечественным и зарубежным нормативным документам.

Расчет на прочность и устойчивость аппаратов колонного типа с учетом ветровых нагрузок и сейсмических воздействий осуществляется с помощью модуля «ПАССАТ-Колонны».

Расчет аппаратов воздушного охлаждения (АВО), а также кожухотрубчатых теплообменных аппаратов (ТА), включающий в себя расчет трубных решеток, труб, перегородок, кожуха, компенсатора, расширителя, плавающий головки проводится с помощью модуля «ПАССАТ-Теплообменники».

Расчет вертикальных стальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов выполняется с помощью модуля «ПАССАТ-Резервуары». Для резервуаров доступно создание моделей каркасных крыш и их экспорт с нагружением и закреплением в программу ANSYS для дальнейших расчетов на прочность и устойчивость..

Расчет на прочность и устойчивость горизонтальных и вертикальных сосудов с учетом нагрузок от сейсмических воздействий доступен с помощью модуля «ПАССАТ-Сеймика».

Программа выполняет автоматическое построение твердотельной модели аппарата с высокой степенью детализации и с возможностью экспорта в файлы форматов ACIS, IGES, Parasolid, STEP.

В документе приводятся сведения о назначении программы, области ее применения, используемых методах расчета, пользовательском интерфейсе, необходимых исходных данных и получаемых результатах расчета, а также по установке и регистрации.

Программа имеет дружественный интерфейс и интуитивно понятную структуру создания и расчета сосудов и аппаратов. От пользователя не требуется знания программирования и детального устройства программы.

Удобный графический интерфейс с трехмерным отображением позволяет легко проверять правильность ввода геометрических характеристик как отдельных элементов, так и всей модели в целом.

Возможны незначительные отличия данного руководства от поставленной программы, так как программа постоянно совершенствуется. Самая новая версия руководства находится в файле в формате PDF, поставляемом в составе дистрибутива программы.

## Оглавление

<b>1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ .....</b>	<b>7</b>
1.1. Назначение программы .....	7
1.2. Выполняемые функции.....	8
1.3. Ограничения применения.....	11
<b>2. РУКОВОДСТВО СИСТЕМНОГО АДМИНИСТРАТОРА .....</b>	<b>12</b>
2.1. Требования к оборудованию и программному обеспечению .....	12
2.1.1. Минимальная конфигурация.....	12
2.1.2. Рекомендуемая конфигурация.....	12
2.2. Комплект поставки .....	12
2.3. Установка программы на компьютер пользователя.....	12
2.4. Установка сетевого ключа .....	13
2.5. Защита программы от несанкционированного использования.....	14
2.6. За состоянием ключа и числом доступных лицензий в ключах	
можно следить с помощью мониторов лицензий «SENTINEL LICENSE MONITOR»	
или «SENTINEL KEYS LICENSE MONITOR». Монитор лицензий позволяет	
выяснить, какие именно компьютеры-клиенты зарезервировали лицензии в	
ключе. Для запуска монитора лицензий необходимо открыть Интернет-	
браузер (например, MICROSOFT INTERNET EXPLORER) и в адресной строке	
написать <a href="http://&lt;адрес сервера ключа&gt;:6002">http://&lt;адрес сервера ключа&gt;:6002</a> (порт 6002 обычно установлен	
по умолчанию) либо <a href="http://&lt;адрес сервера ключа&gt;:7002/">http://&lt;адрес сервера ключа&gt;:7002/</a> . Для работы	
монитора требуется JRE 1.8 (при наличии доступа в Интернет может быть	
загружен и установлен автоматически), используемый как плагин	
Интернет-браузера.Установка с использованием технологии ACTIVE	
DIRECTORY (AD) .....	16
2.7. ....	17
<b>3. РАБОТА С ПРОГРАММОЙ .....</b>	<b>18</b>
3.1. Геометрическое ядро, построение твердотельной модели.....	18
3.2. Создание, чтение и запись исходных данных и результатов расчета	
.....	19
3.3. Типы моделей программы .....	20
3.3.1. Горизонтальные сосуды и аппараты.....	20
3.3.2. Вертикальные сосуды и аппараты .....	21
3.3.3. Аппараты колонного типа.....	22
3.3.4. Вертикальные резервуары (РВС) .....	23
3.4. Диалоговое окно программы .....	24
3.5. Общие данные .....	26
3.5.1. Ветровые нагрузки.....	28
3.5.2. Сейсмические и инерционные нагрузки .....	28
3.6. Отметка (высота) установки .....	28

3.7. ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ИЗОЛЯЦИИ.....	29
3.8. ГЛАВНОЕ МЕНЮ ПРОГРАММЫ.....	29
3.9. ПАНЕЛИ ИНСТРУМЕНТОВ “Вид” и “СТАНДАРТНЫЕ ВИДЫ”.....	34
3.10. ИЕРАРХИЯ МОДЕЛИ.....	36
3.11. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ.....	37
3.12. ПАНЕЛЬ ОФОРМЛЕНИЯ.....	37
3.13. НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ПРОГРАММЫ.....	39
3.14. СИСТЕМА ОБНОВЛЕНИЯ ПРОГРАММЫ.....	42
3.15. НАСТРОЙКА РАЗМЕРНОСТЕЙ.....	43
3.16. ЗАДАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ.....	44
3.16.1.1 Название элемента.....	45
3.16.1.2 Нормативный документ.....	45
3.16.1.3 Расчетная температура.....	45
3.16.1.4 Расчетное избыточное давление.....	45
3.16.1.5 Определение расчетных величин.....	46
3.16.1.6 Выбор материала.....	46
3.16.1.7 Размеры по НД (нормативному документу).....	49
3.16.1.8 Минусовой допуск.....	49
3.16.1.9 Коэффициент прочности сварного шва.....	50
3.16.1.10 Изоляция и футеровка.....	51
3.16.1.11 Малоцикловая прочность.....	53
3.16.1.12 Дефекты по ГОСТ 34233.11-2017.....	54
3.16.1.13 Пространство в элементе.....	54
3.16.2. Цилиндрическая обечайка.....	55
3.16.3. Конический переход.....	57
3.16.4. Выпуклые днища.....	58
3.16.5. Пологое коническое днище.....	60
3.16.6. Крутое коническое днище.....	61
3.16.7. Плоское днище.....	62
3.16.8. Плоское днище с ребрами.....	65
3.16.1. Плоское днище с центральным отверстием.....	66
3.16.2. Овальная крышка.....	67
3.16.3. Сферическое неотбортованное днище.....	68
3.16.4. Штуцер (врезка).....	69
3.16.5. Овальный штуцер (врезка).....	74
3.16.6. Отвод.....	75
3.16.7. Фланцевое соединение.....	76
3.16.8. Реверсный фланец.....	83
3.16.9. Отъемные крышки.....	84
3.16.10. Кольцо жесткости.....	91
3.16.11. Группа колец жесткости.....	93
3.16.12. Седловая опора.....	94
3.16.13. Опорные лапы горизонтального аппарата.....	99
3.16.14. Опорные лапы вертикального аппарата.....	100
3.16.15. Опорные стойки.....	101

3.16.16. Пластинчатые опоры-стойки.....	102
3.16.17. Опорные стойки на обечайке.....	103
3.16.18. Кольцевая опора .....	104
3.16.19. Подъемное ушко .....	105
3.16.20. Внешнее присоединение, нагруженное силами.....	106
3.16.21. Цапфа (монтажный штуцер) .....	107
3.16.22. Дополнительные нагрузки .....	108
3.16.23. Закрепление аппарата .....	109
3.16.24. Площадка обслуживания.....	110
3.16.25. Элементы аппарата колонного типа .....	112
3.16.26. Опора аппарата колонного типа .....	114
3.16.27. Теплообменник с неподвижными трубными решетками .....	121
3.16.27.1 Узел соединения трубной решетки с кожухом .....	123
3.16.27.2 Параметры трубного пучка .....	124
3.16.27.3 Работа с конструктором трубного пучка.....	128
3.16.28. Теплообменник с компенсатором на кожухе .....	131
3.16.29. Теплообменник с расширителем на кожухе.....	133
3.16.30. Теплообменник с U-образными трубами .....	134
3.16.31. Теплообменник с плавающей головкой .....	134
3.16.32. Аппарат воздушного охлаждения (АВО).....	136
3.16.33. Врезка в камеру аппарата воздушного охлаждения (АВО) .....	139
3.16.34. Рубашка цилиндрическая.....	139
3.16.35. Рубашка U-образная .....	141
3.16.36. Рубашка, частично охватывающая сосуд.....	144
3.16.37. Рубашка со змеевиковыми каналами.....	145
3.16.38. Рубашка с регистровыми каналами .....	146
3.16.39. Рубашка с продольными каналами .....	146
3.16.40. Выпуклая перегородка .....	148
3.16.41. Виртуальная перегородка .....	148
3.16.42. Эллипсоидный переход.....	149
3.16.43. Сильфонный компенсатор .....	149
3.16.44. Металлоконструкция .....	150
3.16.45. Резервуар вертикальный стальной для нефти и нефтепродуктов .....	152
3.16.45.1 Стенка резервуара .....	153
3.16.45.2 Крыша резервуара .....	154
3.16.45.3 Конструктор каркасной крыши.....	156
3.16.45.4 Днище резервуара .....	159
3.16.45.5 Патрубки резервуара.....	160
3.16.46. Цилиндрическая обечайка высокого давления .....	161
3.16.47. Эллиптическое днище высокого давления .....	162
3.16.48. Плоское днище высокого давления .....	162
3.16.49. Сферическое днище высокого давления .....	163
3.16.50. Плоская крышка высокого давления.....	163
3.16.51. Сферическая крышка высокого давления .....	164

3.16.52. Штуцер высокого давления.....	164
3.16.53. Фланцевое соединение высокого давления.....	165
3.16.54. Колено высокого давления.....	166
3.16.55. Смотровое окно на бобышке.....	167
3.16.56. Смотровое окно на патрубке.....	168
3.16.57. Фланцевая бобышка.....	169
3.16.58. Сборка аппарата.....	170
3.16.59. Жесткая связь.....	171
3.16.60. Пользовательское оборудование.....	171
3.16.61. Элемент некруглого сечения.....	173
3.17. РЕДАКТИРОВАНИЕ И УДАЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ.....	175
3.17.1. Групповое редактирование данных.....	177
3.17.2. Задание изоляции списком.....	177
3.18. ЭКСПОРТ И ИМПОРТ ДАННЫХ.....	178
3.18.1. Экспорт модели резервуара (РВС) в программу Ansys.....	179
3.18.1.1 Нагружение модели по СТО-СА-02-003, ГОСТ 31385-2016.....	180
3.18.1.2 Нагружение модели по АРІ-650.....	183
3.19. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ СОСУДОВ И ВЫВОД РЕЗУЛЬТАТОВ.....	184
3.20. СОЗДАНИЕ ОТЧЕТОВ В ФОРМАТЕ RTF.....	185
3.20.1. Создание шаблона.....	186
3.20.2. Использование переменных.....	187
3.20.3. Условные переменные.....	189
3.20.4. Встраивание изображений аппарата.....	191
3.20.5. Встраивание даты и времени расчета.....	192
<b>4. КОНТРОЛЬНЫЙ ПРИМЕР.....</b>	<b>193</b>
4.1. ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ.....	193
4.2. РАСЧЕТ И ВЫВОД РЕЗУЛЬТАТОВ.....	196
<b>5. ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>197</b>

## 1. Общие сведения

### 1.1. Назначение программы

Программа ПАССАТ предназначена для расчета статической и малоцикловой прочности и устойчивости сосудов, аппаратов и их элементов с целью оценки несущей способности в рабочих условиях (в том числе работающих в контакте с коррозионно-активными сероводородосодержащими средами), а также в условиях испытаний и монтажа.

Программа написана на базе отечественных и зарубежных нормативных методик [5].

Расчеты производятся поэлементно, и включают в себя:

- цилиндрические обечайки (гладкие и подкрепленные кольцами жесткости);
- конические переходы;
- приварные и отъемные днища и крышки: сферические, эллиптические, тороидальные, конические, плоские (в том числе с ребрами жесткости и центральным отверстием), сферические неотбортованные;
- фланцевые соединения;
- врезки (штуцера) в обечайки и выпуклые днища;
- седловые опоры и цилиндрические обечайки в местах их опирания в случае горизонтальных сосудов и аппаратов;
- цилиндрические обечайки и днища в местах опирания на стойки и лапы в случае вертикальных сосудов и аппаратов;
- цилиндрические обечайки, конические элементы и выпуклые днища в местах крепления несущих ушек, подъёмных цапф, в местах присоединения металлоконструкций;
- отводы;
- выпуклые перегородки;
- эллипсоидные переходы;
- элементы аппаратов колонного типа от ветровых и сейсмических воздействий, в том числе установленных на постаменте;
- опорные обечайки аппаратов колонного типа;
- трубные решетки, кожух, трубы, компенсатор, расширитель, плавающая головка теплообменных аппаратов;
- камеры теплообменников воздушного охлаждения, врезки в камеры;
- элементы сосудов и аппаратов с рубашками (цилиндрической, U-образной, частично охваченные рубашками, со змеевиковыми и регистровыми каналами, с продольными каналами);

- элементы сосудов и аппаратов высокого давления (обечайки, днища, фланцы, крышки, врезки);
- элементы вертикальных резервуаров;
- смотровые окна, бобышки;
- элементы некруглого сечения (прямоугольные, овальные, в том числе с перегородками и ребрами жесткости).

Расчет на прочность и устойчивость горизонтальных и вертикальных сосудов выполняется с учетом нагрузок от сейсмических и ветровых воздействий

Программа рекомендуется для использования при проектировании и проведении поверочных расчетов объектов в нефтеперерабатывающей, нефтехимической, газовой, нефтяной и других отраслях промышленности.

## **1.2. Выполняемые функции**

Базовый модуль «*ПАССАТ*»:

- ввод и анализ исходных данных. В случае, если пользователь не ввел всех необходимых для выполнения расчета данных или ввел их некорректно, программа выдает предупреждение до тех пор, пока все данные не будут заданы;
- задание дополнительных ветровых, сейсмических, весовых нагрузок, сосредоточенных сил и моментов;
- определение расчетных толщин (в том числе от наружного давления) и допускаемых значений давления, сил и моментов;
- расчет фланцевых соединений сосудов и аппаратов от давления, внешних сил и моментов, а также температурных напряжений;
- автоматическое определение расчетных величин, таких как вес, расчетные длины, характеристики колец жесткости (как в цилиндрических обечайках, так и в седловых опорах), длины хорд окружностей и др. после задания геометрии элементов и свойств используемых материалов;
- расчет объема продукта, высоты налива, процента заполнения, гидростатического давления в каждом элементе горизонтального и вертикального аппарата;
- расчет объема и массы продукта в каждой изолированной полости аппарата;
- представление структуры модели в виде дерева конструкции;
- объемное графическое отображение геометрии с возможностью редактирования цвета, как отдельных элементов, так и всей модели;
- «каркасное» и «полупрозрачное» изображение, позволяющее увидеть внутренние элементы;
- отображение заполнения модели продуктом;



- включение/выключение изображения изоляции и футеровки;
- оценка материалоемкости аппарата;
- при изменении геометрических параметров или условий нагружения в элементе после предупреждения происходит автоматическое изменение в смежных элементах всей модели;
- автоматическое построение точной твердотельной модели аппарата и экспорт в форматы популярных систем твердотельного моделирования (ACIS, IGES, Parasolid, STEP);
- настройка размерностей;
- выбор используемых материалов из базы данных (по ГОСТ, ASME и т.д.) с возможностью ее пополнения, при этом величины допускаемых напряжений, модулей упругости и т.д. подставляются и изменяются программой при изменении материала, температуры или толщины стенки автоматически;
- задание элементов из базы данных по ГОСТ, ASME, EN и т.д. (обечайки, днища, фланцы, прокладки, шпильки фланцевых соединений, седловые опоры, опорные лапы, цилиндрические и конические опоры, патрубки, сечения ребер, колец жесткости, балочных элементов постамента и т.д.);
- расчет обечаяк горизонтальных сосудов и аппаратов с произвольным количеством опор (более 2) и их расположением; построение эпюр перемещений, поперечных усилий, изгибающих моментов, запасов прочности и устойчивости;
- расчет ряда элементов (обечайки, днища, переходы) выполняется по отечественным (ГОСТ, РД) или зарубежным (EN, ASME) нормативам, по выбору пользователя;
- расчет прочности места соединения штуцера с сосудом (аппаратом) от воздействия давления и внешних нагрузок по отечественным (ГОСТ 34233.3-2017) и зарубежным (WRC 537(107)/297) нормативам;
- расчет арматурных и аппаратных фланцевых соединений как по отечественным нормативам (ГОСТ, РД, от давления, внешних сил и моментов, а также температурных напряжений), так и по нормам ASME VIII div.1 (от давления), ASME VIII div.2 (от давления и внешних нагрузок);
- расчет отъемных крышек (с фланцевыми соединениями) как совместный расчет фланца и днища;
- расчет малоциклового прочностного элементов сосуда и аппарата;
- расчет на прочность обечаяк и днищ с учетом смещения кромок сварных соединений, угловатости и некруглости обечаяк;

- формирование, просмотр и печать полного (с промежуточными результатами вычислений) или краткого отчета по результатам расчета элементов модели;
- вывод информации об элементах, в которых не выполнены условия применения или условия прочности;
- расчет необходимого давления испытаний по элементам;
- расчет весов и положений центров тяжести с учетом заполнения, по элементам и для аппарата в целом, в условиях работы, монтажа и испытаний;
- формирование модели составной установки, включающей два и более сосудов;
- подбор теплоизоляции элементов сосуда с учетом климатических факторов и параметров рабочего процесса;
- экспорт и импорт модели аппарата из файла открытого формата (XML);
- экспорт штуцеров модели в файлы формата Штуцер МКЭ (\*.nzl);
- импорт модели аппарата из файла формата MechaniCS XML;

**Модуль «ПАССАТ-Колонны»:**

- определение частот и форм колебаний аппаратов колонного типа с произвольным числом элементов, включая постамент;
- расчет усилий для аппаратов колонного типа от ветровых нагрузок (включая резонансное вихревое возбуждение) и сейсмических воздействий;
- расчет на прочность и устойчивость элементов аппаратов колонного типа;
- расчет опоры типа цилиндр + конус с возможностью задания переходной (забойной) обечайки
- автоматическое определение положения и характеристик наиболее опасного поперечного сечения опорной обечайки;

расчет нагрузок на фундамент и постамент (при наличии) от аппарата колонного типа. Модуль «ПАССАТ-Теплообменники»:

- задание параметров теплообменного элемента в едином многооконном диалоге;
- определение расчетных усилий в трубной решетке, кожухе, трубах;
- расчет трубных решеток, кожуха труб, компенсатора, расширителя, плавающей головки;
- расчет толщин стенок и перегородок камеры аппарата воздушного охлаждения.

**Модуль «ПАССАТ-Резервуары»:**

- задание параметров резервуара в едином многооконном диалоге;
- автоматическое определение весовых характеристик;

- расчет на прочность и устойчивость стенки, бескаркасной стационарной крыши и днища резервуара, включая ветровые, снеговые и сейсмические воздействия;
- создание модели каркасной крыши с автоматическим расчетом ее веса;
- экспорт модели с нагрузками и закреплениями в программу ANSYS для дальнейшего расчета прочности и устойчивости.
- расчет анкерного крепления стенки;
- расчет нагрузок на фундамент;
- определение допускаемых нагрузок на патрубки врезок в стенку резервуара;

#### Модуль «ПАССАТ-Сейсмика»:

- расчет нагрузок от сейсмических воздействий на горизонтальные и вертикальные сосуды и аппараты с категориями сейсмостойкости Is, IIс, IIIс;
- расчет элементов сосудов и аппаратов с учетом нагрузок от сейсмических воздействий;
- учет высоты установки сосуда при расчете нагрузок от сейсмических воздействий.

### ***1.3. Ограничения применения***

Применение программы предполагает определенные ограничения по конструкциям элементов сосудов и аппаратов, которые указаны в условиях применения в соответствующих нормативных документах [5].

В случае если не выполняются те или иные условия применения расчетных формул для элемента, программа выдает предупреждение и отказывается от выполнения его расчета. При этом расчет остальных элементов сосуда может быть продолжен.

## 2. Руководство системного администратора

### 2.1. Требования к оборудованию и программному обеспечению

#### 2.1.1. Минимальная конфигурация

Процессор не ниже Intel Pentium 4

Оперативная память 1 Гб

Объем свободного пространства на жестком диске 1 Гб

Видеоадаптер с поддержкой OpenGL 2.0, разрешением не менее 1024x768 и глубиной цвета от 16 бит (65535 цветов)

Операционная система Windows 8/ Windows 10/ Windows 11

Internet Explorer версии 5.0 или выше

Драйверы ключа электронной защиты (входят в комплект поставки)

#### 2.1.2. Рекомендуемая конфигурация

Процессор Intel Core i5 с частотой от 2 ГГц

Оперативная память 4 Гб

Видеоадаптер с аппаратной поддержкой OpenGL 2.0, разрешением 1280x1024 и глубиной цвета 24бит

Операционная система Windows 8/ Windows 10/ Windows 11

Internet Explorer 7.0 и выше

MS Word 2003 или более поздний

### 2.2. Комплект поставки

- 1) USB-флеш-накопитель с дистрибутивом ПО.
- 2) Лицензионное соглашение.
- 3) Регистрационная карта (при поставке через дилеров).
- 4) Электронные USB ключи SafeNet SuperPro (по количеству поставляемых копий), обеспечивающие защиту программы ПАССАТ от несанкционированного доступа.
- 5) Документация программы на бумажном носителе.


### 2.3. Установка программы на компьютер пользователя

**ВНИМАНИЕ:** Во время установки программы ключ электронной защиты **НЕ** должен присутствовать в порту во избежание его порчи.

Для установки программы на компьютере пользователя необходимо:

- 1) Войти в систему с правами администратора;

- 2) Проверить правильность системных часов. Неправильно установленное системное время может привести к невозможности работы с ключом;
- 3) Установить носитель с дистрибутивом;
- 4) Запустить файл *Setup.exe*;
- 5) Следовать всем указаниям программы установки.  
В процессе установки необходимо указать путь, по которому будет размещена программа, а также имя папки для меню программы. При необходимости автоматически устанавливаются драйверы для электронного ключа. Для завершения установки драйвера ключа может потребоваться перезагрузка системы
- 6) Установить электронный ключ в USB-порт.;

Запуск программы выполняется через ярлык Пассат  или запуском файла PASSAT.EXE.

При поставке программы ПАССАТ через дилеров ООО «НТП Трубопровод» для активации ключа необходимо выслать регистрационную карту и, получив строку обновления ключа, воспользоваться программой обновления ключа (см. п.2.5).

## 2.4. Установка сетевого ключа

Сетевой ключ может быть расположен как на сервере, так и любом компьютере в сети, в том числе на компьютере с установленной программой ПАССАТ. Если сетевой ключ предполагается разместить на компьютере с установленной программой ПАССАТ, установка производится по п.2.3. Данный раздел описывает установку сетевого ключа на отдельный компьютер (сервер).

**ВНИМАНИЕ:** *Во время установки программы ключ электронной защиты НЕ должен присутствовать в порту во избежание его порчи.*

Для установки сетевого ключа:

- 1) Войти в систему с правами администратора.
- 2) Проверить правильность системных часов. Неправильно установленное системное время может привести к невозможности работы с электронным ключом.
- 3) Установить носитель с дистрибутивом.
- 4) Запустить файл *Redistr\Sentinel\SPNComboInst\_7.6.5.exe*.
- 5) Следовать всем указаниям программы установки.  
Для завершения установки драйвера ключа может потребоваться перезагрузка системы.
- 6) Установить электронный ключ в USB-порт.

## 2.5. Защита программы от несанкционированного использования

Программа ПАССАТ защищена от несанкционированного использования. Защита заключается в том, что некоторые выполняемые модули во время работы программы проверяют наличие электронного ключа и, в случае его отсутствия, переводят работу программы в демонстрационный режим.

Ключи бывают двух видов: локальные и сетевые (сетевые ключи могут поставляться при приобретении 2х и более лицензий программы.).

Локальный ключ позволяет программе работать на том ПК, на котором он установлен. Возможен запуск нескольких копий приложения на одном ПК. **Работа программы с локальным ключом в режиме удаленного доступа не поддерживается.**

Сетевой ключ позволяет осуществлять конкурентный доступ: программа может запускаться с любого ПК в локальной сети. Общее количество копий запущенной программы контролируется ключом и соответствует числу приобретенных лицензий. Сетевой ключ может быть расположен на произвольном компьютере в локальной сети (например, на сервере). На этом же компьютере должны быть установлены драйверы ключа. Для работы в сети программное обеспечение электронного ключа использует протокол TCP/IP.

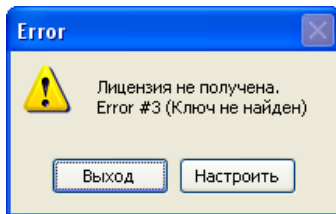
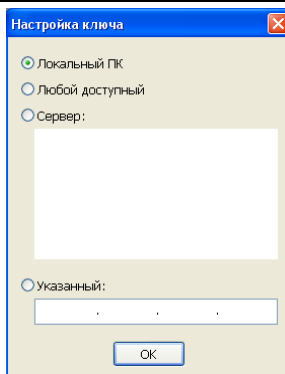


Рис. 2.1

Программу можно настроить на использование определенного ключа:

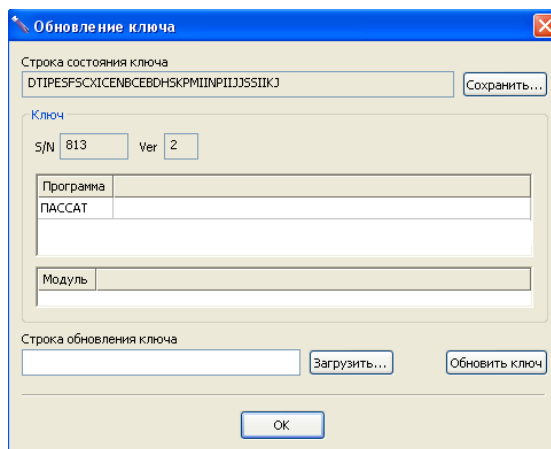
- **локальный** – используется ключ на локальном ПК;
- **сервер** – используется ключ на указанном (по IP адресу) компьютере;
- **любой доступный** – осуществляется поиск свободного ключа: сначала проверяется наличие локального ключа, затем, в случае его отсутствия, опрашиваются компьютеры в локальной сети.

**Рис. 2.2 Настройка ключа**

Для настройки параметров ключа используется диалоговое окно (Рис. 2.2), которое вызывается через команду настроить (Рис. 2.1) или из меню **Параметры**→**Настроить доступ к ключу**. По умолчанию программа настроена на использование локального ключа. При отсутствии ключа программа может продолжать работу в демонстрационном режиме.

В случае, если сетевой ключ установлен на том же ПК, что и программа, в настройке указывается сетевой адрес этого компьютера (не «Локальный ПК»).

Для активации ключа или изменения его параметров в случае продления срока поддержки или изменения параметров лицензии используется служебная программа **KeySt.exe**. Для вызова программы следует выбрать пункт меню **Пуск**→**Программы**→**Паскат**→**Обновление ключа**. После этого откроется диалоговое окно:

**Рис. 2.3 Обновление ключа**

Код, приведённый в окне **Строка состояния ключа**, пользователь должен сообщить авторам программы. С помощью кнопки **Сохранить** этот код можно записать в файл для последующей передачи авторам программы, например, посредством электронной почты.

При каждом запуске программы строка состояния ключа различна и не может быть использована повторно.

В дальнейшем авторы программы сообщат новый код, который надо ввести в окно **Строка обновления ключа**. Этот код можно также ввести из файла с помощью кнопки **Загрузить**. Далее нажать кнопку **Обновить ключ**.

***2.6. За состоянием ключа и числом доступных лицензий в ключах можно следить с помощью мониторов лицензий «Sentinel License Monitor» или «Sentinel Keys License Monitor». Монитор лицензий позволяет выяснить, какие именно компьютеры-клиенты резервировали лицензии в ключе. Для запуска монитора лицензий необходимо открыть Интернет-браузер (например, Microsoft Internet Explorer) и в адресной строке написать <http://<адрес сервера ключа>:6002> (порт 6002 обычно установлен по умолчанию) либо <http://<адрес сервера ключа>:7002/>. Для работы монитора требуется JRE 1.8 (при наличии доступа в Интернет может быть загружен и установлен автоматически), используемый как плагин Интернет-браузера. Установка с использованием технологии Active Directory (AD)***

В Microsoft Windows Server 2003 и Microsoft Windows Server 2008 включен интегрированный набор служб каталогов Active Directory, составной частью которого является Group Policy. Оснастка Software Installation, входящая в состав Group Policy, позволяет удаленно устанавливать программное обеспечение одновременно на несколько рабочих станций.

В Active Directory реализованы 3 основные сценария установки:

- Publish to User
- Assign to User
- Assign to Computer.

Внимание!

- Установка программы на рабочую станцию будет завершена только после перезагрузки рабочей станции.
- Установка программы по сценариям Publish to User и Assign to User не поддерживается.



Установка программы на группу компьютеров осуществляется с создания административной установки. Сделать эту установку можно с помощью программы ORCA MSI Editor. Эта программа создает из файла \*.msi файл setup.mst, в котором будут храниться все изменения, который внес администратор. Параметры, которые рекомендуется поправить в msi-файле перед созданием mst-файла:

Таблица	Параметр	Описание
<b>Directory</b>	<b>INSTALLDIR</b>	Название папки, куда будет копироваться файлы программы.
<b>Directory</b>	<b>SHELL_OBJECT_FOLDER</b>	Название папки в меню “Пуск”
<b>Property</b>	<b>Mode</b>	Режим работы ключа: 0 – локальный; 1 – любой доступный; 2 – по указанному адресу [ <b>Server</b> ].
<b>Property</b>	<b>Server</b>	Имя или адрес сервера, где находится сетевой ключ
<b>Property</b>	<b>ProductLanguage</b>	Код языка, на котором будет отображаться интерфейс программы при первом запуске. По умолчанию 1049 (русский)

По умолчанию ставится полная версия программы. Параметры Mode и Server прописывают параметры сетевого ключа в ветку реестра HKEY\_LOCAL\_MACHINE\SOFTWARE\PSRE LTD\PassatXX\Settings.

После установки программы следует установить драйверы ключа, для корректной работы с сетевым ключом на локальных компьютерах.

## 2.7.

### 3. Работа с программой




Диалоговый интерфейс программы соответствует стандартам приложений для Microsoft Windows, и построен на стандартных элементах диалога Microsoft Windows (меню, панелях инструментов, окнах, полях ввода и т.п.), в связи с чем освоение программы для пользователя операционных систем Windows не должно составить затруднений.

#### 3.1. Геометрическое ядро, построение твердотельной модели

Начиная с версии 2.08 программа использует геометрическое ядро C3D разработки компании C3D Labs. Данное ядро позволяет выполнять автоматическое построение твердотельной модели аппарата с высокой степенью детализации (построение укрепляющих накладных колец, скруглений, вырезание отверстий в обечайках и т.д.), и последующий экспорт модели в популярные системы моделирования. Поддерживаются форматы:

- ACIS
- IGES
- Parasolid
- STEP

Однако построение твердотельных моделей также предъявляет дополнительные требования к производительности системы. При недостаточной скорости работы программы можно использовать различные режимы перестроения модели. Сравнение функций режимов приведено в таблице:

Значок	Режим	Описание функций
	Без перестроения	Перестроение модели при изменениях не производится. Этот режим рекомендуется использовать при однотипных операциях редактирования в ряде компонентов.
	Ускоренное построение модели	Твердотельная модель при редактировании строится с некоторыми упрощениями. Некоторые элементы отображаются с помощью OpenGL (болты, трубки теплообменников, тарелки и т.д.) Накладные кольца штуцеров строятся проецированием цилиндра, что при визуализации может давать значительные искажения для тангенциальных штуцеров. Требуется дополнительная память при перестроении модели (500-1000 Мб в зависимости от сложности модели). Этот режим рекомендуется использовать при построении и редактировании моделей средней сложности (50...100 компонентов).
	Точное по-	Твердотельная модель при редактировании строится с

	строение модели	максимальной степени детализации, перестроение может занимать значительное время. Все элементы строятся как твердотельные, с отверстиями, скруглениями и т.д. Накладные кольца штуцеров строятся смещением образующей по обечайке, что требует дополнительных вычислений. Этот режим может требовать дополнительной памяти (1-2 Гб в зависимости от сложности модели). Рекомендуется включать этот режим для редактирования несложных моделей.
--	-----------------	--

Примечание: при расчете или экспорте модель автоматически перестраивается в точном режиме, если он не был включен ранее.

### 3.2. Создание, чтение и запись исходных данных и результатов расчета

Программа хранит исходные данные в файлах собственного формата, имеющих расширение:



\*.pst\_horiz – для файлов горизонтальных сосудов и аппаратов;



\*.pst\_vert – для файлов вертикальных сосудов и аппаратов;





\*.pst\_col – для файлов аппаратов колонного типа;



\*.pst\_tank – для файлов вертикальных резервуаров.


Имя текущего файла показывается в заголовке окна программы.

Для создания и открытия нового файла данных необходимо выполнить команду **Создать**  из основного меню или панели инструментов.

Обратите внимание, что команда **Создать** лишь делает текущим новым файл данных. Реальное создание файла произойдет лишь при его сохранении. При этом первый раз после создания нового файла команда **Сохранить**  работает как команда **Сохранить как**.

Для сохранения введенных данных в текущем открытом файле выполните команду **Сохранить** из основного меню или панели инструментов.

Для сохранения данных в файле с другим именем выполните команду **Сохранить как** из основного меню. Соответствующий файл, если требуется, будет создан, открыт и станет текущим файлом данных для программы.

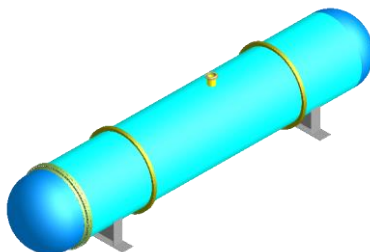
Для открытия и чтения существующего файла данных выполните команду **Открыть**  из основного меню или панели инструментов.

Для корректного отображения рисунков и формул отчета в настройках программы Internet Explorer необходимо активизировать отображение рисунков (Сер-

вис → Свойства обозревателя... → Дополнительно → Мультимедиа →  Отображать рисунки ),

### 3.3. Типы моделей программы

#### 3.3.1. Горизонтальные сосуды и аппараты



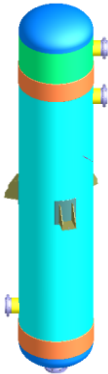
**Рис. 3.1 Модель горизонтального сосуда**

Аппараты данного типа устанавливаются, как правило, на седловые опоры. Модель горизонтального аппарата формируется из элементов, перечисленных в п. 3.8. Ось z располагается горизонтально вдоль корпуса аппарата.

Методики расчета нагрузок, доступные для горизонтальных аппаратов:

Нагрузка		
сейсмическая	ветровая	снеговая
ГОСТ 34283-2017	ГОСТ 34283-2017	Учитывается удельной нагрузкой на площадки обслуживания (суммарным давлением снега, материалов и иных нагрузок) или распределенной по длине нагрузкой на обечайку
ГОСТ 55722-2013		
СТО-CA-03-003-2009		
AzDTN 2.3-1 (AZE)		
IS 1893 (IND)	IS 875 (IND)	
EN 1998 (EUR)	EN 1991-1-4 (EUR)	
CFE 2015 (MEX)	CFE 2020 (MEX)	
ASCE 7-16 (USA)	ASCE 7-16 (USA)	
Инерционные нагрузки		

### 3.3.2. Вертикальные сосуды и аппараты



Устанавливаются на опоры-лапы или опоры-стойки различных типов. Ось  $z$  располагается вертикально вдоль корпуса аппарата. Методики расчета нагрузок, доступные для вертикальных аппаратов, аналогичны разделу 3.3.1.

Рис. 3.2 Модель вертикального сосуда

### 3.3.3. Аппараты колонного типа

Вертикальные аппараты, которые устанавливаются на опору-юбку. Для расчета модели этого типа требуется лицензия на модуль Пассат-Колонны.

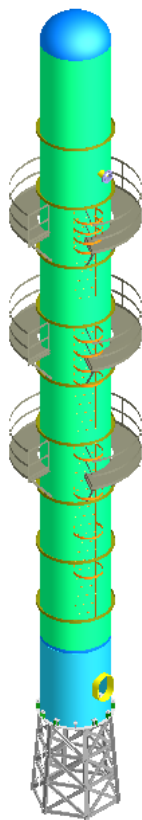


Рис. 3.3

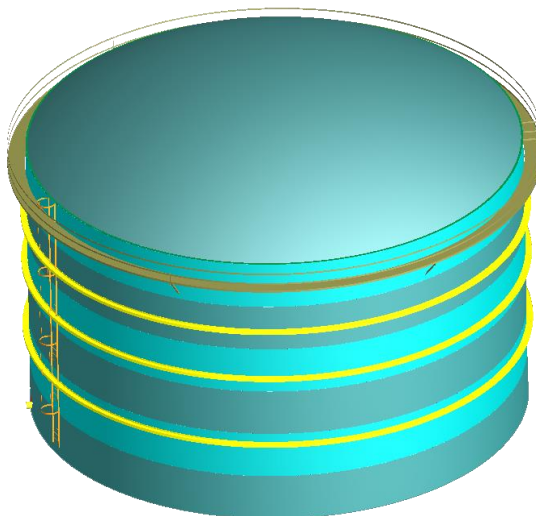
**Модель аппарата  
колонного типа**

Методики расчета нагрузок, доступные для колонных аппаратов:

Нагрузка		
сейсмическая	ветровая	снеговая
ГОСТ 34283-2017	ГОСТ 34283-2017	Учитывается удельной нагрузкой на площадки обслуживания (суммарным давлением снега, материалов и иных нагрузок)
ГОСТ 24756-81	ГОСТ 24756-81	
AzDTN 2.3-1 (AZE)		
IS 1893 (IND)	IS 875 (IND)	

EN 1998 (EUR)	EN 1991-1-4 (EUR)	
CFE 2015 (MEX)	CFE 2020 (MEX)	
ASCE 7-16 (USA)	ASCE 7-16 (USA)	

### 3.3.4. Вертикальные резервуары (PBC)



**Рис. 3.4 Модель вертикального резервуара (PBC)**

Вертикальные наливные резервуары, предназначенные для хранения больших объемов продукта, с плоским дном в основании.

Для вертикальных цилиндрических резервуаров дополнительно указывается ряд параметров, специфичных для расчетного норматива (например, класс ответственности, снеговой район, оборачиваемость хранимого продукта со сроком службы).

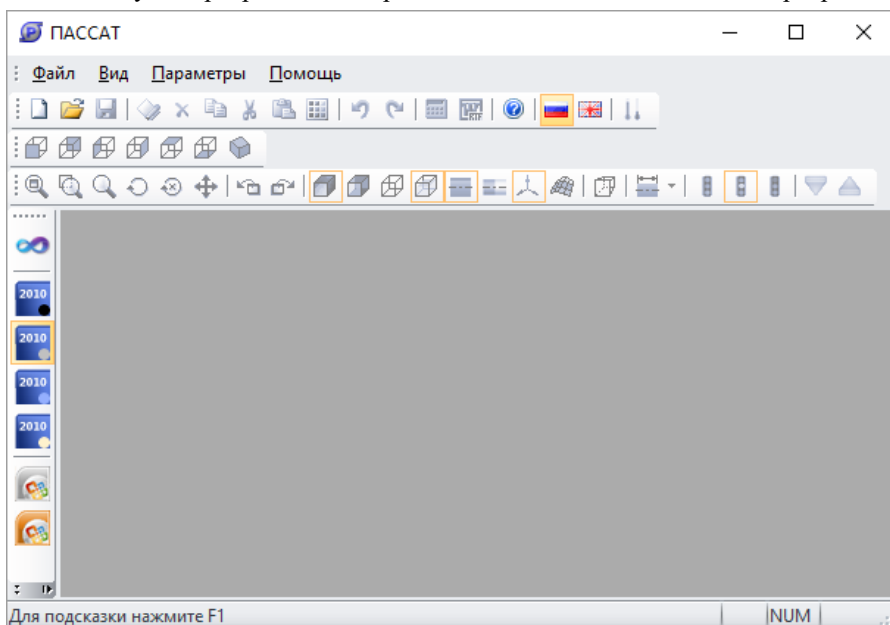
Методики расчета нагрузок, реализованные в модуле:

Нагрузка		
сейсмическая	ветровая	снеговая
СП 14.13330.2014	СП 20.13330.2016	СП 20.13330.2016
AzDTN 2.3-1 (AZE)		



ASCE 7 (USA)	ASCE 7-16 (USA)	ASCE 7 (USA)
	API-650 (USA)	
CFE 2015 (MEX)	CFE 2020 (MEX)	
IS 1893 (IND)	IS 875 (IND)	
EN 1998 (EUR)	EN 1991-1-4 (EUR)	EN 1991-1-3 (EUR)

### 3.4. Диалоговое окно программы

После запуска программы на экране появляется диалоговое окно программы:



**Рис. 3.5** Окно программы

Для работы с входными данными пользователю необходимо войти в пункт меню **Файл**. Для ввода новых данных необходимо выбрать пункт **Создать**, а для начала работы с существующим файлом исходных данных – **Открыть**. или воспользоваться соответствующими пиктограммами  и .

Также из пункта меню **Файл** можно сразу открыть один из файлов исходных данных, которые использовались последними. Количество таких файлов определяется в «**Параметрах документа**» (см.п.3.12).

Перед началом создания нового файла необходимо выбрать вид сосуда или аппарата (Рис. 3.6).



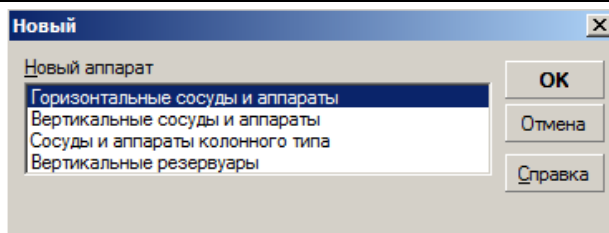


Рис. 3.6 Тип аппарата

После выбора вида сосуда или аппарата, а также при открытии существующего файла, появляется диалог с общими данными о сосуде (Рис. 3.8)

После задания общих данных появляется экран с областью просмотра и панелями инструментов, предназначенными для вызова всех основных команд программы и редактирования графического отображения расчетной модели (Рис. 3.7).

В центре экрана располагается окно для графического отображения модели. Ось Z совпадает с осью симметрии будущей модели.

Пиктограммы в правом столбце экрана используются при создании новых элементов расчетной модели.

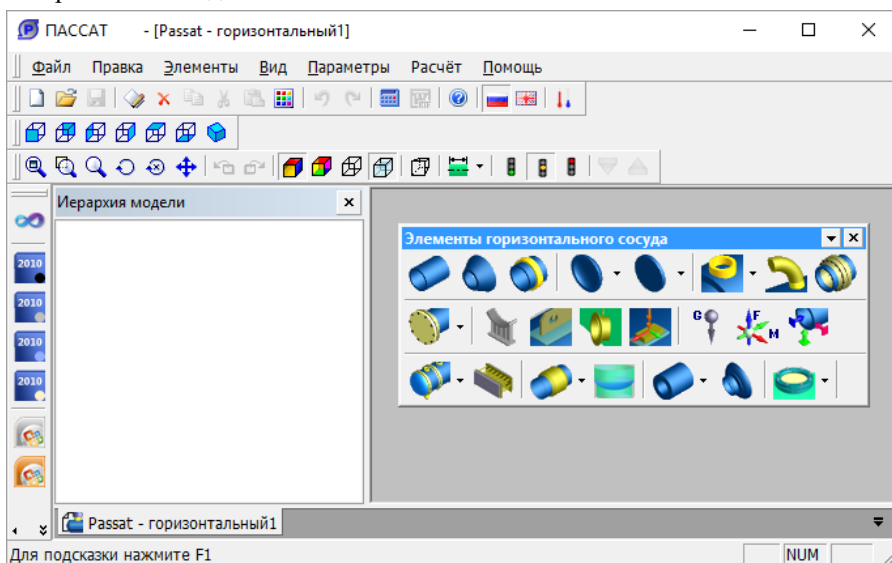


Рис. 3.7 Окно модели

При создании вертикального цилиндрического резервуара автоматически открывается диалог редактирования исходных данных (п. 3.16.45).

### 3.5. Общие данные

Диалог общих данных содержит основные параметры сосуда и его окружения, информацию о заполняющей его среде, видах расчетов и др. (Рис. 3.8).

Общие данные

Общие | Ветровые нагрузки | Сейсмические и инерционные нагрузки

Случаи нагружения

Случай нагружения	Название рабочей среды	Плотность рабочей среды $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Количество циклов нагружения, N
Рабочие условия	Вода	1000	0
Пропарка	Пар	12,7	0

Добавить  
Удалить

Расчет заполнения сосуда в рабочих условиях:  
 Газ  Жидкость  
 По коэффициенту заполнения (приблизительно) [v]  
 Процент заполнения сосуда,  $\xi$ : 100 %  
 Группа рабочей среды по ТР ТС 032/2013: I >>

Испытания  
 Расчет давления испытаний: ГОСТ 34347, гидроиспытан  
 Учет гидростатики при расчете пробного давления  
 Учет гидростатики при определении расчетного давления  
 Расчет в условиях испытаний: Гидроиспытания  
 Пробное давление: 1 МПа  
 Не учитывать коррозию в расчете испытаний

Изоляция  
 Данные для расчета изоляции  
 Расположение: Москва, Московская область, РОССИЙСКА >>

Серводородная среда  
 Наличие серводородной среды  
 Категория аппарата по ГОСТ 34233.10: I >>  
 Предельная температура корр. активности среды,  $t_{np}$ : 250 °C

Малоцикловая прочность  
 Расчет на малоцикловую прочность  
 MDMT: -48 °C Для оценки использовать:  P[расч]  MAWP  
 Отметка до уровня крепления сосуда,  $X_{осн}$ : 0 мм  
 Учет внутренних температурных нагрузок ( $\sigma \cdot \Delta T$ )

OK Отмена

Рис. 3.8 Общие данные

Параметр «Группа рабочей среды по ТР ТС 032/2013» предназначен для оценки категории аппарата по данному нормативному документу.

Выбор вида расчета испытаний (Гидроиспытания, Пневмоиспытания) означает, что расчет всех элементов будет проводиться как для рабочих условий, так и для условий испытаний с заданным пробным давлением.

Плотность рабочей среды и коэффициент ее заполнения (при использовании «Сосуда, содержащего рабочую жидкость») необходимы для определения весовых характеристик элементов сосуда в рабочих условиях. Заполнение сосуда можно задавать также через объем продукта или высоту налива.

Таблица «Случаи нагружения» позволяет задать несколько рабочих режимов, которые будут моделироваться в рамках одного расчета. Случай нагружения характеризуется наименованием, названием рабочей среды и ее плотностью. Заполнение для всех случаев нагружения считается единообразно (для ускорения вычислительного процесса), но плотность среды назначается индивидуально, что позволяет

имитировать различные случаи заполнения (работа в режиме пропарки, с частичным заполнением и т.д.).

Пункт «Не учитывать коррозию в расчете испытаний» позволяет исключить прибавку на коррозию ( $c_1$ ) при расчете всех компонентов модели в условиях испытаний, если они проводятся для нового аппарата. Параметр «Расчет давления испытаний» позволяет указать норматив, по которому будет вычисляться пробное давление.

Пункт «Учет гидростатики при расчете пробного давления» позволяет управлять вычитанием давления столба жидкости ( $p_H$ ) при оценке давления гидроиспытаний. Появление этого пункта связано с тем, что в настоящее время нет четкого определения понятия “пробного давления”. В условиях гидроиспытаний разные элементы подвергаются различному давлению (в зависимости от высоты столба воды). Если под пробным давлением считать давление без учета гидростатического («по верхнему манометру»), то, чтобы получить давление в условиях гидроиспытания для элемента сосуда, рассчитанное по ГОСТ, пробное давление должно быть уменьшено на величину гидростатического. В противном случае можно получить чрезмерное давление для нижнего днища.

Пункт «Учет гидростатики при определении расчетного давления» позволяет управлять влиянием давления столба жидкости на расчетное давление ( $p$ ) при оценке пробного ( $p_{test}$ ). Появление этого пункта связано с разночтениями в нормативах относительно определения расчетного давления ( $p$ ).

Опция «Сероводородная среда» необходима для расчетов сосудов и аппаратов, работающих в контакте с коррозионно-активными сероводородосодержащими средами.

Опция «Расчет на малоцикловую прочность» необходима для расчетов элементов сосудов и аппаратов, работающих в условиях циклического нагружения при количестве циклов от  $10^3$  до  $10^6$ .

Опция «Данные для расчета изоляции» позволяет задать параметры, по которым будет выполняться расчет теплоизоляции для элементов (см. п.3.7).

Опция «MDMT» (Minimum Design Metal Temperature, минимальная расчетная температура металла) позволяет оценить применимость материала и необходимость дополнительных испытаний в соответствии с выбранным нормативом для каждого элемента. При активации этой опции появляется ячейка, в которой пользователь должен ввести минимальное значение температуры, при которой может функционировать аппарат (исходя из технологического процесса или климатических данных).

Опция «Учет внутренних температурных нагрузок» позволяет при решении балочной модели учесть нагрузки от температурного удлинения элементов (при жестко защемленной модели или использовании нестандартных закреплений).

### 3.5.1. Ветровые нагрузки

Значение низшего периода колебаний ( $T$ ) используется при расчете ветровых и сейсмических нагрузок для горизонтальных и вертикальных аппаратов. Он может быть рассчитан автоматически или введен вручную для каждого случая нагружения. Подразумевается период колебаний корпуса аппарата. Второстепенные участки модели (например, элементы обвязки, внутренние устройства) могут иметь более низкий период колебаний, однако эти значения должны быть исключены из анализа.

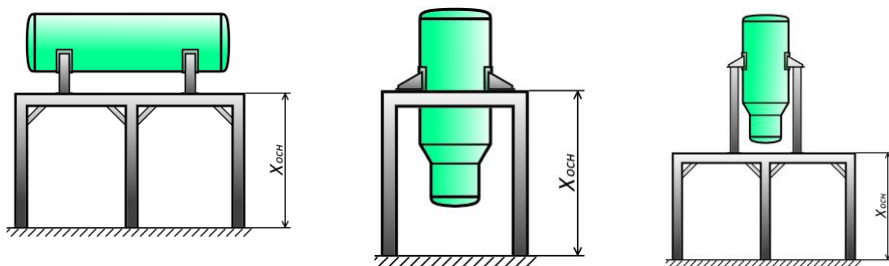
Выбор пункта «Расчет на ветровой резонанс» позволяет оценить возможность возникновения резонанса и прочность конструкции при его возникновении. Этот пункт рекомендуется применять для высоких гладких отдельно стоящих конструкций наподобие дымовых труб. В иных случаях его включение может приводить к излишне консервативной оценке прочности.

### 3.5.2. Сейсмические и инерционные нагрузки

Опция «Учет сейсмических нагрузок» необходима для расчета сосудов с учетом нагрузок от сейсмических воздействий. Этот расчет доступен для модулей «ПАССАТ-Сеймика», «ПАССАТ-Колонны», «ПАССАТ-Резервуары». Необходимо выбрать норматив, по которому будут рассчитываться нагрузки.

### 3.6. Отметка (высота) установки

Данная опция позволяет учесть наличие какой-либо строительной конструкции под аппаратом, что приводит к увеличению ветровых и сейсмических нагрузок.



Горизонтальный сосуд на седловых опорах

Опорные лапы

Опорные лапы с приварными стойками

**Рис. 3.9** Отметка (высота) установки

### 3.7. Данные для расчета изоляции

Заданные характеристики используются для расчета параметров теплоизоляции элементов (п. 3.16.1.10)




**Рис. 3.10** Данные для расчета изоляции













Параметр «Проект изоляции» - название комплекса правил, согласно которым подбираются компоненты изоляции.








### 3.8. Главное меню программы

Таблица 3-1 содержит пункты главного меню с кратким описанием действий, которые они вызывают.























**Таблица 3-1**

Название пункта меню (пиктограмма)	Назначение (действия программы)	
Подменю «Файл»		
	Создать (Ctrl+N)	Создает новый файл исходных данных.
	Открыть (Ctrl+O)	Открывает существующий файл исходных данных (с расширением *.pst).
	Закреть	Закрывает открытый или созданный файл исходных данных.
	Сохранить (Ctrl+S)	Сохраняет файл исходных данных.
	Сохранить как...	Сохраняет данные в файл исходных данных с другим именем.

Название пункта меню (пиктограмма)		Назначение (действия программы)
	Экспорт в XML	Экспортирует объектную модель аппарата в файл формата XML
	Экспорт в Штуцер МКЭ	Экспортирует штуцеры, присутствующие в модели, в файлы данных программы Штуцер МКЭ
	Экспорт в C3D, IGES, STEP, ACIS, ParaSolid	Сохраняет твердотельную модель аппарата в одном из форматов
	Импорт из XML	Импортирует объектную модель аппарата из файла формата XML.
	Импорт из XML MechaniCS	Импортирует объектную модель аппарата из файла формата XML MechaniCS.
	Выход (Alt+F4)	Выход из программы.
Подменю «Правка»		
	Отменить (Ctrl+U)	Отменяет последнюю введенную команду
	Вернуть (Ctrl+R)	Возвращает последнюю отмененную команду
Подменю «Элементы»		
	Редактировать (F4, двойной щелчок)	Редактирует элементы расчетной модели
	Удалить (F8, Delete)	Удаляет элементы расчетной модели
	Копировать (Ctrl+C)	Копирует подсвеченный элемент во внутренний буфер программы. При этом копируются все данные элемента, но не его название. Дочерние присоединенные элементы не копируются
	Вырезать (Ctrl+X)	Аналогично копированию элемента, но после вставки исходный элемент может быть удален после подтверждения пользователя
	Вставить (Ctrl+V)	Вставляет предварительно скопированный элемент в модель. Если какой-либо элемент подсвечен, новый элемент присоединяется к нему, Если не подсвечен ни один элемент (или подсвеченный элемент имеет несколько вариантов присоединения), программа выводит дополнительный запрос, к чему присоединить новый элемент
	Изменить цвет	Настраивает цвета графического представления элементов расчетной модели

Подменю «Вид»		
Панели инструментов		Позволяет управлять отображением панелей инструментов <a href="#">“Вид”</a> (управление видом трёхмерной модели), <a href="#">“Стандартные виды”</a> (наиболее используемые проекции модели сосуда), <a href="#">“Элементы”</a> (элементы, которые могут быть присоединены к модели), <a href="#">“Панель оформления”</a> (переключение между стилями интерфейса).
Настройка...		Позволяет пользователю настроить вид рабочей области и панелей, а также ввести новые комбинации “горячих клавиш”
Строка статуса		Включает/выключает строку состояния.
Подменю «Параметры»		
Размерности...		Устанавливает размерности, используемые при задании геометрии, условий нагружения и свойств материала.
Общие данные		Выводит для редактирования таблицу с общими данными о расчетной модели
Настроить доступ к ключу		Выводит диалог настройки сетевого или локального электронного ключа
Настройки...		Выводит диалог настройки параметров работы программы
	Язык...	Позволяет переключать язык интерфейса программы и стандартных отчетов между Русским и Английским.
	Групповое редактирование данных...	Позволяет задать некоторые параметры одновременно <a href="#">для нескольких элементов модели</a>
	Изоляция списком	Позволяет задать параметры теплоизоляции одновременно для нескольких элементов модели
Подменю «Расчет»		
	Расчет (F3)	Производит выбранные виды расчетов и формирует файлы результатов
	Отчет в формате RTF (MS Word)	Формирует отчеты в формате RTF
Подменю «Помощь»		
	Вызов справки	Вызывает встроенную справочную систему
	Проверить обновле-	Вызывает встроенную систему автоматиче-

	ния	ского обновления программы
	О программе	Вызывает окна с информацией о версии и разработчиках программы

Библиотека элементов			
	<a href="#">Цилиндрическая обечайка</a>		<a href="#">Рубашка цилиндрическая</a>
	<a href="#">Конический переход</a>		<a href="#">Рубашка U-образная</a>
	<a href="#">Эллиптическое днище</a>		<a href="#">Рубашка, частично охватывающая сосуд</a>
	<a href="#">Полусферическое днище</a>		<a href="#">Рубашка со змеевиковыми каналами</a>
	<a href="#">Торосферическое днище</a>		<a href="#">Рубашка с регистровыми каналами</a>
	<a href="#">Пологое коническое днище (<math>\alpha &gt; 70^\circ</math>)</a>		<a href="#">Рубашка с продольными каналами</a>
	<a href="#">Крутое коническое днище (<math>\alpha &lt; 70^\circ</math>)</a>		<a href="#">Эллиптическая перегородка</a>
	<a href="#">Неотбортованное сферическое днище</a>		<a href="#">Сферическая перегородка</a>
	<a href="#">Плоское днище (крышка)</a>		<a href="#">Торосферическая перегородка</a>
	<a href="#">Плоское днище с ребрами</a>		<a href="#">Виртуальная перегородка</a>
	<a href="#">Плоское днище с центральным отверстием</a>		<a href="#">Эллипсоидный переход</a>
	<a href="#">Овальная крышка</a>		<a href="#">Сифонный компенсатор</a>
	<a href="#">Штуцер (врезка)</a>		<a href="#">Теплообменник с неподвижными трубными решетками</a>
	<a href="#">Овальный штуцер (врезка)</a>		<a href="#">Теплообменник с U-образными трубами</a>
	<a href="#">Отвод</a>		<a href="#">Теплообменник с плавающей головкой</a>
	<a href="#">Седловая опора <sup>a)</sup></a>		<a href="#">Аппарат воздушного охлаждения</a>
	<a href="#">Опоры-лапки <sup>a)</sup></a>		<a href="#">Штуцер (врезка) в камеру аппарата воздушного охлаждения (АВО)</a>



	<a href="#">Кольцо жесткости</a>		<a href="#">Цилиндрическая обечайка высокого давления</a>
	<a href="#">Группа колец жесткости</a>		<a href="#">Эллиптическое днище высокого давления</a>
	<a href="#">Фланцевое соединение</a>		<a href="#">Плоское днище высокого давления</a>
	<a href="#">Реверсный фланец</a>		<a href="#">Сферическое днище высокого давления</a>
	<a href="#">Отъемная плоская крышка</a>		<a href="#">Плоская крышка высокого давления</a>
	<a href="#">Отъемная эллиптическая крышка</a>		<a href="#">Сферическая крышка высокого давления</a>
	<a href="#">Отъемная сферическая неотбортованная крышка</a>		<a href="#">Фланцевое соединение высокого давления</a>
	<a href="#">Опорная лапа <sup>б)</sup></a>		<a href="#">Колено высокого давления</a>
	<a href="#">Опорная стойка <sup>б)</sup></a>		<a href="#">Штуцер высокого давления</a>
	<a href="#">Пластинчатые опоры-стойки <sup>б)</sup></a>		<a href="#">Насадка <sup>в)</sup></a>
	<a href="#">Опорные стойки на обечайке <sup>б)</sup></a>		<a href="#">Площадка обслуживания</a>
	<a href="#">Кольцевая опора <sup>б)</sup></a>		<a href="#">Группа тарелок <sup>в)</sup></a>
	<a href="#">Несущее ушко</a>		<a href="#">Опорная обечайка <sup>в)</sup></a>
	<a href="#">Внешнее присоединение с нагрузкой</a>		<a href="#">Смотровое окно на бобышке</a>
	<a href="#">Подъемная цапфа</a>		<a href="#">Смотровое окно на патрубке</a>
	<a href="#">Сосредоточенная масса</a>		<a href="#">Фланцевая бобышка</a>
	<a href="#">Внешние нагрузки</a>		<a href="#">Сборка аппарата</a>
	<a href="#">Внешние распределенные нагрузки</a>		<a href="#">Жесткая связь</a>
	<a href="#">Закрепление аппарата</a>		<a href="#">Пользовательское оборудование</a>
	<a href="#">Металлоконструкция</a>		<a href="#">Некруглый элемент</a>

<sup>а)</sup> для горизонтальных аппаратов

<sup>б)</sup> для вертикальных аппаратов

<sup>в)</sup> для аппаратов колонного типа

### 3.9. Панели инструментов “Вид” и “Стандартные виды”





Таблица 3-2 содержит пиктограммы этих панелей и действия, которые они вызывают.


Таблица 3-2

Пиктограмма (название)		Назначение (действие программы)
	Вид спереди	Изображение модели во весь экран в координатах Z-Y (ось X направлена от нас).
	Вид сзади	Изображение модели во весь экран в координатах Z-Y (ось X направлена на нас).
	Вид слева	Изображение модели во весь экран в координатах X-Y (ось Z направлена от нас).
	Вид справа	Изображение модели во весь экран в координатах X-Y (ось Z направлена на нас).
	Вид сверху	Изображение модели во весь экран в координатах Z-X (ось Y направлена на нас).
	Вид снизу	Изображение модели во весь экран в координатах Z-X (ось Y направлена от нас).
	Изометрический вид	Изображение модели во весь экран в изометрии.
	Изменить в размер экрана	Изображение модели во весь экран текущего вида.
	Увеличить в окне	Увеличение изображения, задаваемое рамкой с помощью левой кнопки мыши.
	Увеличить/ уменьшить	Увеличение (уменьшение) изображения путем перемещения курсора левой кнопкой мыши.
	Вращать вокруг центра модели	Вращение изображения вокруг центра модели перемещением курсора левой кнопкой мыши.
	Вращать вокруг выбранной точки	Вращение изображения вокруг выбранной точки перемещением курсора левой кнопкой мыши.
	Перемещать	Перемещение изображения перемещением курсора левой кнопкой мыши.
	Отменить вид	Возврат к предыдущему состоянию вида модели (поворот, масштаб, смещение)
	Повторить вид	Повторение отмененного состояния вида модели (поворот, масштаб, смещение)
	Сплошное	Отображение модели в виде сплошного «твердотельного» образа
	Полупрозрачное	Отображение модели в виде полупрозрачного образа

Пиктограмма (название)		Назначение (действие программы)
	Каркасное	Отображение модели в виде прозрачного каркаса
	Отображение за­полнения	Отображение рассчитанного заполнения в виде полупрозрачного объёма
	Отображение изо­ляции/футеровки	Отображение построенных объёмов изоляции и/или футеровки
	Отображение пло­щадок обслужи­вания	Отображение или скрытие площадок, существующих в модели
	Закрашивание по материалам	Подсвечивание элементов цветом в соответствии с выбранным материалом
	Перспективный вид	Отображение модели в перспективном виде
	Размеры	Отображение размеров элементов модели
	Отметки высот	Отображение отметок высот обечаек, штуцеров, площадок, колец жесткости
	Отметки уровня продукта	Отображение отметок уровня продукта по полостям
	Метки	Отображение модели с обозначениями элементов
	Начало координат	Отображает начало координат твердотельной модели (относительно него вычисляются центры тяжести элементов)
	Точное перестроение модели	Твердотельная модель строится детализированно, что может замедлить работу на недостаточно производительном компьютере
	Ускоренное перестроение модели	Некоторые компоненты твердотельной модели строятся упрощенно
	Без перестроения модели	Перестроение модели блокируется
	Перестроить модель	Принудительное перестроение модели с устранением артефактов, оставшихся от предыдущих неполных перестроений
	Перемещение компонента вниз в текущей ветви (Ctrl+↓)	Изменение положения выделенного компонента в иерархии модели относительно элементов того же порядка. Команда доступна только для дочерних элементов (штуцера, кольца и т.д.)
	Перемещение компонента вверх в текущей ветви	

Пиктограмма (название)	Назначение (действие программы)
(Ctrl+↑)	

Для быстрого перемещения , увеличения (уменьшения)  или вращения  изображения модели можно также воспользоваться левой, средней и правой кнопкой мыши соответственно, одновременно удерживая нажатой клавишу «Ctrl». Для вращения изображения вокруг выбранной точки  можно воспользоваться правой кнопкой мыши, одновременно удерживая нажатыми клавиши «Ctrl» и «Shift».

При вращении модели вокруг выбранной точки  координаты X и Y (в системе координат наблюдателя) задаются позицией курсора мыши, а координата Z («глубина») - текущей глубиной непрозрачного элемента модели под курсором мыши. Если под курсором мыши нет непрозрачных элементов, координата Z устанавливается равной средней глубине модели.

### 3.10. Иерархия модели

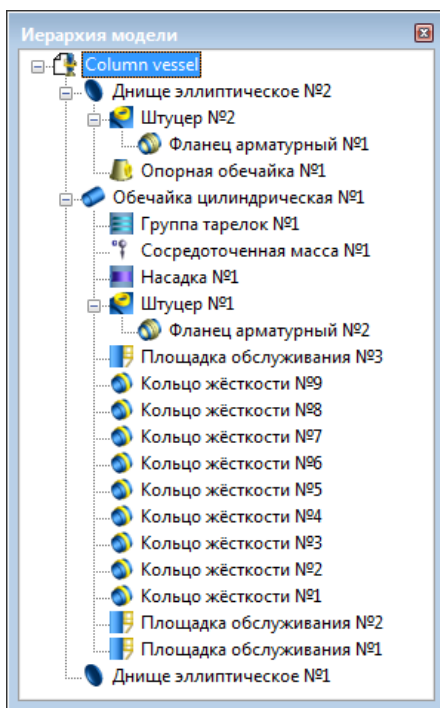


Рис. 3.11. Панель “Иерархия модели”

Данная панель предназначена для наглядного представления структуры модели и быстрой навигации. Элементы модели представлены в нём в виде уменьшенных пиктограмм с названиями. Пиктограммы интерактивны и снабжены выпадающими

меню. Таким образом, из них легко доступны команды редактирования элементов. Самый верхний элемент с названием файла модели отвечает за редактирование общих данных.

### 3.11. Использование материалов

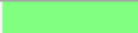










Материал	Цвет	Количество
06ХН28МДТ		37,74 кг
07Х13АГ20 (ЧС-46)		25,71 кг
08Х18Г8Н2Т (КО-3)		722,4 кг
09Г2		87,22 кг
12МХ		1336 кг
12Х18Н10Т		37,28 кг
12Х18Н12Т		19,68 кг
Кирпич		2388 кг
Мин. вата		1,332 кг
Ст3		498,2 кг

Рис. 3.12. Панель “Использование материалов”

Данная панель предназначена для экспресс-оценки материалоёмкости аппарата. В ней отображается список материалов, использованных в конструкции, цвета материалов в режиме  «Закрашивание по материалам», и оценка массы каждого материала в соответствии с заданной плотностью. Масса выводится в тех единицах измерения, которые были выбраны в диалоге «Размерности». Если для материала плотность неизвестна или задана нулевой, деталь считается штучным изделием, и в графе «Количество» выводится число деталей (например, прокладок).

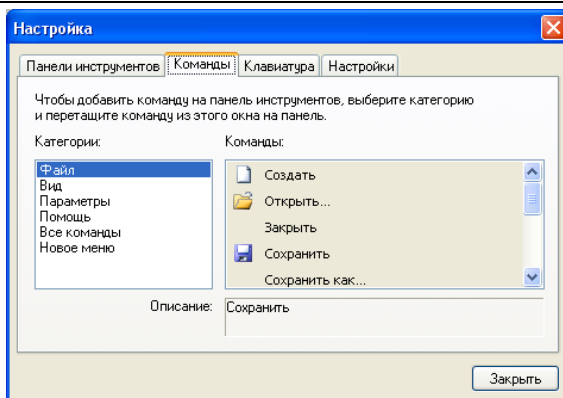
### 3.12. Панель оформления

В программе имеется возможность переключения стиля интерфейса. Для этого нужно выбрать стиль в панели оформления.



Если панель оформления скрыта, её можно включить при помощи команды меню **Вид**→**Панели инструментов**→**Панель оформления**.

Пользователь также может гибко настраивать вид панелей инструментов, добавлять/убирать кнопки, создавать новые панели инструментов с помощью команды **Вид**→**Настройка**.



**Рис. 3.13. Окно настройки команд и панелей инструментов**

Когда отображено окно настройки, можно переносить кнопки на панелях инструментов и команды меню при помощи мыши.

### 3.13. Настройка параметров работы программы

Вызов диалога настройки параметров выполняется командой “**Параметры**” подменю “**Настройки**”. Диалог имеет следующие вкладки и команды:

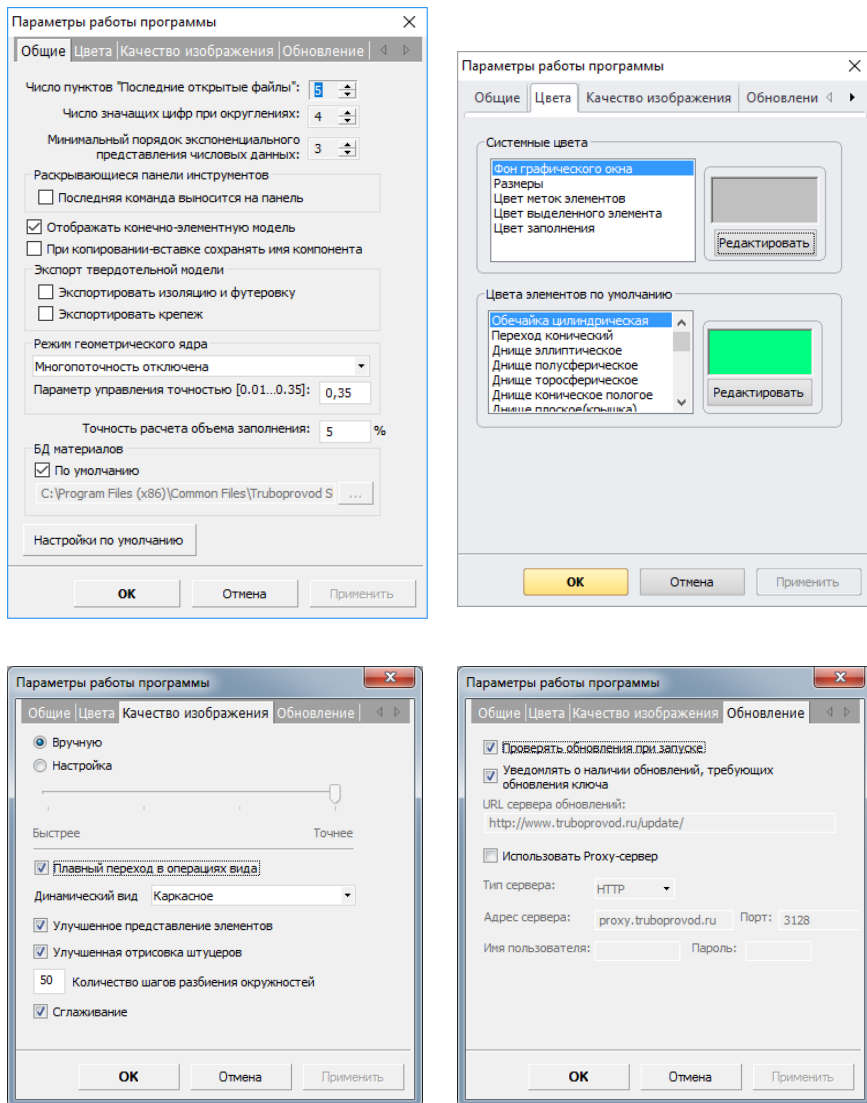



Рис. 3.14 Настройки программы

Таблица 3-3 содержит команды «Вкладок» по настройке программы с кратким описанием действий, которые они вызывают.

Вкладка “Общие”	
Количество пунктов “Последние открытые файлы”	Устанавливает количество последних документов с которыми работает пользователь, сохраняющихся в меню “Файл”.
Количество значащих цифр при округлениях	Задаёт максимальное количество значащих цифр при округлениях в отчете. Пример: число 1032.37 при настройке “3” будет выводиться в отчет как 1030.
Минимальный порядок экспоненциального представления числовых данных	Определяет порядок представления чисел в экспоненциальном виде. Пример: число 10320 при настройке “4” будет выводиться как $1.032 \cdot 10^4$ , а число 1270 будет выводиться без изменений (с учетом настройки округления, см. предыдущий пункт). Примечание: для чисел, по модулю меньших $10^3$ и больших $10^{-1}$ , данная настройка не учитывается.
Последняя команда выносится на панель	Устанавливает последнюю использованную команду добавления элемента модели в качестве команды по умолчанию в инструментальной панели.
Отображать конечно-элементную модель	При работе программы аппарат представляется в виде балочной конечно-элементной модели. Отображение этой модели позволяет лучше контролировать работу программы, однако может ее замедлить.
Экспортировать изоляцию и футеровку	Устанавливает, нужно ли при экспорте твердотельной модели включать также изоляцию и футеровку. Если футеровка задана как плакирующий слой (Рис. 3.27), она экспортируется всегда.
Экспортировать крепеж	Устанавливает, нужно ли при экспорте твердотельной модели включать крепежные элементы (болты, гайки, шпильки и т.д.)
Режим геометрического ядра	Включает многопоточный режим работы некоторых функций геометрического ядра. Работа с моделью в многопоточном режиме происходит быстрее, но в некоторых (редких) случаях возможны падения программы
Параметр управления точностью	Числовое значение, управляющее точностью математических функций геометрического ядра при построениях и расчетах массо-габаритных характеристик. Чем больше значение, тем быстрее и с большей погрешностью выполняется расчет.
Точность расчета объема заполнения	Величина относительной погрешности расчета заполнения при выборе опции “Расчет по заданному объему продукта”. Например, при значении 1% и заданном целевом объеме 1000 л расчет будет считаться успешным, если он дает любое значение в диапазоне 990...1010 л. Малая величина погрешности может удлинять расчет при сложной конфигурации полости сосуда (теплообменники и т.д.)



БД материалов	Позволяет настроить путь к базе данных пользовательских материалов, расположенной в централизованном доступе (например, на сетевом диске), или использовать локальную базу данных (по умолчанию)
<b>Вкладка “Цвета”</b>	
Системные цвета Цвета элементов	Настраивает цвета элементов окна просмотра. Настраивает цвета элементов модели по умолчанию. Новые элементы модели будут создаваться с учётом этой настройки. Чтобы применить её к ранее созданным элементам, следует воспользоваться командой “Элементы”→”Изменить цвет”→”Цвета по умолчанию” или пиктограммой 
<b>Вкладка “Качество изображения”</b>	
Вручную Настройка Плавный переход в операциях вида  Динамический вид	Устанавливает параметры изображения вручную. Использует предустановленные значения. Если включено, переход к выбранному виду (стандартные виды и команда «показать окно») осуществляется плавно. Выбирает представление вида при динамических операциях: перемещении, масштабировании и вращении: «Обычное»; «Каркасное» - представление модели в виде каркаса. Может значительно ускорить видовые операции на медленных ПК; «Описанный параллелепипед» - представление в виде параллелепипеда, описывающего модель. Используется на медленных ПК.
Сглаживание	Если включено, осуществляется полноэкранное сглаживание изображения, устраняющее ступенчатость линий. Требуется наличия высокопроизводительного OpenGL видеоадаптера, иначе может значительно замедлиться вывод изображения.
<b>Вкладка “Обновление”</b>	
Проверять обновления при запуске Уведомлять о наличии обновлений, требующих обновления ключа Использовать Proxy-сервер	Автоматически проверять наличие обновлений программы во время старта приложения Сообщать, что имеются обновления программы, которые могут быть установлены после обновления ключа аппаратной защиты Осуществлять соединение с сервером обновлений через прокси-сервер (требуется, если выход в Интернет по протоколу HTTP осуществляется через прокси-сервер)

### 3.14. Система обновления программы

Регулярное обновление программы позволяет всегда иметь самую последнюю версию программы, свободную от ошибок предыдущих версий и обладающую максимальным функционалом.

Система обновления позволяет проверять обновления в автоматическом и/или ручном режиме, а так же загружать обновления на ПК и устанавливать их.

Для корректной работы системы обновлений требуется наличие аппаратного ключа защиты. В случае отсутствия ключа проверка и установка обновлений не производится.

Проверка обновлений производится в автоматическом режиме при запуске программы или вручную из меню **Помощь→Проверить обновления**. Отключить автоматическую проверку можно в окне настройки параметров программы, вкладка **«Обновление»**, пункт **«Проверять обновления при запуске»**.

Проверка и установка обновлений проводится с учетом максимального номера версии программы, записанного в ключ аппаратной защиты. Программа может оповещать пользователя о наличии обновлений до более новых версий, чем позволяет ключ аппаратной защиты, если включен пункт **«Уведомлять о наличии обновлений, требующих обновления ключа»** в окне настройки параметров программы, вкладка **«Обновление»**. При появления такого сообщения нужно обновить ключ до требуемой версии (см. п. 2.5), после чего обновление программы станет возможным.

Для установки обновлений требуются права администратора системы. Во время установки обновлений производится запуск программы `install.exe`, во время которого может поступить запрос УАС (системы контроля доступа Windows) с вопросом о разрешении запуска программы с повышенными правами. Для корректной работы программы требуется разрешить программе `install.exe` работать с правами администратора.

В некоторых случаях требуется настройка параметров прокси-сервера для соединения с сервером обновления. Они должны быть установлены в те же значения, которые используются для просмотра страниц через веб-браузер. В Internet Explorer посмотреть текущие настройки можно во вкладке **Подключения→Свойства сети** диалога свойств обозревателя. При установке программа предлагает использовать по умолчанию настройки этих параметров, установленные в системе.

### 3.15. Настройка размерностей

Перед созданием расчетной модели (а так же в любой другой момент) можно настроить размерности геометрических величин и условий нагружения. Система хранит значения параметров элементов во внутренних единицах и автоматически пересчитывает выводимые значения в зависимости от настройки размерностей. В отчете о ходе и результатах расчета выводятся значения в единицах, совместимых с выходными.

Настройка единиц измерения

Выбранные единицы измерения будут использоваться при вводе данных и при выводе результатов расчета. Единицы измерения устанавливаются только для текущего документа

Единицы измерения

Длина	мм	Момент	Н·м
Диаметр, толщина	мм	Температура	°С
Площадь	м²	Угол	°
Момент инерции	м⁴	Плотность	кг/м³
Напряжение, давление	МПа	Масса	г
Сила	Н	Скорость	км/ч

Система единиц по умолчанию:

Ускорение свободного падения, g

Нормальное значение

Техническое значение  м/с²

Значение пользователя

Рис. 3.15 Настройка единиц измерения

Размерности не обязательно назначаются согласованно (например, диаметр в мм, а момент в Н·м). Поэтому при просмотре формул в отчете конечный результат может не совпадать с промежуточными значениями алгебраических вычислений, и это не является ошибкой ( $M = 2 [H] * 1000 [мм] = 2 [H·м]$ ). Если подобный эффект нежелателен, его можно избежать, согласованно назначая размерности (например, все линейные размеры в мм, а момент в Н·мм).

Кнопки с системами единиц предназначены для быстрого назначения всего комплекса размерностей, принятых в соответствующей системе.

Настройка “Ускорение свободного падения” позволяет более гибко настроить расчет весовых, сейсмических и инерционных нагрузок.

### 3.16. Задание исходных данных

Построение модели может быть начато как с цилиндрической обечайки или конического перехода, так и с любого днища. Первый элемент создается от нулевого положения в сторону оси Z: в случае горизонтального сосуда слева направо, в случае вертикального – снизу вверх. Остальные элементы вставляются или присоединяются к любым другим элементам модели.

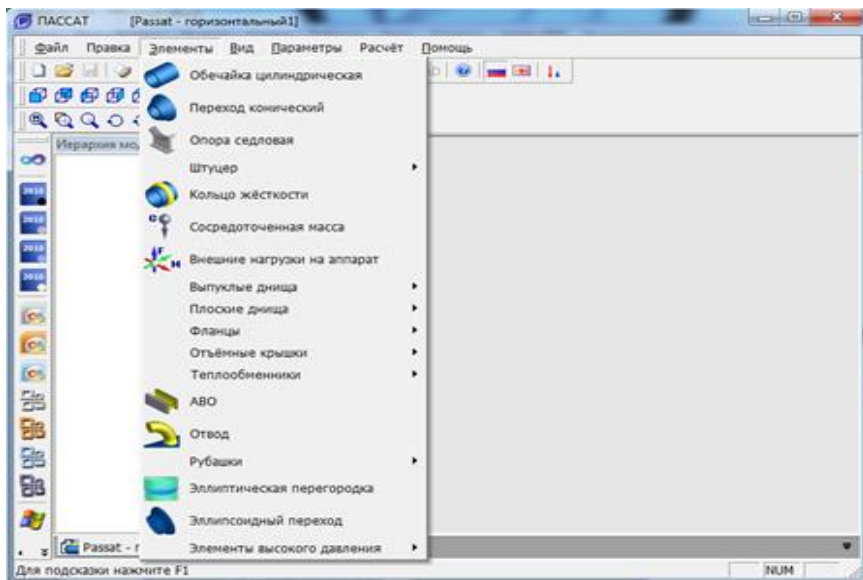


Рис. 3.16 Меню “Элементы”

После выбора пункта меню «Элементы» (или нажатием левой кнопки мыши на соответствующую пиктограмму в правом столбце экрана) оценивается возможность присоединения или вставки элемента в существующую модель и пользователю предлагается выбрать место присоединения/вставки:

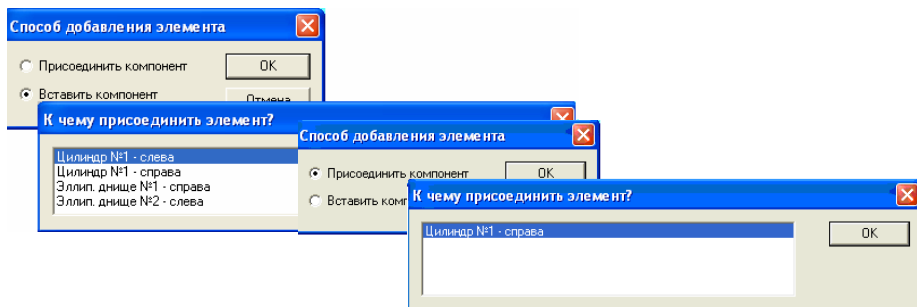


Рис. 3.17 Формирование модели

После определения места нового элемента в расчетной модели в зависимости от его типа в окне программы появляется панель с необходимыми данными по геометрии, материалам и условиям нагружения. Ввод данных об элементе должен завершаться нажатием клавиши “Ввод” на любой ячейке редактирования – это при необходимости вызывает пересчет расчётных параметров элемента.

Некоторые опции диалогов являются общими для различных элементов и работают похожим образом.

### 3.16.1.1 Название элемента

Задается имя элемента. Это имя используется для навигации при редактировании, удалении, задании сопряженных элементов, а также при выводе результатов расчета. Имя элемента задается по умолчанию в формате “<Тип элемента> №...” например, “Обечайка цилиндрическая №1”, в соответствии с включенным языком интерфейса, но в дальнейшем при переключении языка это название **не переводится**, даже если оставить его стандартным.

### 3.16.1.2 Нормативный документ

Для ряда элементов возможен выбор документа, согласно которому будет проведен расчет. При изменении выбора нормативного документа обозначения исходных данных меняются, а их величины автоматически пересчитываются, если это необходимо. Нормативный документ можно назначать индивидуально для каждого элемента - например, ГОСТ 34233.2-2017 для обечайки и ASME VIII-1 для штуцера. При этом, если для штуцера в процессе расчета потребуются параметры обечайки, вычисленные по ASME, они будут рассчитаны, несмотря на указанный норматив обечайки.

### 3.16.1.3 Расчетная температура

Температура, при которой определяются свойства материала при расчете в рабочих условиях. Назначается индивидуально для каждого элемента и для каждого случая нагружения.

### 3.16.1.4 Расчетное избыточное давление

Случай нагружения	Давление р, МПа	Температура Т, °С
Внутреннее	0,100	200
Наружное	-0,100	100

Задается внутреннее или наружное избыточное расчетное давление для каждого случая нагружения (наружное давление задается со знаком “-”). Это давление не включает в себя гидростатическое давление жидкости при ее наличии.

Давление столба жидкости для каждого элемента определяется индивидуально, исходя из расчета заполнения. Расчетное избыточное давление с учетом гидростатики считается по правилу (при наружном давлении р берется со знаком “-”):

$$p' = p + \rho \cdot g \cdot h, \text{ если } p - \text{внутреннее, или если } p - \text{наружное, но } |p| < |p + \rho \cdot g \cdot h|;$$

$$p' = p, \text{ если } p - \text{ наружное, и } |p| \geq |p + \rho \cdot g \cdot h|.$$

### 3.16.1.5 Определение расчетных величин

Кнопка предназначена для определения расчетных толщин, допускаемых давлений и других расчетных параметров без выхода из окна редактирования соответствующих элементов. Эти параметры определяются упрощенно и приблизительно, без учета заполнения сосуда, влияния соседних элементов и т.д. Конечный результат расчета может отличаться от этой величины.

### 3.16.1.6 Выбор материала

Материал элемента или детали задается или из базы данных (ГОСТ 34233.1-2017, ПНАЭ Г-7-002-86, ГОСТ Р 54522-2011, ASME II Part D, EN и др.), или определяется пользователем с заданием требуемых свойств при расчетном диапазоне температур, а также температуре испытаний и монтажа (20<sup>0</sup>С).

Группа команд “Поиск материала” позволяет организовать в рамках выбранного норматива поиск по заданным фильтрам.

Опция “Рассчитать [ $\sigma$ ]” позволяет выполнить оценку характеристик при введенной температуре (по умолчанию она берется из первого случая нагружения, но ее можно поменять и пересчитать характеристики, нажав Enter).

Опция “Отобразить таблицу свойств” делает активной и доступной для копирования таблицу характеристик материала в зависимости от температуры. Данные опции несколько замедляют работу диалога за счет дополнительных обращений к базе данных.

Группа опций “MDMT” позволяет задать дополнительные параметры, необходимые для оценки применимости материала при пониженных температурах, а также необходимость испытаний на ударную вязкость. Необходимо указать для конкретного экземпляра материала температурную кривую и наличие термообработки после изготовления (PWHT – postweld heat treating). (Примечание: в настоящее время доступен расчет MDMT по ASME VIII-1). Для назначения температурной кривой разработан вспомогательный диалог с фильтрами-списками.

Выбор материала

Норматив: ASME II Part D-2017 (Нормы США)

Наименование: SA-240

Type/Grade: 304H

Тип материала: Сплав на основе железа

Класс материала(стали): 18Cr-8Ni

Тип заготовки: Плита

Alloy Designation/UNIS No: S30409

Class/Condition/Temper: \_

Поиск материала

По фрагменту названия:

По Type/Grade:

По типу материала: Все

По классу материала (стали): Все

По типу заготовки: Все

MDMT

Кривая: Кривая C

PWHT

Фактическая толщина: 10 мм

Свойства материала при температуре T=20°C

Допускаемые напряжения,  $[\sigma]$ : 159,2 МПа

Предел текучести,  $Re[20]$ : 207 МПа

Предел прочности,  $Rm[20]$ : 517 МПа

Модуль продольной упругости,  $E[20]$ : 195300 МПа

Расчитать  $[\sigma]$  Расчетная температура: 200 °C

Свойства материала при расчетной температуре

Допускаемые напряжения,  $[\sigma]$ : 110,8 МПа

Предел текучести,  $Re$ : 144 МПа

Предел прочности,  $Rm$ : 442 МПа

Модуль продольной упругости,  $E$ : 183000 МПа

Коэффициент линейного расширения,  $\alpha$ : 1,7e-005 1/°C

Предел длительной прочности,  $Rm10^{\wedge}5$ : 0 МПа

Предел ползучести,  $Rp10^{\wedge}5$ : 0 МПа

Отобразить таблицу свойств

T, °C	$[\sigma]$ , МПа	Re (Rp1.0, Rp0.2), МПа	Rm, МПа	E, МПа	$\alpha$ , 1/°C	Rm/10 <sup>^5</sup> , МПа	Rp1.0/10 <sup>^5</sup> , МПа
-200				209000			
-125				204000			
-75				201000			
-30		207	517				
20					0,00001530		
25				195000			
40		207	517				
50					0,00001560		
65		184					
75					0,00001590		

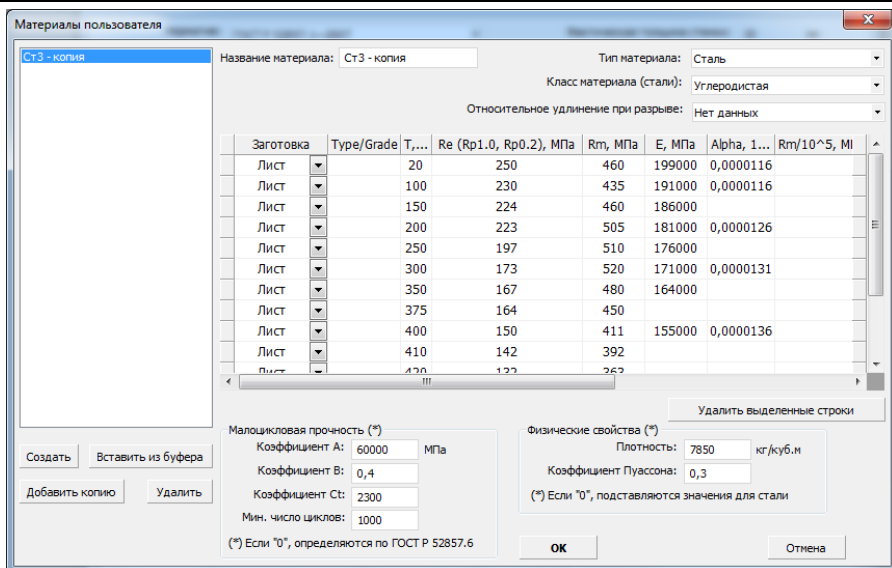
Коэффициент A: 60000 МПа Коэффициент C<sub>t</sub>: 2300 Плотность: 7750 кг/м<sup>3</sup>

Коэффициент B: 0,4 Мин. число циклов: 1000 Коэффициент Пуассона: 0,3

Редактировать материалы пользователя >>

Рис. 3.18. Диалог свойств нормативного материала

База данных материалов состоит из двух частей: группы стандартных материалов и группы материалов пользователя. Первые не предполагают изменения пользователем. Для редактирования вторых предусмотрена команда “Редактировать материалы пользователя”:



**Рис. 3.19. Диалог редактирования группы материалов пользователя**

В редакторе пользовательских материалов доступны следующие действия:

- Добавление нового “пустого” материала (команда «Создать»);
- Копирование таблицы свойств какого-либо из существующих материалов целиком (команда «Копировать в буфер» в таблице свойств), и последующая вставка в пользовательский материал (команда «Вставить из буфера»);
- Удаление материала, “подсвеченного” в списке (команда “Удалить”);
- Создание нового материала и копирование в него характеристик того материала, который “подсвечен” курсором в списке (команда «Добавить копию»);
- Удаление группы строк с характеристиками материала (команда «Удалить выделенные строки»);
- Переименование материала (название материала редактируется в одноименном поле)
- Задание характеристик материала в зависимости от температуры, толщины, типа заготовки, параметров Type/Grade и Class/Condition/Temper (по аналогии с ASME II Part D).

После нажатия кнопки «ОК» новый материал появится в группе «Материалы пользователя».

Свойства материалов при расчетной температуре определяются линейной интерполяцией. Данные в зависимости от температуры можно задавать в произволь-



ном порядке – программа автоматически отсортирует их в порядке возрастания температуры. Кроме сталей, можно задавать цветные металлы, чугуны и титановые сплавы. Характеристики материала А, В и поправочный коэффициент  $C_t$  задаются для сталей, цветных металлов, титановых сплавов в случае расчета малоциклового прочностии. Если какая-либо из этих характеристик задана равной 0, при расчете она определяется автоматически по рекомендациям ГОСТ 34233.6-2017, исходя из типа и класса материала.


При задании материала, определяемого пользователем, его характеристики сохраняются как в базе данных, так и в файле модели. При переносе файла данных на другой компьютер программа прочитает данные материала и внесёт его в базу данных, если он там отсутствует. Если же материал с таким названием уже присутствует в базе, в расчете будут использованы именно его характеристики, но не данные из файла модели.

При одновременном доступе нескольких пользователей к общедоступной базе (например, при ее размещении на сетевом диске), возможность редактирования предоставляется только первому пользователю (для остальных пользователей выводится сообщение о невозможности редактирования в данный момент).

### 3.16.1.7 Размеры по НД (нормативному документу)

С помощью этой команды можно выбрать компонент из базы данных стандартных изделий с помощью уточняющих фильтров (от более общих параметров к частным). Большинство ячеек с данными заполнятся в этом случае автоматически.

### 3.16.1.8 Минусовой допуск

С помощью этой команды  можно выбрать величину минусового допуска из базы данных по различным стандартам. Пользователю предлагаются к выбору только те варианты, которые соответствуют назначенной номинальной толщине стенки.

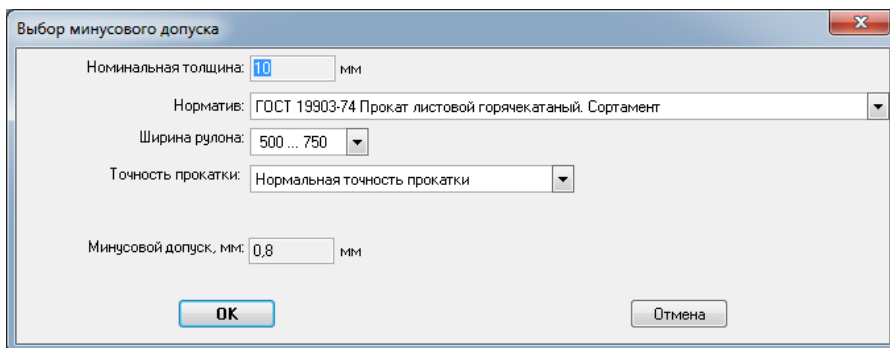


Рис. 3.20 Назначение минусового допуска из базы данных

### 3.16.1.9 Коэффициент прочности сварного шва

Задается в зависимости используемых материалов и вида шва.

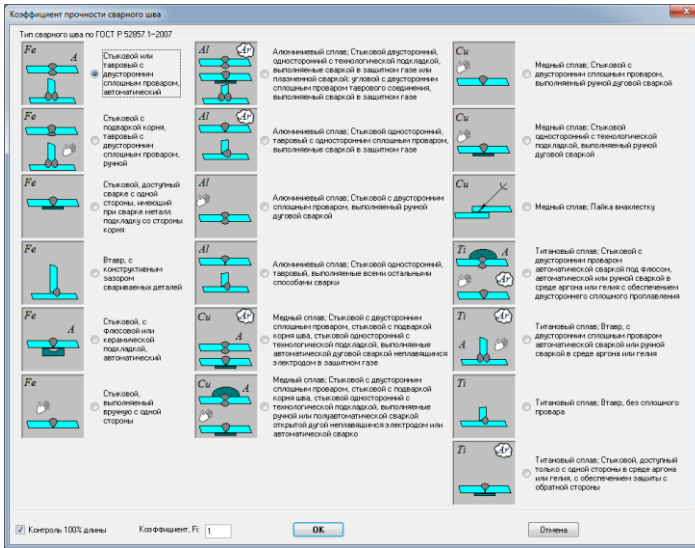


Рис. 3.21 Коэффициент прочности сварного шва по ГОСТ

Выбор данного параметра зависит от принятого расчетного норматива. Например, при выборе расчета по ASME VIII-1 коэффициенты прочности швов назначаются согласованно (Рис. 3.22)

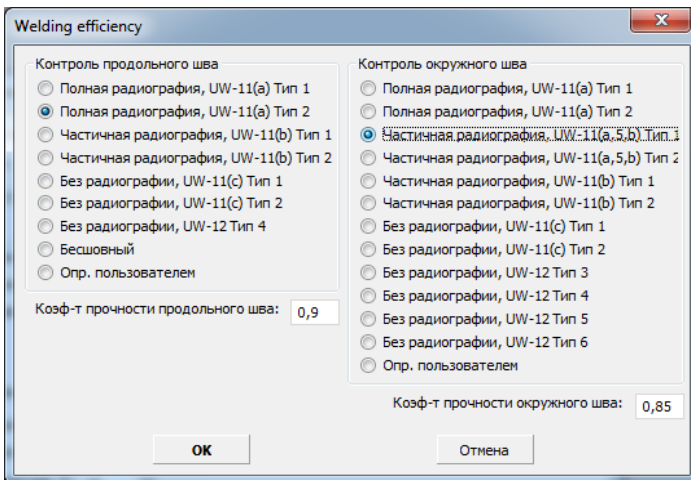


Рис. 3.22 Коэффициент прочности сварного шва по ASME VIII-1

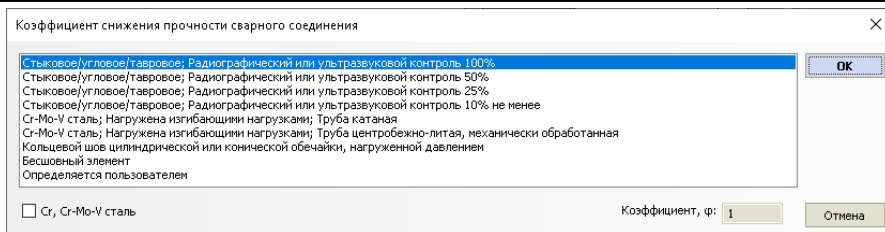


Рис. 3.23 Коэффициент прочности сварного шва по ПНАЭ Г-7-002-86

### 3.16.1.10 Изоляция и футеровка

При наличии изоляции для автоматического учета веса необходимо задать ее толщину, а также плотность или массу (для сложной неоднородной изоляции). При назначении изоляции программа учитывает изменение наружного размера элемента при расчете ветровых нагрузок.

Толщину и плотность изоляции возможно подобрать из базы данных по действующим нормативам (Рис. 3.24, Рис. 3.25).

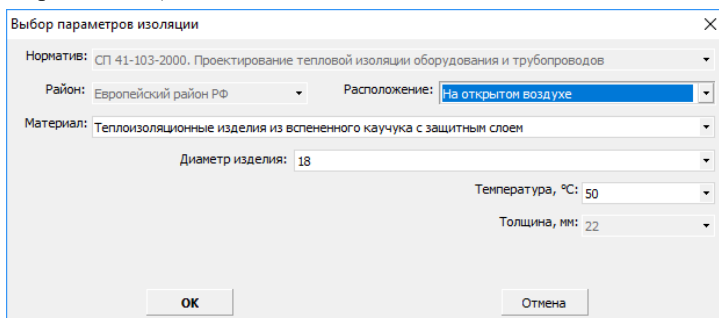


Рис. 3.24 Подбор толщины теплоизоляции

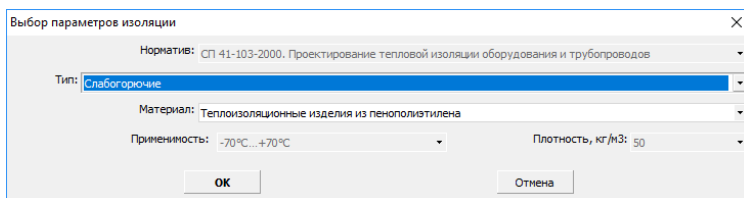
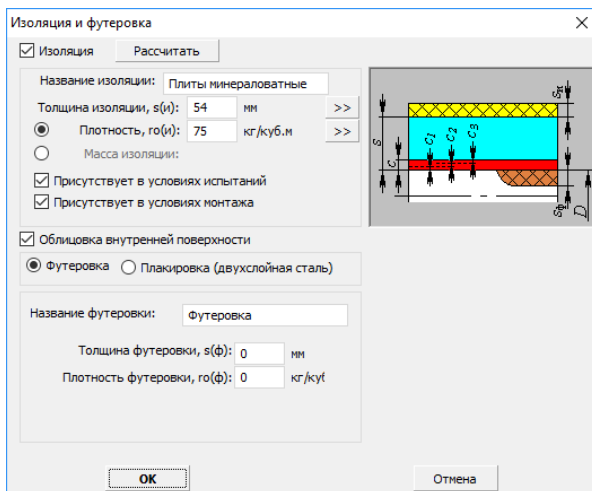


Рис. 3.25 Подбор плотности материала теплоизоляции

С помощью команды “Рассчитать” можно получить массу элементов теплоизоляции с помощью расчетного модуля программы “**Изоляция**”. Исходными данными для расчета являются геометрические размеры элемента модели, его температура, климатические параметры и данные о проекте, заданные в диалоге “Данные для расчета изоляции” (п. 3.7)

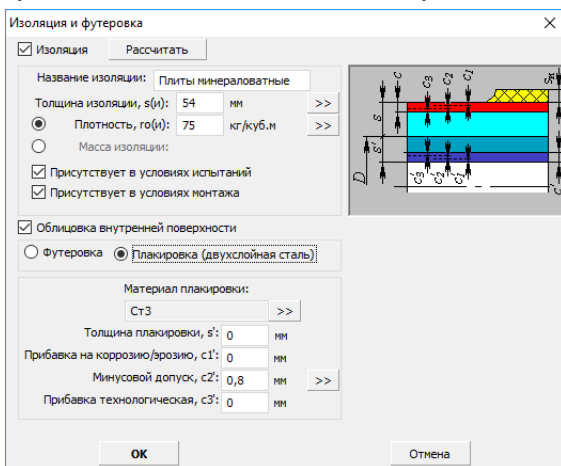


**Рис. 3.26** Изоляция и футеровка из неметаллических материалов

Опции «Присутствует в условиях испытаний/монтажа» влияют на вес элемента и на его внешний («ветровой») диаметр в соответствующих условиях.

При наличии футеровки для автоматического учета веса необходимо задать ее толщину и плотность.

Для некоторых элементов (обечайки, днища) возможен учет футеровки как плакирующего слоя (стенка из двухслойной стали, Рис. 3.27). В этом случае при расчете учитывается утолщение стенки и изменение допускаемых напряжений.



**Рис. 3.27** Изоляция и футеровка с возможностью назначения плакирующего слоя

Для трубных решёток теплообменников предусмотрена двусторонняя плакировка с перерасчетом допускаемых напряжений несущего слоя (Рис. 3.28).

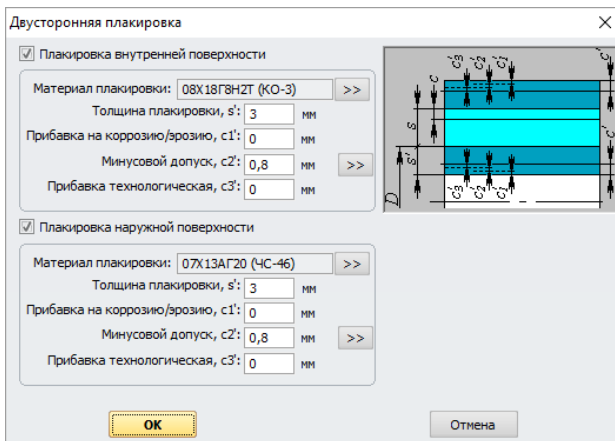


Рис. 3.28 Двусторонняя плакировка

### 3.16.1.11 Малоцикловая прочность

При активации расчета малоцикловой прочности в общих данных расчета необходимо задать условия нагружения и тип сварного шва в зависимости от сопряженных узлов или элементов сосудов и аппаратов.

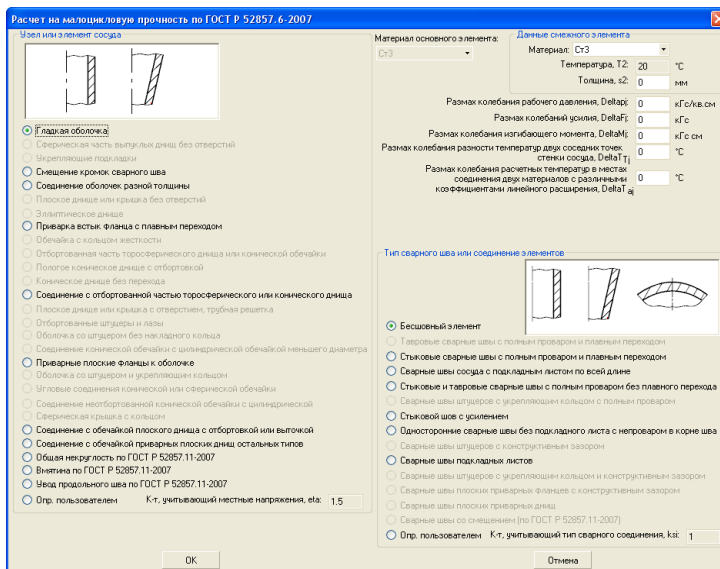



Рис. 3.29 Параметр концентратора напряжений для расчета малоцикловой прочности

### 3.16.1.12 Дефекты по ГОСТ 34233.11-2017

При наличии дефектов на элементе выполняется дополнительный расчет. С помощью клавиши  можно задать тип дефекта и его характеристики.

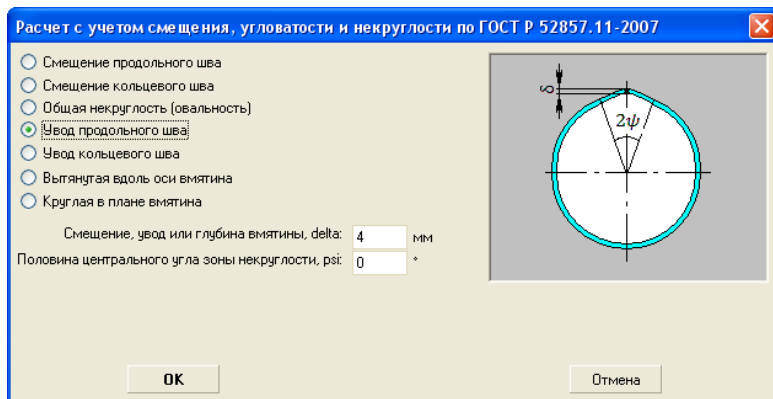


Рис. 3.30 Параметр концентратора напряжений для расчета дефекта

### 3.16.1.13 Пространство в элементе

В простейшем случае сосуд имеет один внутренний объём, и свойства содержимого задаются в общих данных (Рис. 3.8). Однако в некоторых случаях сосуд имеет два и более изолированных объёма (рубашки, теплообменники, сосуды с перегородками). В этом случае необходимо задать параметры заполнения дочернего объёма.

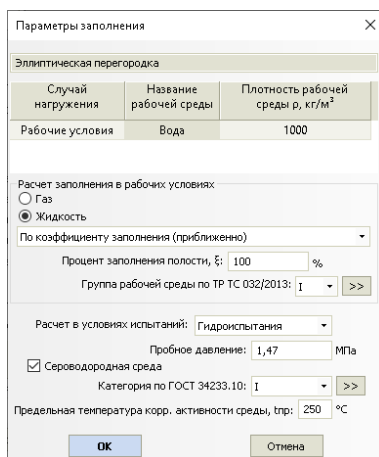


Рис. 3.31 Параметры заполнения дочернего объема

Этот диалог работает аналогично диалогу общих данных (Рис. 3.8), но распространяется только на свойства дочернего объёма.

### 3.16.2. Цилиндрическая обечайка

Обечайка цилиндрическая

Название элемента:

Нормативный документ:

Материал:

Размеры по НД >>

Внутренний диаметр, D:  мм

Наружный диаметр, Do:  мм

Толщина стенки обечайки, s:  мм

Прибавка на коррозию, c1:  мм

Минусовой допуск, c2:  мм >>

Прибавка технологическая, c3:  мм

Длина, L:  мм

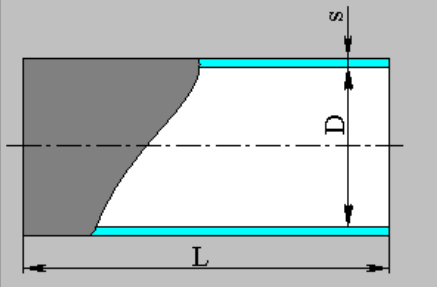
К-т прочности продольного шва, фр:  >>

К-т прочности кольцевого шва, фт:  >>

Случай нагружения	Давление р, МПа	Температура Т, °С
Внутреннее	1	200
Наружное	-0,1	100

Дефекты по ГОСТ 34233.11-2017 >>

OK Отмена **Определение расчётных величин**



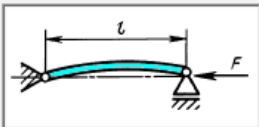
Изоляция и футеровка >>

Нагрузки

Определять при расчете  Задавать вручную

Расчётное осевое усилие, F:

Расчётная схема для определения Inp:



1  5  
 2  6  
 3  7  
 4

Рис. 3.32 Цилиндрическая обечайка

**Нормативный документ** – задается нормативный документ, согласно которому будет проведен расчет элемента. При изменении выбора нормативного документа обозначения исходных данных меняются, а их величины автоматически пересчитываются, если это необходимо.

**Размеры по НД** – с помощью этой команды можно выбрать ряд предпочтительных размеров обечайки (или отказаться от такового), указать предполагаемый вид заготовки (листовой прокат или труба), и указать норматив на заготовку. При этом автоматически задаются диаметр и толщина стенки, а также минусовой допуск.

Выбор цилиндрической обечайки

Предпочтительный ряд диаметров: ГОСТ 9617-76 Сосуды и аппараты. Ряды диаметров

Вид заготовки: Прокат в рулонах

Норматив: ГОСТ 19904-74 Прокат листовой холоднокатаный. Сортамент

Диаметр (для труб-наружный), мм: 200    Толщина, мм: .4    Ширина листа, мм: 500

Точность/Допуск/Ident: Повышенная точность

Применимость: Аппараты из цветных металлов

OK    Отмена

Рис. 3.33 Выбор стандартной обечайки из базы данных

**Нагрузки** – при выборе пункта “Задавать вручную” пользователь должен сам указать, какие внешние нагрузки и каким образом действуют на элемент (см. ниже). Заданные нагрузки учитываются только при расчете этого элемента и **не передаются** на опоры, соседние элементы и т.д. При выборе пункта “**Определять при расчете**” максимальные действующие нагрузки определяются автоматически, из условий закрепления и нагружения всех элементов модели, весовых нагрузок от материала и содержимого элементов, и т.д.

**Изгибающий момент, перерезывающая сила, осевое усилие, расчетная схема** – задаются из предварительного анализа внешних сил и моментов, действующих на обечайку. Расчетные схемы при нагружении обечайки сжимающими силами определяются ГОСТ 34233.2–2017 (ГОСТ 14249–89) и представлены на Рис. 3.34. При этом расчетные длины для наружного давления и осевой силы определяются автоматически исходя из конструкции всей модели в целом.

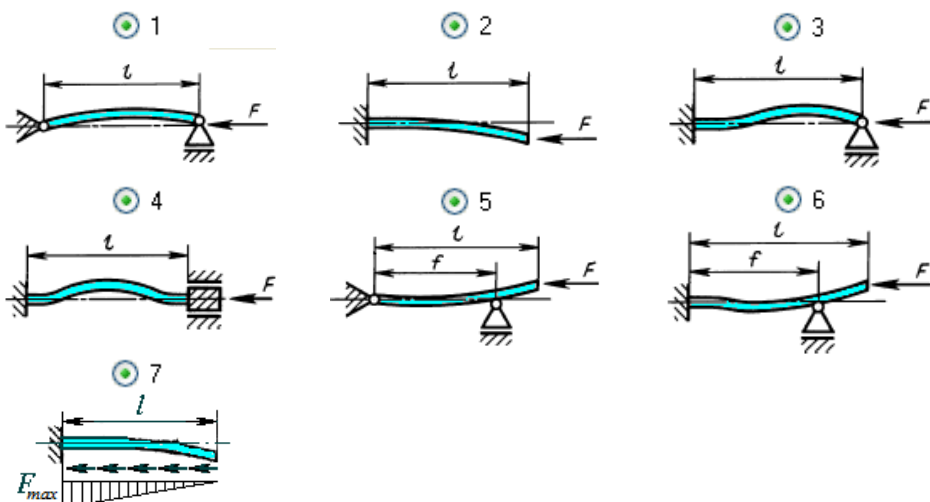


Рис. 3.34 Расчетные схемы для определения общей устойчивости обечайки



При расчете нагрузок методом конечных элементов (МКЭ) цилиндрическая обечайка моделируется цепочкой балочных элементов кольцевого сечения с невесомыми узлами (Рис. 3.35). К каждому элементу цепи прикладывается равномерно распределенная по длине нагрузка.

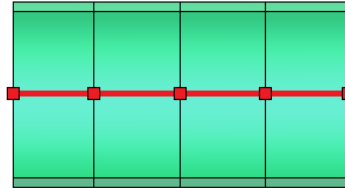


Рис. 3.35 Моделирование цилиндрической обечайки балочными элементами

### 3.16.3. Конический переход

**Конический переход**

Название элемента:

Нормативный документ:

Материал обечайки:

Внутр. диаметр в начале элемента, Dн:  мм

Внутр. диаметр в конце элемента, Dк:  мм

Толщина стенки обечайки, sk:  мм

Прибавка на коррозию, c1:  мм

Минусовой допуск, c2:  мм

Прибавка технологическая, c3:  мм

Длина обечайки, L:  м

Смещение по горизонтали, X0:  мм

Смещение по вертикали, Y0:  мм

К-т прочн. продольного сварного шва, Fпр:

К-т прочн. кольцевого сварного шва, Fит:

Расчётная температура, T:  °C

Дефекты по ГОСТ Р 52857.11-2007

Далее >>
Отмена
Определение расчётных величин

Допускаемое давление (с расчётной длиной L):  $[p] = 10.9 \text{ кгс/см}^2$

Расчётная толщина с учётом прибавок (с расчётной длиной L):  $sr + c = 2.8 \text{ мм}$

Изоляция и футеровка >>      Малоликвидная прочность >>

**Нагрузки**

Определять при расчете     Задавать вручную

Расчётное давление (без гидростатики), p:

Внутреннее     Наружное     кгс/кв.см

Расчётное осевое усилие, F:

Растягивающее     Сжимающее     кгс

Расчётный изгибающий момент, M:  кгс см

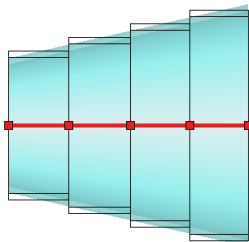
Рис. 3.36 Конический переход

Имя элемента, нормативный документ, материал, геометрия, коэффициенты прочности сварных швов, изоляция и футеровка, а также условия нагружения конического перехода задаются по аналогии с цилиндрической обечайкой.

**Смещение по горизонтали и вертикали** – определяется для задания эксцентрического конического перехода. С помощью кнопки **Далее** осуществляется пере-

ход к описанию узлов сопряжения со смежными элементами. Конструкции узлов сопряжения определяются по ГОСТ 34233.2-2017 (ГОСТ 14249-89).

При расчете нагрузок по МКЭ конический переход моделируется ступенчатой цепью балочных элементов постоянного кольцевого сечения (Рис. 3.37). К каждому элементу цепи прикладывается равномерно распределенная по длине нагрузка, величина которой зависит от среднего диаметра сечения на данном участке.



**Рис. 3.37 Моделирование конического перехода балочными элементами**

Элементы укрепления на концах перехода моделируются аналогично цилиндрической обечайке.

### 3.16.4. Выпуклые днища

**Эллиптическое днище**

Название элемента:

Нормативный документ:

Материал днища:  Размеры по ГОСТ >>

Ст3

Внутренний диаметр днища, D:	<input type="text" value="1000"/>	мм
Толщина стенки днища, s1:	<input type="text" value="10"/>	мм
Прибавка на коррозию, c1:	<input type="text" value="2"/>	мм
Минусовой допуск, c2:	<input type="text" value="0.8"/>	мм
Прибавка технологическая, c3:	<input type="text" value="0"/>	мм
Высота днища, H:	<input type="text" value="250"/>	мм
Длина отбортовки, h1:	<input type="text" value="0"/>	мм

К-т прочности сварного шва, Fi:  >>

Расчётная температура, T:  °C

Расчётное давление (без гидростатики), p:

Внутреннее  Наружное  кгс/кв.см

Дефекты по ГОСТ Р 52857.11-2007 >>

Расчётная толщина с учётом прибавок:  $s_1 p + c = 2.8$  мм  
 Допускаемое давление:  $[p] = 22.1$  кгс/см<sup>2</sup>

**Рис. 3.38 Эллиптическое днище**

Имя элемента, нормативный документ, размеры по ГОСТ, материал, геометрия, коэффициенты прочности сварных швов, изоляция и футеровка, а также условия нагружения выпуклых днищ задаются по аналогии с цилиндрической обечайкой.

Выпуклые днища при расчете нагрузок по МКЭ представляются в виде пары невесомых балочных элементов с узлом в точке, соответствующей центру тяжести днища (Рис. 3.39). Сечение элементов считается постоянным и соответствует сечению в основании днища. Вес днища считается сосредоточенным и прикладывается в центре тяжести (узел желтого цвета).



Рис. 3.39 Моделирование днища балочными элементами

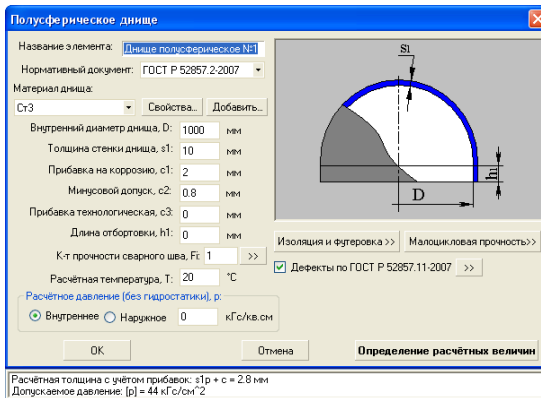


Рис. 3.40 Полусферическое днище

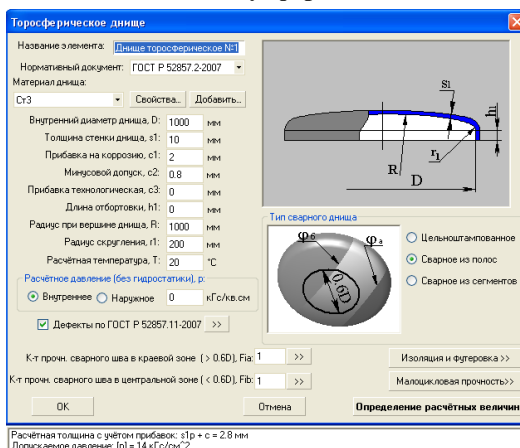


Рис. 3.41 Торосферическое днище

Тип торосферического днища определяется ГОСТ 34233.2-2017 (ГОСТ 14249-89) и может быть цельноштампованным, сварным из полос и сварным из сегментов (Рис. 3.42). При этом для днища, сварного из полос и сегментов задаются коэффициенты прочности сварных швов.



Рис. 3.42 Варианты исполнения днища

### 3.16.5. Пологое коническое днище

Пологое коническое днище

Название элемента: ище коническое пологое №Р1

Нормативный документ: ГОСТ 34233.2-2017

Тип днища

С простым укреплением  
 С тороидальным переходом  
 С укрепляющим кольцом  
 Без укрепления

Штуцер в вершине  
 Тип соединения  
 Без укрепления  
 С простым укреплением

Материал днища: Ст3 Прокат >>

Внутренний диаметр днища, D: 1000 мм  
 Толщина стенки днища, s1: 10 мм  
 Прибавка на коррозию, c1: 2 мм  
 Минусовой допуск, c2: 0,8 мм >>  
 Прибавка технологическая, c3: 0 мм  
 Угол наклона стенки днища, alpha1: 75 °  
 Высота днища, Hd: 67 мм

К-т прочности кольцевого шва, phi: 1 >>  
 К-т прочности продольного шва, phi\_r: 1 >>

Толщина стенки конического элемента, s1: 10 мм  
 Толщина стенки вставки, s2: Ст3 Прокат >>  
 Толщина стенки вставки, s2: 10 мм  
 Длина участка вставки, a2: 50 мм

Толщина укрепления, s1: 0 мм  
 Длина укрепления, a1: 0 мм  
 Толщина укрепления, s2: 0 мм  
 Длина укрепления, a2: 0 мм

Материал конического участка (s1): Ст3 Прокат >>  
 Материал цилиндрического участка (s2): Ст3 Прокат >>

Случай нагружения	Давление p, МПа	Температура T, °C
Рабочие условия	0	20

Изоляция и футеровка >>

OK Отмена Определение расчётных величин

Рис. 3.43 Пологое коническое днище

Имя элемента, нормативный документ, материал, геометрия, коэффициенты прочности сварных швов, изоляция и футеровка, а также условия нагружения конического днища задаются по аналогии с цилиндрической обечайкой. Тип днища определяется ГОСТ 34233.2-2017 (ГОСТ 14249-89).

Опция “Штуцер в вершине днища” используется в случаях, когда моделирование конструкции коническим переходом дает некорректный результат (например, для горизонтальных сосудов на седловых опорах).

### 3.16.6. Крутое коническое днище

**Крутое коническое днище** ✕

Название элемента:

Нормативный документ:  Размеры по НД >>

Тип днища

- Сопряжение с цилинд. обечайкой
- Сопряжение с цил. обечайкой, с торовой вставкой
- Сопряжение с цил. обечайкой, с кольцом
- Сопряжение с цил. обечайкой, без укрепления

Материал обечайки:  >>

Внутренний диаметр днища, D:  мм

Угол наклона стенки,  $\alpha_1$ :  °

Толщина стенки обечайки,  $s_k$ :  мм

Прибавка на коррозию,  $c_1$ :  мм

Минусовой допуск,  $c_2$ :  мм >>

Прибавка технологическая,  $c_3$ :  мм

Высота днища, Нд:  м

К-т прочности продольного шва, фр:  >>

К-т прочности кольцевого шва, фр:  >>

Случай нагружения	Давление р, МПа	Температура Т, °С
Рабочие условия	0	20

Дефекты по ГОСТ 34233.11-2017 >>

Штуцер в вершине

Тип соединения

- Без укрепления
- С простым укреплением

Толщина укрепления,  $s_1$ :  мм

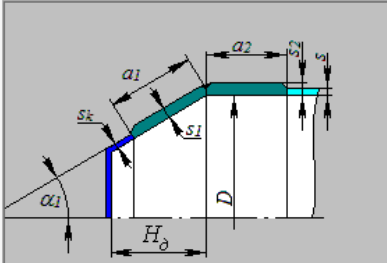
Длина укрепления,  $a_1$ :  мм

Толщина укрепления,  $s_2$ :  мм

Длина укрепления,  $a_2$ :  мм

Материал конического участка (s1):  >>

Материал цилиндрического участка (s2):  >>



Материал участка s1 (st):  >>

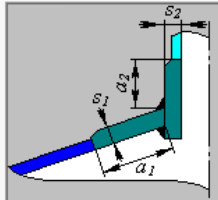
Материал участка s2:  >>

Толщина стенки вставки, s1:  мм

Толщина стенки вставки, s2:  мм

Длина участка вставки, a1:  мм

Длина участка вставки, a2:  мм



Материал конического участка (s1):  >>

Материал цилиндрического участка (s2):  >>

OK
Отмена
Определение расчётных величин

**Рис. 3.44 Крутое коническое днище**

Имя элемента, нормативный документ, материал, геометрия, коэффициенты прочности сварных швов, изоляция и футеровка, а также условия нагружения крутого конического днища задаются по аналогии с коническим переходом.

Опция “Штуцер в вершине днища” используется в случаях, когда моделирование конструкции [коническим переходом](#) дает некорректный результат (например, для горизонтальных сосудов на седловых опорах).

### 3.16.7. Плоское днище

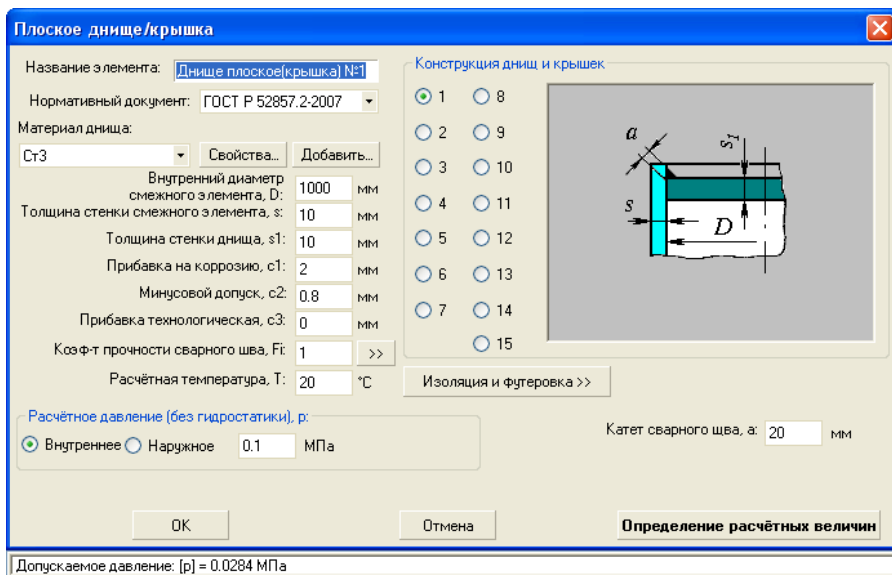
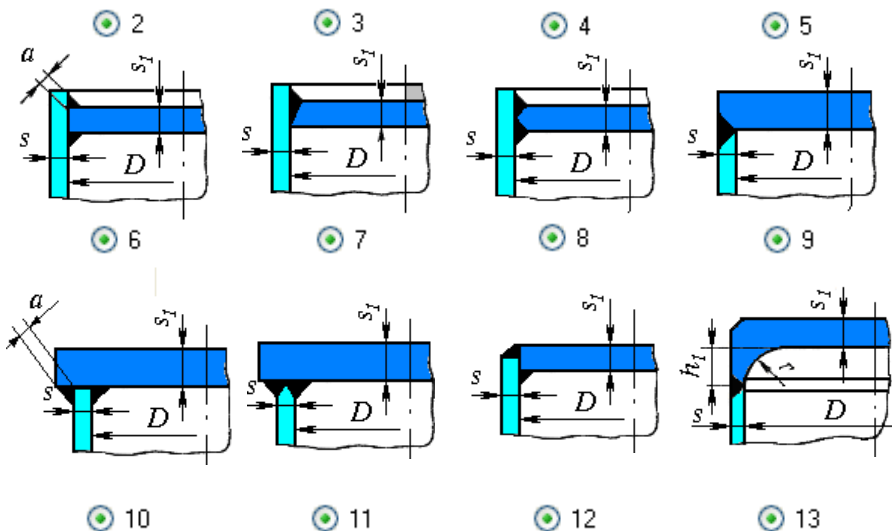
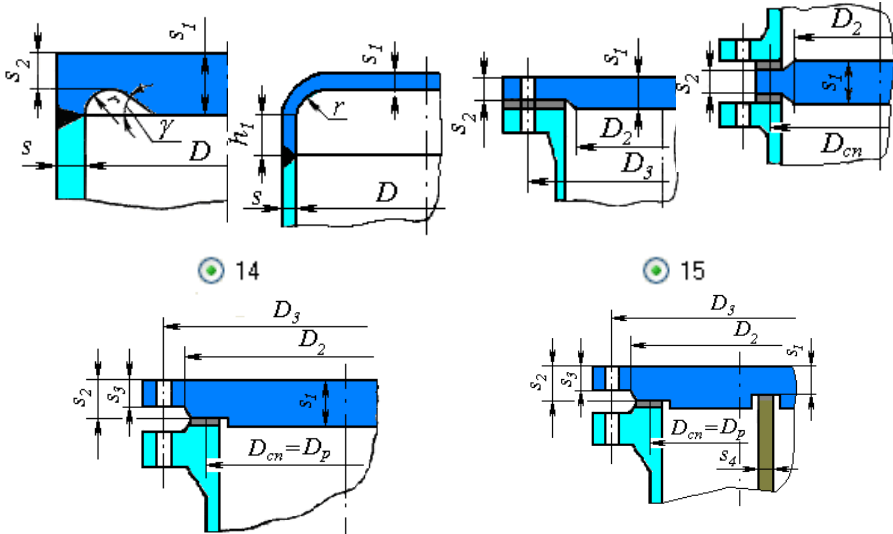


Рис. 3.45 Плоское днище

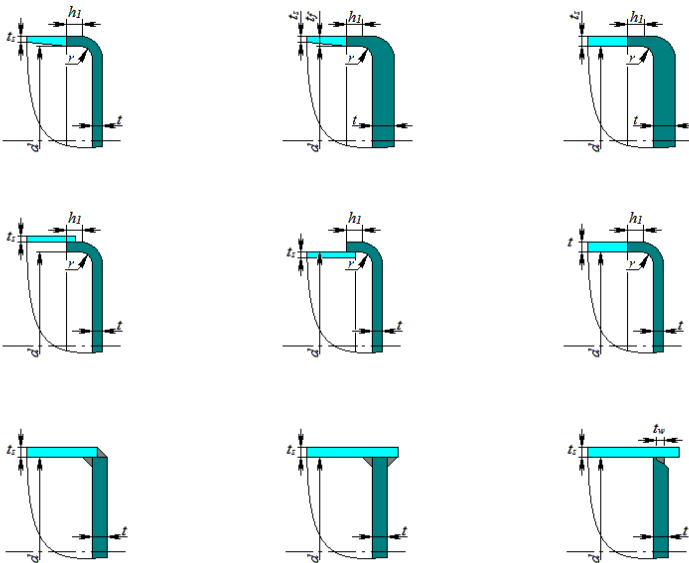
Имя элемента, нормативный документ, материал, геометрия, коэффициент прочности сварных швов, изоляция и футеровка, а также условия нагружения плоского днища задаются по аналогии с цилиндрической обечайкой. Тип конструкции днища определяется ГОСТ 34233.2-2017 (ГОСТ 14249-89) и приведен на Рис. 3.46.

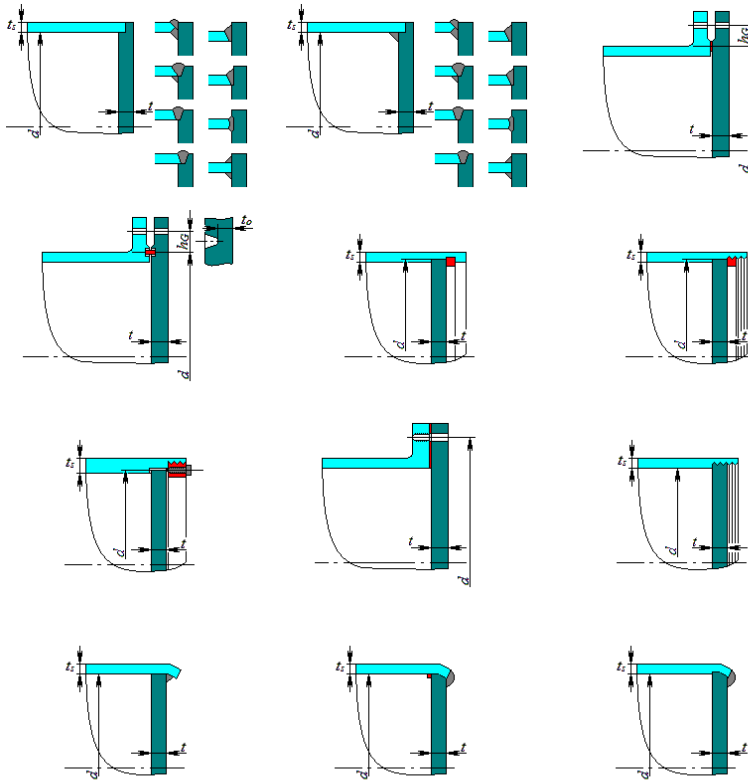




**Рис. 3.46** Варианты исполнения днища по ГОСТ 34233.2-2017

Доступен расчет днища по ASME VIII-1 (варианты конструкции приведены на Рис. 3.47).





**Рис. 3.47** Варианты исполнения днища по ASME VIII-1

Примечание: не следует использовать этот элемент для моделирования резервуара, опирающегося на грунт (расчетная методика не учитывает условий опирания и дает в этом случае избыточный запас).



### 3.16.8. Плоское днище с ребрами

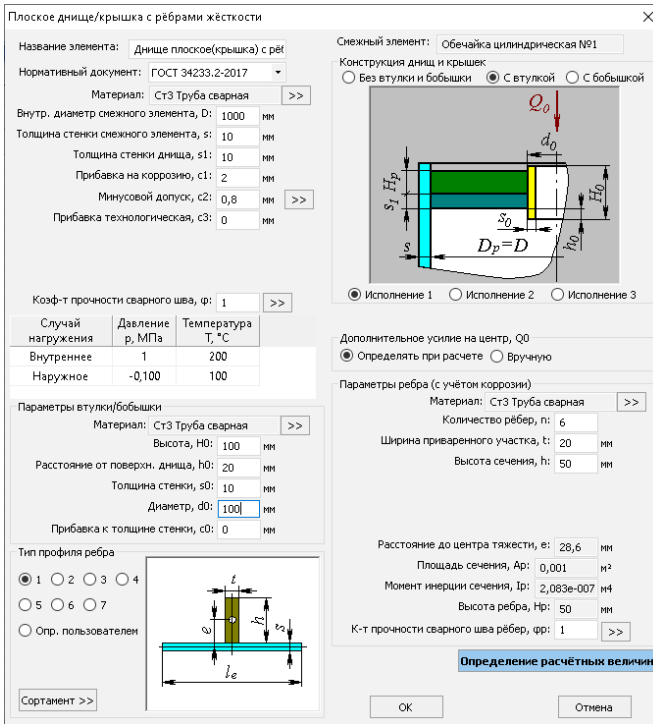


Рис. 3.48 Плоское днище с ребрами

Тип профиля ребра и его размеры задаются по аналогии с [КОЛЬЦОМ ЖЕСТКОСТИ](#) цилиндрической обечайки.

К центральной части днища возможно присоединить дочерний элемент (цилиндрическую обечайку), что позволит автоматически определить нагрузку на центр  $Q$ . Если данная нагрузка прикладывается вручную, она учитывается в модели и передается на соседние элементы.

Доступные варианты исполнения днища приведены на Рис. 3.49.

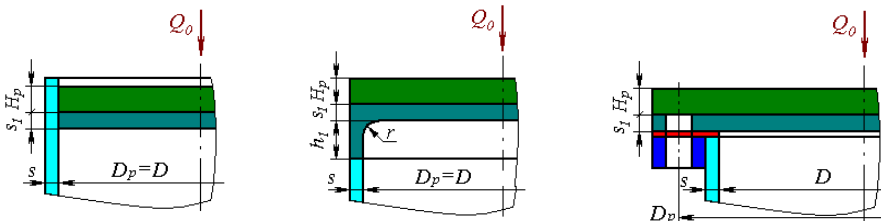


Рис. 3.49 Варианты исполнения днища с ребрами

### 3.16.1. Плоское днище с центральным отверстием

Данный элемент ведет себя в конструкции подобно [коническому переходу](#) (создает перепад диаметров). К меньшему диаметру могут быть присоединены соседние элементы.

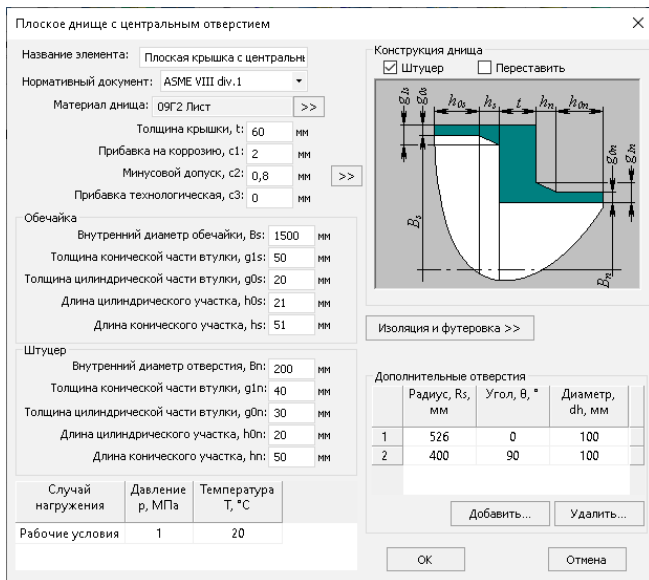


Рис. 3.50 Плоское днище с центральным отверстием

Опция “Штуцер” задает наличие/отсутствие хвостовика на меньшем диаметре (Рис. 3.51.)

Опция “Переставить” задает ориентацию элемента вдоль оси сосуда.

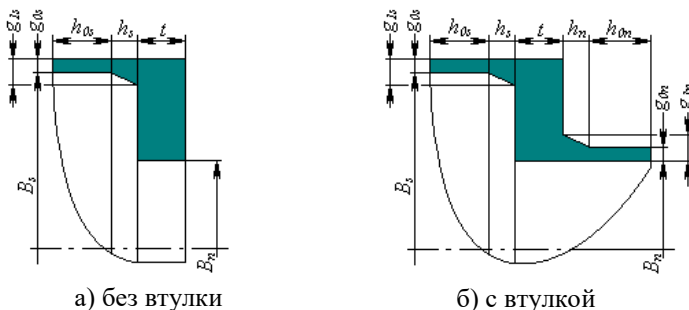


Рис. 3.51 Варианты исполнения днища с отверстием

Опция “Дополнительные отверстия” позволяет учесть ослабление перфорацией (дополнительными мелкими отверстиями, расположенными в краевой зоне днища).

### 3.16.2. Овальная крышка

Данный элемент может быть присоединен к овальному штуцеру.

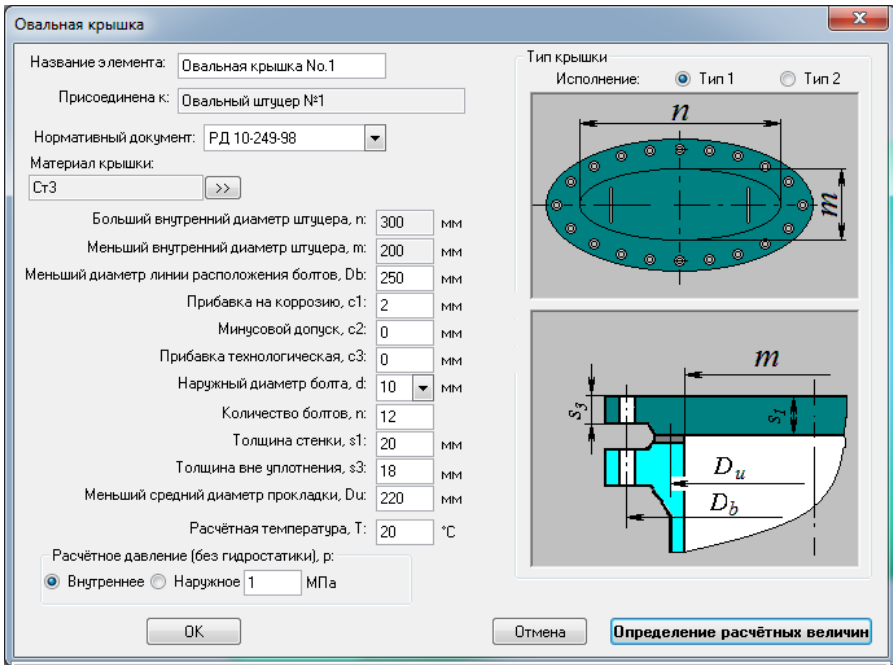


Рис. 3.52 Овальная крышка

Возможные варианты исполнения крышки по РД 10-249-98 приведены на Рис. 3.53.

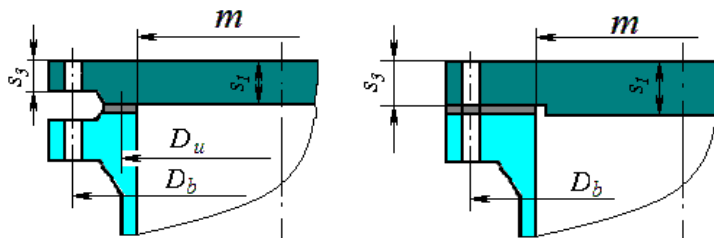


Рис. 3.53 Варианты исполнения крышки

### 3.16.3. Сферическое неотбортованное днище

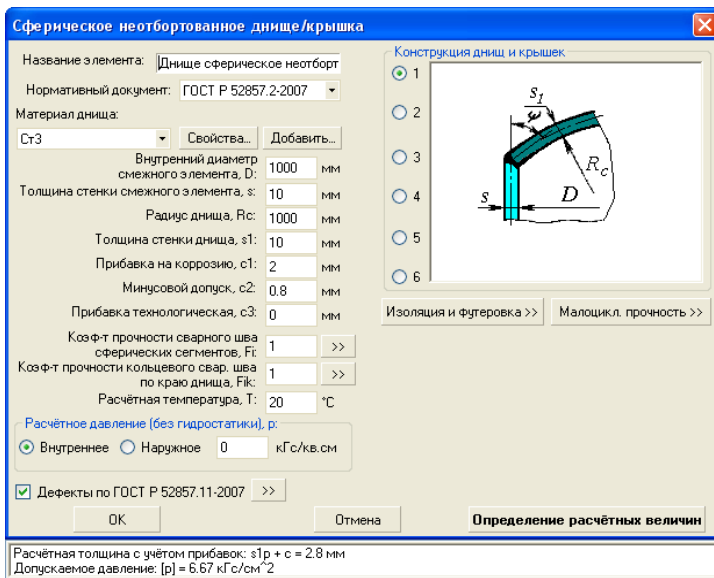


Рис. 3.54 Сферическое неотбортованное днище

Имя элемента, нормативный документ, материал, геометрия, коэффициент прочности сварных швов, изоляция и футеровка, а также условия нагружения плоского днища задаются по аналогии с цилиндрической обечайкой. Тип конструкции днища определяется ГОСТ 34233.2-2017 (ГОСТ 25221-82) и приведен на Рис. 3.55.

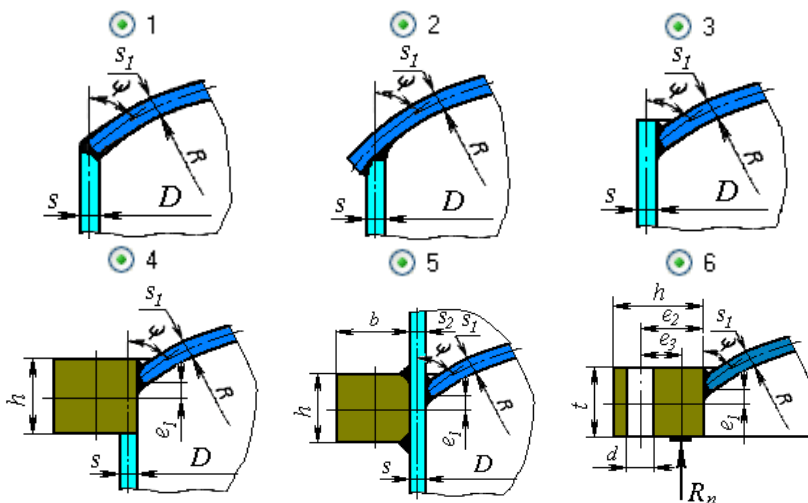


Рис. 3.55 Варианты исполнения днища

### 3.16.4. Штуцер (врезка)

Штуцер
✕

Название элемента: Штуцер №1
Усл. обозначение: Штуцер №1
Присоединён к: Обечайка цилиндрическая №1

Нормативный документ: ГОСТ Р 52857.3-2007  
 Материал штуцера: Размеры по ГОСТ >>  
 Ст3

Внутренний диаметр штуцера, d:	100	мм
Толщина стенки штуцера, s1:	10	мм
Суммарная прибавка к толщ., cs:	2	мм
Длина наружной части штуцера, l1:	100	мм
Длина внутр. части штуцера, l3:	100	мм
Толщина внутр. части штуцера, s3:	10	мм
Прибавка на коррозию, cs1:	0	мм
Расчётная температура, T:	20	°C

Расчётное давление (без гидростатики), p:  
 Внутреннее    Наружное   0   кгс/кв.см

**НАКЛАДНОЕ КОЛЬЦО**  
 Материал кольца: Ст3  
 Ширина кольца, l2: 100 мм  
 Толщина кольца, s2: 10 мм

Материал внутренней части: Ст3

**СВАРНЫЕ ШВЫ:**  
 К-т проч. продольного сварного шва, Fil: 1 >>  
 К-т проч. сварного шва обечайки в зоне врезки штуцера, Fil: 1 >>  
 Минимальные размеры швов:  
 Delta: 10 мм   Delta1: 10 мм   Delta2: 10 мм

ОК
Отмена

**Определение расчётных величин**

Диаметр отверстия, не требующего укрепления: d0 = 0 мм  
 Допускаемое давление: [p] = 22 кгс/см<sup>2</sup>

**Расчётные схемы штуцеров**

- 1 - Непроходящий без укрепления
- 2 - Проходящий без укрепления
- 3 - Непроходящий с накладным кольцом
- 4 - Проходящий с накладным кольцом
- 5 - С накладным кольцом и внутр. частью
- 6 - С отбортовкой
- 7 - С торовой вставкой
- 8 - С сварным кольцом

**РАСПОЛОЖЕНИЕ:**

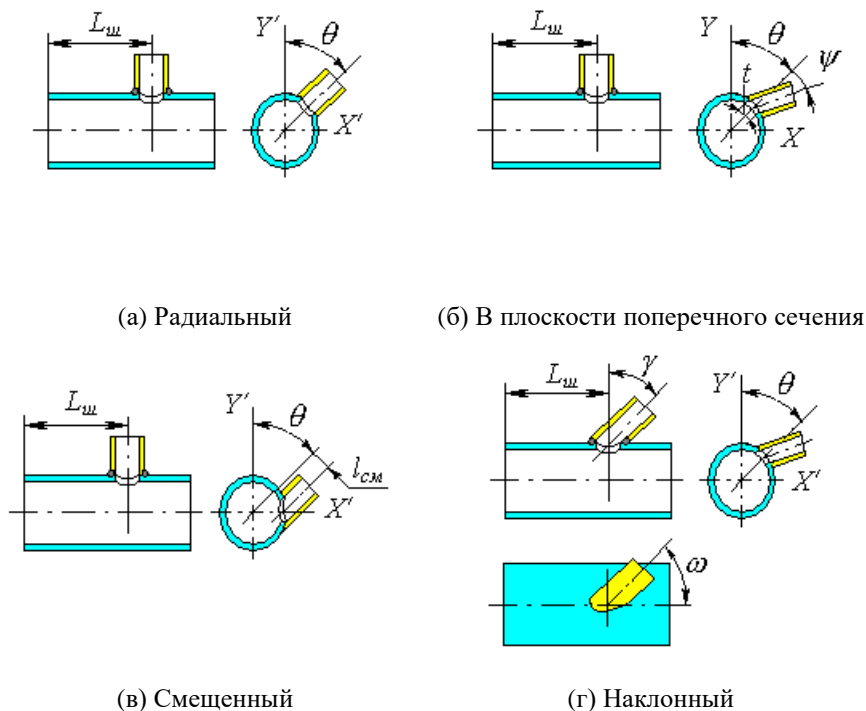
- Радиальный
- В плоскости попер. сечения
- Смещённый
- Наклонный

Смещение, Lш: 1 м  
 Угол смещения оси, Theta: 0 °  
 Угол наклона оси, gamma: 0 °  
 Угол отклонения оси, omega: 0 °

Изоляция и футеровка >>
Малозиловная прочность >>

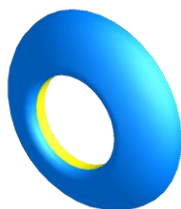
Рис. 3.56 Штуцер (врезка)

Имя элемента, нормативный документ, материал, коэффициент прочности сварных швов штуцера и накладного кольца (при его наличии), а также условия нагружения задаются по аналогии с цилиндрической обечайкой. Расположение штуцера определяется в зависимости от типа элемента, к которому штуцер присоединяется. Для цилиндрической и конической обечайки, а также конического дна штуцер может быть радиальным (Рис. 3.57,а), располагаться в плоскости поперечного сечения (Рис. 3.57,б), смещённым (Рис. 3.57, в), а также произвольного расположения (наклонный) (Рис. 3.57, г).



**Рис. 3.57** Варианты расположения штуцера на цилиндрической обечайке

Для выпуклых днщ (в том числе для сферических неотбортованных) штуцер может задаваться как в полярной, так и в декартовой системе координат, быть радиальным, располагаться вдоль оси сосуда, а также произвольного расположения (наклонный) (Рис. 3.60). Для плоских днщ предусмотрено расположение штуцеров только перпендикулярно поверхности.



**Рис. 3.58** Штуцер с отбортовкой внутрь

Для врезного штуцера, выполненного заподлицо с внутренней поверхностью обечайки, следует выбрать конфигурацию “Проходящий” и задать  $l_3=0$ .

Для штуцера с отбортовкой внутрь (Рис. 3.58) следует задать отрицательное значение выступа “х”.

**Штуцер**

Название элемента: Штуцер №2      Усл. обозначение: Штуцер №2      Присоединён к: Днище сферическое неотбортованное (к

Нормативный документ: ГОСТ Р 52857.3-2007

Материал штуцера: Размеры по ГОСТ >>

Ст3      Свойства...      Добавить...

Внутренний диаметр штуцера,  $d$ : 100 мм  
 Толщина стенки штуцера,  $s_1$ : 10 мм  
 Суммарная прибавка к толщ.,  $cs$ : 2 мм  
 Длина наружной части штуцера,  $l_1$ : 100 мм  
 Длина внутр. части штуцера,  $l_2$ : 100 мм  
 Толщина внутр. части штуцера,  $s_3$ : 10 мм  
 Прибавка на коррозию,  $cs_1$ : 0 мм  
 Расчётная температура,  $T$ : 20 °C

Расчётное давление (без гидростатики),  $p$ :

Внутреннее     Наружное    1 кгс/кв.см

**НАКЛАДНОЕ КОЛЬЦО**  
 Материал кольца: Ст3      Свойства...      Добавить...  
 Ширина кольца,  $l_2$ : 100 мм  
 Толщина кольца,  $s_2$ : 10 мм

Материал внутренней части: Ст3      Свойства...      Добавить...

**СВАРНЫЕ ШВЫ:**  
 К.т. прочн. продольного сварного шва,  $F_1$ : 1 >>  
 К.т. прочн. сварного шва обечайки в зоне врезки штуцера,  $F_2$ : 1 >>  
 Минимальные размеры швов:  
 Delta: 10 мм    Delta1: 10 мм    Delta2: 10 мм

**Расчётные схемы штуцеров**

- 1 - Непроходящий без укрепления
- 2 - Проходящий без укрепления
- 3 - Непроходящий с накладным кольцом
- 4 - Проходящий с накладным кольцом
- 5 - С накладным кольцом и внутр. частью
- 6 - С отбортовкой
- 7 - С торовой вставкой
- 8 - С сварным кольцом

**РАСПОЛОЖЕНИЕ:**

Система координат:  Полярная     Декартова

- Радиальный
- Вдоль оси
- Наклонный

Смещение,  $R_w$ : 0 мм  
 Угол смещения оси,  $\theta$ : 0 °  
 Угол наклона оси,  $\gamma$ : 0 °

Изоляция и футеровка >>      Малопрочная прочность >>

**Определение расчётных величин**

Диаметр отверстия, не требующего укрепления:  $d_0 = 5130$  мм  
 Допускаемое давление:  $[p] = 22.1$  кгс/см<sup>2</sup>

Рис. 3.59 Штуцер (врезка) на сферическом неотбортованном днище

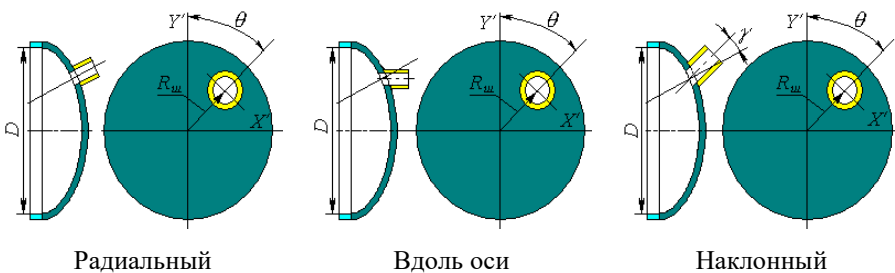
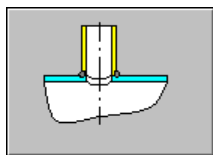
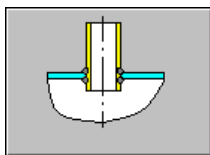


Рис. 3.60 Варианты расположения штуцера на днище

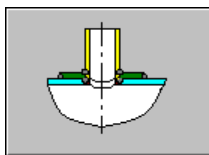
Расчетная схема штуцера определяется ГОСТ Р 53857.3–2017 (ГОСТ 24755-89), варианты приведены на Рис. 3.61.



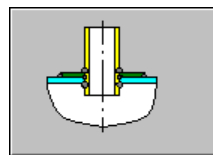
1 – непроходящий без укрепления



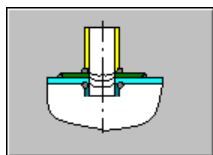
2 – проходящий без укрепления



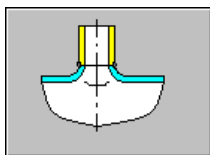
3 – непроходящий без укрепления



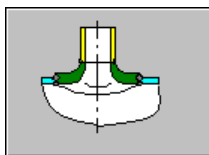
4 – проходящий без укрепления



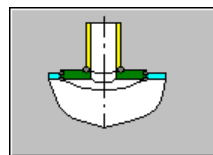
5 – С накладным кольцом и внутренней частью



6 – С отбортовкой



7 – С торовой вставкой



8 – С сварным кольцом

**Рис. 3.61 Варианты исполнения врезки**

При радиальном расположении штуцера для цилиндрической и конической обечайки, а также выпуклых днищ возможен расчет прочности места врезки от внешних сил и моментов, которые задаются после нажатия кнопки [Далее >>](#).

Нагрузки на штуцер

Норматив: ГОСТ 34233.3-2017 (нагрузки)

Нагрузки для наклонных штуцеров задаются только для передачи на другие элементы аппарата

Нагрузки

Определять при расчете  Прикладывать как внешние

Задавать вручную  С одинаковыми во всех режимах

Нагрузки включают составляющую от давления

Место приложения нагрузок

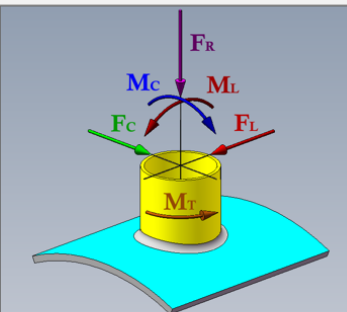
На срезе патрубков  В месте врезки

Система координат нагрузок

Локальная  Глобальная

Учет стесненности от температур. деформаций

Без учета  С учетом



Случай нагружения	Осевая сила (при растяжении "-") $F_r$ , Н	Сдвиговая нагрузка $F_c$ , Н	Сдвиговая нагрузка $F_l$ , Н	Окружной момент $M_c$ , Н·м	Продольный момент $M_l$ , Н·м	Крутящий момент $M_t$
Рабочие условия	0	0	0	0	0	0
Пропарка	0	0	0	0	0	0
Условия испытаний	0	0	0	0	0	0

OK Отмена

**Рис. 3.62 Нагрузки на штуцер**



В этом случае, помимо укрепления отверстий от давления, производится расчет от внешних сил и моментов по выбранному НД: ГОСТ 34233.3-2017, РД 26.260.09-92, WRC 537(107)/297, EN 13445-3.

Нагрузки могут быть определены автоматически при расчете от пристыкованного к штуцеру элемента, или заданы вручную. При активации функции “Прикладывать как внешние” заданные нагрузки от штуцера будут передаваться на элементы всей модели.

Опция “Одинаковые во всех режимах” позволяет избежать заполнения таблицы нагрузок индивидуально по каждому режиму, если нагрузки одинаковы или отличаются незначительно.

При помощи функции “Система координат нагрузок” нагрузки могут быть заданы в системе координат штуцера (“Локальная”) или в системе координат модели (“Глобальная”).

При ручном задании нагрузок можно дополнительно указать, в какой точке они приложены (опция “Расположение нагрузок”). При задании нагрузок на срезе патрубка, во время расчета они автоматически пересчитываются с учетом длины  $l_1$ .

В случае плоского днища его работоспособность от действия давления оценивается с учетом наличия отверстий.

При задании сил и моментов особое внимание необходимо обратить на знаки. Положительные значения соответствуют направлениям, обозначенным на схеме. Приведенная на Рис. 3.62 расчетная схема применима только для радиальных штуцеров. Для других вариантов конструкции необходимо контролировать направление нагрузок по отображаемой модели, так как система координат штуцера в общем случае разворачивается сначала на угол  $\theta$ , затем на  $\omega$ , и затем на  $\gamma$  или  $\psi$ . Например, смещенный штуцер получается из наклонного при  $\omega = 90^\circ$ .

При расчете нагрузок по МКЭ врезка представляется в виде нескольких балочных элементов (Рис. 3.63):

- элемент, показанный синим, соединяет наружную стенку несущей обечайки в месте врезки с осевой линией обечайки. Этот элемент является жёсткой связью.
- цепочка элементов, показанных красным цветом, моделируется невесомыми балочными элементами кольцевого сечения. Весовая нагрузка прикладывается к жёлтому узлу, находящемуся в центре тяжести патрубка

В зависимости от выбранного расположения внешние нагрузки прикладываются к точке 1 или 2.

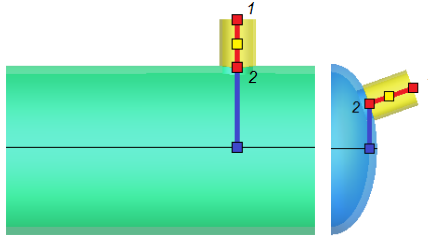


Рис. 3.63 Моделирование штуцера балочными элементами

### 3.16.5. Овальный штуцер (врезка)

**Штуцер**

Название элемента:  Усл. обозначение:  Присоединён к:

Нормативный документ:

Материал штуцера:

Большой внутр. диаметр штуцера, d1:  мм

Меньший внутр. диаметр штуцера, d2:  мм

Толщина стенки штуцера, s1:  мм

Суммарная прибавка к толщ., cs:  мм

Длина наружной части штуцера, l1:  мм

Расчётная температура, T:  °C

Расчётное избыточное давление, p:

Внутреннее  МПа

Наружное

**Расчётные схемы штуцеров**

- 1 - Непроходящий без укрепления
- 2 - Проходящий без укрепления
- 3 - Непроходящий с накладным кольцом
- 4 - Проходящий с накладным кольцом
- 5 - С накладным кольцом и внутр. частью
- 6 - С отбортовкой
- 7 - С торковой вставкой
- 8 - С сварным кольцом

**РАСПОЛОЖЕНИЕ:**

Радиальный

Смещение, Lш:  мм

Угол смещения оси, Teta:  градус

Угол отклонения оси, omega:  градус

**СВАРНЫЕ ШВЫ:**

К-т прочн. продольного сварного шва, Fil:

К-т прочн. сварного шва обечайки в зоне врезки штуцера, Fis:

Минимальные размеры швов:

Delta:  мм

Диаметр отверстия, не требующего укрепления: d0 = 113.9 мм  
 Допускаемое давление: [p] = 2.202 МПа  
 Расчётный диаметр отверстия: dr = 104 мм

Рис. 3.64 Овальный штуцер (врезка)

Имя элемента, материал, геометрия, коэффициент прочности сварных швов штуцера и накладного кольца (при его наличии), условия нагружения а также расположение задаются по аналогии с обычным штуцером.

### 3.16.6. Отвод

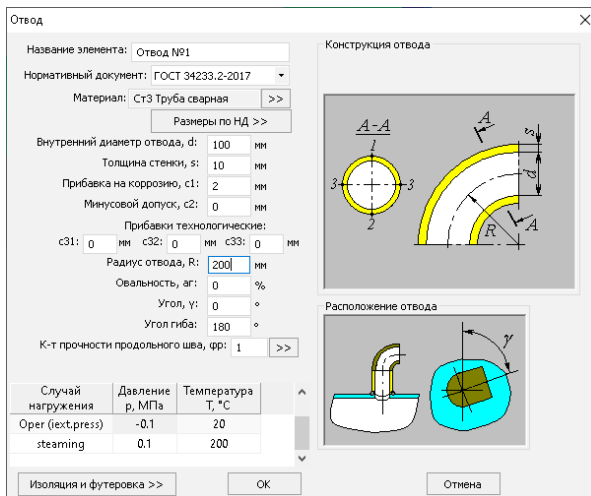


Рис. 3.65 Отвод

Имя элемента, материал, геометрия, коэффициент прочности сварных швов, а также условия нагружения задаются по аналогии с цилиндрической обечайкой. Отвод присоединяется к штуцерам и присоединяемым к ним обечайкам. Расположение отвода определяется углом поворота.

Конструкция отвода определяется выбранным нормативом. Возможные конфигурации отвода показаны на Рис. 3.66.

Уголгиба отвода ограничен 90°. Для моделирования U-образных колен необходимо использовать последовательно два отвода.

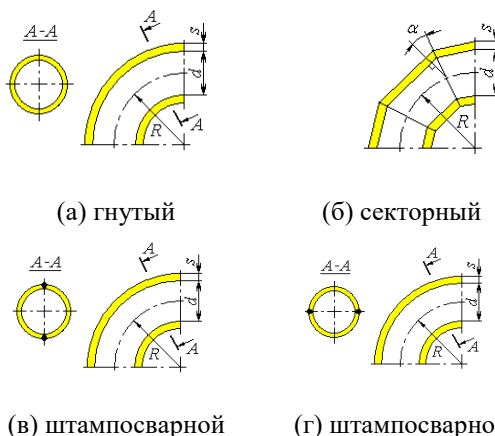


Рис. 3.66 Варианты исполнения отвода

### 3.16.7. Фланцевое соединение

**Фланцевое соединение**

Название элемента: Фланцевое соединение №1

ФЛАНЕЦ №1 (°)    Размеры по НД >>

Данные снежного элемента

Снежный элемент: Штуцер №1

Внутренний диаметр, D: 304,74 мм

Толщина стенки, s: 9,53 мм

Материал: SA-516 Gr.70

Первый фланец(кольцо)

Материал: Ст3

Внутренний диаметр, D: 314,66 мм

Суммарная прибавка, c: 0 мм

Наружный диаметр, Dн: 485 мм

Длина конической втулки, l: 82,8 мм

Толщина цилиндрич. части втулки, s0: 4,5699 мм

Толщина конич. части втулки, s1: 25,17 мм

Радиус перехода, r: 6,2925 мм

Длина цилиндрич. части втулки, lс: 0 мм

Толщина фланца с выступом(шпилем), h': 32,2 мм

Нормативный документ: ГОСТ 34233.4-2017

ФЛАНЕЦ №2 (°)    Принять как №1

Данные снежного элемента

Снежный элемент:

Внутренний диаметр, D: 314,66 мм

Толщина стенки, s: 4,57 мм

Материал: Ст3

Второй фланец(кольцо)

Материал: Ст3

Внутренний диаметр, D: 314,66 мм

Суммарная прибавка, c: 0 мм

Наружный диаметр, Dн: 485 мм

Длина конической втулки, l: 82,8 мм

Толщина цилиндрич. части втулки, s0: 4,5699 мм

Толщина конич. части втулки, s1: 25,17 мм

Радиус перехода, r: 6,2925 мм

Длина цилиндрич. части втулки, lс: 0 мм

Толщина фланца с впадиной(пазом), h'': 32,2 мм

Тип фланцевого соединения

Приварные встык

Пloseные приварные

Свободные на кольцах

Встык-Пloseый

Встык-С кольцом

Пloseый-С кольцом

Закладная деталь

Исполнение фланца

Пloseое

Выступ-впадина

Точнее

Шпиг-паз

Восьмигранник

УСЛОВИЯ НАГРУЖЕНИЯ:

Расчётное давление (без гидростатики), p:

Внутреннее     Наружное    0,1 МПа

Расчётные температуры:  Вручную     Автоматически

фланца (кольца), Тф1: 20    Тф2: 20    °C

Изоляция >>    Крепежа, Тб: 20    °C

Учет прибавки при расчете жесткости

Далее >>    Отмена

Крепёж:

Материал: 35

Наружный диаметр, d: 22,22 мм

Дополнительно >>

Количество, n: 12

Диаметр болтовой окружности, Dб: 431,8 мм

Прокладка

Материал: Свойства...    Добавить...

Паронит по ГОСТ 481 при толщине не более 3 мм

Размеры по НД >>

Наружный диаметр, Dн.п.: 400 мм

Ширина, bп: 43 мм

Толщина, hп: 2 мм

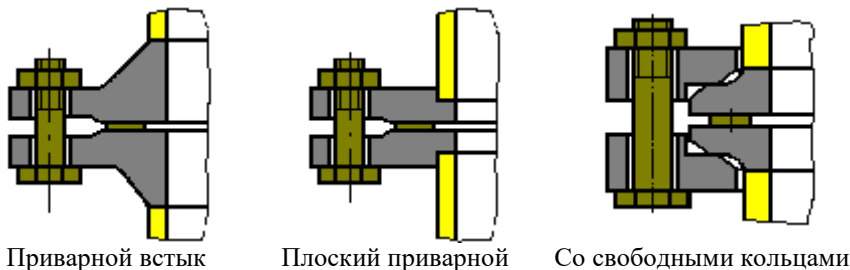
Рис. 3.67 Фланцевое соединение

Расчет фланцевых соединений возможен по РД 26-15-88, ГОСТ 34233.4-2017, ASME VIII div.1, ASME VIII div.2, EN 13445-3. Ниже приведено сравнение нормативов по учету нагрузок (Таблица 3-4).

Таблица 3-4

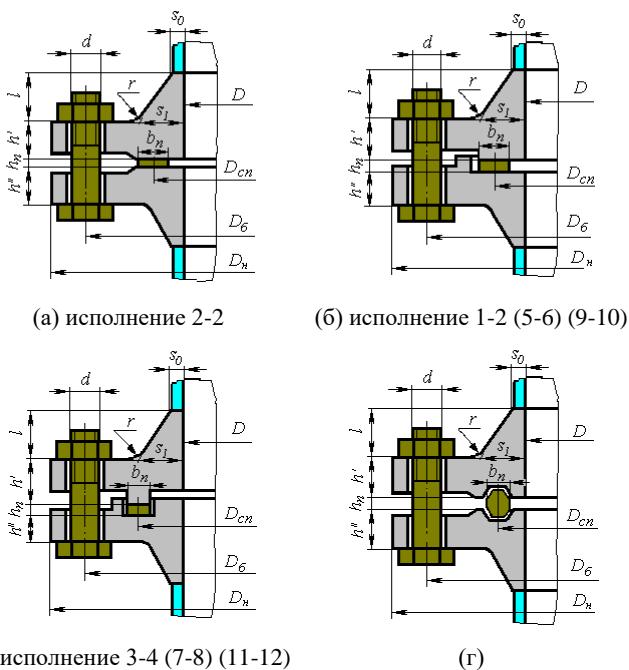
Норматив	Учет давления	Учет внешних нагрузок (F, M)	Учет температурных нагрузок
РД 26-15-88	√	√	√
ГОСТ 34233.4-2017	√	√	√
ASME VIII div.1	√	—	—
ASME VIII div.2	√	√	—
EN 13445-3	√	√	—

Имя элемента, нормативный документ, материал, геометрия и условия нагружения фланца задаются по аналогии с цилиндрической обечайкой. Тип фланца определяется ГОСТ 12820(12821,12822)-80 и приведен на Рис. 3.68.

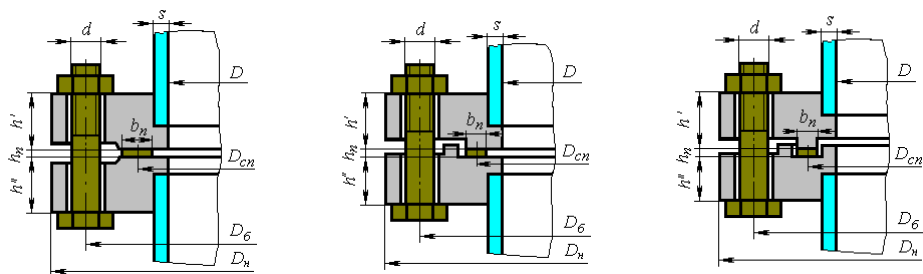


**Рис. 3.68 Типы фланцевых соединений**

На Рис. 3.69.-Рис. 3.73 представлены расчетные схемы фланцевых соединений по ГОСТ 34233.4-2017.

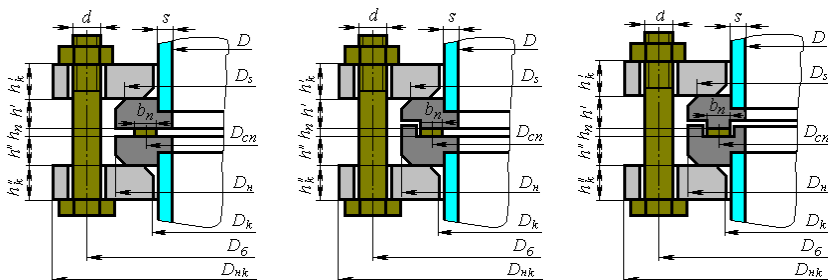


**Рис. 3.69. Фланцы, приварные встык по ГОСТ 28759.3-90(а,б,в) и ГОСТ 28759.4-90(г)**

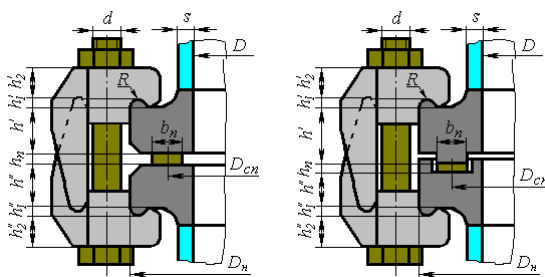


(а) исполнение 1-1 (6-6) (11-11)      (б) исполнение 4-5 (9-10) (14-15)      (в) исполнение 2-3 (7-8) (12-13)

**Рис. 3.70. Плоские приварные фланцы по ГОСТ 28759-2.90**

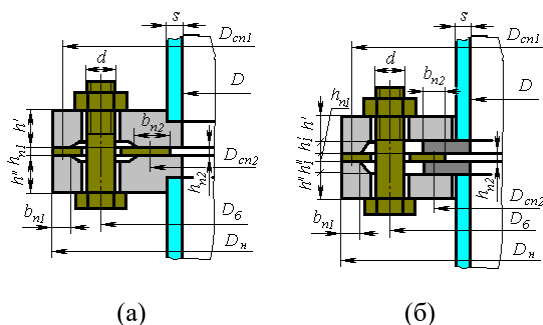


**Рис. 3.71. Фланцы со свободными кольцами**



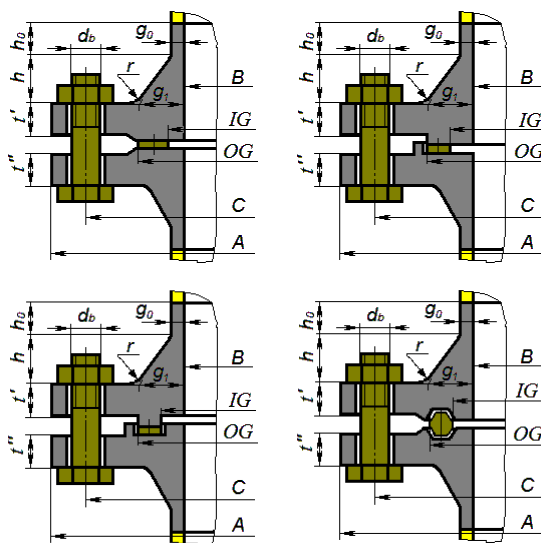
(а) исполнение 1-1      (б) исполнение 2-3

**Рис. 3.72. Фланцы под зажимы по ОСТ 26-01-396-78**



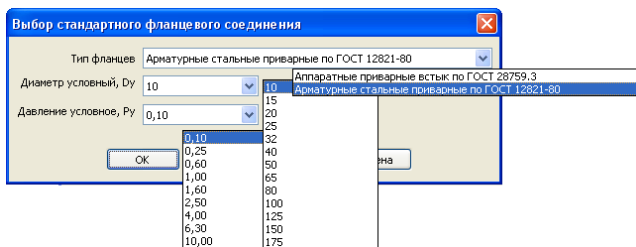
**Рис. 3.73. Контактирующие фланцы**

Конструктивное исполнение фланцевого соединения при расчете по ASME VIII-1(2) приведено на Рис. 3.74.



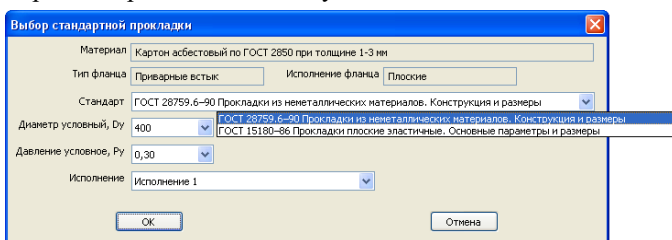
**Рис. 3.74 Варианты исполнений фланцевого соединения по ASME**

Размеры фланцев, крепежа и прокладки можно выбрать из базы данных стандартных изделий, нажав на кнопку , предварительно выбрав тип фланцевого соединения и его исполнение. При этом параметры устанавливаются для обоих фланцев.



**Рис. 3.75 Выбор стандартного фланцевого соединения**

Для выбора прокладки из базы данных необходимо также указать её материал. Тип выбранной прокладки должен соответствовать исполнению фланца, в противном случае подбор стандартного изделия будет невозможен.



**Рис. 3.76 Выбор стандартной прокладки**

Вид диалога (Рис. 3.76) может отличаться от приведенного и определяется сочетанием типа фланцевого соединения, его исполнения и выбранного материала прокладки.

Материалы болтов (шпилек) и их свойства задаются из базы данных (ГОСТ 34233.4-2017 и др.) или самостоятельно.

Нажав клавишу , можно открыть диалог расширенных параметров крепежа и фланца (Рис. 3.77):



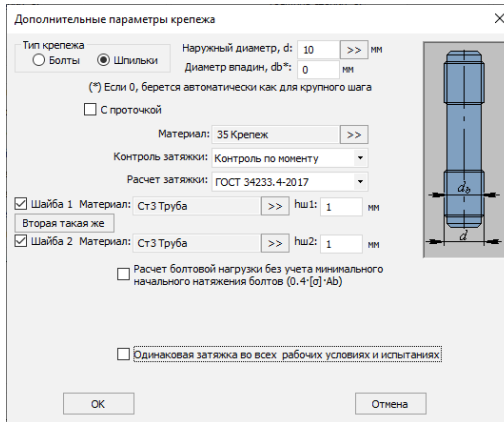


Рис. 3.77 Дополнительные параметры крепежа

Опция  **С проточкой** используется в случае применения шпилек с проточкой до диаметра, меньшего внутреннего диаметра резьбы.

С помощью вспомогательных кнопок  можно выбрать параметры резьбы из базы данных (по отечественным или зарубежным нормативам).

Выбор опции «**Контроль по моменту**» позволяет использовать вариант «**Расчет болтовой нагрузки без учета минимального начального натяжения болтов (0,4 · [σ] · Ab)**», что допускается ГОСТ 34233.4-2017 и в ряде случаев помогает избежать чрезмерного упрочнения фланцев.

При выборе пункта «**Одинаковая затяжка в рабочих условиях и испытаниях**» болтовая нагрузка будет приниматься для всех режимов одинаковой (максимальной из всех).

Опция “Расчет затяжки” позволяет выбрать альтернативный норматив для расчета момента на ключе.

Прокладка фланцевого соединения и ее свойства, либо выбираются из существующей базы данных, либо задаются самостоятельно при нажатии клавиши “Редактировать материалы пользователя”.

База данных по материалам фланцев и болтов чувствительна к выбранному расчетному нормативу. Это связано с тем, что стандарт ASME II Part D содержит большой объем данных по допускаемым напряжениям, применимым **только** в расчетах по ASME VIII-1(2).

Опция «**Изоляция**» влияет на расчетные температуры элементов фланцевого соединения, вес и материалоемкость.

Пункт «**Закладная деталь**» используется при наличии детали, зажатой между фланцами (заглушка поворотная или дисковая, кольцевая проставка, Рис. 3.78).



Рис. 3.78 Закладная деталь

Пункт «Точнее» позволяет более детально задать параметры уплотнительных поверхностей фланцев (Рис. 3.79).



Рис. 3.79 Параметры уплотнительных поверхностей

Опция «Переставить уплотнительные поверхности» позволяет поменять местами выступ и впадину.

Параметр «Толщина фланца» имеет особенность – при несимметричной конфигурации уплотнительной поверхности (шип-паз, выступ-впадина) он может относиться как к фланцу №1, так и к фланцу №2 (в зависимости от состояния опции «Перевернуть поверхности»). Внешние силы и моменты задаются после нажатия кнопки Далее >>

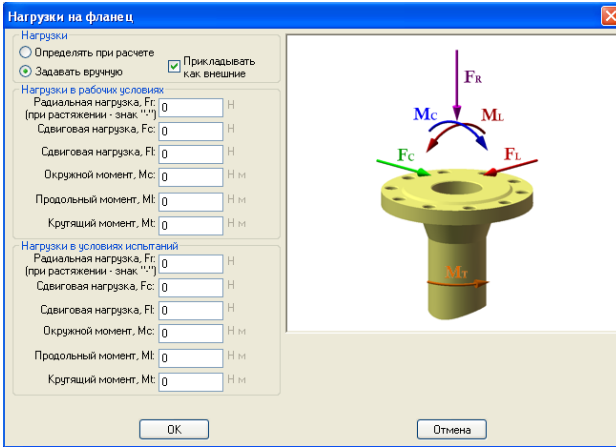


Рис. 3.80 Нагрузки на фланцевое соединение

Нагрузки могут быть определены автоматически или заданы вручную. При активации функции  Прикладывать как внешние заданные нагрузки от фланцевого соединения будут передаваться на элементы всей модели.

### 3.16.8. Реверсный фланец

Реверсный фланец задается аналогично фланцевому соединению.

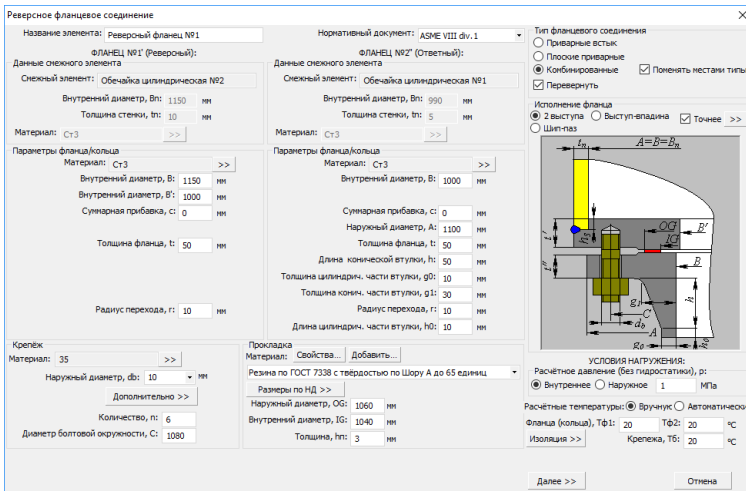


Рис. 3.81 Реверсное фланцевое соединение

Расчет реверсных фланцев возможен по ASME VIII div.1. Доступные расчетные схемы приведены на Рис. 3.82.

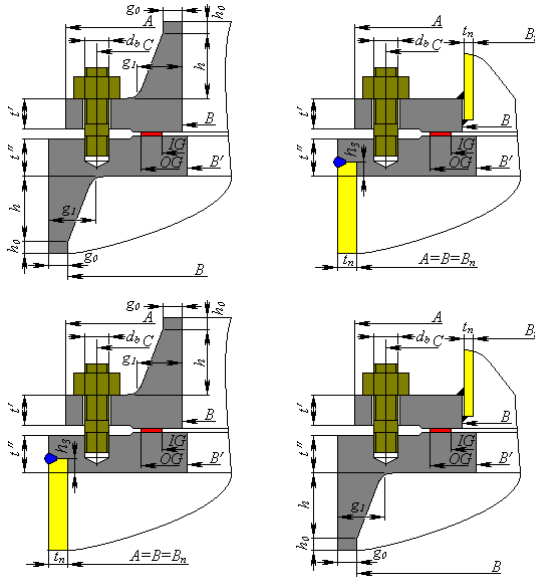


Рис. 3.82 Варианты исполнения реверсного соединения

### 3.16.9. Отъемные крышки

Отъемные крышки могут быть трёх видов – плоские, эллиптические и сферические неотбортованные, и представляют собой комбинацию фланца и собственно крышки.

**Отъемная крышка**

Название элемента: Крышка плоская №1

Нормативный документ: ГОСТ Р 52857.4.2-2007

Материал днища: Ст3

Толщина стенки, s1: 22 мм

Прибавка на коррозию, c1: 2 мм

Минусовой допуск, c2: 0.8 мм

Прибавка технологическая, c3: 0 мм

Толщина в месте прокладки, s2: 22 мм

Толщина вна уплотнения, s3: 19 мм

Наименьший диаметр наружной утоненной части, D2: 0 мм

Наружный диаметр, Dн: 535 мм

Коэф-т прочности сварного шва, F: 1

Паз для перегориди

ФЛАНЕЦ:  Фланецкрышка по НД >>  Фланец по НД >>

Данные смежного элемента

Смежный элемент:

Внутренний диаметр, D: 0 мм

Толщина стенки, s: 0 мм

Материал: Ст3

Параметры фланца

Материал: Ст3

Внутренний диаметр, D: 400 мм

Суммарная прибавка, c: 0 мм

Наружный диаметр, Dн: 535 мм

Высота фланца, h: 35 мм

Длина конической втулки, l: 30 мм

Толщина цилиндрич. части втулки, s0: 6 мм

Толщина конич. части втулки, s1: 16 мм

Радиус перехода, r: 7 мм

Длина цилиндрич. части втулки, lc: 0 мм

Тип фланца

Приварные встык

Плоские приварные

Исполнение фланца

Плоские

Выступвадина

Шпиг-паз

Восьмигранник

УСЛОВИЯ НАГРУЖЕНИЯ:

Расчётное давление (без гидростатик), p:

Внутреннее  Наружное 0 МПа

Расчётные температуры:  Вручную  Автоматически

Крышки, Ткр: 20 °C

Фланца, Тф: 20 °C

Крепежа, Т6: 20 °C

Учет прибавки при расчете жесткости

Крепёж:  Болты  Шпильки  Без контроля затяжки

Материал: 35

Протока

Наружный диаметр, d: 20 мм

Количество, n: 20

Диаметр болтовой окружности, Dб: 495 мм

Прокладка

Материал: Свойства... Добавить...

Резина по ГОСТ 7338 с твердостью по Шору А до 65 единиц

Размеры по НД >>

Наружный диаметр, Dн.л: 457 мм

Ширина, bп: 12.5 мм

Толщина, hп: 3 мм

OK Отмена

---

### **Рис. 3.83 Плоская отъемная крышка**

Отъемная крышка может быть присоединена к тем же элементам, что и приварная крышка.

Имеется возможность подбора как совместно крышки в сборе с фланцем (компоненты выбираются из базы данных таким образом, чтобы совпадали параметры крепежа), так и фланца в отдельности (в случае применения нестандартных крышек).

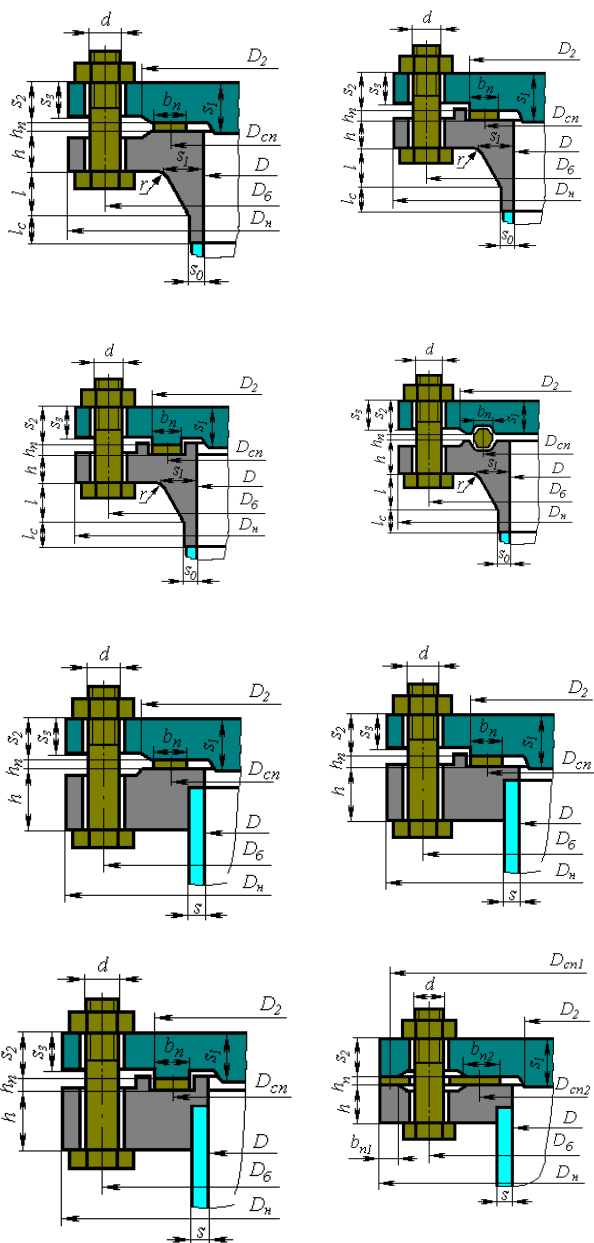


Рис. 3.84. Плоские отъемные крышки по РД 26-15-88, ГОСТ 34233.4-2017

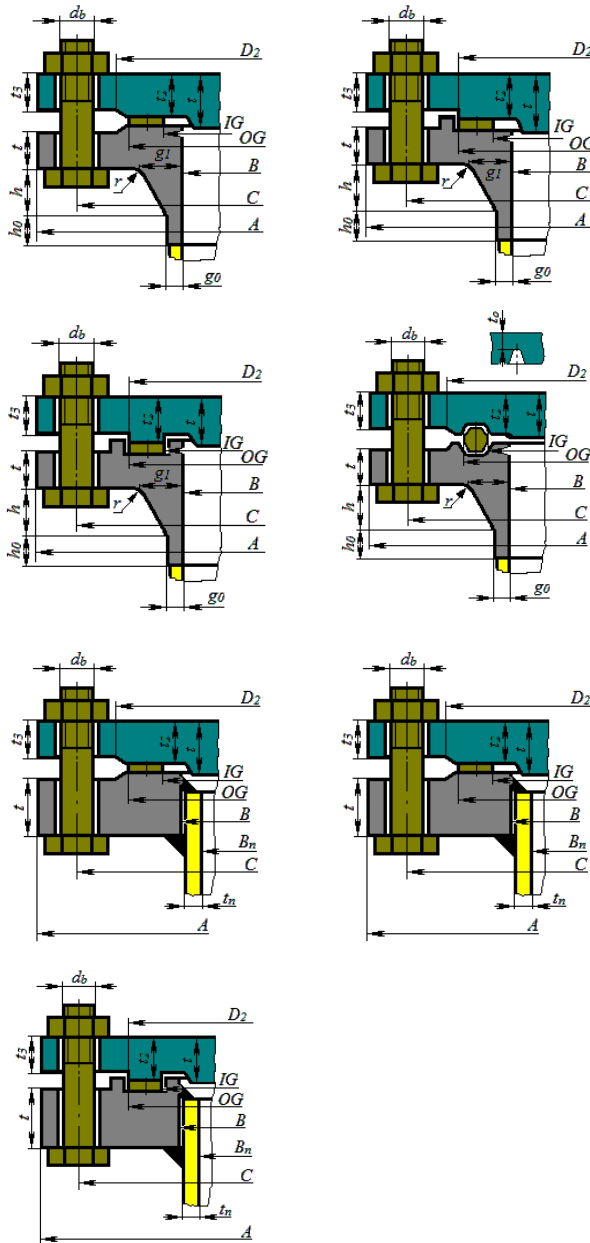


Рис. 3.85. Плоские отъёмные крышки по ASME VIII-1

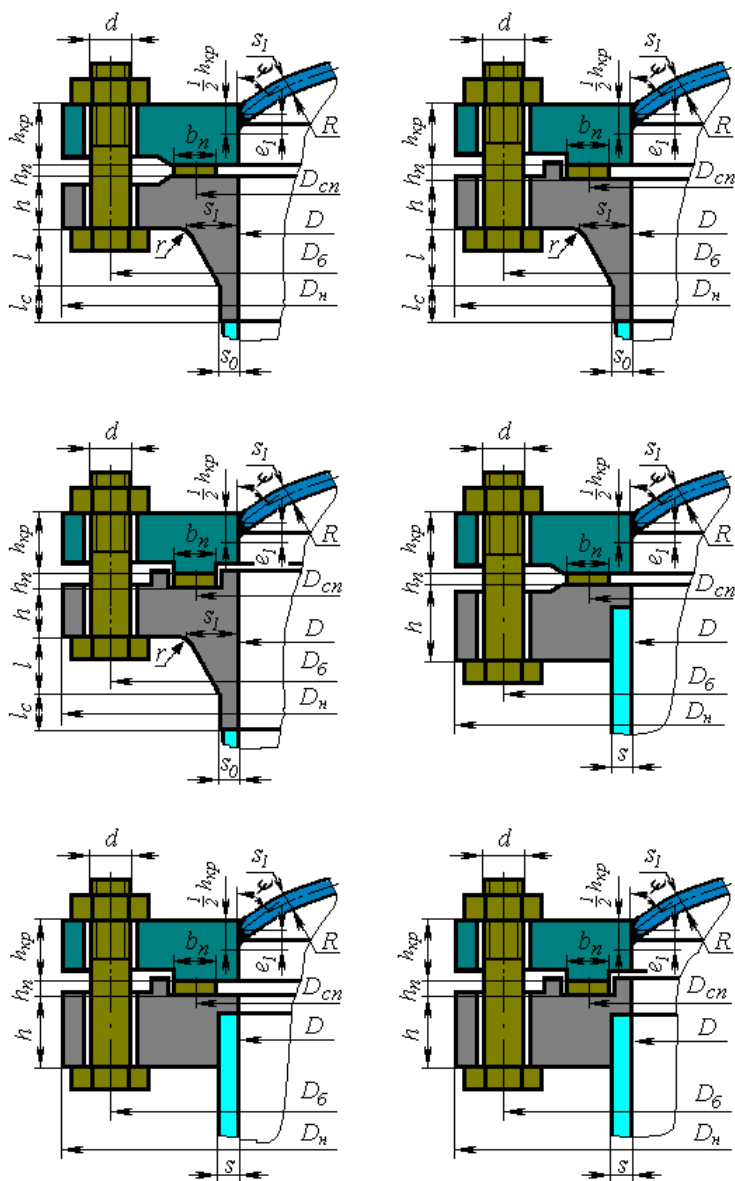
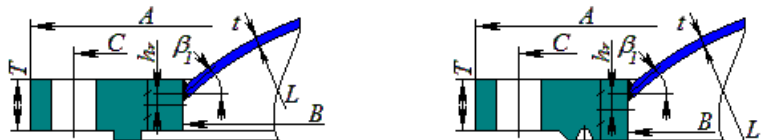
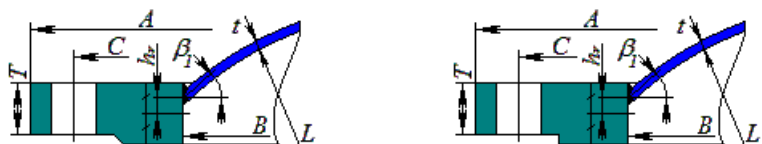
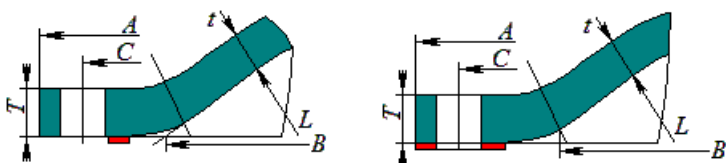


Рис. 3.86. Сферические съёмные крышки по РД 26-15-88, ГОСТ 34233.4-2017

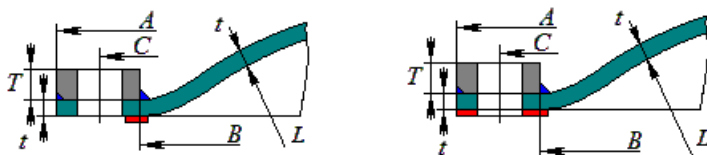




1-6 (b)



1-6 (c)



1-6 (d)

Рис. 3.87. Сферические отъёмные крышки по ASME VIII-1

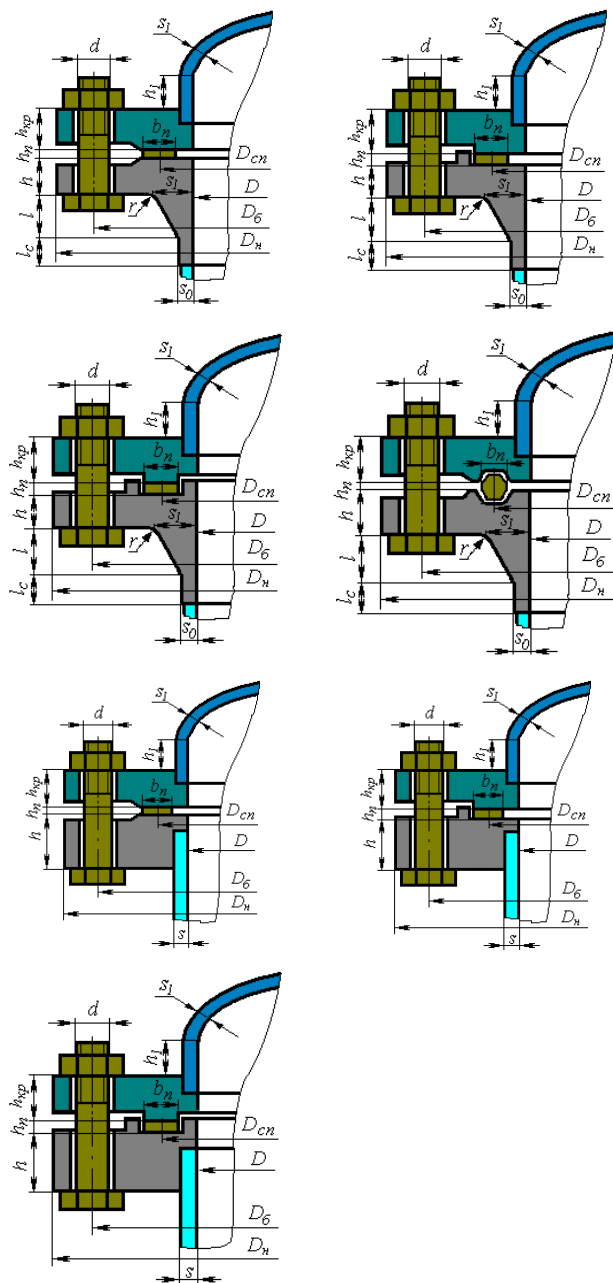
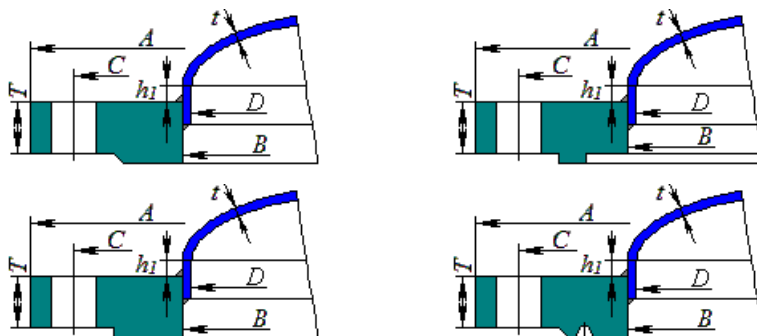
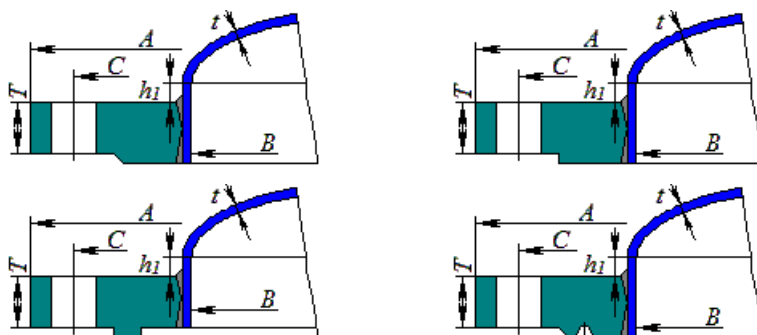


Рис. 3.88. Эллиптические отъемные крышки по РД 26-15-88, ГОСТ 34233.4-2017



1-6 (а) с частичным проваром



1-6 (а) с полным проваром

**Рис. 3.89. Эллиптические отъёмные крышки по ASME VIII-1****3.16.10. Кольцо жесткости**

Кольцо жесткости может быть присоединено к любой цилиндрической обечайке существующей модели. Расположение кольца в модели определяется элементом, к которому оно присоединяется и расстоянием от левого (нижнего) края (в сторону оси Z). Кольцо может располагаться как внутри, так и снаружи обечайки.

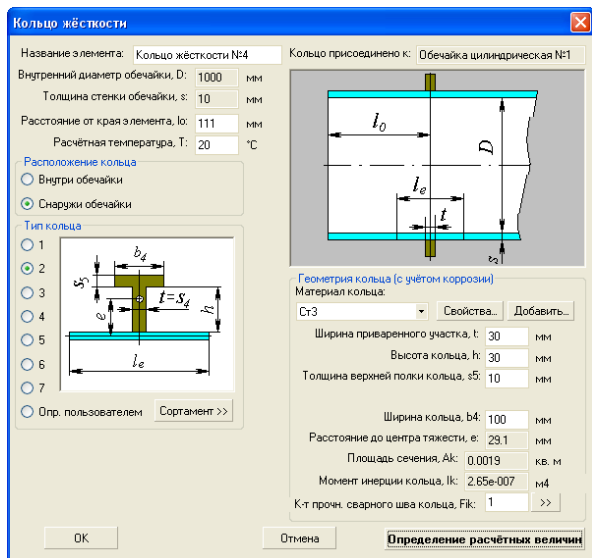


Рис. 3.90 Кольцо жесткости

Тип кольца и его размеры определяются стандартными профилями или задаются пользователем. При этом необходимо учесть коррозию материала.

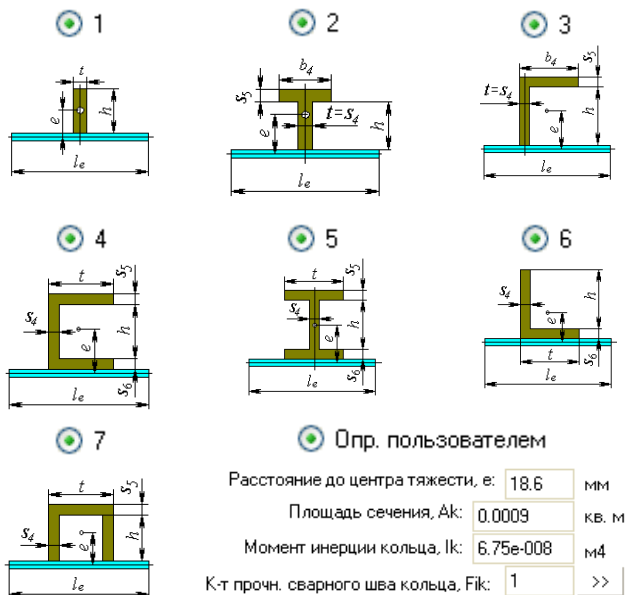


Рис. 3.91 Варианты поперечных сечений колец

С помощью кнопки **Сортамент >>** можно выбрать из базы данных стандартное сечение заданного типа.

### 3.16.11. Группа колец жесткости

Данный компонент позволяет задать группу колец жесткости одинакового сечения, расположенных с равным шагом. При расчете каждое из колец группы учитываются индивидуально. Таким образом, группы колец можно сочетать с одиночными кольцами. Данные кольца задаются аналогично элементу [«Кольцо жесткости»](#).

Группа колец жёсткости
✕

Название элемента:  Кольцо присоединено к:

Внутренний диаметр обечайки, D:  мм

Толщина стенки обечайки, s:  мм

Расстояние от края элемента, l<sub>0</sub>:  м

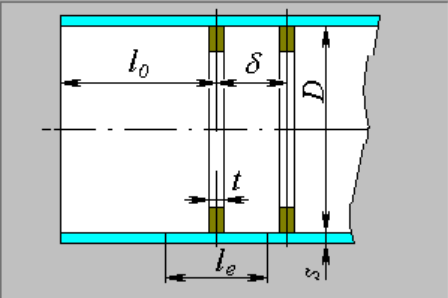
Число колец, n:

Шаг расположения, delta:  м

Расчётная температура, T:  °C

Расположение кольца  
 Внутри обечайки  
 Снаружи обечайки

Тип кольца  
 1  
 2  
 3  
 4  
 5  
 6  
 7  
 Опр. пользователем



Геометрия кольца (с учётом коррозии)  
 Материал кольца:  >>

Ширина приваренного участка, t:  мм

Высота кольца, h:  мм

Толщина верхней полки кольца, s5:  мм

Ширина кольца, b4:  мм

Расстояние до центра тяжести, e:  мм

Площадь сечения, Ak:  кв. мм

Момент инерции кольца, Ik:  мм<sup>4</sup>

К-т прочн. сварного шва кольца, Fik:  >>

Рис. 3.92 Группа колец жесткости

### 3.16.12. Седловая опора

**Седловая опора** X

Название элемента: Опора седловая №1      Опора присоединена к: Обечайка цилиндрическая №1

Нормативный документ: ГОСТ 34233.5-2017

Внутренний диаметр обечайки, D: 1000 мм  
Толщина стенки обечайки, s: 10 мм

Укрепление обечайки  
 Без укрепления  
 Подкладным листом  
 Кольцом жёсткости

Закрепление  
 Подвижная  
 Неподвижная

Ширина опоры, b: 250 мм  
Угол охвата опоры,  $\delta_1$ : 120 °  
Расстояние от края элемента,  $l_0$ : 187,5 мм  
Расчётная температура опоры, T: 20 °C  
Высота опоры, H: 500 мм

Толщина листа, s2: 10 мм  
Ширина листа, b2: 375 мм  
Угол охвата листа,  $\delta_2$ : 140 °  
Длина выступающей части листа, f: 90,757 мм

Материал листа: Ст3 Труба сварная >>

Подробнее       Полный охват  
 Перевернуть по вертикали

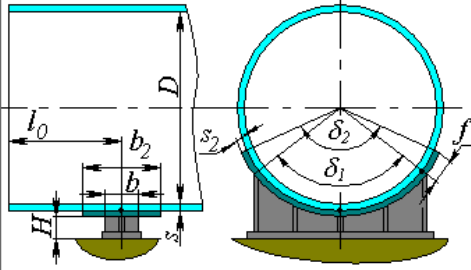


Рис. 3.93 Седловая опора

Седловая опора может быть присоединена к любой цилиндрической обечайке корпуса горизонтального аппарата. Её расположение и геометрия определяют расчет элементов сосуда от воздействия опорных нагрузок. Количество опор должно быть не менее двух.

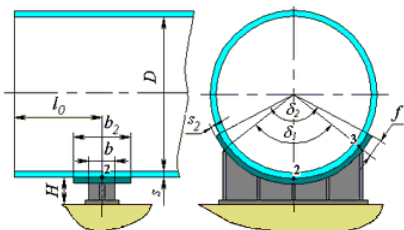


Рис. 3.94. Седловая опора с подкладным листом

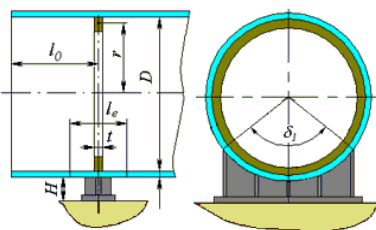
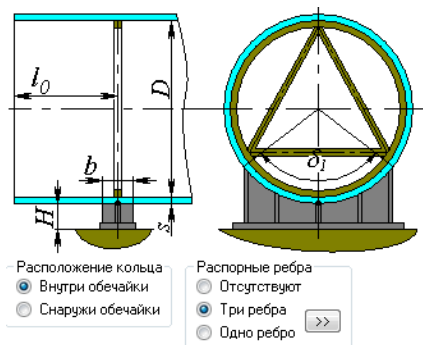


Рис. 3.95. Седловая опора с кольцом укрепления

Название, нормативный документ и геометрия седловой опоры задаются по аналогии с цилиндрической обечайкой.

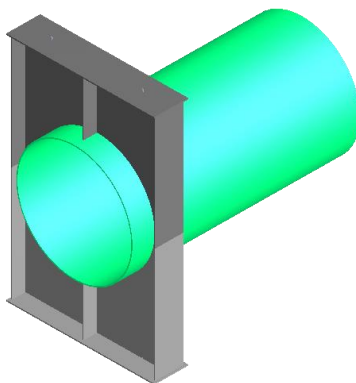
Седловая опора может быть как без укреплений, так и подкрепленная подкладным листом или кольцом жесткости.

В случае укрепления кольцом жесткости его тип, расположение и размеры задаются по аналогии с [кольцом жесткости](#) цилиндрической обечайки. Кольцо учитывается в расчете цилиндрической обечайки от действия давления. Возможно также учесть наличие распорных ребер во внутреннем кольце жесткости (Рис. 3.96). Параметры сечения распорного ребра задаются при нажатии клавиши .



**Рис. 3.96** Распорные ребра внутри кольца опоры

Опция “Полный охват” влияет на визуальное отображение опоры и позволяет сформировать опору полного охвата, состоящую в модели из двух элементов (во втором элементе должна быть включена опция “Перевернуть по вертикали”).



**Рис. 3.97** Опора полного охвата, сформированная из двух элементов

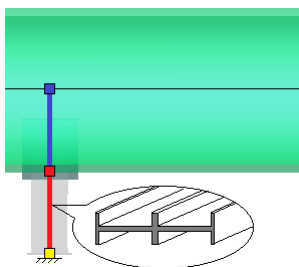
Опоры могут быть соединены между собой с помощью элемента [Жесткая связь](#), что позволяет формировать многоуровневые сосуды и различные виды опираний на сосуд.

Одна из опор сосуда должна быть задана как неподвижная.

При расчете нагрузок по МКЭ седловая опора представляется в виде двух балочных элементов (Рис. 3.98):

- элемент, показанный красным, соединяет точку закрепления и наружную стенку несущей обечайки. Этот элемент имеет сечение, характерное для исполнения опоры.
- элемент, показанный синим, соединяет наружную стенку несущей обечайки с её осевой линией. Этот элемент является жёсткой связью.

Узел, показанный желтым цветом, закрепляется по 5 степеням свободы для неподвижной опоры ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ ) или по 4 для подвижной ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ ). В процессе решения закрепление по  $F_z$  для подвижной опоры итерационно моделируется силой трения.



**Рис. 3.98 Моделирование седловой опоры балочными элементами**

При необходимости расчета самой опоры ( Требуется расчет опоры) задается одно из стандартных исполнений, материалы и размеры элементов опоры. В списке нормативов предусмотрен вариант “Без расчета” – он позволяет сформировать уточненный вариант опоры без расчета её конструкции (считается только обечайка в месте опирания).

Опция “Перевернуть по горизонтали” визуально переворачивает опору относительно вертикальной плоскости.



Седловая опора

Нормативный документ: ГОСТ 34233,5-2017

Тип опоры  
 Тип 1  Тип 2  Тип 3  Тип 4  Тип 5  Тип 6  Тип 7

Материал опоры:  
 Ст3 Труба >> Размеры по НД >>

Бетон основания:  Перевернуть по горизонтали

B10 (M150) >>

Высота среднего ребра, h1: 0 мм  
 Высота крайнего ребра, h2: 0 мм  
 Толщина поперечных ребер, sp: 8 мм  
 Суммарная прибавка к толщине ребра, c: 0 мм  
 Расстояние между поперечными ребрами, ar: 471 мм  
 Ширина ребра, br: 0 мм

Длина опорной плиты, ap: 1000 мм  
 Ширина опорной плиты, bp: 250 мм  
 Толщина опорной плиты, sp: 14 мм  
 Число вертикальных ребер: 3

Анкерные болты  
 Материал: Ст3 Крепеж >>  
 Диаметр наружный/по впадинам: 24 0 >> мм  
 Коррозия болта (на диаметр), cb: 0 мм  
 Расчет затяжки: Без расчета  
 Количество, n: 4  
 Расстояние между болтами, ab: 650 мм  
 К-т трения опоры по основанию: 0,3

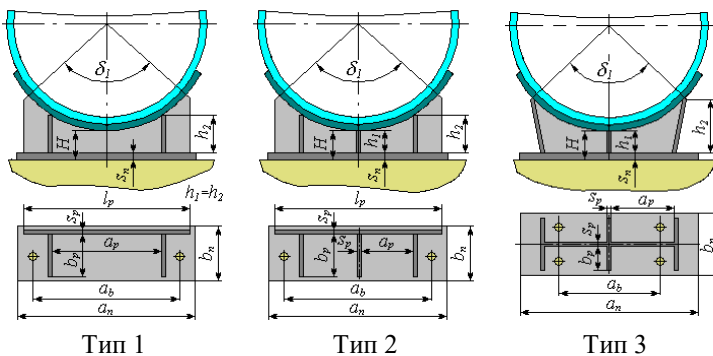
Приварка опорного узла  
 Сварка по всему контуру  
 Катет шва, Δш: 10 мм  
 Площадь контура шва, Аш: 23996 мм<sup>2</sup>  
 Момент сопротивления контура шва, Wш: 0,0056 м<sup>3</sup>

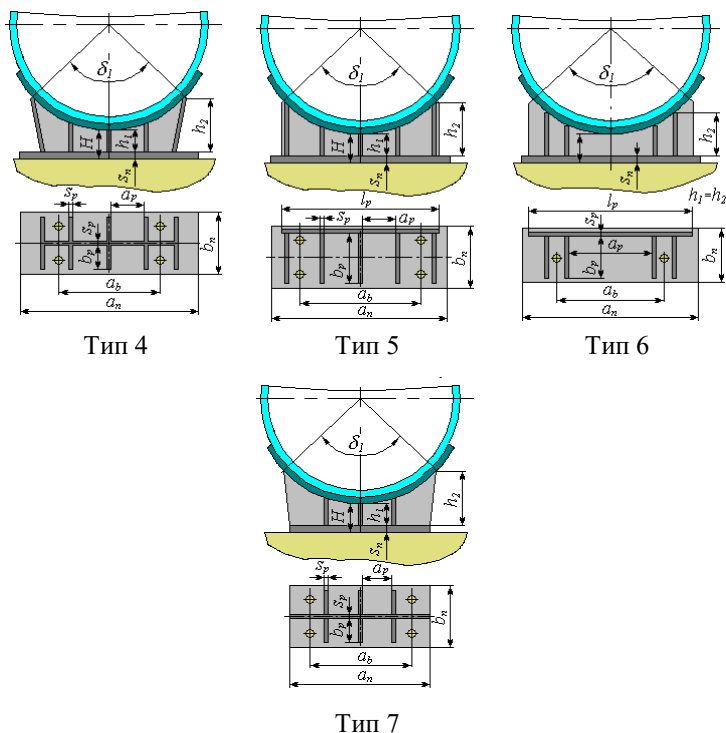
Закрепление в продольной плоскости  
 Шарнирное  
 Жесткое  
 С податливостью 0,01 °/Н·м

OK Отмена

**Определение расчётных величин**

Рис. 3.99 Параметры конструкции седловой опоры





**Рис. 3.100 Варианты исполнения седловой опоры**

Опция “Анкерные болты” позволяет задать и рассчитать крепление опоры к фундаменту при внешних воздействиях (весовые, сейсмические, ветровые, температурные нагрузки).

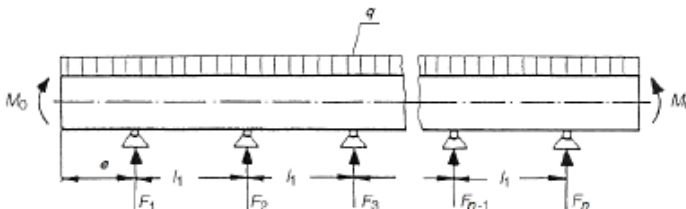
Опция “Приварка опорного узла” позволяет задать параметры сварного шва между вертикальными ребрами опоры и опорной плитой.

Опция “Закрепление в продольной плоскости” позволяет управлять закреплением опоры от момента в плоскости YZ:

- Шарнирное – используется для податливых конструкций или подвижных опор, если имеется зазор между опорной плитой и анкерными болтами, или для неподвижных опор, если анкерные болты расположены в один ряд в плоскости XY. Закрепление в плоскости YZ моделируется шарниром, момент в реакциях закрепления не возникает. Такой вариант рекомендован ГОСТ 34233.5 (Рис. 3.101)
- Жесткое – используется для жестких конструкций или неподвижных опор, жестко закрепленных на фундаменте. Закрепление в плоскости YZ моделируется заделкой, корпус обечайки моделируется жестким

элементом. Такой вариант даёт самый консервативный результат, возможно значительное завышение нагрузок.

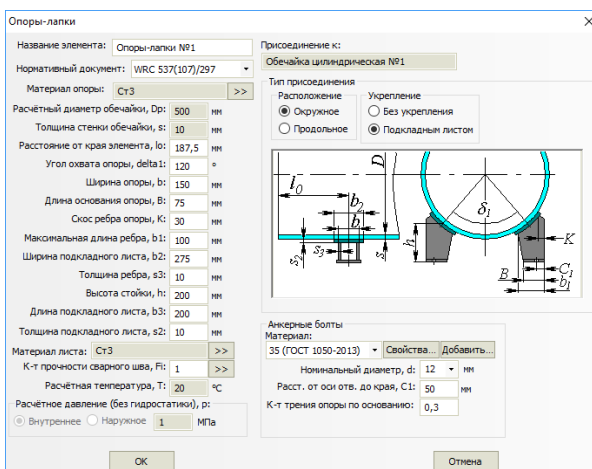
- С податливостью – используется в случаях, когда возможно оценить общую податливость закрепления (податливость стенки обечайки + податливость фундамента). Закрепление в плоскости YZ моделируется пружиной с заданной податливостью.



**Рис. 3.101** Расчетная схема горизонтального сосуда по ГОСТ 34233.5

### 3.16.13. Опорные лапы горизонтального аппарата

Данный элемент представляет собой группу из двух симметричных опор-лап. Он может быть присоединен к тем же элементам горизонтального сосуда, что и седловая опора.



**Рис. 3.102** Опорные лапы горизонтального аппарата

При проведении расчета нагрузка на каждую опору определяется индивидуально, после чего несущая обечайка рассчитывается на воздействие локальной нагрузки, приложенной по контуру приварки опоры.

### 3.16.14. Опорные лапы вертикального аппарата

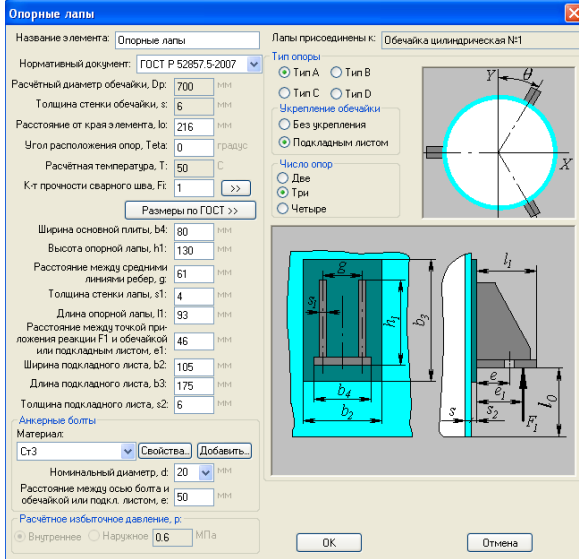


Рис. 3.103 Опорные лапы

Типы опорных лап определяются ГОСТ 34233.5-2017 (Рис. 3.104).

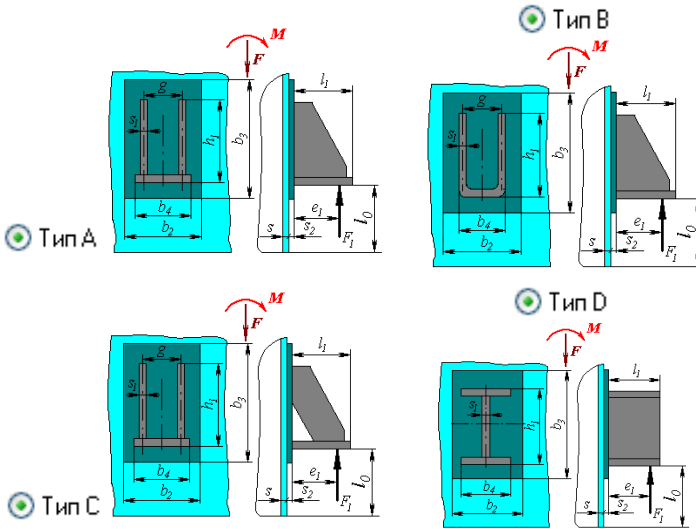


Рис. 3.104 Варианты исполнения опорных лап

Опорные лапы могут быть присоединены к любой цилиндрической, конической обечайке или крутому коническому днищу корпуса аппарата. Их расположение и геометрия определяют расчет элементов сосуда от воздействия опорных нагрузок. Расчет производится при наличии 2, 3 или 4-х опор. При этом при наличии 4-х лап необходимо уточнить качество монтажа  Точный монтаж. Название, нормативный документ и геометрия Опорных лап задаются по аналогии с цилиндрической обечайкой. Опорные лапы могут быть как без укреплений, так и подкреплены подкладными листами.

Клавиша «Размеры по НД» позволяет подобрать типовую опору по условной нагрузке, так как по действующим нормативам рассчитывается не сама опора, а стенка сосуда в месте её присоединения.

### 3.16.15. Опорные стойки

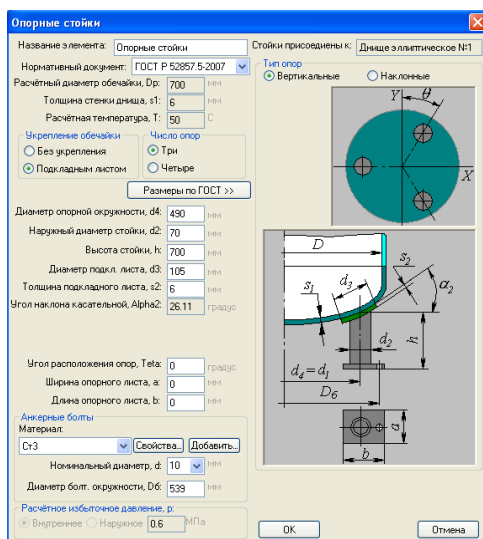


Рис. 3.105 Опорные стойки

Опорные стойки могут быть присоединены к нижнему днищу корпуса аппарата. Их расположение и геометрия определяют расчет элементов сосуда от воздействия опорных нагрузок. Расчет производится при наличии 3 или 4-х стоек. При этом при наличии 4-х стоек необходимо уточнить качество монтажа  Точный монтаж.

Название и геометрия Опорных стоек задаются по аналогии с цилиндрической обечайкой. Опорные стойки могут быть как без укреплений, так и подкреплены подкладными листами (Рис. 3.106).

Типы опорных стоек определяются ГОСТ 34233.5-2017 (Рис. 3.106).

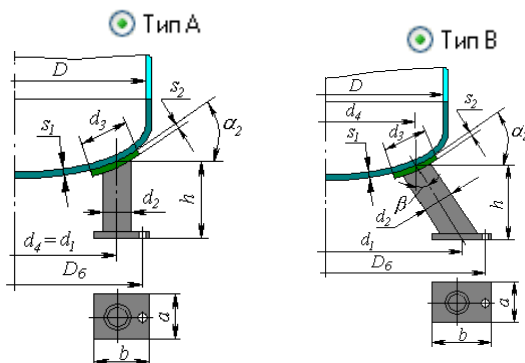


Рис. 3.106 Варианты исполнения опорных стоек

### 3.16.16. Пластинчатые опоры-стойки

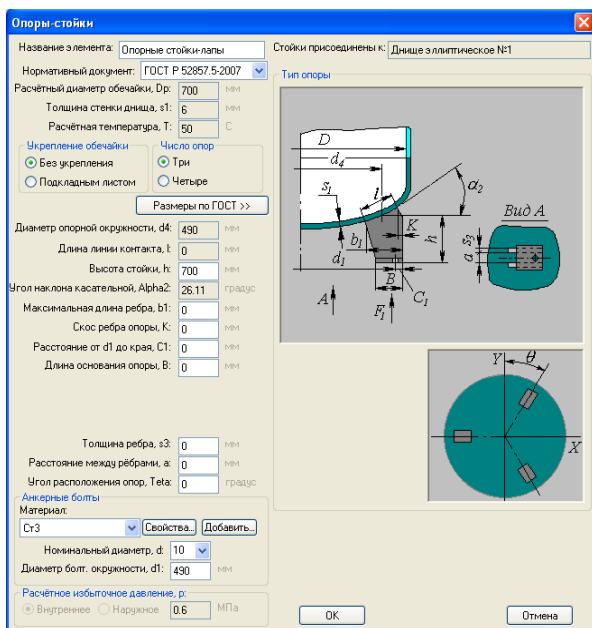


Рис. 3.107 Пластинчатые опоры-стойки

Опоры-стойки могут быть присоединены к нижнему днищу, конической обечайке или крутому коническому днищу корпуса аппарата. Их расположение и геометрия определяют расчет элементов сосуда от воздействия опорных нагрузок. Расчет производится при наличии 3 или 4-х опор. При этом при наличии 4-х опор необходимо уточнить качество монтажа  Точный монтаж .

### 3.16.17. Опорные стойки на обечайке

Опорные стойки на обечайке

Название элемента:  Опоры присоединены к:

Нормативный документ:

Тип опоры:  
 Укрепление обечайки  
 Без укрепления  
 Подкладным листом

Материал листа:  
 >>  
 Число опор:

Расчётный диаметр обечайки,  $D_p$ :  мм  
 Толщина стенки обечайки,  $s$ :  мм  
 Расстояние от края элемента,  $l_0$ :  мм  
 Угол расположения опор,  $\theta$ :  °  
 Расчётная температура,  $T$ :  °C  
 К-т прочности сварного шва,  $\Phi$ :  >>

Размеры по НД >>

Высота стойки,  $h$ :  мм  
 Высота приваренной части,  $h_1$ :  мм  
 Ширина приваренной части,  $g$ :  мм  
 Диаметр окружности стоек,  $d_1$ :  мм  
 Ширина опорного листа,  $a$ :  мм  
 Длина опорного листа,  $b$ :  мм  
 Ширина подкладного листа,  $b_2$ :  мм  
 Длина подкладного листа,  $b_3$ :  мм  
 Толщина подкладного листа,  $s_2$ :  мм

Сечение стойки:  
 Сортамент >>  
 Повернуть на угол,  $\omega$ :  °

Анкерные болты  
 Материал:  
 Свойства... Добавить...  
 Номинальный диаметр,  $d$ :  мм  
 Диаметр болт. окружности,  $D_6$ :  мм

Расчётное давление (без гидростатики),  $p$ :  
 Внутреннее  Наружное  МПа

OK Cancel

Рис. 3.108 Опорные стойки на обечайке

Опоры-стойки могут быть присоединены к нижнему днщу, или к цилиндрической обечайке корпуса аппарата. Количество стоек может быть произвольным (не менее 2-х). Нагрузки в месте приварки каждой стойки определяются автоматически из анализа статически неопределимой балочной системы, и являются индивидуальными для каждой стойки. Расчет несущей обечайки в местах приварки стоек выполняется также индивидуально для каждой стойки по [66].

Прочность и устойчивость самих стоек ввиду отсутствия нормативной базы проверяется упрощенно, как стержня, нагруженного осевым усилием.

### 3.16.18. Кольцевая опора

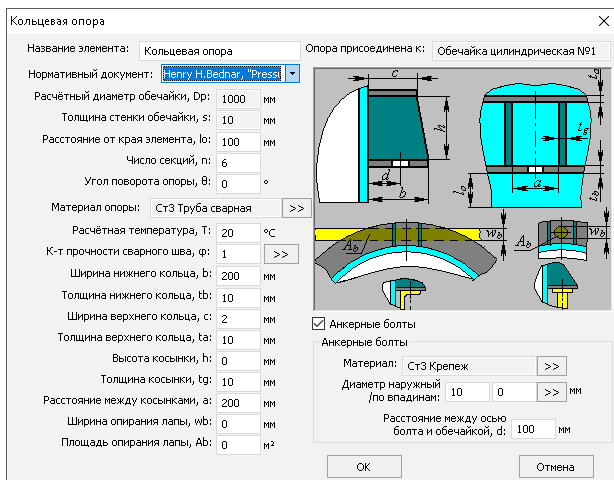


Рис. 3.109 Кольцевая опора по Henry H.Bednar

Кольцевая опора может быть присоединена к цилиндрической обечайке корпуса аппарата.

Расчет опоры проводится по Henry H.Bednar, "Pressure Vessel Design Handbook" [71].

Также доступен расчет по EN 13335-3 [57], в этом случае конфигурация опоры соответствует Рис. 3.110

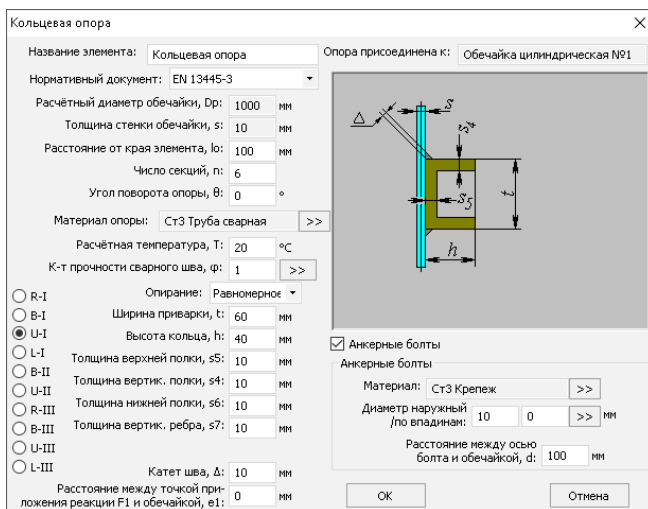


Рис. 3.110 Кольцевая опора по EN



### 3.16.19. Подъемное ушко

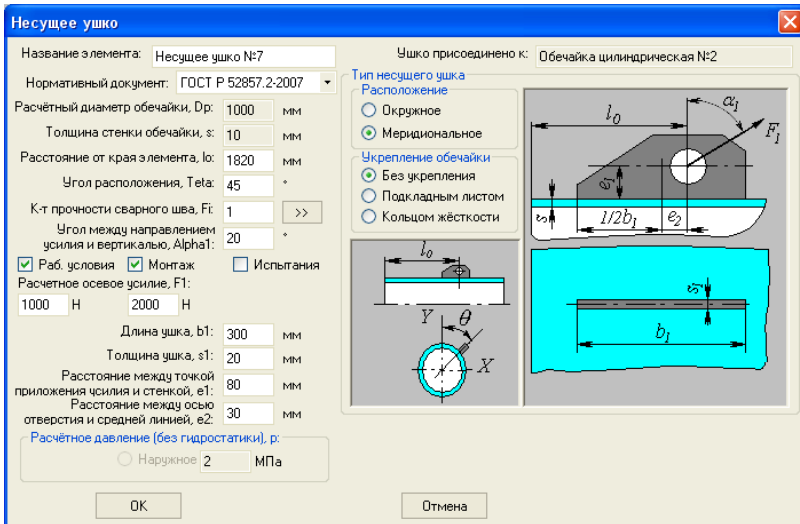


Рис. 3.111 Подъемное ушко

Ушко может быть присоединено к любой цилиндрической или конической обечайке корпуса аппарата, или к эллиптическому (полусферическому) днищу. Нагрузка и направление её действия должны назначаться пользователем исходя из условий применения ушек. На обечайке ушки могут располагаться в продольном и поперечном направлении.

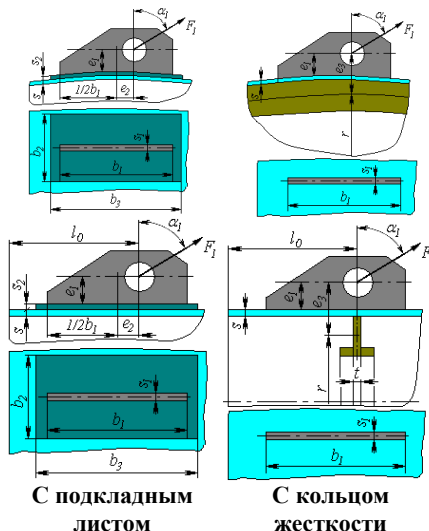


Рис. 3.112 Варианты исполнения опорного ушка

Ушко может быть как без укрепений, так и подкрепленное подкладным листом или кольцом жесткости.

В случае укрепления кольцом жесткости его тип, расположение и размеры задаются по аналогии с [КОЛЬЦОМ ЖЕСТКОСТИ](#) цилиндрической обечайки. Кольцо учитывается в расчете цилиндрической обечайки от действия давления.

### 3.16.20. Внешнее присоединение, нагруженное силами

**Площадка присоединения** X

Название элемента:

Нормативный документ:

Расчётный диаметр обечайки,  $D_r$ :  мм

Толщина стенки обечайки,  $s$ :  мм

Расстояние от края элемента,  $l_0$ :  мм

Угол расположения,  $\theta$ :  °

Высота приваренной части,  $h_1$ :  мм

Ширина приваренной части,  $g$ :  мм

Укрепление обечайки  
 Без укрепления     Подкладным листом

Ширина подкладного листа,  $b_2$ :  мм

Длина подкладного листа,  $b_3$ :  мм

Толщина подкладного листа,  $s_2$ :  мм

Материал листа:  >>

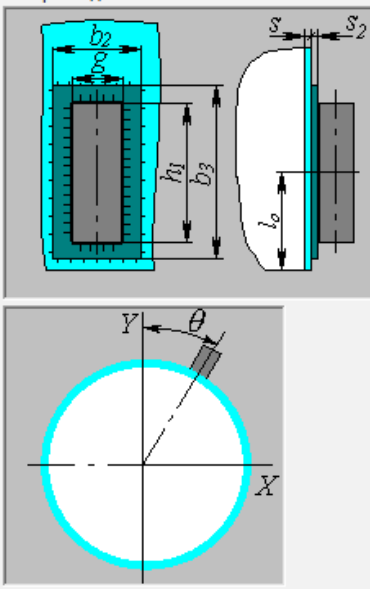
К-т прочности сварного шва,  $F_i$ :  >>

Расчётная температура,  $T$ :  °C

Расчётное давление (без гидростатики),  $p$ :  
 Внутреннее     Наружное     МПа

Присоединение к:

Тип присоединения



**Рис. 3.113 Площадка присоединения**

Данный элемент предназначен для моделирования различных присоединений внешних металлоконструкций, консолей, нестандартных опор горизонтальных сосудов и т.д., с последующим расчетом несущей способности стенки корпуса по методике WRC 537(107). Элемент может быть присоединен к цилиндрической обечайке или сферическому днищу. Нагрузки на присоединение задаются аналогично элементу «Штуцер (врезка)», и могут быть переданы на соседние элементы аппарата и на его опоры.

### 3.16.21. Цапфа (монтажный штуцер)

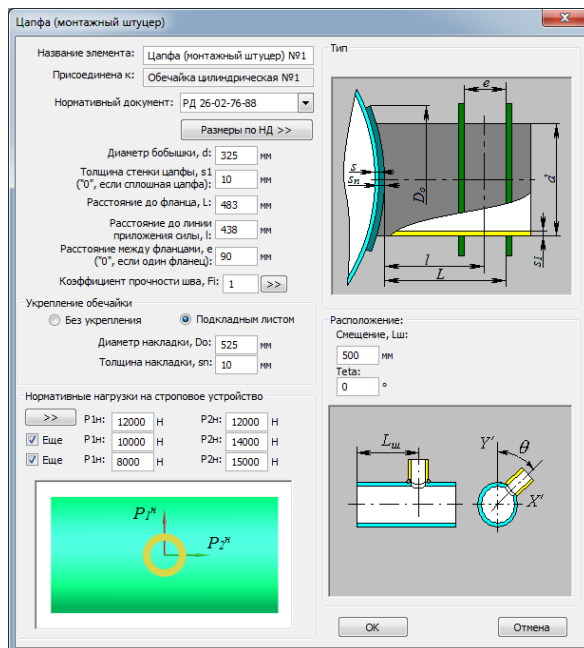



Рис. 3.114 Цапфа (монтажный штуцер)

Данный компонент может быть присоединен к цилиндрической обечайке. Существуют различные варианты исполнения данной конструкции. Если используется сплошная бобышка, необходимо задавать  $s_1 = 0$ . Также существуют варианты исполнения с одним и двумя ограничительными фланцами. Если присутствует один фланец, необходимо задавать  $e = 0$ .

Существует возможность задавать до 3-х случаев нагружения цапфы, для учета изменения нагрузок при подъеме. С помощью кнопки  можно автоматически задать нагрузки на цапфу, зная вес аппарата, положение центра тяжести и схему строповки:

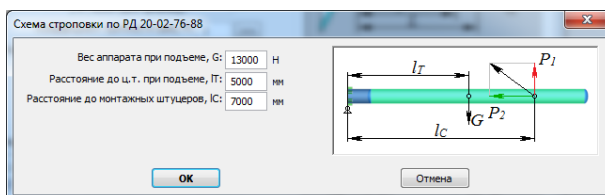


Рис. 3.115 Схема строповки

Для данного компонента предусмотрен экспорт в программу Штуцер МКЭ.

### 3.16.22. Дополнительные нагрузки

Помимо нагрузок от веса обечаек, днищ, патрубков и т.п. в программе предусмотрена возможность задания дополнительных весовых (например, от обслуживающих площадок) и силовых (например, от присоединенных труб) нагрузок. На Рис. 3.117 показан пример задания дополнительных весовых и внешних нагрузок для горизонтальных сосудов

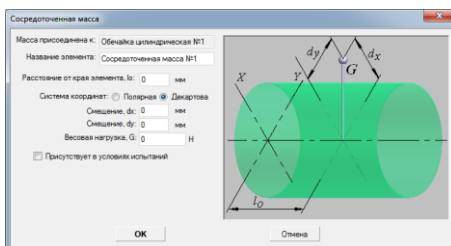


Рис. 3.116. Весовые нагрузки на горизонтальный аппарат

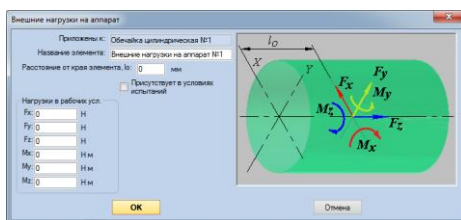


Рис. 3.117. Внешние нагрузки на горизонтальный аппарат

Для сосредоточенных масс предусмотрена возможность задания смещения, при этом момент от смещения будет учтен автоматически.

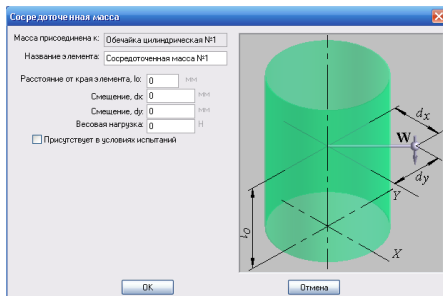


Рис. 3.118. Весовые нагрузки на вертикальный аппарат

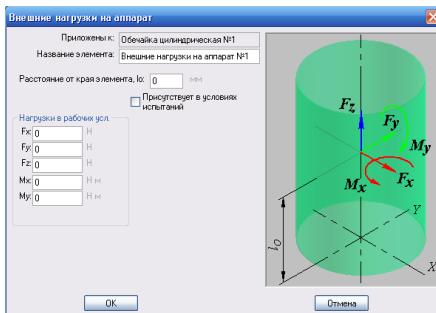


Рис. 3.119. Внешние нагрузки на вертикальный аппарат

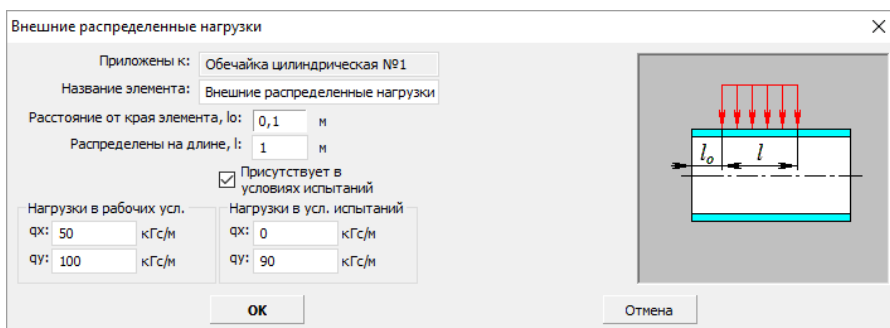


Рис. 3.120 Внешние нагрузки, распределенные по длине элемента

### 3.16.23. Закрепление аппарата

Данный элемент предназначен для учета нестандартного закрепления аппарата (такого, которое не может быть смоделировано с помощью опор). Это могут быть нестандартные опоры горизонтальных аппаратов (стойки или столбики), жесткие металлоконструкции, обрамляющие аппарат (этажерки, проёмы), а также многоярусные аппараты (роль опор выполняют закреплённые нижние штуцера).

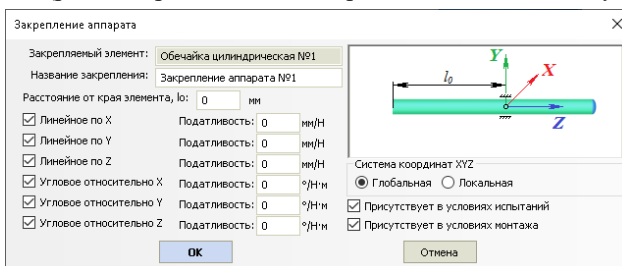


Рис. 3.121 Закрепление аппарата

Необходимо указать зафиксированные степени свободы в глобальной или локальной системе координат (локальная система соответствует системе координат

родительского элемента). Результатом расчета будут соответствующие реакции опор.

Для моделирования жесткого закрепления по соответствующей степени свободы необходимо задавать податливость, равную 0.

### 3.16.24. Площадка обслуживания

Площадка может быть установлена на цилиндрические участки корпуса аппаратов, а также на опору-юбку аппарата колонного типа.

Удельная нагрузка  $G_a$  включает в себя собственный вес металла площадки ( $G_s$ ) плюс все возможные нагрузки (снег, оборудование, материалы, людей и т.д.). Эта величина используется для определения нагрузок на колонну в работе и в испытаниях (для этих условий наихудшим случаем является максимальная нагрузка). Вес металла  $G_s$  используется для формирования таблицы материалов и для определения нагрузок на колонну в условиях монтажа.

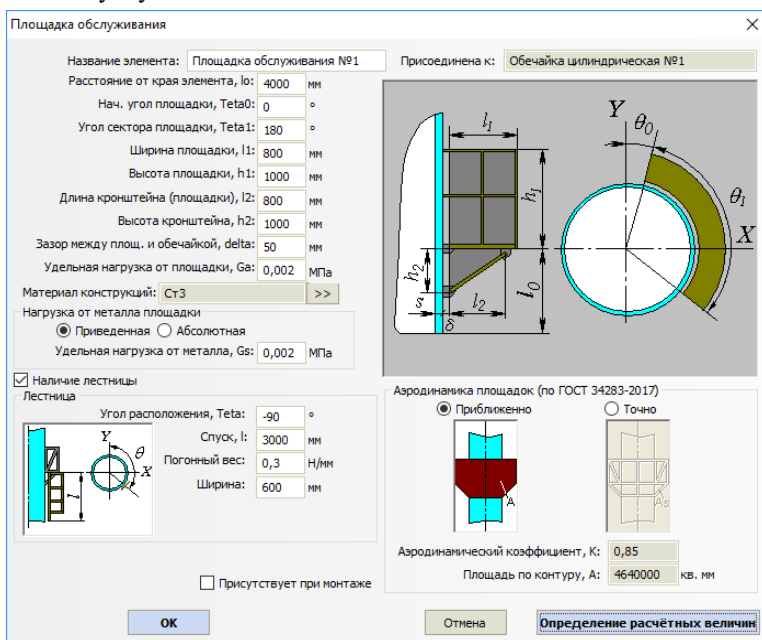


Рис. 3.122. Площадка обслуживания вертикального аппарата

Вариант площадки для горизонтального аппарата представляет собой прямоугольный настил, опционально огражденный перилами. Вес площадки и ее ветровая нагрузка приложены к горизонтальной обечайке в заданном числе точек (параметр “Число рядов опорных стоек”).

Площадка обслуживания

Название элемента:  Присоединена к:

Расстояние от края элемента, l0:  мм

Ширина площадки, l1:  мм  
 Высота площадки, h1:  мм  
 Длина кронштейна (площадки), l2:  мм  
 Высота кронштейна, h2:  мм  
 Зазор между площ. и обечайкой, delta:  мм  
 Удельная нагрузка от площадки, Ga:  МПа

Материал конструкции:  >>

Нагрузка от металла площадки  
 Приведенная  Абсолютная  
 Удельная нагрузка от металла, Gs:  МПа

Наличие лестницы Перила:  1  2  3  4

Лестница  
 Угол расположения, Theta:  °  
 Спуск, l:  мм  
 Погонный вес:  Н/мм  
 Ширина:  мм

Число рядов опорных стоек:   Присутствует при монтаже

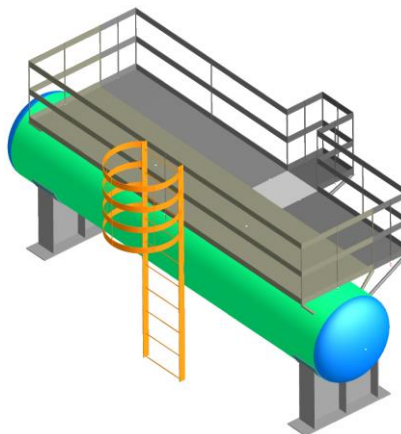
Аэродинамика площадок (по ГОСТ 34283-2017)  
 Приблизленно  Точно

Аэродинамический коэффициент, K:   
 Площадь по контуру, A:  кв. мм

OK Отмена **Определение расчётных величин**

**Рис. 3.123. Площадка обслуживания горизонтального аппарата**

Комбинация перил с четырех сторон может быть произвольной, что позволяет сформировать из нескольких площадок настил сложной формы.



**Рис. 3.124. Группа площадок**

Удельная нагрузка от площадки  $G_a$  назначается по СП 20.13330 [35] и включает в себя нагрузку от материала площадки, снега, оборудования, людей и т.д. Эта нагрузка считается равномерно распределенной по сектору площадки и используется в расчетах (при определении периода колебаний, нагрузки на несущую обечайку и т.д.).

Параметр «Масса конструкций площадки» не используется в прочностных расчетах и требуется только для расчета материалоемкости.

### 3.16.25. Элементы аппарата колонного типа

Насадки, площадки обслуживания, тарелки, сосредоточенные массы и внешние нагрузки могут быть присоединены к цилиндрической обечайке корпуса аппарата колонного типа. Их расположение, геометрия и масса (усилия) дополняют нагрузки и учитываются в расчете аппарата на прочность и устойчивость от ветровых и сейсмических воздействий.

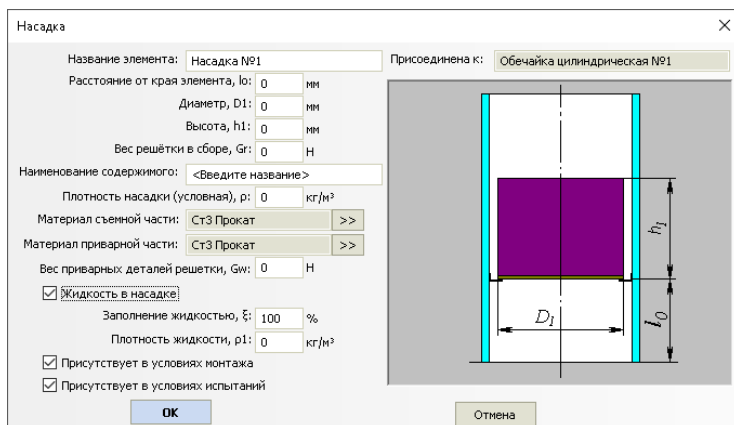


Рис. 3.125. Насадка

При расчете весовой нагрузки насадка рассматривается как составной элемент, содержащий в себе:

- приварную часть: весом  $G_w$  (учитывается в любом расчетном режиме);
- съёмную часть весом  $G_r - G_w$  (учитывается в расчетном режиме согласно опциям “Присутствует в условиях монтажа/испытаний”);
- жидкость (если есть) в виде условного цилиндра весом  $\rho_1 \cdot \pi \cdot D_1^2 / 4 \cdot h_1 \cdot \xi_1$  (учитывается в рабочих условиях);
- наполнитель (катализатор) в виде условного цилиндра весом  $\rho \cdot \pi \cdot D_1^2 / 4 \cdot h_1$  (в рабочих условиях учитывается всегда, в условиях монтажа/испытаний согласно включенным галочкам).

Таблица использованных материалов формируется с учетом материалов, назначенных приварной и съёмной части.



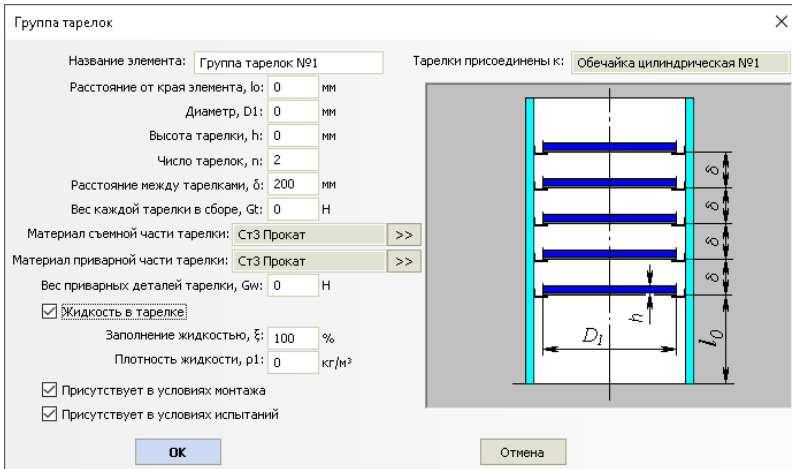


Рис. 3.126. Группа тарелок

При расчете группа тарелок рассматривается как несколько сосредоточенных масс, присоединенных к родительскому элементу с равным шагом. Весовая нагрузка каждой тарелки учитывается аналогично элементу “Насадка”.

При визуализации модели тарелки отображаются условно. В случае необходимости можно сочетать их с элементом “[Пользовательское оборудование](#)”, подготовив тарелку необходимого исполнения в любой САПР.

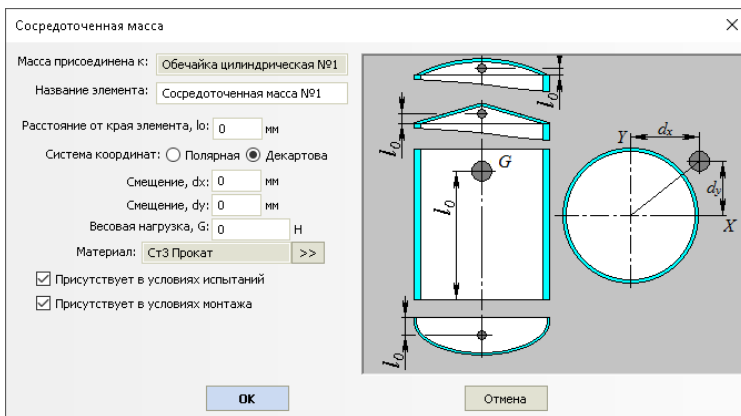


Рис. 3.127. Сосредоточенная масса

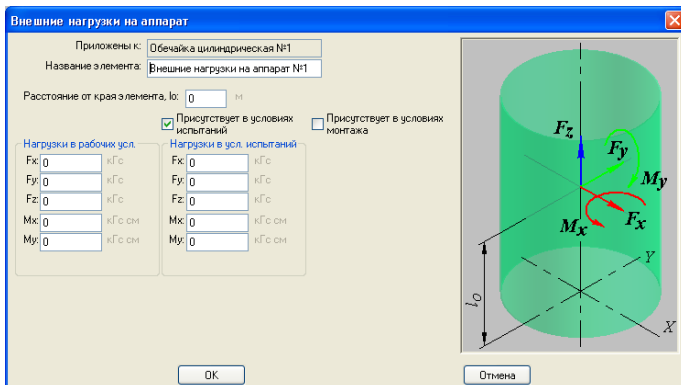


Рис. 3.128. Внешние нагрузки

### 3.16.26. Опора аппарата колонного типа

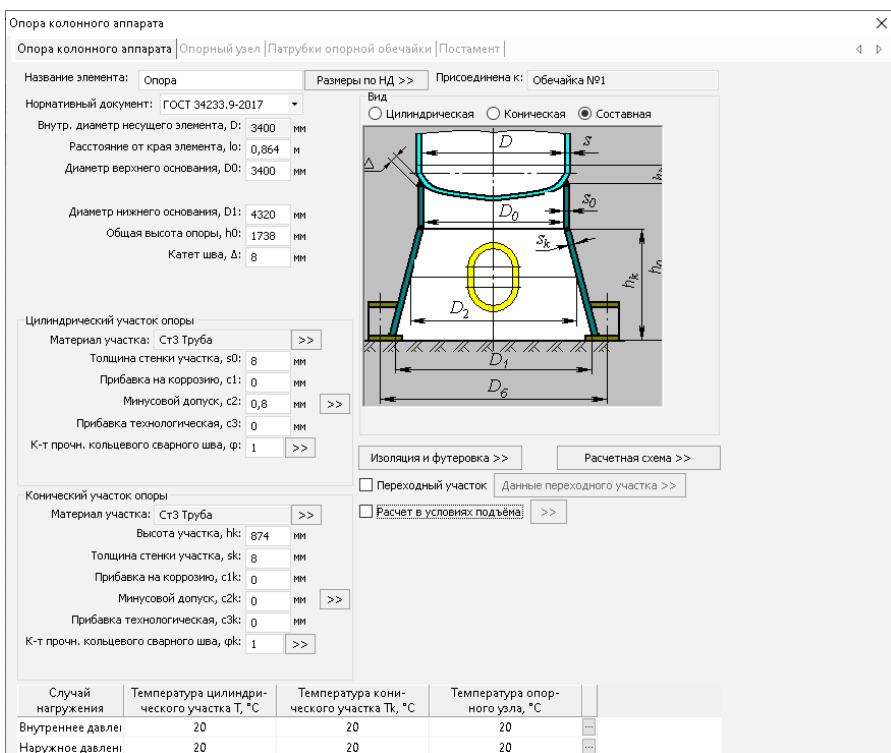
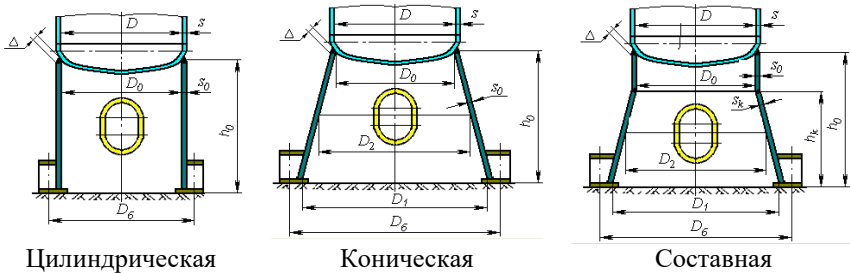


Рис. 3.129 Опорная юбка

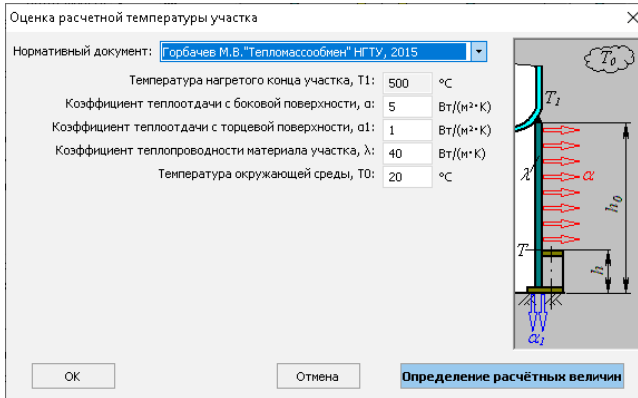
Опора аппарата колонного типа может быть присоединена к нижнему днщу существующей модели, а также к цилиндрической или конической обечайке корпуса. Типы опорных обечаек определяются выбранным нормативом и приведены на Рис. 3.130.



**Рис. 3.130 Типы опорных юбок**

В программе имеется возможность задания переходного участка (забойная обечайка) с материалом, отличным от материала опоры.

Имеется возможность экспресс-оценки температур элементов опоры. Для этого необходимо нажать кнопку [...] в таблице случаев нагружения. В появившемся диалоге можно выбрать способ оценки теплового состояния опоры (Рис. 3.131).



**Рис. 3.131 Оценка температур элементов опоры**

После активизации переходного участка  **Переходный участок** и нажатия кнопки  задаются его размеры и материал.

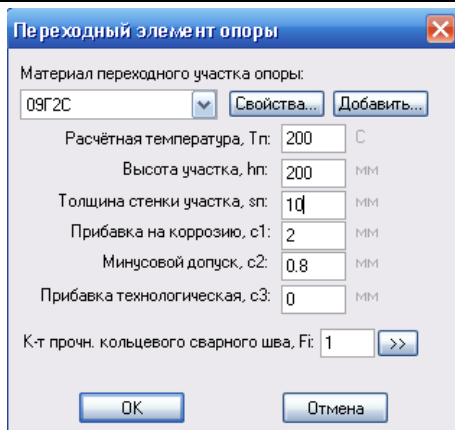


Рис. 3.132 Переходный участок

Опция  **Расчет в условиях подъёма** позволяет выполнить расчет опорной обечайки на прочность и устойчивость от нагрузок, возникающих в процессе монтажа колонны, и подобрать дополнительную оснастку. Для этого необходимо задать дополнительные данные (Рис. 3.133)

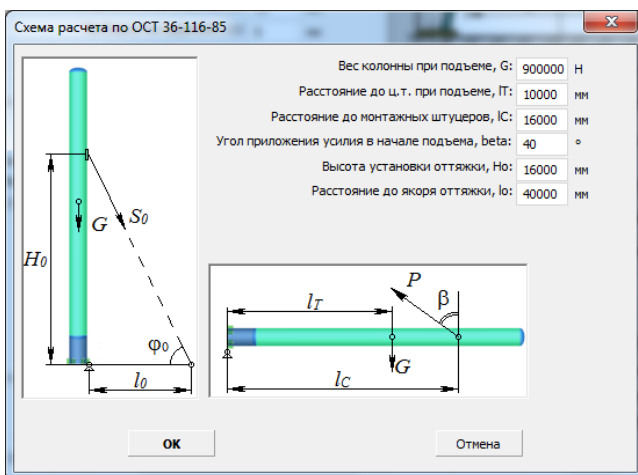


Рис. 3.133 Расчетная схема подъема колонны

После нажатия кнопки  задается тип и геометрия опорного узла.

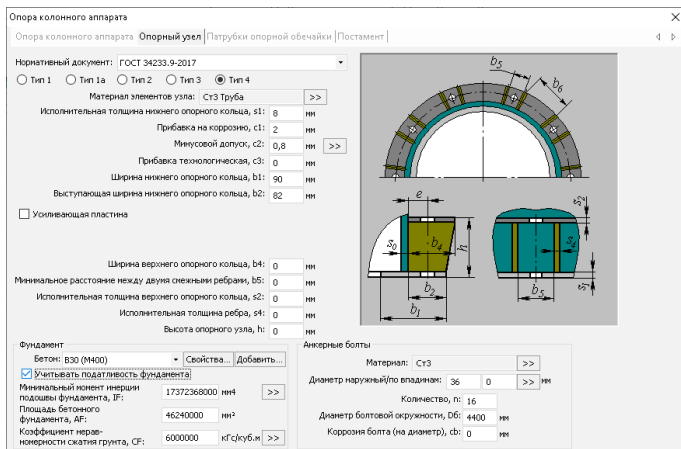
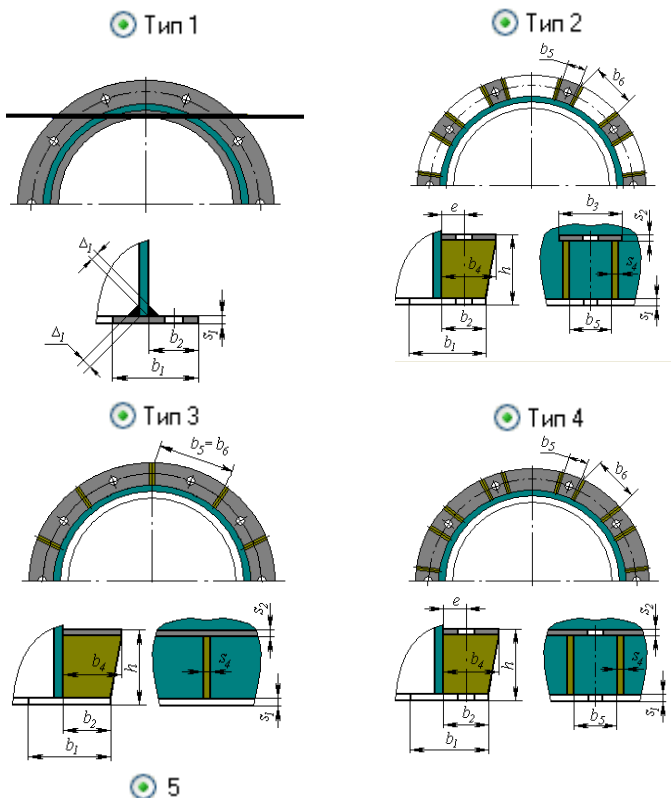
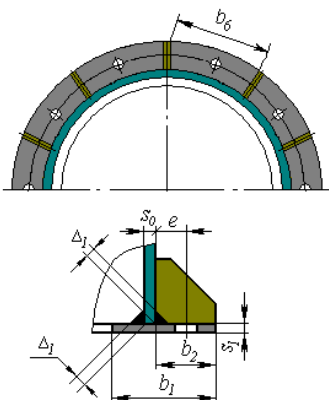


Рис. 3.134. Опорный узел

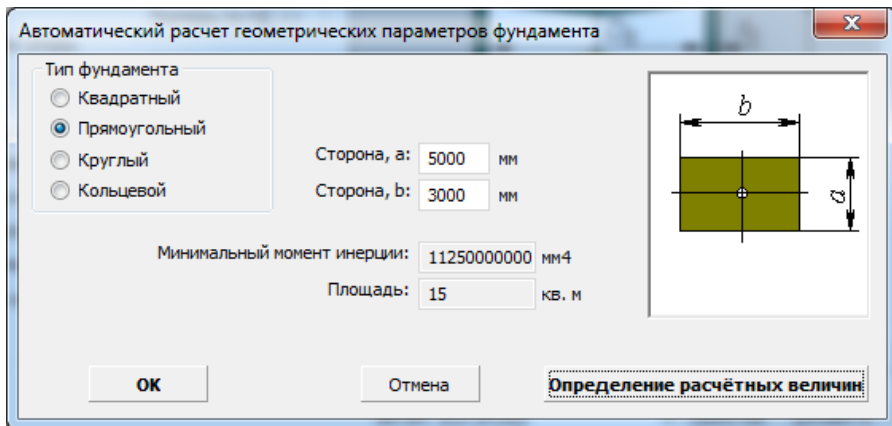
Типы опорных узлов определяются выбранным нормативом и приведены на Рис. 3.135.





**Рис. 3.135** Варианты исполнения опорного узла

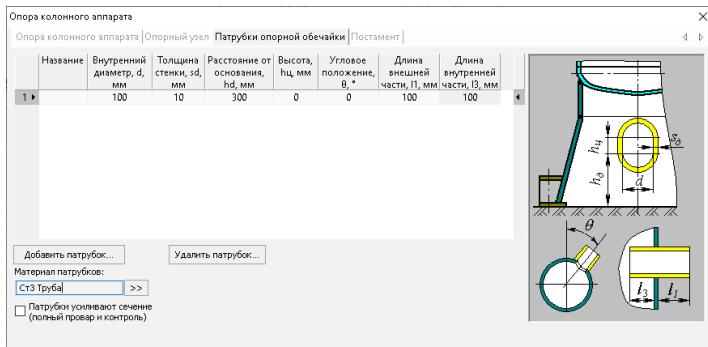
Опция  **Учитывать податливость фундамента** позволяет учесть влияние податливости грунта на период собственных колебаний колонны. При активной галочке необходимо задать площадь и момент инерции подошвы фундамента, а также коэффициент неравномерности сжатия грунта. Для задания геометрических характеристик есть кнопка-помощник, которая позволяет автоматически вычислить параметры типовых фундаментов (Рис. 3.136)



**Рис. 3.136** Определение геометрических параметров фундамента

При снятой галочке фундамент моделируется как жесткая заделка.

После нажатия кнопки  задаются смотровые окна и патрубки опорной обечайки.

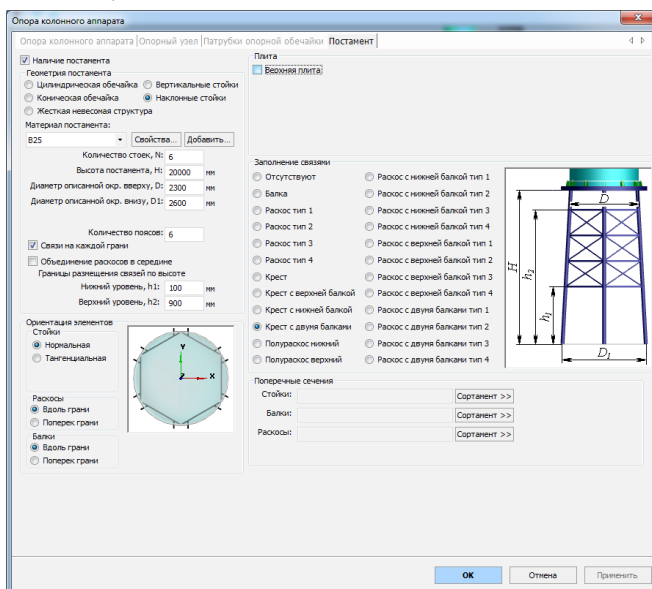


**Рис. 3.137. Патрубки опорной обечайки**

С помощью команд **Добавить...** **Скопировать...** возможно задание любого количества патрубков (в том числе вытянутых) с описанием их размеров и расположения. При расчете опорной обечайки программа проверит все сечения и определит сечение с максимальным ослаблением.

Опция “Патрубки усиливают сечение” управляет способом определения характеристик сечения опоры (при включенной опции сечение формируется с учетом стенок патрубков).

После нажатия кнопки **Далее >>** задается постамент при его наличии ( **Наличие постамента**).

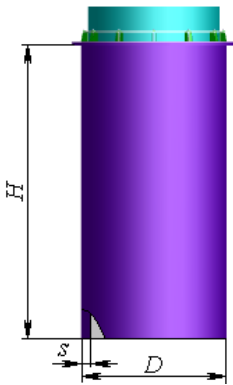


**Рис. 3.138. Постамент колонного аппарата**

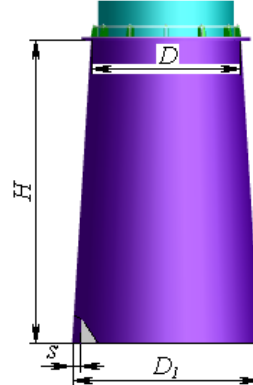
Постамент может быть выполнен как в виде цилиндрической или конической обечайки, так и в виде металлоконструкции, основу которой составляют вертикальные или наклонные стойки.

Вариант «Жесткая невесомая структура» предназначен для случаев, когда параметры постамента заранее не известны, но задана его высота. В этом случае постамент моделируется жесткой связью, и не оказывает влияния на период колебаний. Ветровые нагрузки вычисляются с учетом высоты постамента.

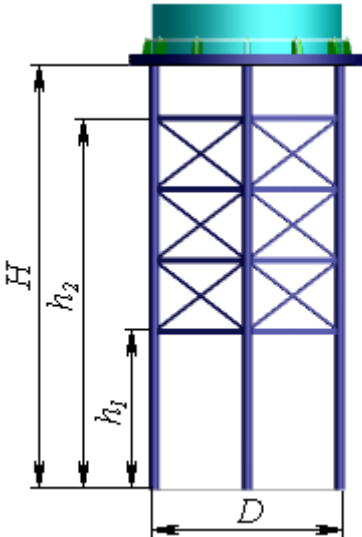
Цилиндрическая обечайка



Коническая обечайка



Вертикальные стойки



Наклонные стойки

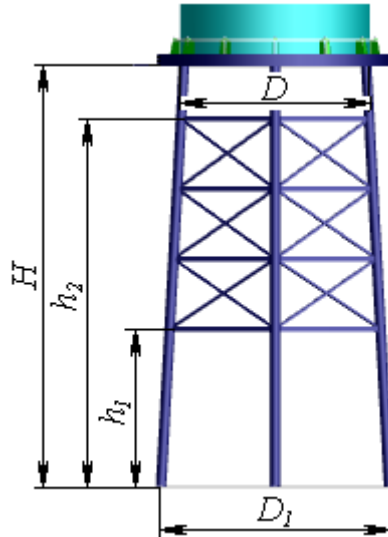


Рис. 3.139 Типы постамента



### 3.16.27. Теплообменник с неподвижными трубными решетками

**Теплообменник**

Общие данные | Узел соединения первой решетки | Узел соединения второй решетки | Трубный пучок с решетками | Расширитель №1 | Расширитель №2 | Компенсатор |

Название элемента: Теплообменный аппарат №1

Нормативный документ: ГОСТ 34233.7.2-2017

Кожух:
 

- Материал: Ст3 Труба
- Внутренний диаметр, Di: 210 мм
- Наружный диаметр, Do: 216 мм
- Толщина стенки, si: 3 мм
- Прибавка на коррозию, ci: 1 мм
- Минусовый допуск, c2: 0,8 мм
- Прибавка технологическая, c3: 0 мм
- Длина, L: 775 мм

К-т проч. продольного сварного шва, φφ: 1

К-т проч. кольцевого сварного шва, φφ: 1

Температура сборки, t0: 40 °C

Изоляция и футеровка >>

Наличие перегородок в межтрубном пространстве

Максимальный пролет трубы между решеткой и перегородкой, l1R: 62 мм

Максимальный пролет трубы между перегородками, l2R: 96,5 мм

Толщина перегородок: 1,5 мм

Материал перегородок: 09Г2С G: КП 245 ГОСТ 8

Материал стержней: 35 Крепёж

Отправка перегородок на кожух

Перепад давления на трубной решетке

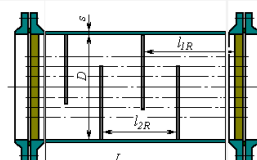
Авто: pR=max(|pT1|;|pT2|;|pT-rm|)

Вручную: pR= 0 МПа pR,rest= 0 МПа

Случай нагружения	Межтрубное, кожух			Трубное, трубы		
	Давление pM, МПа	Температура, °C		Давление pT, МПа	Температура, °C	
Рабочие условия	0,6	Расчетная, Ts	Средняя, t	31,2	Расчетная, Tt	Средняя, tt
		45	40		20	20

Заполнение межтрубного пространства >>

Заполнение трубного пространства >>



Крепление первой решетки

- Вваркой в корпус
- Через фланец, соединение
- Решетка-фланец приварена к кожуху
- Решетка-фланец с отбортовой приварена к кожуху
- Решетка-фланец приварена к кожуховой обечайке
- Решетка вварена во фланец
- Решетка вварена между фланцев и кожухом

Крепление второй решетки

- Вваркой в корпус
- Через фланец, соединение
- Решетка-фланец приварена к кожуху
- Решетка-фланец с отбортовой приварена к кожуху
- Решетка-фланец приварена к кожуховой обечайке
- Решетка вварена во фланец
- Решетка вварена между фланцев и кожухом




Рис. 3.140. Кожух теплообменника

Расчетная температура стенки кожуха используется для определения допускаемых напряжений кожуха. Средняя температура стенки используется для определения коэффициента линейного расширения и модуля упругости. Также как и для цилиндрической обечайки предусмотрено задание изоляции и футеровки.

**Параметры рабочей среды** в трубном пространстве определяются родительским элементом теплообменника, или (при отсутствии родительского элемента) настройкой “Общие данные”. В свою очередь, **параметры рабочей среды** в межтрубном пространстве учитываются при расчете весов дочерних элементов кожуха.

Конструкции креплений кожуха с трубными решетками по ГОСТ 34233.7-2017 (РД 26-14-88) приведены на Рис. 3.141.

Возможен расчет теплообменника по ASME VIII-1. В этом случае варианты исполнения конструкции приведены на Рис. 3.142.

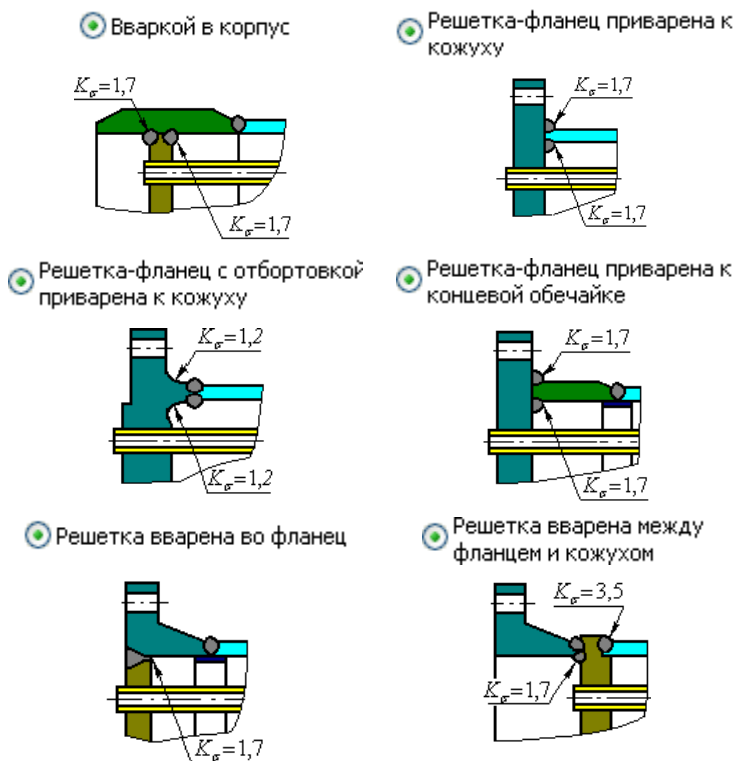


Рис. 3.141. Крепление трубной решетки по ГОСТ 34233.7-2017

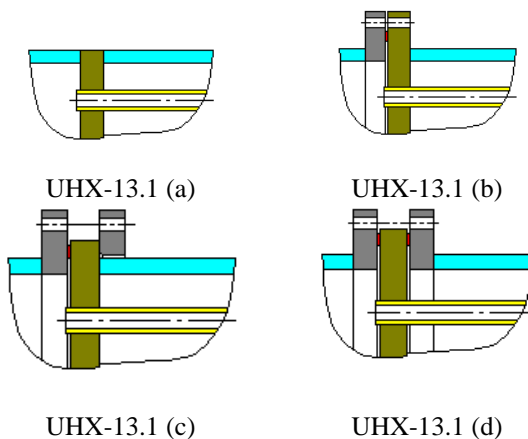


Рис. 3.142. Крепление трубной решетки по ASME VIII-1

После нажатия кнопки **Далее >>** задаются параметры [узла соединения](#) первой трубойной решетки.

### 3.16.27.1 Узел соединения трубойной решетки с кожухом

**Рис. 3.143. Узел соединения первой решетки**

В случае крепления трубойной решетки через фланцевое соединение исходные данные задаются по аналогии с фланцевым соединением по ГОСТ 34233.4-2017 (РД26-15-88) Имеется возможность выбрать стандартные фланцы.

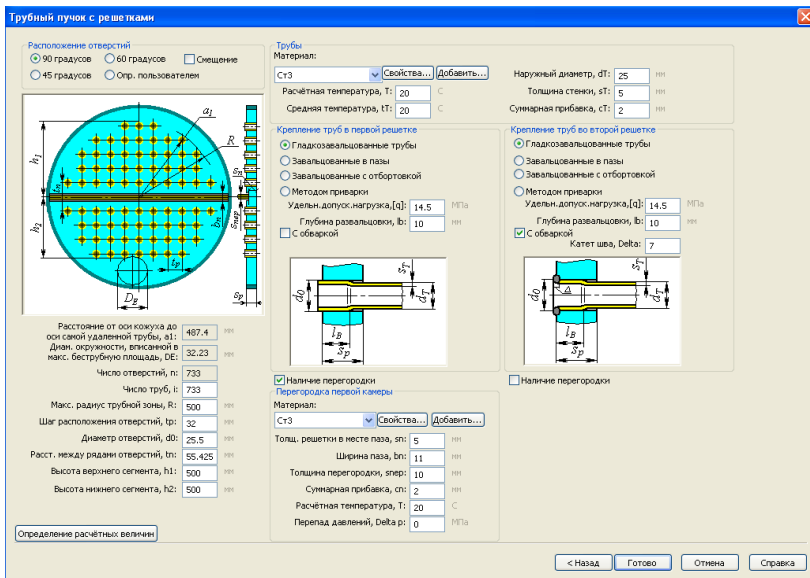
Опция «Переходная обечайка» доступна для всех вариантов исполнения трубойной решетки. При активации данной опции появляется дополнительное окно с параметрами переходной обечайки (втулки), Рис. 3.144.

**Рис. 3.144. Параметры переходной обечайки**

После нажатия кнопки **Далее >>** задаются параметры узла соединения второй трубной решеткой. Данные второй решётки задаются по аналогии с первой. Возможно быстро скопировать данные из первой решетки при помощи кнопки «Принять второе соединение как первое».

После нажатия кнопки **Далее >>** задаются параметры **трубного пучка**, условия крепления труб в решетках, а также перегородки в решетках (при их наличии).

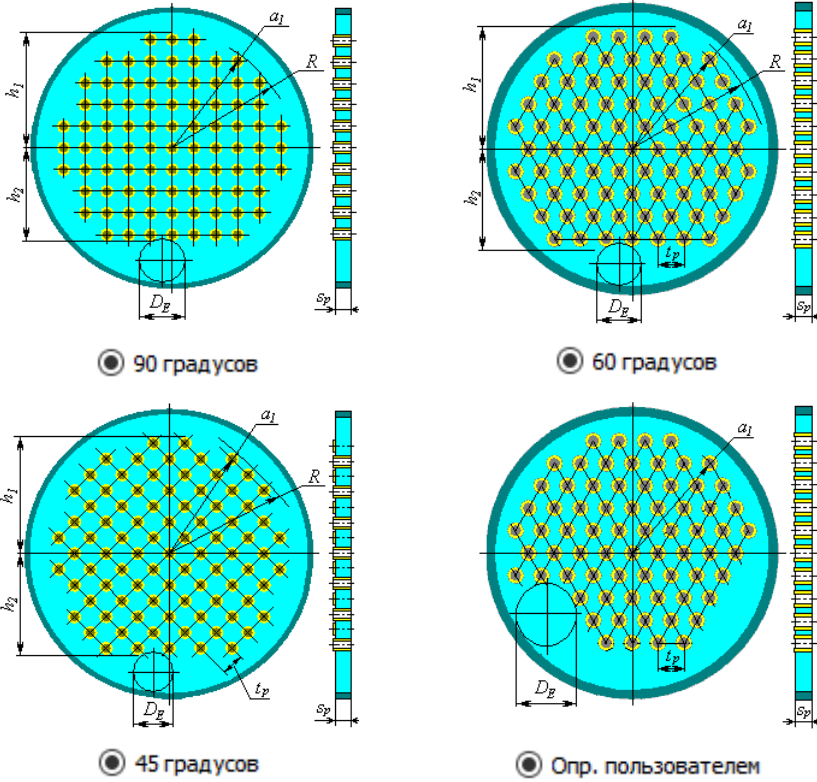
### 3.16.27.2 Параметры трубного пучка



**Рис. 3.145. Трубный пучок с решетками**

Расположение отверстий под трубы в трубной решетке можно задавать в автоматическом режиме и вручную. При автоматическом задании необходимо выбрать угол расположения осей отверстий, задать шаг их расположения, диаметр отверстий, радиус трубной зоны а также высоты верхнего и нижнего сегментов. Программа автоматически определит такие расчетные параметры, как число отверстий, расстояние до оси самой удаленной трубы, а также максимальный диаметр, вписанный в беструбную площадь.

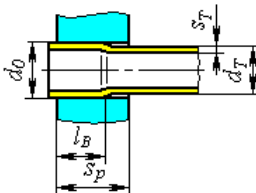
С помощью команды  **Смещение** можно изменить расположение осей симметрии трубных пучков (Рис. 3.146)



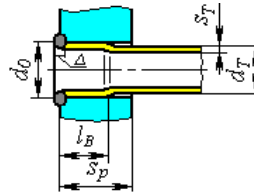
**Рис. 3.146. Расположение отверстий**

При нестандартных параметрах трубного пучка возможно его формирование в режиме интерактивного [конструктора](#).

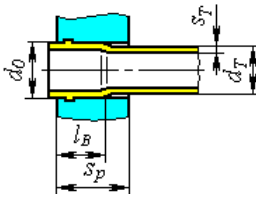
Конструкции креплений труб в решетке по ГОСТ 34233.7-2017 (РД 26-14-88) приведены на Рис. 3.141.



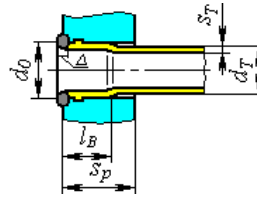
Гладкозавальцованные



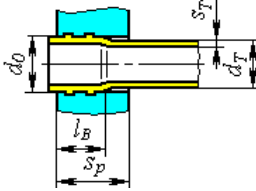
Гладкозавальцованные, с обваркой



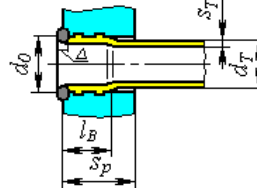
Завальцованные в один паз



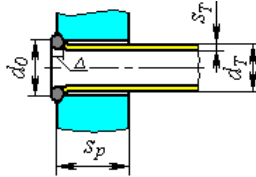
Завальцованные в один паз, с обваркой



Завальцованные в два и более паза



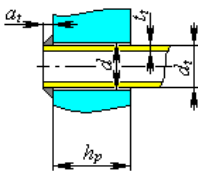
Завальцованные в два и более паза, с обваркой



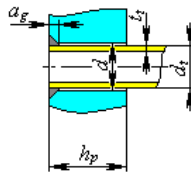
Приварные без завальцовки

**Рис. 3.147. Крепление труб в решетке по ГОСТ 34233.7-2017**

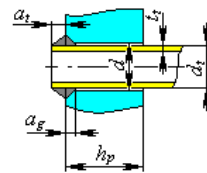
При расчете теплообменника по ASME VIII-1 возможные типы креплений приведены на Рис. 3.148.



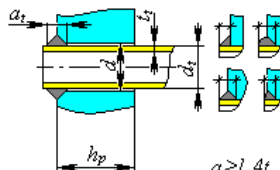
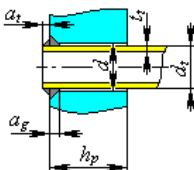
UW-20 (a)



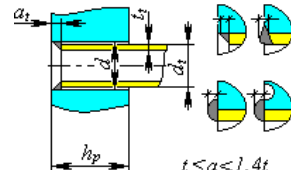
UW-20 (b)



UW-20 (c)



$a \geq 1.4t$



$t \leq a < 1.4t$

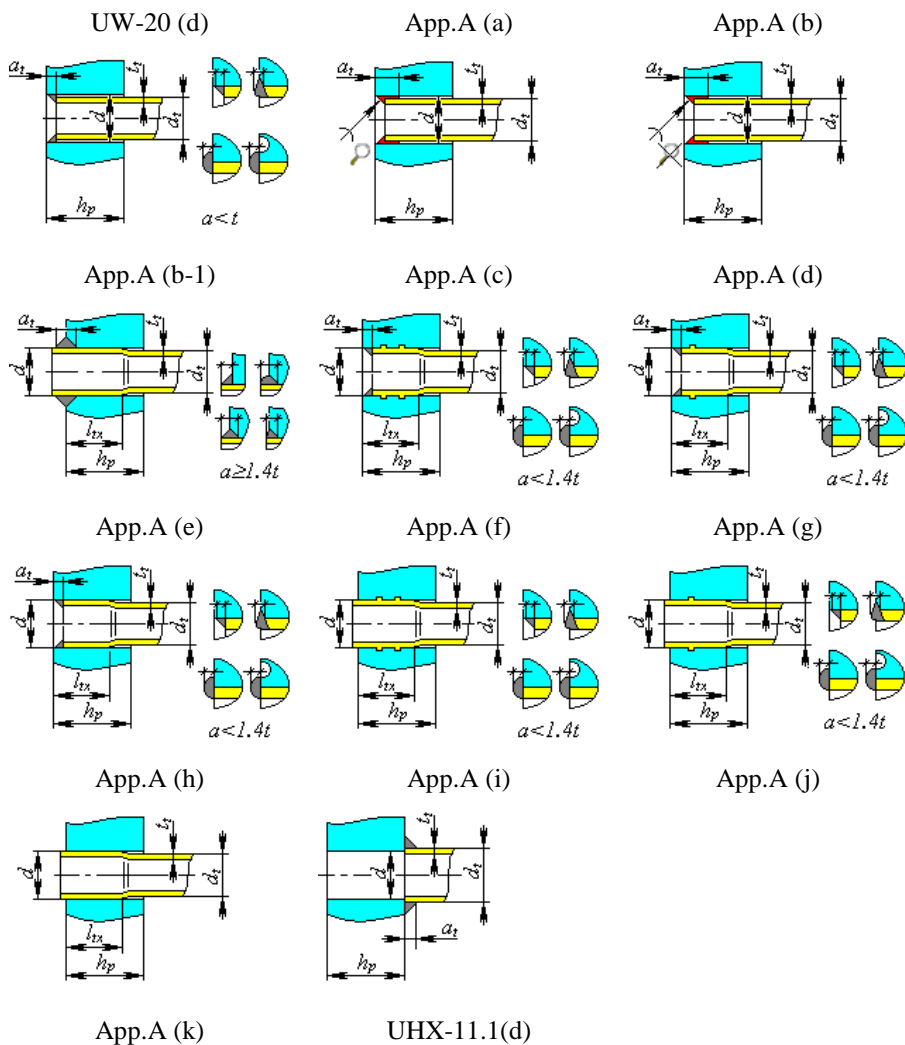


Рис. 3.148. Крепление труб в решетке по ASME VIII-1

Опционально возможно размещение на кожухе сифонного [компенсатора](#) и/или [расширителей](#).

После задания всех необходимых данных и нажатия кнопки  программа отобразит полученный теплообменник. Редактирование теплообменника производится через диалоговое окно с вкладками.

### 3.16.27.3 Работа с конструктором трубного пучка

Конструктор позволяет сформировать трубный пучок и вычислить его характеристики при размещении труб, не описанном в п. 3.16.27.2. Для его активации необходимо выбрать опцию «Конструктор» в панели «Расположение отверстий». Открывается окно, показанное на Рис. 3.149.

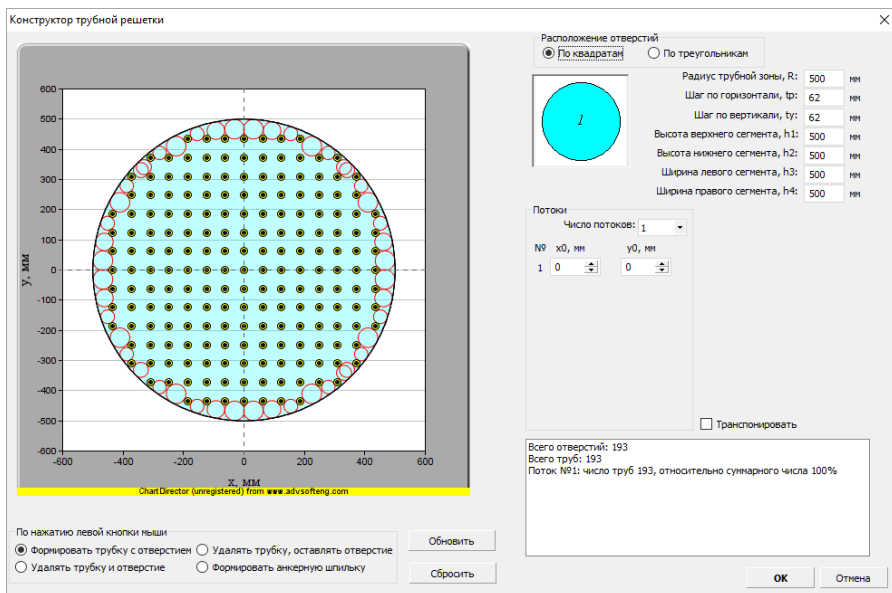


Рис. 3.149. Конструктор трубного пучка

Для окна с эскизом трубного пучка доступны действия:

- масштабирование – при помощи колеса мыши
- перемещение эскиза – движением мыши с нажатой левой кнопкой

Команды и параметры:

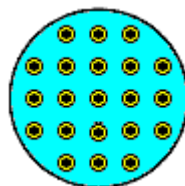
**Название**

**Описание**

**Эскиз**

По квадратам

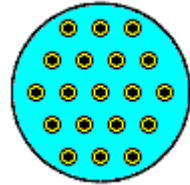
Ряды отверстий не смещены





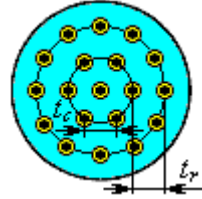
По треугольникам

Каждый ряд отверстий смещен относительно предыдущего на половину горизонтального шага



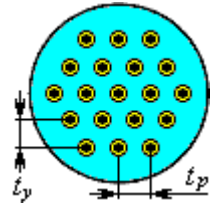
По окружностям

Отверстия располагаются по концентрическим окружностям, отверстия на одной окружности располагаются с равным шагом, с округлением до целого числа отверстий



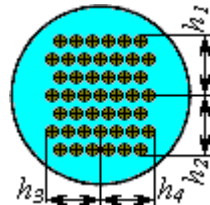
$t_p, t_y$

Горизонтальный и вертикальный шаг расположения рядов



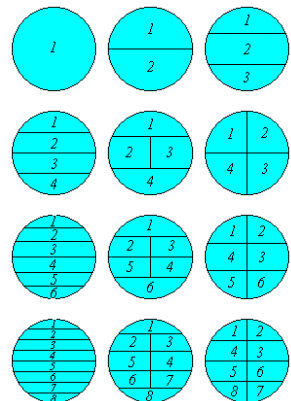
$R, h_1, h_2, h_3, h_4$

Позволяют сформировать зону, за пределами которой размещение труб исключено



Число потоков, конфигурация

Позволяют сформировать бес-трубные зоны под перегородки для типовых конфигураций многоточечных теплообменников



$x_0, y_0$	Позволяют более точно позиционировать трубы пучка, относящиеся к $i$ -му потоку, если автоматическое размещение не приводит к желаемому результату	
$U_L$	Межосевое расстояние для труб в зоне $i$ -й перегородки	
$D_L$	Расстояние от оси трубной решетки до осевой линии $i$ -й перегородки	
Транспонировать	Переворачивает всю построенную трубную решетку на $90^\circ$	
Формировать трубку с отверстием	Если в точке с выбранными координатами уже есть трубка, то ничего не происходит, в противном случае точке присваивается признак «трубка»	
Удалять трубку, оставлять отверстие	Отверстие будет участвовать в расчете периферийной зоны решетки, но трубка будет исключена из расчета осевого усилия на кожух	
Удалять трубку и отверстие	В данной точке нет отверстия, она не влияет на расчет периферийной зоны (используется для формирования беструбных зон)	
Формировать анкерную шпильку	В данной точке есть глухое отверстие под анкерную шпильку, которое не влияет на расчет периферийной зоны	

- Обновить      Выполняется перестроение трубного пучка (намечаются координаты точек, в которых будут размещаться отверстия)
- Сброс          Очищаются все дополнительные признаки точек

### 3.16.28. Теплообменник с компенсатором на кожухе

Для включения компенсатора в модель теплообменника необходимо поставить соответствующую галочку на вкладке «Компенсатор» (Рис. 3.150).

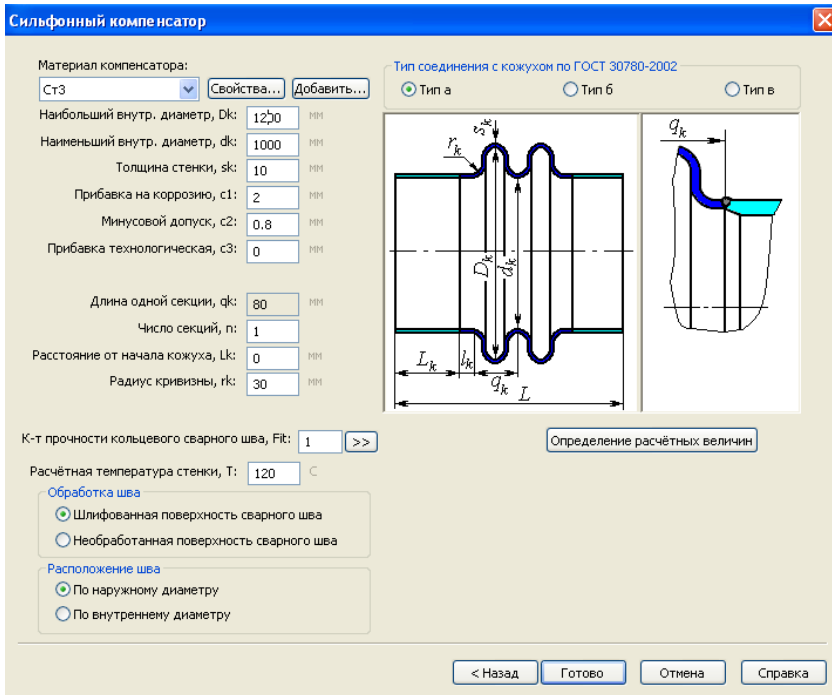
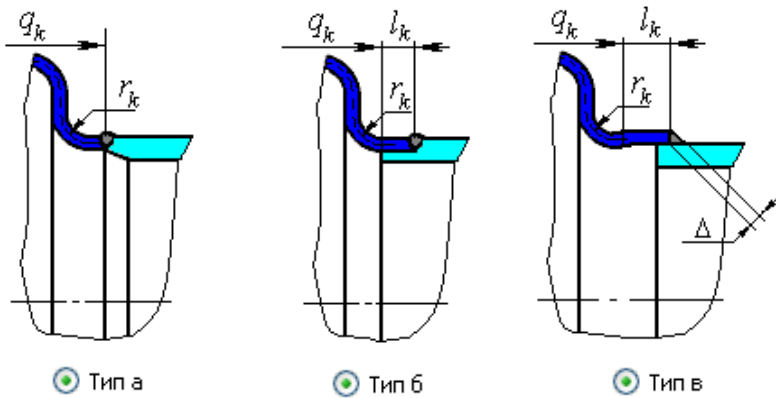


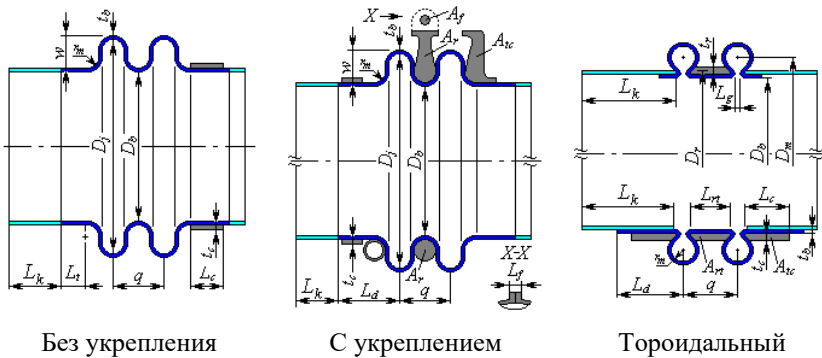
Рис. 3.150. Линзовый компенсатор

При расчете теплообменника по ГОСТ 34233.7-2017 тип соединения с кожухом определяется по ГОСТ 30780-2002 (Рис. 3.151)



**Рис. 3.151. Соединение компенсатора с кожухом по ГОСТ 30780-2002**

При расчете теплообменника по ASME VIII-1 возможные варианты исполнения компенсаторов определяются по разделу MANDATORY APPENDIX 26 (Рис. 3.152).



**Рис. 3.152. Исполнения компенсатора по ASME VIII-1**

### 3.16.29. Теплообменник с расширителем на кожухе

Для включения компенсатора в модель теплообменника необходимо поставить соответствующую галочку на вкладке «Расширитель» (Рис. 3.153). При наличии компенсатора на расширителе его параметры задаются аналогично п. 3.16.28.

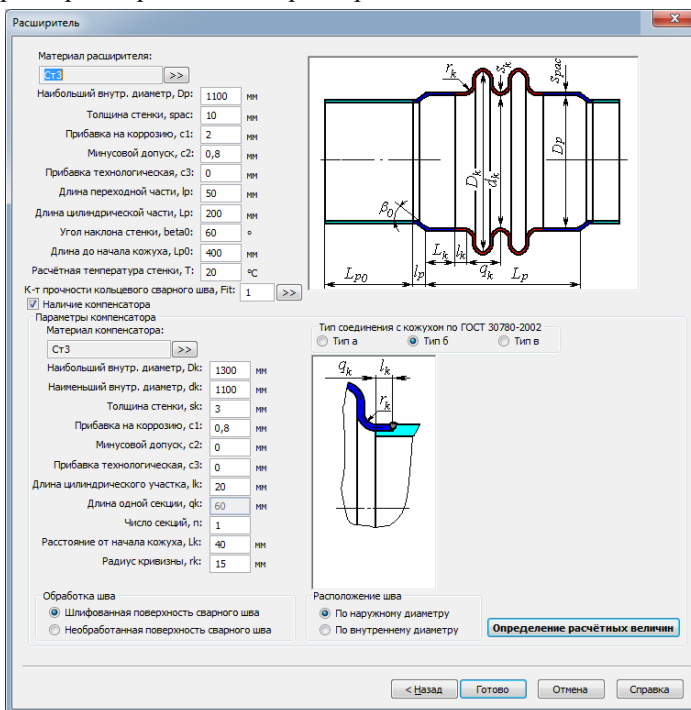


Рис. 3.153. Расширитель

При расчете теплообменника учитывается податливость расширителя. Если расширитель выполнен с полу-линзовыми концевыми участками, следует использовать опцию “Расширитель-компенсатор” (Рис. 3.154).

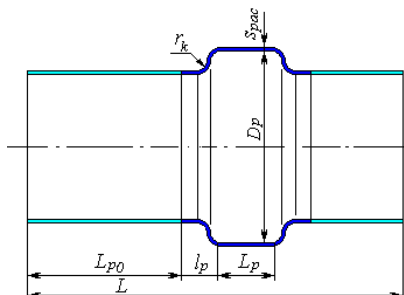


Рис. 3.154. Расширитель с полу-линзовыми концевыми участками

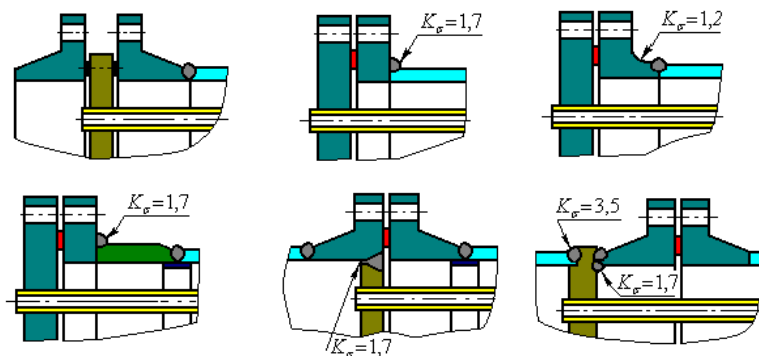
Не следует использовать опцию «Расширитель» для задания распределительного коллектора (без выреза участка кожуха под ним) – для этого следует использовать элемент [«Цилиндрическая рубашка»](#).

### 3.16.30. Теплообменник с U-образными трубами

Задание исходных данных для теплообменника с U-образными трубами проводится аналогично теплообменнику с неподвижными решетками. При этом трубная решетка всегда имеет перегородку и симметричное расположение труб.

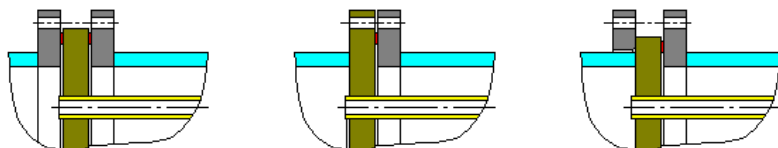
Трубная решётка для данного теплообменника может быть выполнена аналогично п. 3.16.27.

Кроме того, дополнительно доступны варианты исполнения трубной решетки, показанные на Рис. 3.155.



**Рис. 3.155** Трубная решетка теплообменника с U-образными трубами

По ASME VIII-1 возможны конфигурации, показанные на Рис. 3.156.



**Рис. 3.156** Конфигурации трубных решеток по ASME VIII-1

Опция “Электрический подогреватель” позволяет выполнить расчет несущей пластины подогревателя как перфорированной плоской крышки.

### 3.16.31. Теплообменник с плавающей головкой

Задание исходных данных для теплообменника с плавающей головкой проводится аналогично теплообменнику с неподвижными решетками. Вместо второй трубной решетки задаются параметры плавающей головки (Рис. 3.157).



### 3.16.32. Аппарат воздушного охлаждения (АВО)

Аппарат воздушного охлаждения (АВО)

Распределительная камера Трубный пучок с решетками

Название элемента: **Воздухоохлаждение (АВО) №1**

Параметры камеры

Поперечный внутренний размер, B0: 194 мм  
 Толщина решетки в зоне перфорации, s1A: 20 мм  
 Толщина доньшка крышки/защитной стенки, s4A: 5 мм  
 Толщина боковой стенки, s7A: 15 мм  
 Толщина крышки в зоне фланца, s5A: 5 мм  
 Толщина фланца крышки, s6A: 18 мм  
 Наружный поперечный размер прокладки, B2: 246 мм  
 Расстояние между осями болтов, B3: 296 мм  
 Наружный поперечный размер, B4: 346 мм  
 Наружный продольный размер прокладки, L2: 1282 мм  
 Толщина решетки в месте уплотнения, s2A: 6 мм  
 Толщина решетки вне зоны уплотнения, s3A: 6 мм  
 Ширина зоны решетки с толщиной s1, B1: 100 мм  
 Глубина крышки камеры, H: 100 мм  
 Радиус скругления крышки камеры, R: 10 мм  
 К-т прочности сварного шва камеры, P1: 1 >>>  
 Продольный внутренний размер, L0: 1228 мм

Материал: c1 (корр.): c2 (нечис.): c3 (темп.): Плавко.  
 10X17H13M2T >> 1,5 мм 0 >> мм 0 мм >>

12X18H10T >> 1,5 мм 0 >> мм 0 мм >>

Прокладка  
 Материал: Свойства... Добавить...  
 Паронит по ГОСТ 481 при толщине не более 3 мм  
 Ширина, bп: 12 мм  
 Толщина, tп: 2 мм

Крепеж  
 Болты  Шпильки Без контроля затяжки  
 Материал: 35X >>> Проточка  
 Наружный диаметр, d: 16 мм  
 Количество, n: 46

Расчётное давление, pT:  Внутреннее  Наружное 0,12 МПа

Расчётная температура, T: 144 °C

Диаметр площадки, Dp, мм	Диаметр отверстия, d0, мм	Высота площадки, su, мм	Толщина патрубка, sp, мм	Расчётная длина патрубка, ln, мм	Смещение по X, мм	Смещение по Y, мм	Материал

Добавить отверстие... Удалить отверстие...

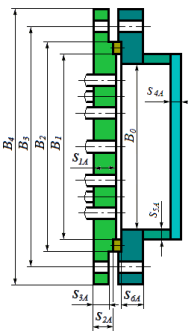
Конструкция камер

- Разъемная со сварной крышкой
- Разъемная с литой крышкой
- Разъемная с литой или штампованной крышкой
- Разъемная со сварной полуцилиндрической крышкой
- Неразъемная со сварной полуцилиндрической стенкой
- Сварная без перегородок
- Штампованная без перегородок
- Сварная с перегородками
- Штампованная с перегородками
- Разъемная с литой крышкой, тип 3 по РТМ 26-13-79

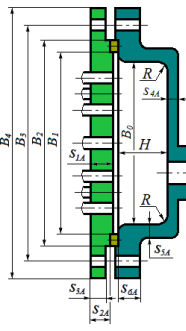
OK Отмена Применить

Рис. 3.159. Распределительная камера

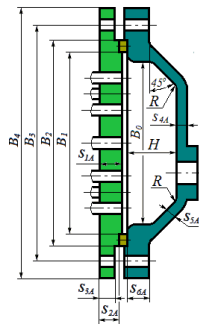
Теплообменник воздушного охлаждения создаётся как элемент модели. Этот компонент нельзя присоединить к чему-либо. Аппарат воздушного охлаждения состоит из двух распределительных камер (Рис. 3.159) и трубного пучка (Рис. 3.162). Две камеры теплообменника могут быть заданы независимо и иметь разный тип. К камере может быть присоединены [штуцеры специального типа](#)



Разъемная со сварной крышкой

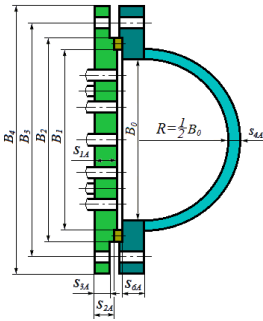


Разъемная с литой крышкой

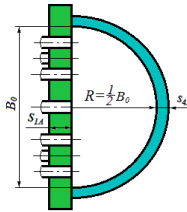


Разъемная с литой или штампованной крышкой

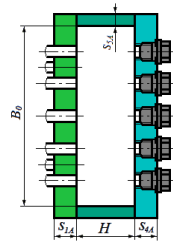




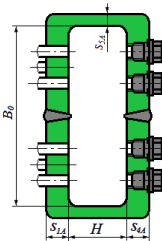
Разъемная со сварной полуцилиндрической крышкой



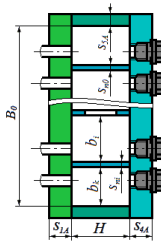
Неразъемная со сварной полуцилиндрической крышкой



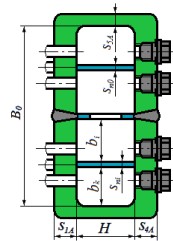
Сварная без перегородок



Штампованная без перегородок



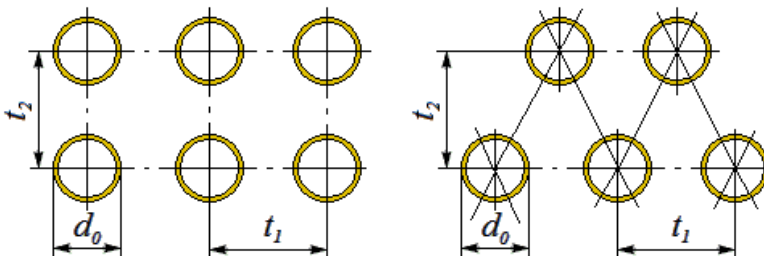
Сварная с перегородками



Штампованная с перегородками

**Рис. 3.160. Типы распределительных камер**

Для сварных элементов теплообменника можно задать [минусовой допуск](#), [плакировку](#).



По вершинам прямоугольников

По вершинам треугольников

**Рис. 3.161. Типы трубных пучков**

После нажатия кнопки Далее >> задаются параметры трубного пучка аналогично п. 3.16.27.

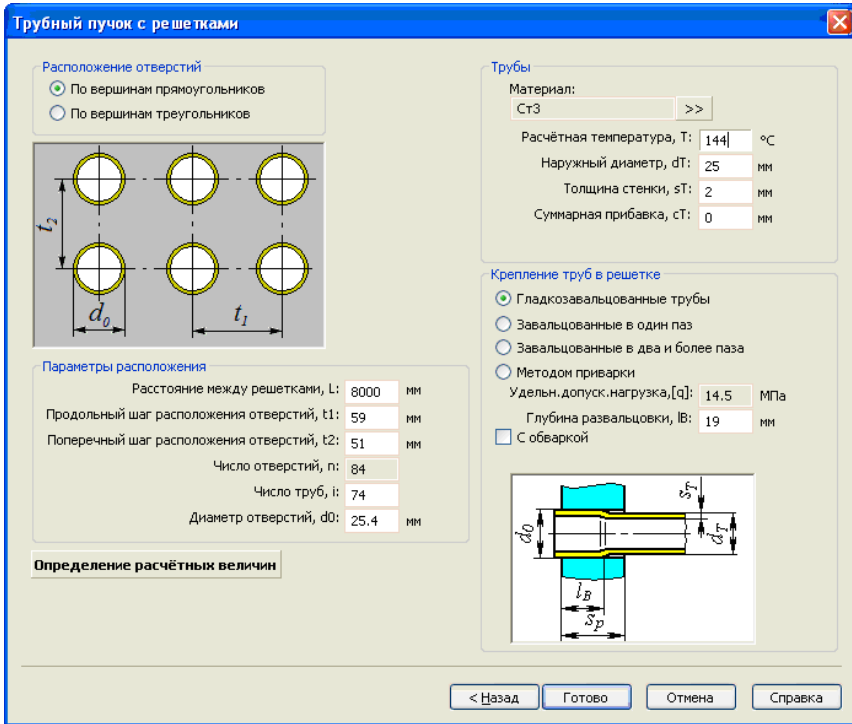


Рис. 3.162. Трубный пучок

При наличии в камерах резьбовых пробок (Рис. 3.165) они могут быть рассчитаны по [34].

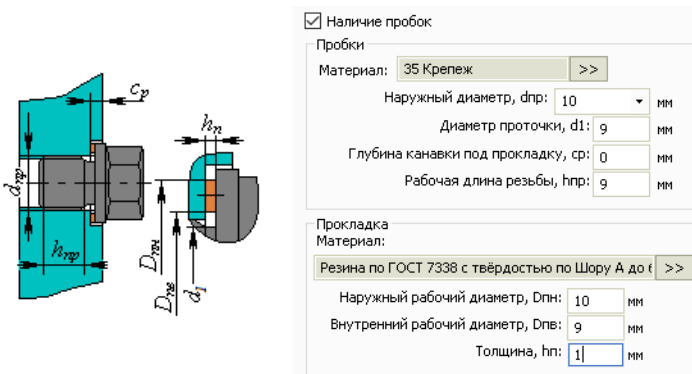


Рис. 3.163. Резьбовые пробки в распределительной камере

Внешний каркас может быть задан в соответствии с Рис. 3.164 (участвует только в визуализации модели и расчете таблицы металлоемкости).

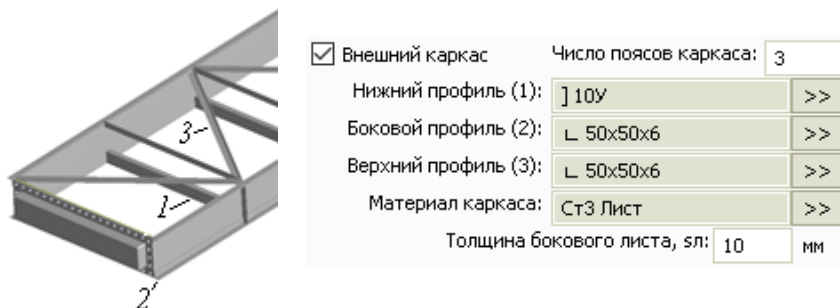


Рис. 3.164. Внешний каркас АВО

### 3.16.33. Врезка в камеру аппарата воздушного охлаждения (АВО)

Данный элемент может быть присоединен к задней стенке литой/штампованной камеры АВО, к задней поверхности цилиндрической камеры, к задней или боковой поверхности коробчатой камеры. Исходные данные врезки в цилиндрическую камеру задаются аналогично элементу [“Штуцер”](#). Для врезки в плоскую стенку диалог имеет вид, показанный на Рис. 3.165

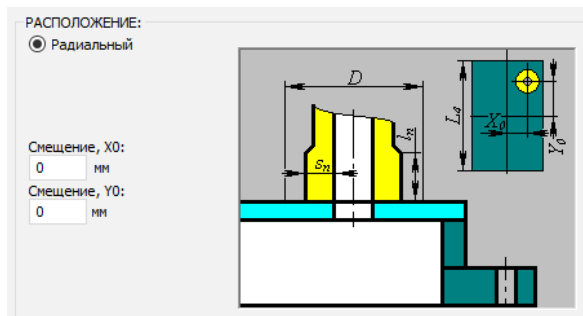


Рис. 3.165 Врезка в камеру АВО

### 3.16.34. Рубашка цилиндрическая

Рубашка цилиндрическая может быть присоединена к любой цилиндрической обечайке существующей модели (Рис. 3.166). Имя элемента, нормативный документ, материал, геометрия, коэффициент прочности сварных швов и условия нагружения рубашки задаются по аналогии с цилиндрической обечайкой. Расположение рубашки в модели определяется элементом, к которому она присоединяется и расстоянием от левого (нижнего) края (в сторону оси Z). К рубашке могут быть присоединены опоры, штуцера, кольца жесткости и другие элементы. Давление  $p_2$ ,

заданное в рубашке, распространяется на присоединенные к ней элементы, и наоборот. Рубашка не может выходить за пределы обечайки, на которой она размещается.

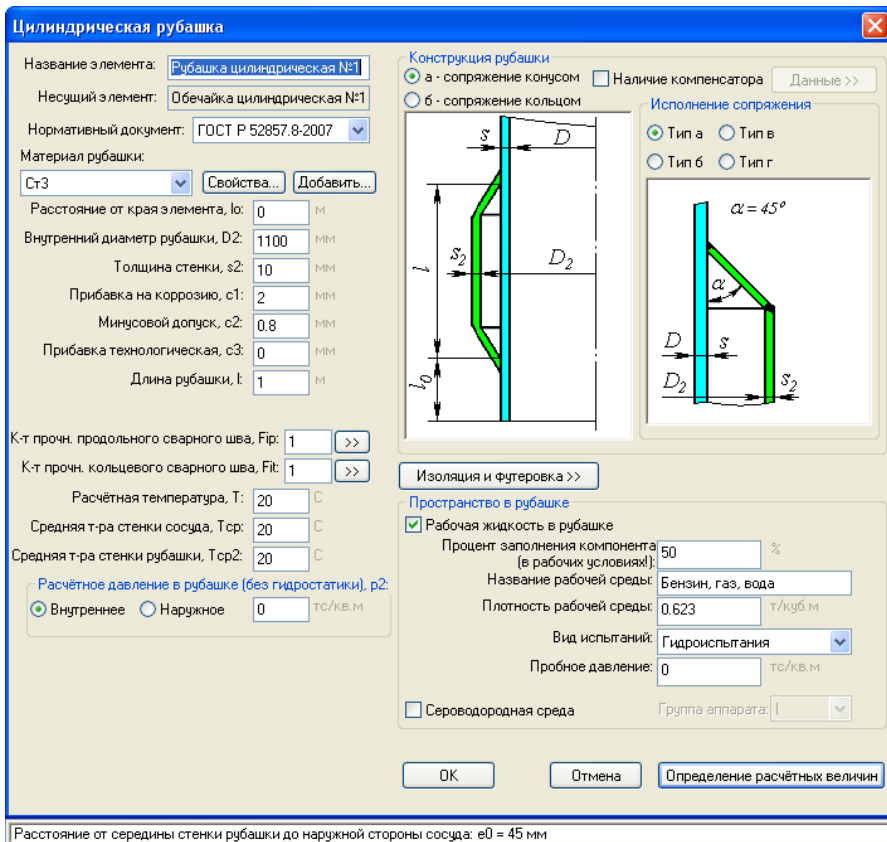
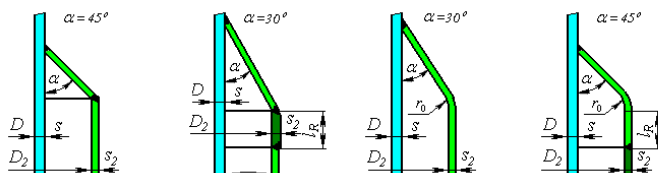
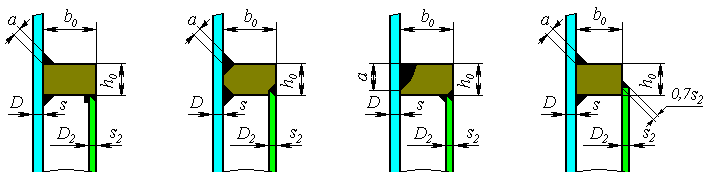


Рис. 3.166. Рубашка цилиндрическая

В программу заложена возможность задания параметров среды, заполняющей рубашку, и параметров испытаний отдельно от несущей обечайки. Расчет объема и веса содержимого рубашек возможен только через процент заполнения.

Конструкции соединения рубашки с корпусом определяется ГОСТ 34233.8-2017 (ГОСТ 25867-83) и приведены на Рис. 3.167.

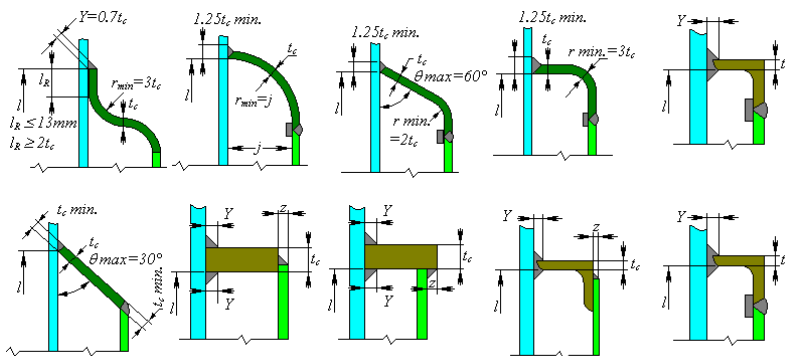




**Рис. 3.167. Типы рубашек по ГОСТ 34233.8-2017**

Цилиндрическая рубашка может иметь сифонный компенсатор (  Наличие компенсатора ) с целью снижения нагрузок от температурных деформаций.

Возможен расчет рубашки по ASME VIII-1. В этом случае используются варианты соединения с корпусом, приведенные на Рис. 3.168.



**Рис. 3.168. Типы рубашек по ASME VIII-1**

### 3.16.35. Рубашка U-образная

Рубашка U-образная создается при помощи многостраничного диалога и включает в себя следующие элементы:

- Обечайка сосуда;
- Обечайка рубашки;
- Днище сосуда;
- Днище рубашки.

Сопряжение обечайек рубашки и сосуда задается аналогично цилиндрической рубашке. Параметры днищ сосуда и рубашки задаются аналогично выпуклым днищам.

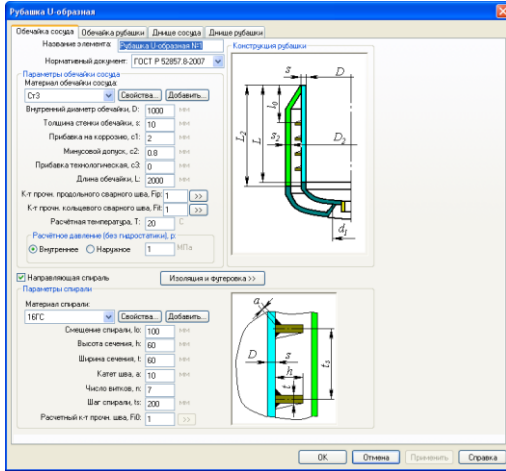


Рис. 3.169. Рубашка U-образная: обечайка сосуда

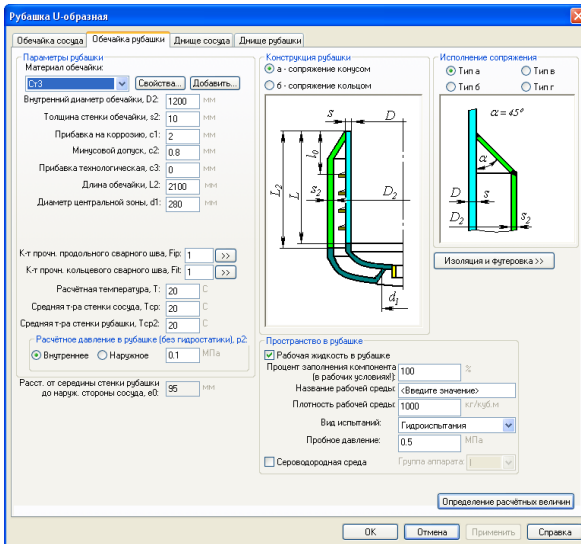


Рис. 3.170. Рубашка U-образная: обечайка рубашки

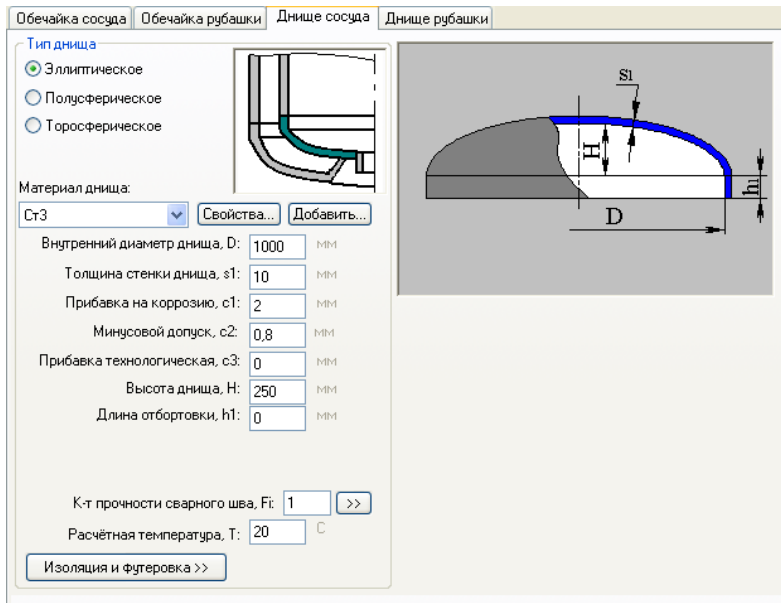


Рис. 3.171. Рубашка U-образная: днище сосуда

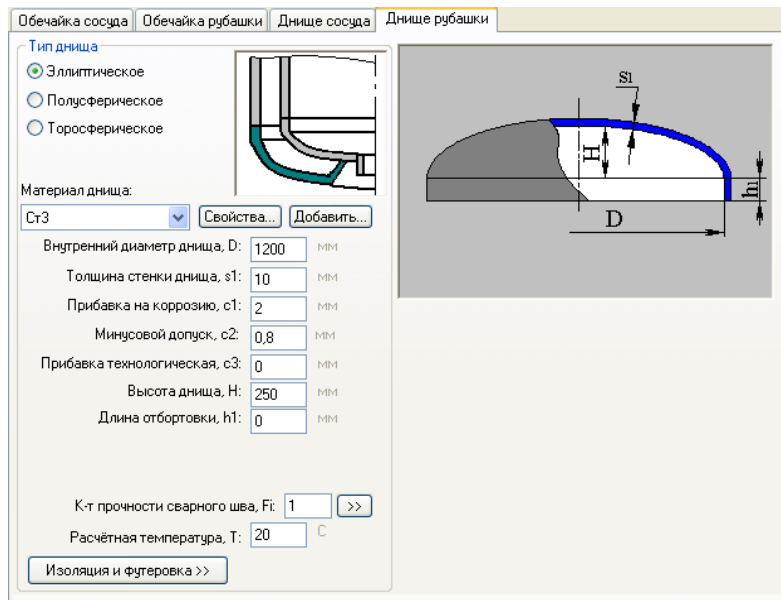


Рис. 3.172. Рубашка U-образная: днище рубашки

### 3.16.36. Рубашка, частично охватывающая сосуд

Рубашка, частично охватывающая сосуд, создается аналогично цилиндрической рубашке.

**Рубашка, частично охватывающая сосуд**

Название элемента: Рубашка, частично охватывающ...

Нормативный документ: ГОСТ Р 52857.8-2007

Материал рубашки: Ст3

Материал анкерных труб: Ст3

Расстояние от края элемента, l0: 1820 мм

Внутренний диаметр рубашки, D2: 1200 мм

Толщина стенки, s2: 10 мм

Прибавка на коррозию, c1: 2 мм

Минусовой допуск, c2: 0,8 мм

Прибавка технологическая, c3: 0 мм

Расстояние вдоль оси до первого ряда соединений, lL: 120 мм

Продольный шаг соединений, lP: 191,012 мм

Число соединений вдоль оси, nL: 5

Число соединений по окр., nC: 5

Угловой шаг соединений, deltaT: 20 °

Угол от края до первого ряда соединений, deltaK: 10 °

Наружный диаметр соединения, d0: 100 мм

Катет шва, a: 10 мм

Толщина стенки трубы, s0: 10 мм

К-т проч. продольного сварного шва, F1: 1 >>

К-т проч. кольцевого сварного шва, F1: 1 >>

К-т проч. сварного шва соединения, F1: 1 >>

Расчётная температура, T: 20 °C

Средняя t-ра стенки сосуда, Tср: 20 °C

Средняя t-ра стенки рубашки, Tср2: 20 °C

Расчётное давление в рубашке (без гидростатики), p2: 0,1 МПа

Изоляция и футеровка >>

Конструкция рубашки:  
 а - сопряжение отбортовкой  б - сопряжение анкерными трубами

Исполнение сопряжения

Пространство в рубашке  
 Рабочая жидкость в рубашке  
 Процент заполнения компонента: 100 %  
 (в рабочих условиях)  
 Название рабочей среды: <Введите значение>  
 Плотность рабочей среды: 1000 кг/куб.м  
 Вид испытаний: Гидроиспытания  
 Пробное давление: 0,5 МПа  
 Сероводородная среда Группа аппарата: I

Длина рубашки: L = 1000 мм  
 Расстояние по окружности до первого ряда соединений: lK = 95,9 мм  
 Шаг соединений по окружности: lT = 191 мм  
 Половина угла охвата рубашки: psi = 50 °

Рис. 3.173. Рубашка, частично охватывающая сосуд

Типы соединений рубашки с корпусом определяются ГОСТ 34233.8-2017 (ГОСТ 25867-83) и приведены на Рис. 3.174

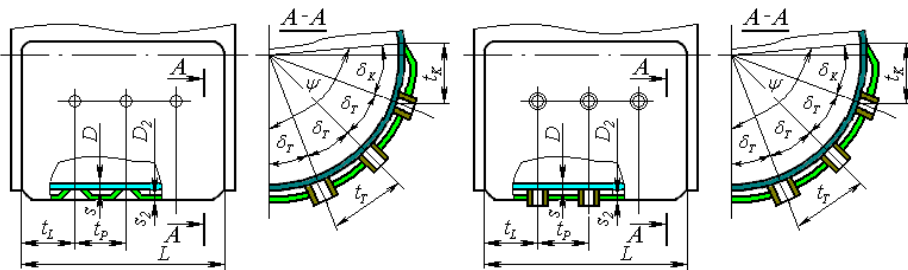


Рис. 3.174. Типы соединений рубашки с корпусом



### 3.16.37. Рубашка со змеевиковыми каналами

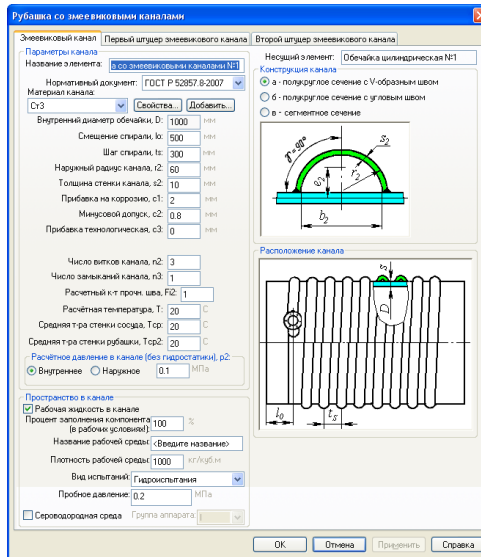


Рис. 3.175. Рубашка со змеевиковыми каналами

Рубашка со змеевиковыми каналами создается аналогично цилиндрической рубашке. При расчете змеевиковый канал может рассматриваться как усиление несущей обечайки системой колец жесткости. Типы каналов определяются ГОСТ 34233.8-2017 (ГОСТ 25867-83) и приведены на Рис. 3.176. На концах канала автоматически создаются штуцеры.

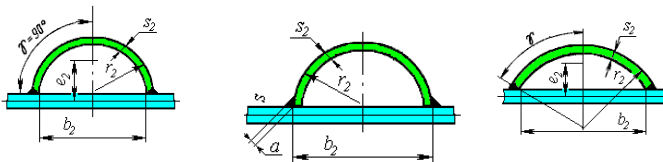


Рис. 3.176. Типы каналов

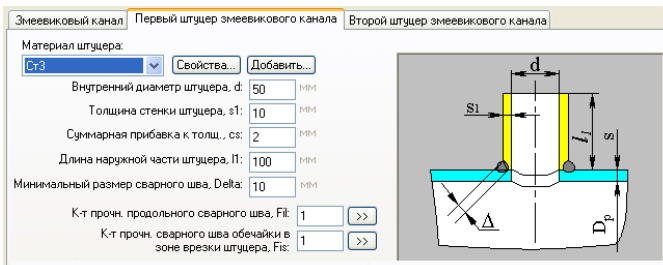


Рис. 3.177. Штуцер змеевикового канала

### 3.16.38. Рубашка с регистровыми каналами

Рубашка с регистровыми каналами создается аналогично рубашке со змеевиковыми каналами. В соответствии с ГОСТ 34233.8-2017 (ГОСТ 25867-83) эта рубашка не рассматривается как система колец жесткости.

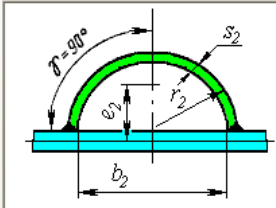
**Рубашка с регистровыми каналами**

Регистровый канал | Первый штуцер регистрового канала | Второй штуцер регистрового канала

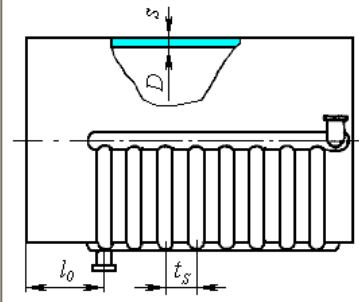
Параметры канала  
 Название элемента: Рубашка с регистровыми каналами  
 Нормативный документ: ГОСТ Р 52857.8-2007  
 Материал канала: Ст3

Внутренний диаметр обечайки, D: 1000 мм  
 Смещение канала,  $l_0$ : 0,2 м  
 Шаг канала,  $t_s$ : 300 мм  
 Наружный радиус канала,  $r_2$ : 60 мм  
 Толщина стенки канала,  $s_2$ : 10 мм  
 Прибавка на коррозию,  $c_1$ : 2 мм  
 Минусовой допуск,  $c_2$ : 0,8 мм  
 Прибавка технологическая,  $c_3$ : 0 мм

Несущий элемент: Обечайка цилиндрическая №1  
 Конструкция канала  
 а - полукруглое сечение с V-образным швом  
 б - полукруглое сечение с угловым швом  
 в - сегментное сечение



Расположение канала



Число витков канала,  $n_2$ : 5  
 Расчетный к.т прочн. шва, F12: 1  
 Расчетная температура, T: 20 °C  
 Средняя т-ра стенки сосуда,  $T_{ср}$ : 20 °C  
 Средняя т-ра стенки рубашки,  $T_{ср2}$ : 20 °C

Расчётное давление в канале (без гидростатики),  $p_2$ :  
 Внутреннее  Наружное 0,3 МПа

Пространство в канале  
 Рабочая жидкость в канале  
 Процент заполнения компонента (в рабочих условиях): 100 %  
 Название рабочей среды: <Введите название>  
 Плотность рабочей среды: 1000 кг/куб.м  
 Вид испытаний: Гидроиспытания  
 Пробное давление: 1 МПа  
 Сероводородная среда

Группа аппарата: 1

OK | Отмена | Применить | Справка

Рис. 3.178. Рубашка с регистровыми каналами

### 3.16.39. Рубашка с продольными каналами

Рубашка с продольными каналами может быть присоединена к цилиндрической обечайке или коническому переходу.

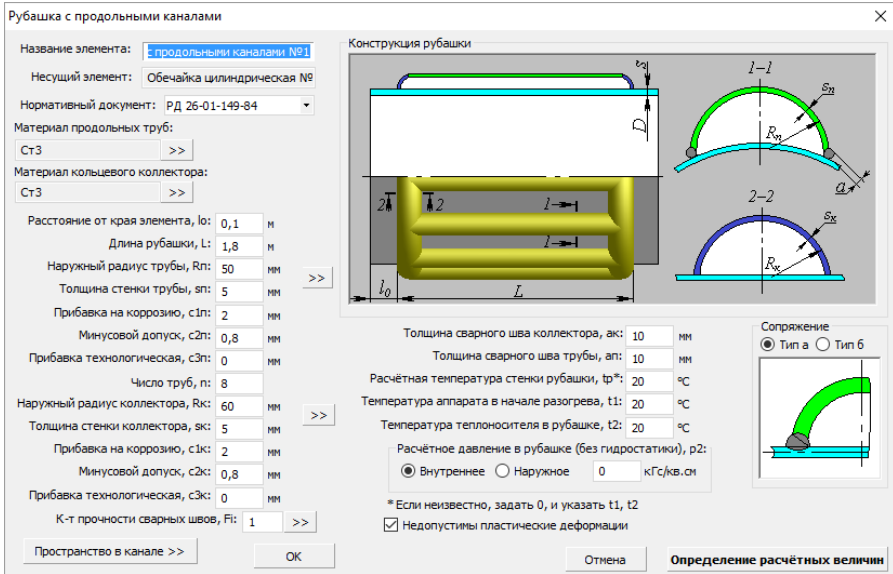


Рис. 3.179. Рубашка с продольными каналами

Параметры полости канала задаются при помощи кнопки «Пространство в канале» аналогично п .3.16.1.13.

Типы сопряжений задаются по [51] и приведены на Рис. 3.180.

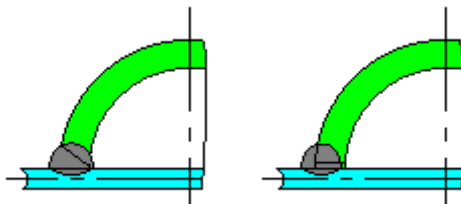


Рис. 3.180. Типы сопряжений

Параметры труб для коллектора и каналов (радиус, толщина, минусовой допуск) могут быть выбраны из сортамента при помощи кнопки >>.

Если неизвестна расчетная температура стенки  $t_p$ , необходимо указать вместо неё “0”, и задать температуры  $t_1, t_2$ .

Опция «Недопустимы пластические деформации» используется при наличии хрупких покрытий, возможности коррозионного растрескивания и т.д.

### 3.16.40. Выпуклая перегородка

Данный компонент может использоваться в горизонтальных, вертикальных сосудах и аппаратах колонного типа для разделения объемов с разными давлениями и заполнениями. В процессе построения модели он может присоединяться к другим элементам и вставляться между ними подобно цилиндрической обечайке, но при расчете всегда должен находиться между другими элементами. Перегородка порождает новый объём, расчет заполнения которого выполняется отдельно. Параметры заполнения и характеристики среды, находящейся в этом объеме, задаются также в диалоге перегородки. К перегородке могут присоединяться дочерние элементы, давление в которых передаётся в зависимости от ориентации перегородки.

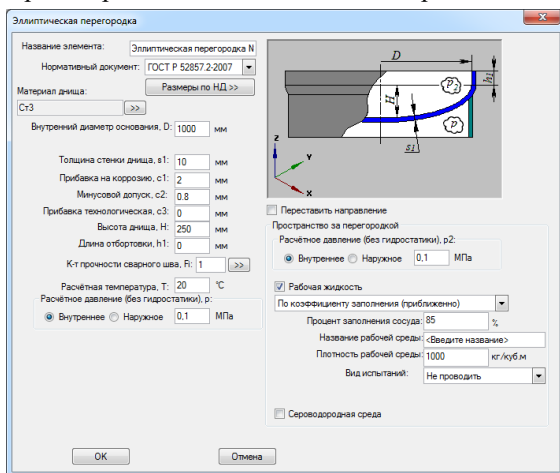


Рис. 3.181. Эллиптическая перегородка

Днище перегородки может быть эллиптическим, сферическим или торовым.

### 3.16.41. Виртуальная перегородка

Данный компонент может использоваться аналогично [выпуклой перегородке](#), но без расчета самой перегородки на прочность и устойчивость (например, для моделирования аппаратов с послойным заполнением гетерогенной средой, насадками-коксосборниками и т.д.).

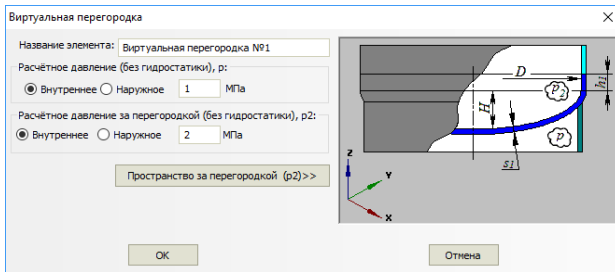


Рис. 3.182. Виртуальная перегородка

### 3.16.42. Эллипсоидный переход

Данный компонент может применяться в местах перепада диаметров.

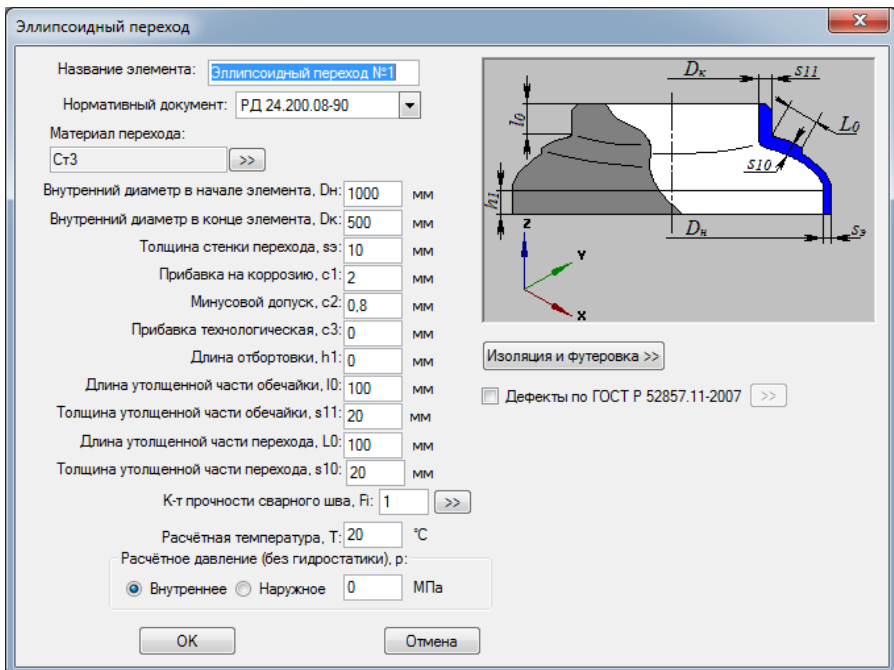


Рис. 3.183. Эллипсоидный переход

### 3.16.43. Сильфонный компенсатор

Данный компонент ведет себя в модели аналогично [отводу](#). Его расчет включает в себя оценку прочности и устойчивости от давления и перемещений, в том числе с расчетом на малоцикловую прочность.

Компенсатор

Название элемента: Expansion bellows No. 1  
 Норматив: EN 14917-2009

Материал: SA-240 -321 (PTB-4) Лист >>

Высота волны, w: 2 in  
 Наименьший внутр. диаметр, Db: 48 in  
 Толщина стенки, tb: 0,048 in  
 Прибавка на коррозию, c1: 0 in  
 Минусовой допуск, c2: 0 in

Шаг волн, q: 1 in  
 Число секций, N: 12

Число слоев, n: 1  
 Длина участка, me: 0,1 in  
 Длина участка, mi: 0,1 in  
 Радиус, rgr: 0,25 in  
 Радиус, rgi: 0,25 in

Длина, DL: 0 in  
 Коэффициент формовки, p: 0 >>

Изготовление  
 Оправка или вальцы  
 Из цилиндра Dв=Dб  
 Давлением из трубы  
 Из цилиндра Dв=Dм

Отжиг  
 Нет  
 Есть

Хонут  
 Есть  
 Материал: Ст3 Труба сварная >>  
 Толщина хонута, tc: 0 in  
 Длина хонута, Lc: 0 in  
 К-т прочности продольного шва, Cswc: 1 >>  
 Площадь сечения, Atc: 0 in<sup>2</sup>

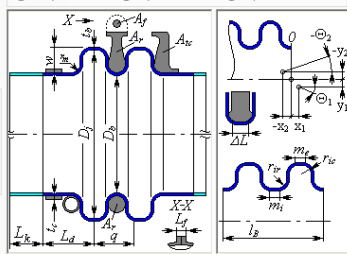
Начальные перемещения  
 x0: 0 in y0: 0 in  $\Theta$ 0: 0 рад

Перемещения  
 Определять при расчете  
 Задавать вручную

Осевая жесткость, Kb: 0 lbf/in  
 Материал усил. кольца: Ст3 Труба сварная >>  
 Материал зажима: Ст3 Труба сварная >>

К-т прочности продольного шва усиления, Cswr: 1 >>  
 Расстояние до середины первой волны, Ld: 0 in  
 Эффективная длина зажима, Lf: 0 in

Тип компенсатора  
 Без усиления  
 С усилением  
 Торoidalный



Случай нагружения	Давление, psi	Температура, °F	x, in	y, in	$\Theta$ , рад	Mt, lbf-in
Operating conditio	50	650	-4,5	0	0	0

Площадь сечения зажима, Af: 0 in<sup>2</sup>  
 Площадь сечения усиления, Ar: 0 in<sup>2</sup>

OK Отмена **Определение расчётных величин**

Рис. 3.184. Сильфонный компенсатор

Деформации компенсатора могут быть вычислены автоматически, из условий закрепления и нагружения модели. Для этого необходимо использовать опцию “Перемещения” – “Определять при расчете”.

Опция “Начальные перемещения” позволяет задать предварительно напряженный компенсатор.

Для компенсаторов, работающих в составе кожуха ([кожухотрубчатый теплообменник](#)) доступна опция “Без расчета” – она позволяет задать нестандартный компенсатор с известной жесткостью и учесть её в расчете кожуха.

### 3.16.44. Металлоконструкция

Данный компонент может быть присоединен как дочерний к элементу корпуса, его исходные данные задаются аналогично [постаменту колонного аппарата](#). Его расчет включает в себя оценку жесткости и включение металлоконструкции в балочную модель как суперэлемента. Прочность деталей металлоконструкции в настоящее время не оценивается.

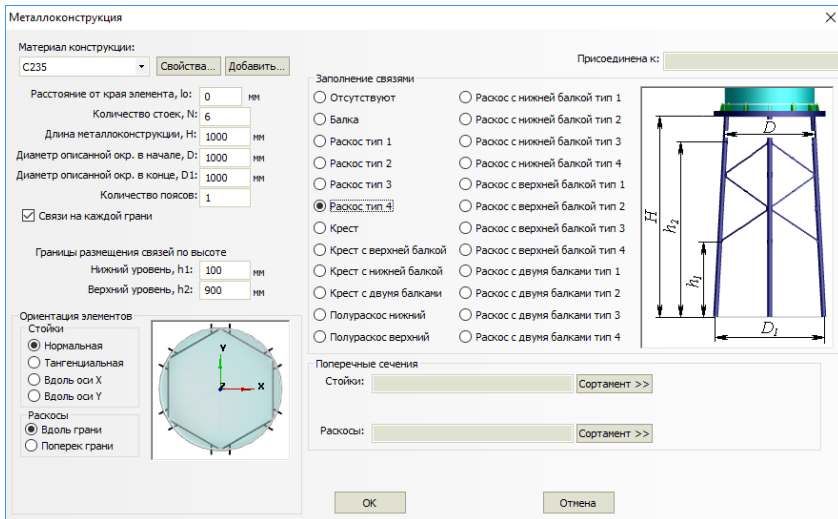


Рис. 3.185. Металлоконструкция

Металлоконструкция должна размещаться целиком в границах родительской обечайки. Также она может быть размещена в составе [сборки](#). Сборка может содержать последовательность металлоконструкций, в этом случае их балочные модели связываются автоматически. Концевые точки металлоконструкций могут иметь [связи](#) и [закрепления](#).

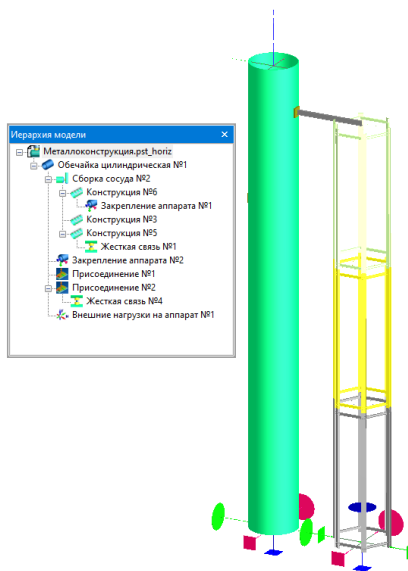


Рис. 3.186. Моделирование этажерки металлоконструкцией

### 3.16.45. Резервуар вертикальный стальной для нефти и нефтепродуктов

При выборе пункта “Вертикальные резервуары” (Рис. 3.6) в модели автоматически создается элемент “Резервуар” и открывается диалоговое окно с его данными.

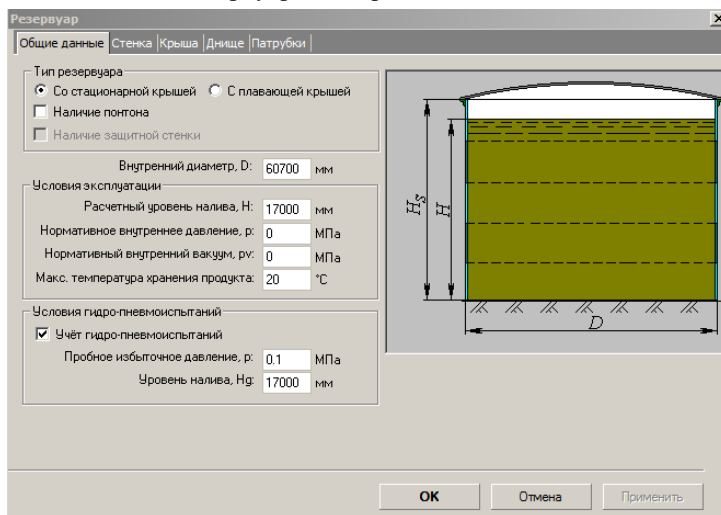


Рис. 3.187. Общие данные резервуара

В настоящее время реализован расчет резервуаров со стационарной и плавающей крышей. Доступен расчет резервуаров по следующим нормативам:

- СТО-СА-03-002-2009 [54]
- ГОСТ 31385-2016 [31]
- API 650-2020 [75]

Нормативное внутреннее давление и внутренний вакуум задаются над поверхностью продукта (без учета гидростатического давления). При установке галочки “Наличие понтона” в расчете учитывается вес понтона, находящегося на высоте налива (расчет самого понтона в настоящее время не предусмотрен).

Элемент “Резервуар” нельзя удалить из модели, но можно редактировать и присоединять к нему дочерние элементы. В качестве дочерних элементов могут выступать:

- [кольца жесткости](#) (присоединяются к стенке);
- [патрубки](#) (присоединяются к стенке и стационарной крыше);
- [площадки обслуживания](#) (присоединяются к стенке);



- **сосредоточенные массы** (присоединяются к стенке и стационарной крыше, делятся на металлоконструкции и оборудование, по-разному учитываются при расчёте).

После нажатия кнопки Далее >> задаются параметры стенки резервуара.

### 3.16.45.1 Стенка резервуара

Резервуар
✕

Общие данные
Стенка
Крыша
Днище
Патрубки

	Высота пояса, h, мм	Номинальная толщина, t, мм	Минусовой допуск, Δtm, мм	Прибавка на коррозию, Δtc, мм	Материал	Цвет
1	2438,28	10,033	0	0	ASTM-A537M/A – Ли	<span style="color: green;">■</span>
2	2438,28	8,33122	0	0	ASTM-A537M/A – Ли	<span style="color: green;">■</span>
3	2438,28	7,93752	0	0	ASTM-A537M/A – Ли	<span style="color: green;">■</span>
4	2438,28	7,93752	0	0	ASTM-A537M/A – Ли	<span style="color: green;">■</span>
5	2438,28	7,93752	0	0	ASTM-A537M/A – Ли	<span style="color: green;">■</span>
6	2438,28	7,93752	0	0	ASTM-A537M/A – Ли	<span style="color: green;">■</span>

Добавить пояс... Удалить пояс...

Анкерное крепление стенки

Анкерные болты

Материал: SA-193 Gr.B8MA Крепеж >>

Диаметр наружный/по впадинам: 50,8 47,744 >> мм

Количество, па: 44

Диаметр болтовой окружности, Dб: 23000 мм

Коррозия болта (на диаметр), св: 1 мм

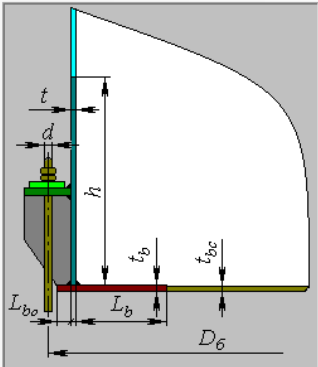
Материал креплений: SA-192 K01201 Бесшовна >>

Расчетный метод: Переменная расчетная точка

Температура монтажа, Та: 20 °C

Теплоизоляция стенки >>

Данные ветрового кольца >>



OK
Отмена
Применить

**Рис. 3.188. Стенка резервуара**

Для каждого пояса задаются высота, толщина, минусовой допуск, прибавка на коррозию и материал. Минусовой допуск и материал можно выбрать нажатием кнопки ... в соответствии с [54].

При необходимости дополнительного крепления стенки к фундаменту можно задать анкерные болты.

Параметры теплоизоляции задаются согласно п. 3.16.1.10.

При моделировании резервуара с плавающей крышей необходимо задать данные верхнего ветрового кольца (дополнительно к нему можно задать произвольное количество промежуточных колец согласно п. 3.16.10).

При расчете по API-650 можно выбрать метод расчета согласно нормативу (“Метод расчета на высоте 1 фут” – упрощенный, “Переменная расчетная точка” – более точный).

После нажатия кнопки Далее >> задаются параметры крыши резервуара.

### 3.16.45.2 Крыша резервуара

Резервуар
✕

Общие данные
Стенка
Крыша
Днище
Патрубки

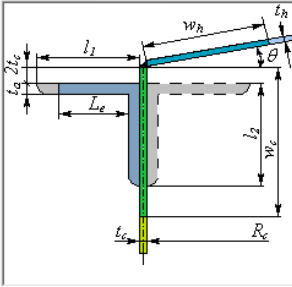
Стационарная крыша

Каркасная коническая   
  Тип a   
  Тип e   
  Тип i  
 Самонесущая коническая   
  Тип b   
  Тип f   
  Тип j  
 Самонесущая сферическая   
  Тип c   
  Тип g   
  Тип k  
 Самонесущая зонтичная   
  Тип d   
  Тип h

Материал крыши: ASTM A283M Gr.C Лист >>  
 Материал кольца: SA-516 Gr.70 Пластина >>  
 Толщина оболочки,  $t_h$ : 12,700 мм  
 Припуск на коррозию,  $\Delta t_c$ : 0 мм  
 Угол наклона образующей,  $\theta$ : 8 °

Ширина полки кольца,  $l_1$ : 300 мм  
 Толщина полки,  $t_a$ : 12 мм  
 Ширина полки кольца,  $l_2$ : 300 мм

Вес каркасной крыши (металл): 71,2 кН  
 Макс. длина дуги между стропилами,  $b$ : 2990 мм  
 К-т прочности шва сопряжения,  $E$ : 1 >>



Теплоизоляция >>
 Световой люк >>

Взрывозащищенная крыша  
 Вес каркасной крыши (металл)  
 Вручную  
 По присоединенному каркасу  
 По конструктору >>

OK
Отмена
Применить

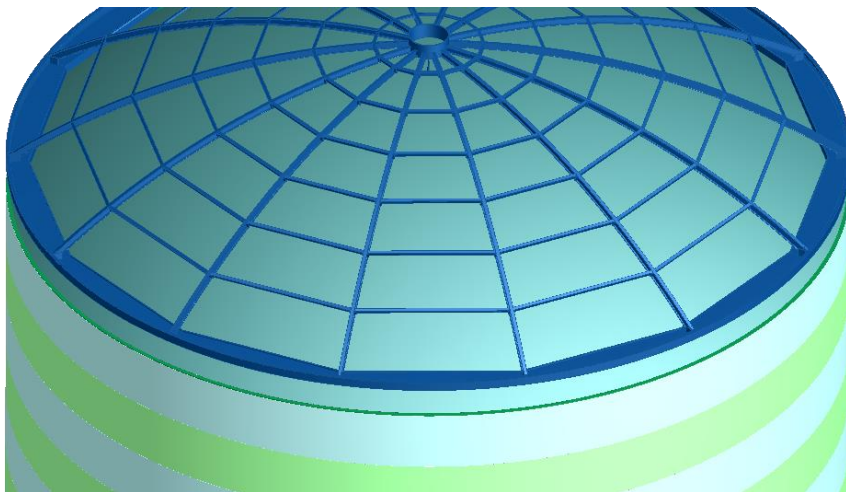
**Рис. 3.189. Крыша резервуара**

Задаются форма, материал и тип соединения со стенкой.

При расчете по API 650 доступны следующие варианты сопряжения крыши со стенкой (Рис. 3.180):



- по присоединенному каркасу (необходимо подготовить модель каркаса в сторонней САПР аналогично элементу “[Пользовательское оборудование](#)”, Рис. 3.191).
- по конструктору каркасной крыши (с помощью [редактора каркасной крыши](#)).



**Рис. 3.191. Импортированная модель каркаса крыши**

После нажатия кнопки  вводятся параметры [днища резервуара](#).

### **3.16.45.3 Конструктор каркасной крыши**

Данный инструмент позволяет создать сетку из балочных профилей заданного сечения. Созданная сетка “натягивается” на образующую крыши, весовые нагрузки от всех балочных элементов каркаса суммируются. Кроме того, инструмент позволяет создать комплексную балочно-оболочковую конечно-элементную модель резервуара и экспортировать её в файл APDL для исследования прочности и устойчивости в программе ANSYS.

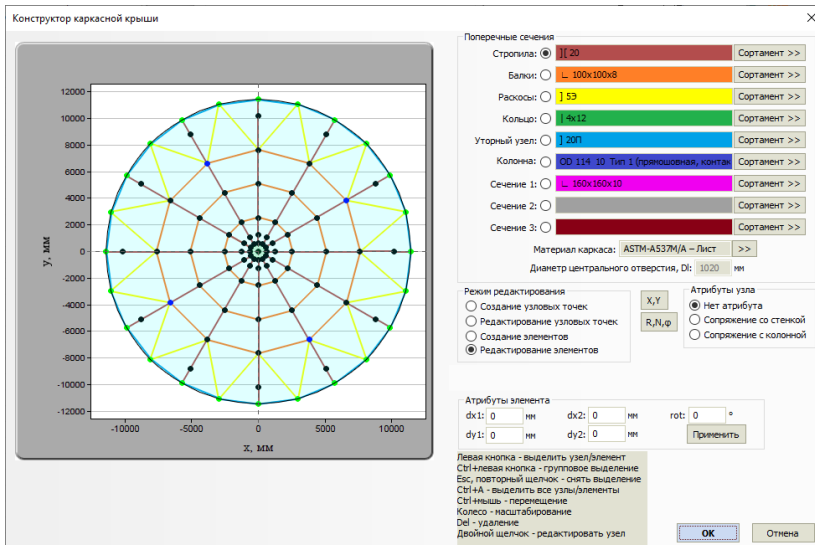
Объекты, которыми оперирует конструктор:

- Узлы (узловые точки) - обозначают места сшивки элементов каркаса между собой и с настилом крыши. По узловым точкам выполняется разбивка настила крыши на 4-угольные конечные элементы.
- Узлы сопряжения (узлы с атрибутом “Сопряжение со стенкой”). В этом случае узловая точка участвует в моделировании стенки (от круговой последовательности таких узлов “выращиваются” оболочковые 4-узловые элементы стенки вниз до фундамента). Узлы сопряжения желательно располагать равномерно и назначать их координаты как можно точнее по окружности стенки. Погрешность в

назначении узлов сопряжения может привести к значительному ухудшению точности решения.

- Узлы опирания (узлы с атрибутом “Сопряжение с колонной”). В этом случае от узловой точки “выращивается” балочный элемент до фундамента, моделирующий колонну заданного сечения.
- Свободные узлы – узлы, в которых не стыкуются балочные элементы. Такие узлы служат для управления сеткой и точностью разбивки (разбивка настила на оболочковые элементы выполняется по всем заданным узлам).
- Элемент – участок балки заданного сечения, соединяющий два произвольных узла.
- Сечение – профиль элемента, который может быть выбран из сортамента. Сечения поименованы (“Стропила”, “Балки” и т.д.), но это именование условно и не обязательно отражает функционал элемента. Исключение составляет сечение “Колонна” – узлы опирания всегда генерируют вертикальный элемент именно такого сечения.

При открытии конструктора отображается круговая выделенная область в декартовых осях, соответствующая диаметру крыши в плане, а также область центрального отверстия (если была активирована опция “Световой люк”), как на Рис. 3.192.



**Рис. 3.192. Конструктор каркаса крыши**

Последовательность создания плана каркаса:

- 1) Создать узловые точки (режим редактирования “Создание узловых точек”) – например, по декартовым координатам (X, Y), в виде кругового

массива (R, N, φ) или щелчком левой кнопки мыши (не рекомендуется, но допустимо, т.к. в этом случае координаты узла будут приняты ориентировочно).

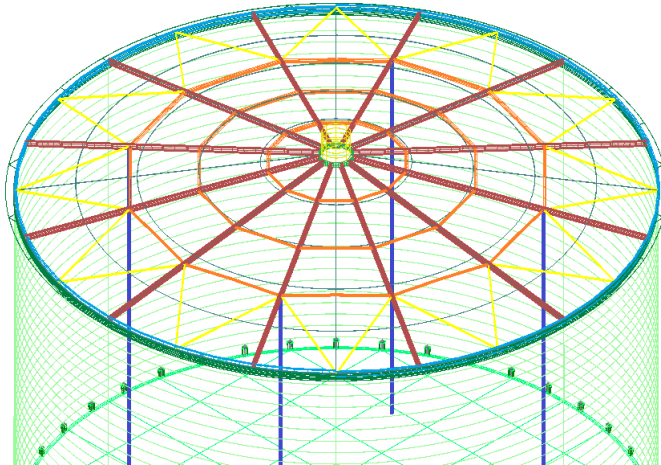
- 2) Соединить узловые точки балочными элементами (режим редактирования “Создание элементов”) – при последовательном выборе двух узлов они соединяются элементом выбранного сечения.
- 3) Назначить атрибуты узлам опирания и сопряжения.
- 4) Назначить сечения профилей.

Узлы могут быть отредактированы в любое время (в том числе после создания элементов) – в этом случае сетка элементов не разрушается. Для этого предусмотрен режим “Редактирование узловых точек”.

Атрибуты узлов могут быть также изменены в любое время (доступно групповое редактирование при помощи выделения с клавишей Ctrl).

Сечение элемента может быть изменено с помощью режима ”Редактирование элементов” (доступно групповое редактирование).

Атрибуты элементов предназначены для тонкой настройки параметров балочного элемента ( $dx$ ,  $dy$  - смещение поперечного сечения в концевой точке,  $rot$  – поворот сечения на заданный угол).



**Рис. 3.193. Модель каркаса крыши**

На основании данной информации программа автоматически генерирует конечно-элементную модель. Настил крыши и пояса стенки разбиваются на 4-узловые оболочковые элементы, каркас и элементы жесткости (кольца, уторный узел крыши) представляются балочными элементами. Оболочковые элементы в зоне центрального отверстия ( $D_1$ ) не создаются. Модель может быть нагружена и экспортирована в файл APDL (подробнее см. п. 3.18.1).

### 3.16.45.4 Днище резервуара

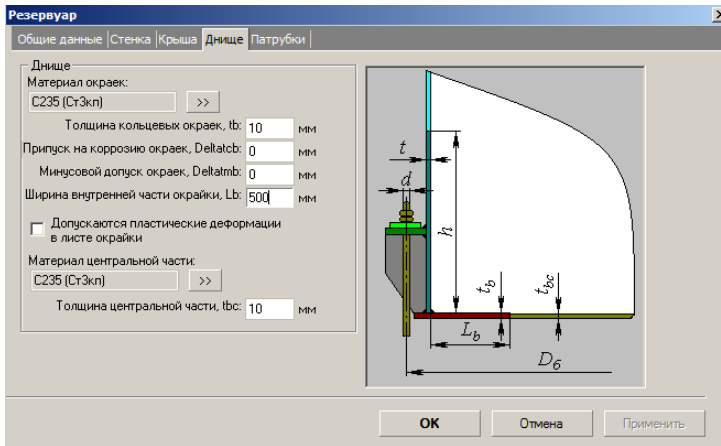


Рис. 3.194. Днище резервуара

После нажатия кнопки Далее >> вводится информация о [патрубках](#) в стенке и стационарной крыше резервуара.

## 3.16.45.5 Патрубки резервуара

Резервуар

Общие данные | Стенка | Крыша | Днище | Патрубки

Патрубки стенки

	1	2	3	
Наименование	Люк-лаз	Патрубок для зачистки	Патрубок приемо-разд	Патрубок
Условное обозначение	П4	П3	П2	
Внутренний диаметр, мм	606	147	257	
Толщина стенки, мм	12	6	8	
Тип	Проходящий с накл	Проходящий с накл	Проходящий с накл	Проход:
Угол расположения, °	90	30	180	
Смещение от края, мм	750	300	390	
Длина наружной части, мм	350	200	250	
Длина внутренней части, мм	200	125	150	
Толщина усиления, мм	6	6	6	
Ширина усиления, мм	315	79,5	136,5	

Добавить... Редактировать... Удалить выделенные...

Патрубки крыши

	1
Наименование	Люк световой
Условное обозначение	П6
Внутренний диаметр, мм	506
Толщина стенки, мм	12
Тип	Проходящий с накл
Угол расположения, °	0
Смещение от края, мм	350
Длина наружной части, мм	350
Длина внутренней части, мм	200
Толщина усиления, мм	10
Ширина усиления, мм	265

Добавить... Редактировать... Удалить выделенные...

OK Отмена Применить

Рис. 3.195. Патрубки резервуара

Для каждого списка патрубков доступны операции:

- добавление патрубка в стенку/крышу (команда “Добавить”). Если при этом какой-либо из уже созданных патрубков выделен в списке, то данные вновь созданного патрубка копируются из выделенного. Окно редактирования данных для патрубка открывается автоматически. Некоторые данные можно скорректировать прямо в списке;
- редактирование патрубка (команда “Редактировать”);
- удаление патрубков по одному или группой. Удаляются все выделенные патрубки.
- Все добавленные патрубки можно затем редактировать и удалять как обычные элементы модели.



### 3.16.46. Цилиндрическая обечайка высокого давления

Обечайка цилиндрическая высокого давления

Название элемента: Цилиндрическая обечайка

Нормативный документ: ГОСТ Р 54522-2011

Материал центральной обечайки: 20 >>

Материал слоев обечайки: 20 >>

Материал кожуха: 20 >>

Тип обечайки  
 Однослойная  
 Многослойная

Расположение слоев  
 Концентрические  
 Рулонированные

Внутренний диаметр обечайки, D: 1000 мм

Исполнительная толщина центральной обечайки, sc: 10 мм

Исполнительная толщина наружного кожуха, sk: 10 мм

Исполнительная сумм. толщина слоев между центр. обечайкой и кожухом, sc: 20 мм

Прибавка на коррозию, c1: 2 мм

Минусовой допуск, c2: 0,8 мм

Прибавка технологическая, c3: 0 мм

Длина обечайки, L: 2000 мм

Толщина листа в рулоне, sl: 10 мм

Кoeffициент прочности сварных швов, F: 1 >>

Расчётная температура, T: 120 °C

Расчётное давление (без гидростатики), p:  
 Внутреннее  Наружное 20 МПа

OK Отмена **Определение расчётных величин**

Рис. 3.196 Цилиндрическая обечайка высокого давления

Имя элемента, нормативный документ, материал, геометрия, коэффициенты прочности сварных швов задаются по аналогии с цилиндрической обечайкой (п. 3.16.2). Можно задать как однослойную, так и многослойную обечайку. При этом в случае многослойной обечайки необходимо выбрать вид расположения слоев (концентрические или рулонированные).

### 3.16.47. Эллиптическое днище высокого давления

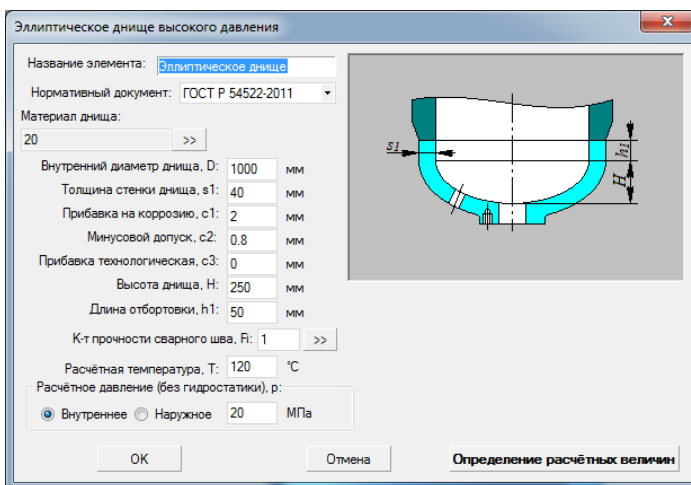


Рис. 3.197 Эллиптическое днище высокого давления

### 3.16.48. Плоское днище высокого давления

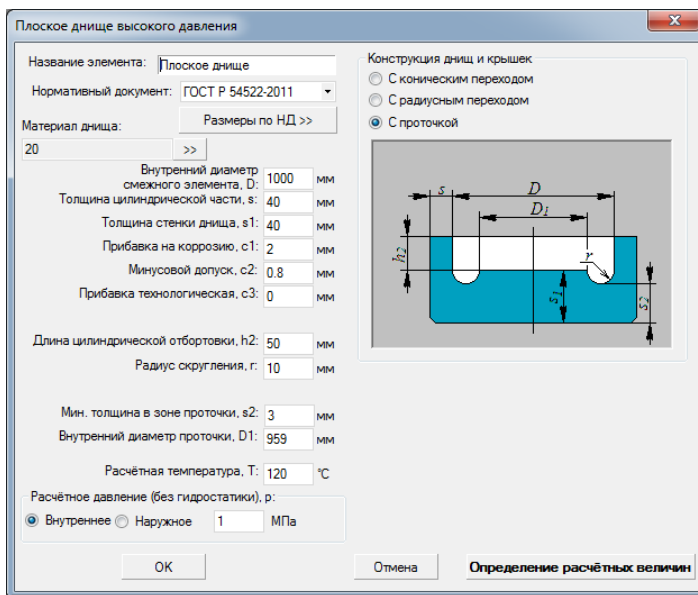


Рис. 3.198 Плоское днище высокого давления

Возможно задание трех видов конструкции плоских днищ высокого давления: с коническим и радиусным переходами, а также с проточкой.

### 3.16.49. Сферическое днище высокого давления

Сферическое неотбортованное днище высокого давления

Название элемента: **днище высокого давления №1**

Нормативный документ: **ГОСТ Р 54522-2011**

Материал днища: **20**

Внутренний диаметр смежного элемента, D: **1000** мм

Толщина стенки смежного элемента, s: **40** мм

Высота днища, H: **500** мм

Толщина стенки днища, s1: **40** мм

Прибавка на коррозию, c1: **2** мм

Минусовой допуск, c2: **0.8** мм

Прибавка технологическая, c3: **0** мм

К-т прочности сварного шва, R: **1**

Расчётная температура, T: **120** °C

Расчётное давление (без гидростатики), p:

Внутреннее  Наружное **20** МПа

OK Отмена **Определение расчётных величин**

Рис. 3.199 Сферическое днище высокого давления

### 3.16.50. Плоская крышка высокого давления

Плоская крышка высокого давления

Название элемента: **Плоская крышка**

Нормативный документ: **ГОСТ Р 54522-2011,ГОИ**

Параметры фланца

Материал: **20**

Внутренний диаметр, D: **1000** мм

Толщина цилиндрической части, s: **40** мм

Прибавка на коррозию, c1: **2** мм

Минусовой допуск, c2: **0.8** мм

Прибавка технологическая, c3: **0** мм

Наружный диаметр фланца, D2: **1200** мм

Длина цилиндрической втулки, h6: **100** мм

Высота цилиндрической части, h3: **120** мм

Угол наклона образующей, alpha: **30** °

Параметры крышки

Материал: **20**

Наружный диаметр, D4: **1200** мм

Наименьший диаметр выточки, D5: **959.5** мм

Наибольший диаметр выточки, D6: **1010** мм

Диаметр отверстия под шпильку, d6: **58** мм

Толщина центральной части, H1: **44** мм

Толщина в месте выточки, H2: **32** мм

Толщина периферийной части, H3: **40** мм

Расчётная температура, T: **120** °C

Расчётное давление (без гидростатики), p:

Внутреннее  Наружное **20** МПа

Учётывать нагрузку от температурных деформаций

Шпильки

Материал: **35**

Размеры по НД >>

Наружный диаметр, d5: **56** мм

Число шпилек, z: **6**

Диаметр окружности центров, D3: **1066** мм

Глубина отверстий под шпильки, lB: **105** мм

Диаметр стержня шпильки, d1s: **48.3** мм

Диаметр центрального отверстия, d0s: **12** мм

Внутренний диаметр резьбы, d3s: **49.252** мм

Шаг резьбы, ts: **5.5** мм

Затяжка: **Без контроля**

Уплотнение

Размеры по НД >>

Двухкошное кольцо

Треугольное кольцо

Восемьюугольное кольцо

Плоская прокладка

Высота, h1: **85** мм

Высота, h2: **42** мм

Толщина уплотнения, b: **40** мм

Угол наклона, gamma: **23** °

OK Отмена

Рис. 3.200 Плоская крышка высокого давления

### 3.16.51. Сферическая крышка высокого давления

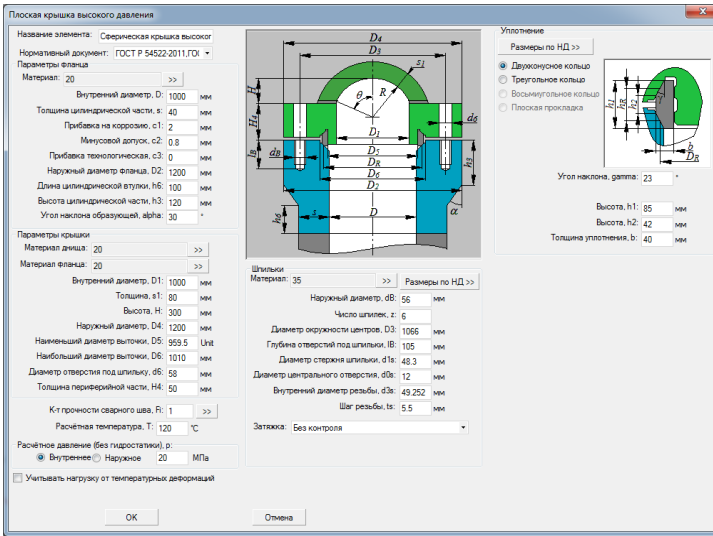


Рис. 3.201 Сферическая крышка высокого давления

### 3.16.52. Штуцер высокого давления

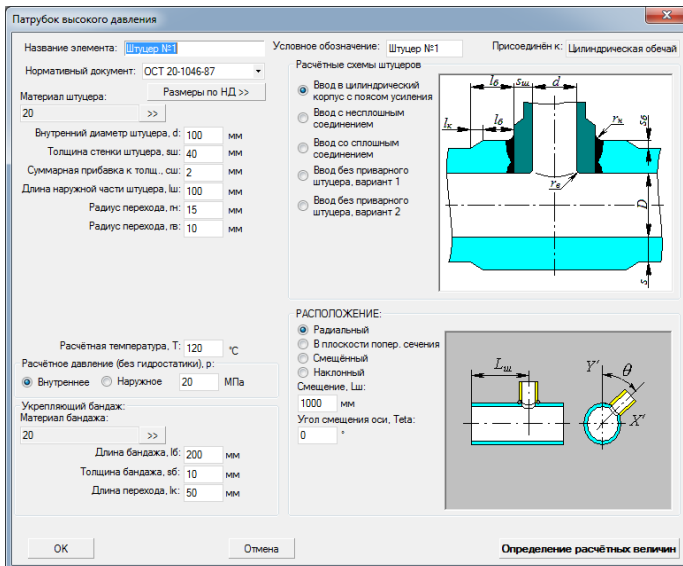


Рис. 3.202 Штуцер высокого давления

### 3.16.53. Фланцевое соединение высокого давления

Фланцевое соединение высокого давления

Название элемента: Резьбовой фланец №1      Нормативный документ: РД РТМ 26-01-44-78

Данные смежного элемента

ФЛАНЕЦ №1 (C):  
 Смежный элемент: Штуцер №1  
 Внутренний диаметр, D: 100 мм  
 Толщина стенки, s: 10 мм  
 Материал: Ст3 Прокат >>

ФЛАНЕЦ №2 (C):  
 Смежный элемент:  
 Внутренний диаметр, D: 0 мм  
 Толщина стенки, s: 0 мм  
 Материал: Ст3 Прокат >>

Первый фланец(кольцо)  
 Материал: Ст3 Прокат >>  
 Толщина тарелки, hf: 10 мм  
 Внутренний диаметр, df: 100 мм  
 Суммарная прибавка, c: 0 мм

Второй фланец(кольцо)  
 Материал: Ст3 Прокат >>  
 Толщина тарелки, hf: 10 мм  
 Внутренний диаметр, df: 1000 мм  
 Суммарная прибавка, c: 0 мм

Крепёж  
 Материал: 35 Крепёж >>  
 Наружный диаметр, d: 10 мм  
 Дополнительно >>  
 Количество, n: 6  
 Диаметр болтовой окружности, Dв: 125 мм  
 Диаметр отверстий, do: 0 мм

Прокладка  
 Материал: Ст3 Прокат >>  
 Толщина прокладки, ht: 0 мм  
 Радиус сферической поверхности, R: 0 мм  
 Расчетный диаметр уплотнения, Dп: 0 мм  
 Наружный диаметр фланцев, Dф: 110 мм  
 Расстояние между тарелками, hd: 0 мм

Расчётные температуры:  Вручную  Авто  
 Температура монтажа, Tн: 20 °C  
 Изоляция и футеровка >>

Тип лезвы  
 Жесткая  
 Компенсировочная

Случай нагружения	Давление p, МПа	Фланец 1 Tф1, °C	Фланец 2 Tф2, °C	Крепёж Tб, °C	Вставка Tр, °C
Рабочие условия	0	0	0	0	0

Далее >>      Отмена

Рис.

### 3.203 Фланцевое соединение высокого давления

Данный элемент может быть присоединен к обечайке или штуцеру высокого давления.

### 3.16.54. Колено высокого давления

Криволинейный элемент высокого давления

Название элемента:

Нормативный документ:

Материал:  >>

Внутренний диаметр отвода,  $d$ :  мм

Толщина стенки,  $s$ :  мм

Толщина стенки,  $s_1$ :  мм

Толщина стенки,  $s_2$ :  мм

Прибавка на коррозию,  $c_1$ :  мм

Минусовой допуск,  $c_2$ :  мм

Радиус отвода,  $R_g$ :  мм

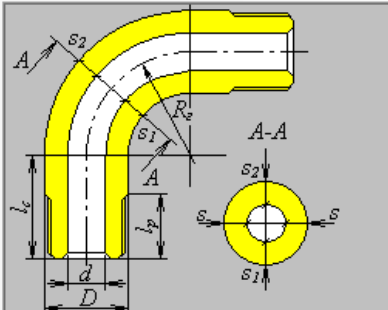
Длина хвостовика,  $l_c$ :  мм

Длина резьбы,  $l_r$ :  мм

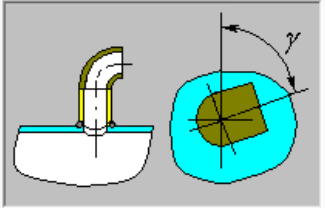
Угол,  $\gamma$ :  °

Уголгиба:  °

Случай нагружения	Давление $p$ , МПа	Температура $T$ , °C
Рабочие условия	0	20
Наружное	0	20



Расположение отвода



Изоляция и футеровка >>

ОК

Отмена

**Определение расчётных величин**

Рис. 3.204 Колено высокого давления

Данный элемент используется для моделирования обвязки сосудов высокого давления.

### 3.16.55. Смотровое окно на бобышке

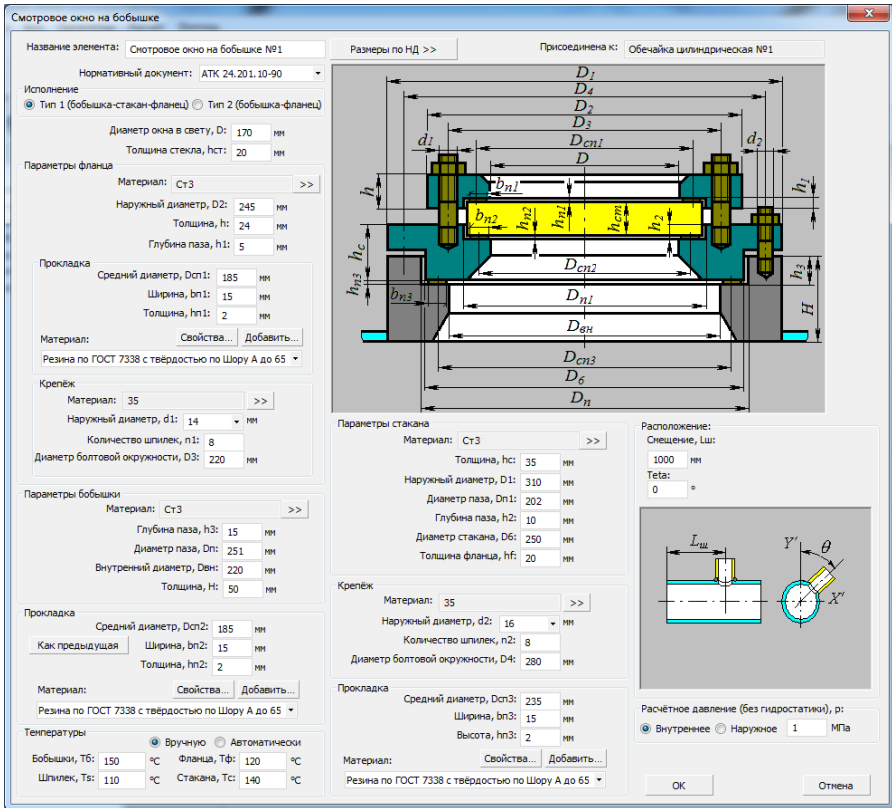


Рис. 3.205 Смотровое окно на бобышке

Данный компонент может быть присоединен к цилиндрической обечайке или эллиптическому днищу. Возможные варианты конструкции:

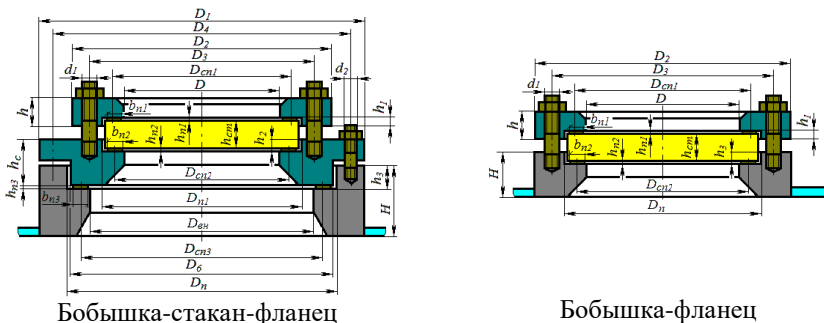
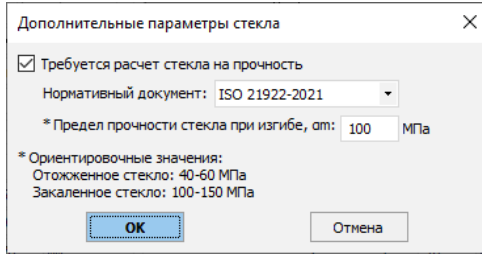


Рис. 3.206 Варианты исполнения смотрового окна

Задание свойств прокладки, температур, параметров крепежа производится аналогично фланцевому соединению (допускается применение только мягких прокладок).

Задание положения окна на несущем элементе производится аналогично штуцеру.

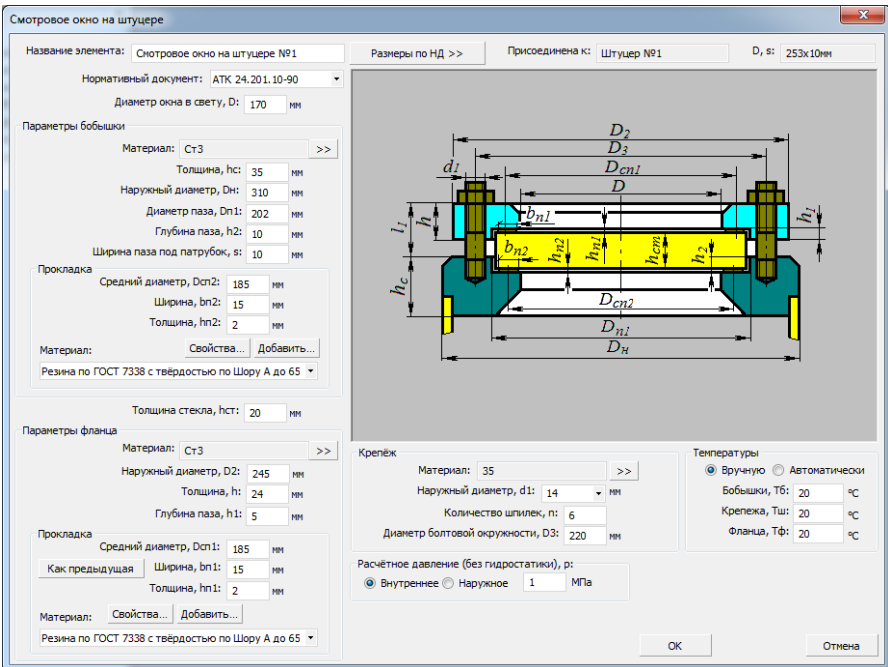
Кнопка **Размеры по НД >>** позволяет подобрать стандартные варианты компонента из базы данных.



**Рис. 3.207** Дополнительные параметры стекла

При помощи кнопки **>>** возможно задание дополнительных параметров стекла для расчета на прочность (Рис. 3.207).

### 3.16.56. Смотровое окно на патрубке





### Рис. 3.208 Смотровое окно на патрубке

Данный компонент ведет себя в конструкции аналогично днищу. Задание свойств производится аналогично окну на бобышке.

#### 3.16.57. Фланцевая бобышка

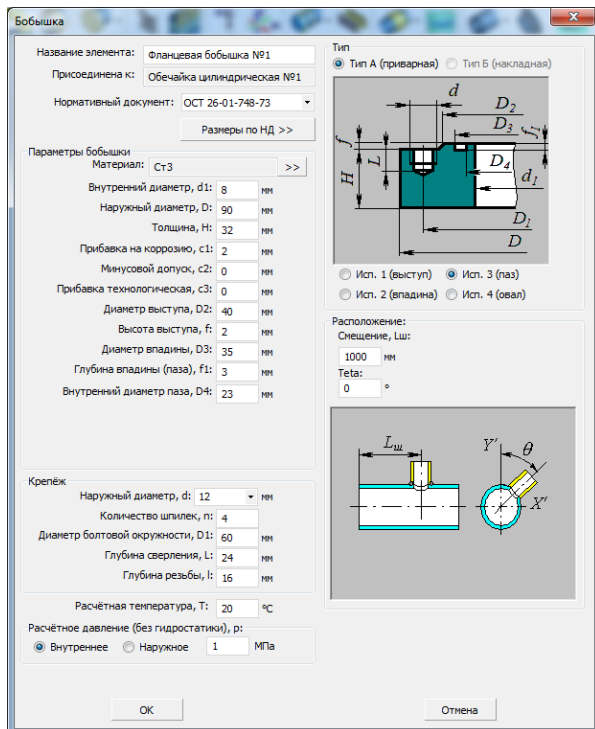
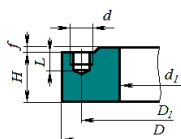
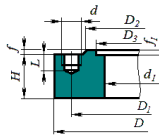


Рис. 3.209 Фланцевая бобышка

Данный компонент может быть присоединен к цилиндрической обечайке или эллиптическому днищу. Возможные варианты конструкции:



С выступом



С впадиной

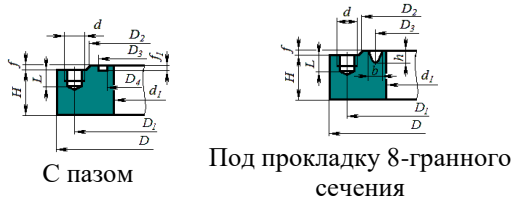


Рис. 3.210 Варианты исполнения фланцевой бобышки

**3.16.58. Сборка аппарата**

Данный элемент позволяет создать модель, имеющую в составе два и более аппаратов (Рис. 3.211).

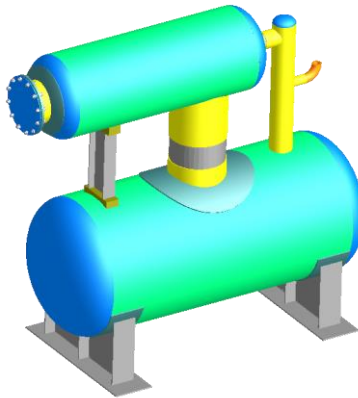
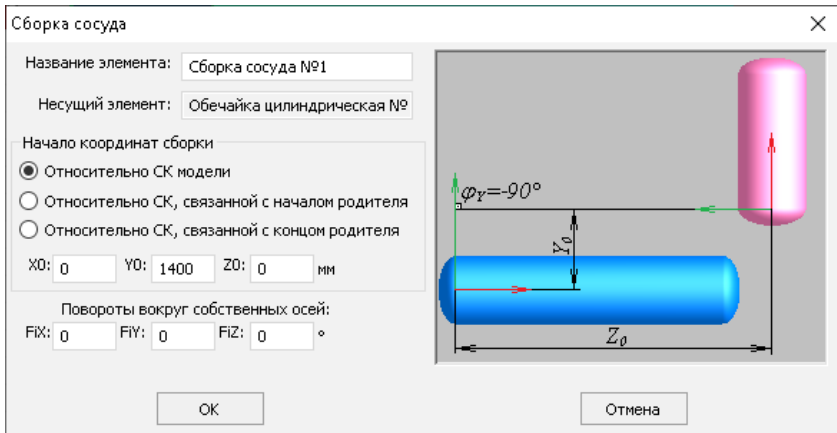


Рис. 3.211 Двухуровневая емкость

Сборка представляет собой систему координат, привязанную к какому-либо элементу, смещенная и повернутая относительно исходной системы координат (мировой или родительского элемента).



### Рис. 3.212 Сборка аппарата

Новая система координат смещается относительно старой на  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$ , а затем поворачивается вокруг своих собственных осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  последовательно на  $\varphi_x$ ,  $\varphi_y$  и  $\varphi_z$ . К сборке присоединяются дочерние элементы аппарата, повернутые заданным образом. Для замыкания силовой схемы установки сборку необходимо применять совместно с элементом “[Жесткая связь](#)”.

#### 3.16.59. Жесткая связь

Компонент позволяет жестко связать на уровне балочной конечно-элементной модели две концевые точки аппарата, визуальное сформировав прямолинейный участок заданного сечения.

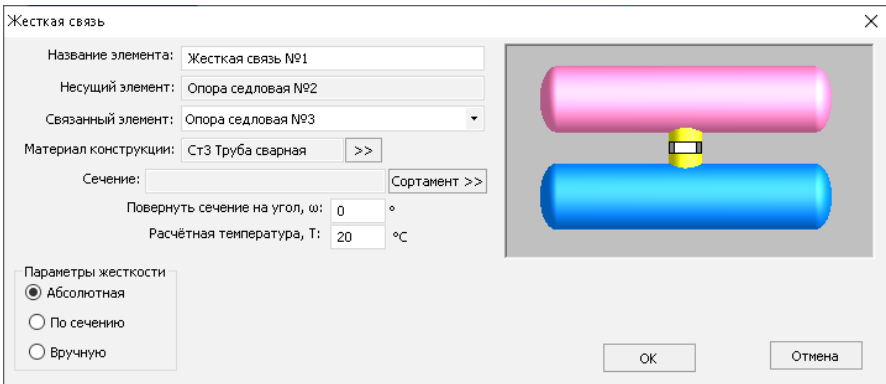


Рис. 3.213 Жесткая связь

Компонент присоединяется к концевому участку [обечайки](#), [штуцера](#), к [площадке присоединения](#), к [седловой опоре](#).

Другой концевой участок необходимо выбрать из списка доступных связанных элементов.

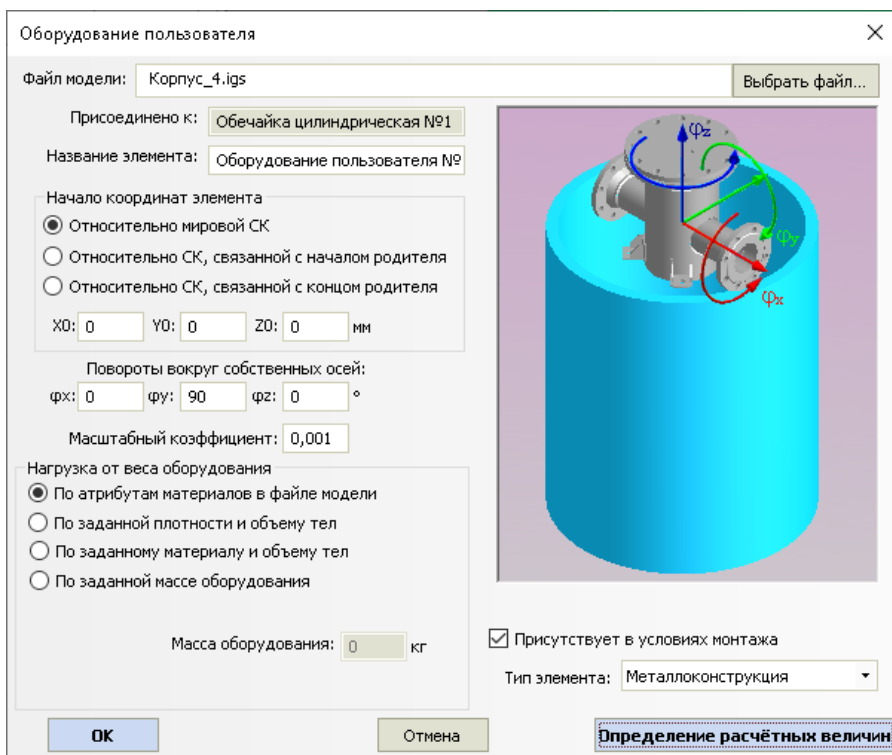
Вес материала для данного элемента учитывается по заданному сечению и прикладывается как распределенная весовая нагрузка. Визуально связь отображается с заданным сечением (если оно указано), а ее жесткость задается опцией “Параметры жесткости”:

- Абсолютная – формируется абсолютно жесткая связь;
- По сечению – параметры жесткости рассчитываются для балочного элемента заданного сечения и длины;
- Вручную – компоненты жесткости необходимо ввести.

#### 3.16.60. Пользовательское оборудование

Компонент позволяет добавить в модель произвольное оборудование, созданное в сторонней САПР. Это могут быть внутренние технологические элементы, ме-

таллоконструкции, внешние узлы и т.д. Оборудование будет визуализировано в контексте модели, а также учтено при формировании таблицы материалов и при расчете нагрузок как сосредоточенная масса, жестко связанная с выбранным родительским элементом.



**Рис. 3.214 Пользовательское оборудование**

Для загрузки оборудования необходимо подготовить файл с его моделью в одном из популярных [форматов обмена данными](#) и указать его в строке “Файл модели”. После загрузки элементы сборки хранятся в модели сосуда (синхронизация с файлом обмена не поддерживается).

Опции “Начало координат элемента”, “Повороты вокруг собственных осей” позволяют разместить оборудование в произвольной точке модели. Параметр “Масштабный коэффициент” позволяет управлять масштабированием пользовательской модели, если единицы измерения сторонней САПР отличаются от принятых в программе.

Опция “Нагрузка от веса оборудования” позволяет задать метод, по которому будет вычисляться весовая нагрузка:

- “По атрибутам материалов в файле модели” – если у деталей сборки задан атрибут плотности материала, объем каждой детали умножается на плотность;
- “По заданной плотности и объему тел” – значение плотности материала задается пользователем, объем каждой детали умножается на плотность;
- “По заданному материалу и объему тел” – материал элементов оборудования и его плотность выбирается пользователем из базы данных, объем каждой детали умножается на плотность;
- “По заданной массе оборудования” – масса оборудования задается пользователем.

Опция “Тип элемента” (Оборудование/Металлоконструкция) необходима для совместимости с модулем “Пассат-Резервуары”:

- Нагрузки от веса оборудования и металлоконструкций рассчитываются по-разному;
- Металлоконструкции, присоединенные к стационарной каркасной крыше, идентифицируются как элементы каркаса.

### **3.16.61. Элемент некруглого сечения**

Данный компонент предназначен для моделирования и расчета конструкций прямоугольного и овального сечения.

**Некруглый элемент**

Название элемента: Некруглый элемент №01

Нормативный документ: ASME VIII div.1

Материал корпуса: Ст3 Лист >>

Тип элемента  
 13.2(a)(1)  13.2(a)(5)  13.2(a)(9)  13.2(b)(3)  
 13.2(a)(2)  13.2(a)(6)  13.2(a)(10)  13.2(c)  
 13.2(a)(3)  13.2(a)(7)  13.2(b)(1)   
 13.2(a)(4)  13.2(a)(8)  13.2(b)(2)

Тип укрепления  
 Частичное  По контуру  Прямоугольная рамка

Сечение >>

Толщина листов короткой стороны сосуда,  $t_1$ : 10 мм  
 Прибавка на коррозию,  $c_1$ : 0 мм  
 Минусовой допуск,  $c_2$ : 0 мм >>

Толщина листов длинной стороны сосуда,  $t_2$ : 10 мм  
 Расстояние от середины листа до шва,  $d_f$ : 0 мм  
 Расстояние от середины листа до шва,  $d_f$ : 0 мм  
 Внутренний радиус,  $R$ : 500 мм  
 Размер прямоугольного сосуда,  $L_3$ : 1000 мм  
 Размер прямоугольного сосуда,  $L_4$ : 1000 мм  
 Длина сосуда,  $L_v$ : 6000 мм  
 Шаг расположения,  $p$ : 500 мм  
 К-т прочности продольного шва,  $E$ : 1

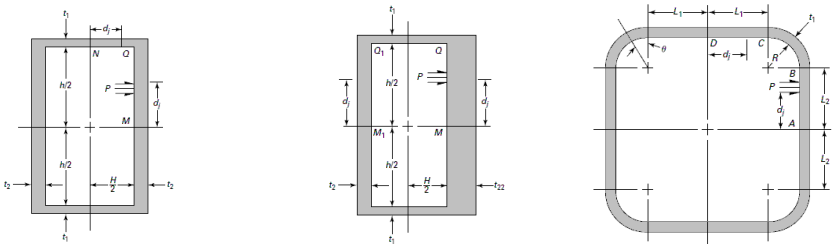
Случай нагружения	Давление $p$ , МПа	Температура $T$ , °C
Рабочие условия	1	20

OK Отмена

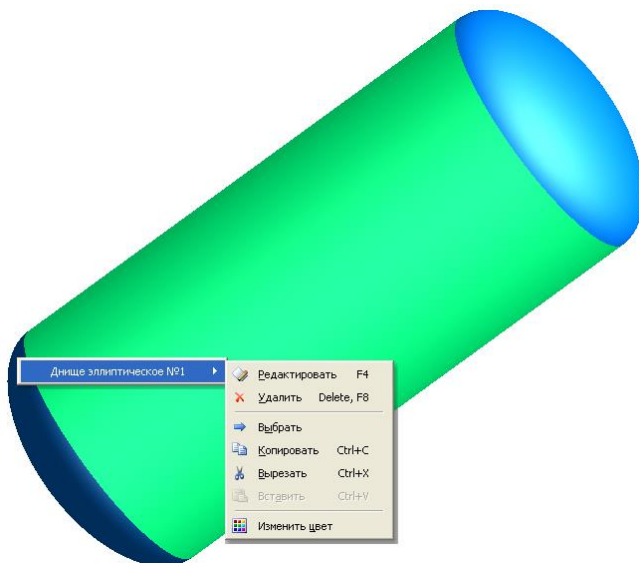
**Рис. 3.215 Некруглый элемент**

Доступные варианты исполнения элемента определяются нормативным документом (Рис. 3.216).

Некоторые конфигурации элемента могут быть усилены рёбрами жесткости (задаются кнопкой “Сечение” аналогично [кольцам жесткости](#) цилиндрических обечайек).





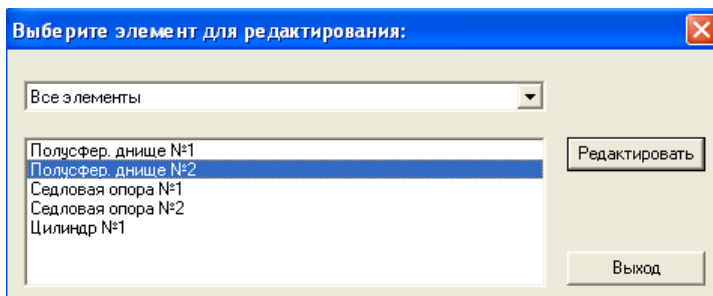


**Рис. 3.217 Редактирование данных элемента**

Однократным нажатием левой кнопки перейти к редактированию или удалению выбранного элемента. При изменении геометрических параметров или условий нагружения в элементе после подтверждения произойдет автоматическое изменение в смежных элементах всей модели.

Перед удалением элемента программа запросит подтверждение действию. Кроме того, если указанный элемент содержит другие «дочерние» элементы (опоры, штуцера, фланцы и пр.), то перед их удалением программа также выдаст соответствующее сообщение.

Процедуры редактирования и удаления элементов можно также произвести с помощью клавиш «F4» и «F8» соответственно и последующего выбора из таблицы существующих элементов.



**Рис. 3.218 Выбор элемента для редактирования**



Элемент можно выбрать одним щелчком левой кнопки мыши или командой «Выбрать» контекстного меню (выбранный элемент подсвечивается другим цветом). Выбранный элемент можно редактировать двойным щелчком или нажатием клавиши “F4”, удалить нажатием клавиши “Delete” или “F8”, а также копировать/вставить. При вставке скопированный элемент присоединяется к подсвеченному, если таковой имеется. Если не выделен ни один элемент, вызывается стандартный диалог со списком всех элементов, доступных для присоединения.

### 3.17.1. Групповое редактирование данных

Если возникает необходимость поменять некоторые параметры (расчетные температуры, прибавки на коррозию) сразу у нескольких элементов модели, это удобно сделать при помощи команды «Групповое редактирование данных».

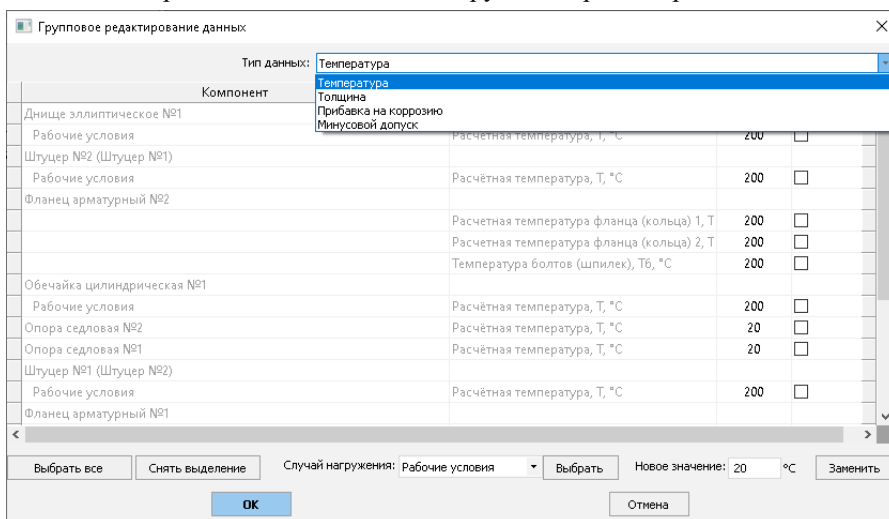
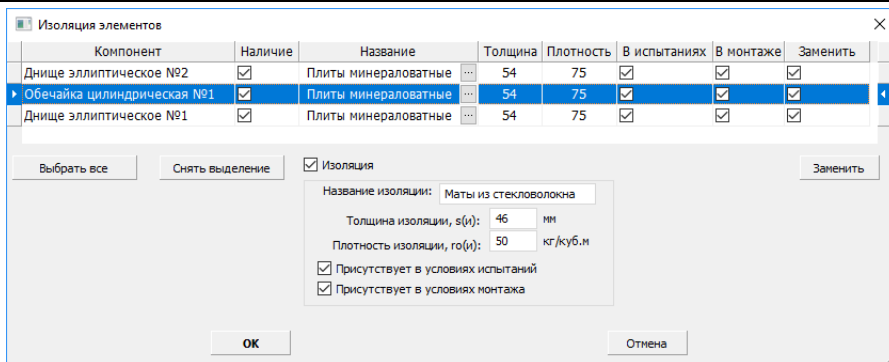


Рис. 3.219 Групповое редактирование данных

В появившемся окне можно напрямую редактировать доступные ячейки с данными, а также отметить галочкой сразу группу ячеек (кнопки “Выбрать все” и “Снять выделение” отмечают/сбрасывают сразу все галочки в списке). Затем можно ввести внизу новое значение параметра и нажать кнопку “Заменить”. В примере, приведенном на Рис. 3.219, все температуры в модели, кроме температур седловых опор, заменятся с 200°C на 250°C.

### 3.17.2. Задание изоляции списком

Команда “Изоляция списком” позволяет задать и изменить параметры теплоизоляции у нескольких элементов модели.










**Рис. 3.220 Редактирование изоляции списком**

В появившемся окне можно напрямую редактировать доступные ячейки, а также отметить галочкой сразу группу ячеек (кнопки “Выбрать все” и “Снять выделение” отмечают/сбрасывают сразу все галочки в списке). Затем можно ввести параметры образца изоляции и нажать кнопку “Заменить”. В примере, приведенном на Рис. 3.220, после нажатия кнопки “Заменить” теплоизоляция на всех элементах будет изменена с минераловатных плит на маты из стекловолокна.

### 3.18. Экспорт и импорт данных

Программа имеет несколько функций обмена данными с другими системами. Они реализованы с помощью сохранения данных в файлах различного формата. В настоящее время в программе доступны следующие способы экспорта /импорта:

Формат	Описание
 <b>Экспорт в XML</b> <b>Импорт из XML</b>	Экспорт/импорт в открытый формат XML. Информация открытого формата представляет собой объектную модель программы и достаточна для задания/получения всех необходимых параметров модели для расчета сосудов и аппаратов на прочность. Подробнее см. Приложение “Пассат XML”
 <b>Импорт из MechanICS XML</b>	
 <b>Экспорт в Штуцер МКЭ</b>	При экспорте в программу “Штуцер МКЭ” модель сохраняется полностью в формат XML, при этом целевой элемент помечается специальным тегом, что позволяет программе “Штуцер МКЭ” корректно интерпретировать его. Необходимо указать папку, в которую будут помещены экспортируемые файлы. Имена файлов совпадают с названиями штуцеров. Пользователь имеет возможность указать, какие из элементов следует экспортировать, или выбрать от-

	<p>дельный элемент с помощью контекстного меню правой кнопки мыши (это может быть штуцер, конический переход и т.д.).</p>
 <p><b>Экспорт в файл ПАССАТ другого типа</b></p>	<p>При сохранении можно изменить тип файла, например, вертикальную модель или аппарат колонного типа сохранить как горизонтальную для расчета испытаний в горизонтальном положении на седловых опорах. В новом типе модели не все элементы могут быть сохранены, о чем выдается сообщение.</p>
 <p><b>Экспорт в IGES Экспорт в STEP Экспорт в ACIS Экспорт в Parasolid</b></p>	<p>Создается файл выбранного формата, содержащий геометрические параметры твердотельной модели аппарата и атрибуты цветов объектов. Если был включен режим упрощенного перестроения , модель дополнительно перестраивается в точном режиме, что может потребовать дополнительного времени. Полученные файлы можно открывать и использовать для создания чертежей видов и разрезов аппарата в популярных системах трёхмерного проектирования и расчета (SolidWorks, Компас-3D, ANSYS и т.д.)</p>
 <p><b>Экспорт в Ansys (APDL)</b></p>	<p>Команда доступна для модели вертикального резервуара (модуль Пассат-Резервуары). Создается конечнo-элементная модель конструкции, к которой прикладываются нагрузки на основании выбранного норматива (СТО-СА-03-002, ГОСТ 31385, API 650). Модель экспортируется в командный файл APDL, который может быть открыт в программе Ansys для исследования прочности и устойчивости конструкции при заданном режиме нагружения. Подробнее см. п. 3.18.1</p>

При запуске с параметрами командной строки **passat.exe Имя\_Файла /savexml** программа выполняет сохранение открываемого файла в формате XML в silent-режиме и завершается.

### 3.18.1. Экспорт модели резервуара (РВС) в программу Ansys

После создания модели РВС её можно экспортировать в командный файл программы Ansys (формат APDL) с закреплением и приложенными нагрузками, согласно выбранному нормативу (Рис. 3.223, Рис. 3.224).

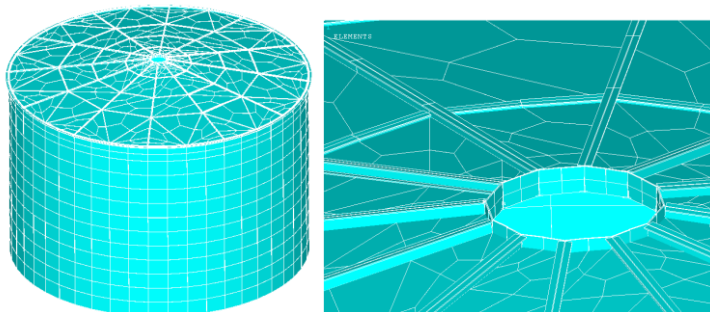


Рис. 3.221 Отображение элементов экспортированной модели

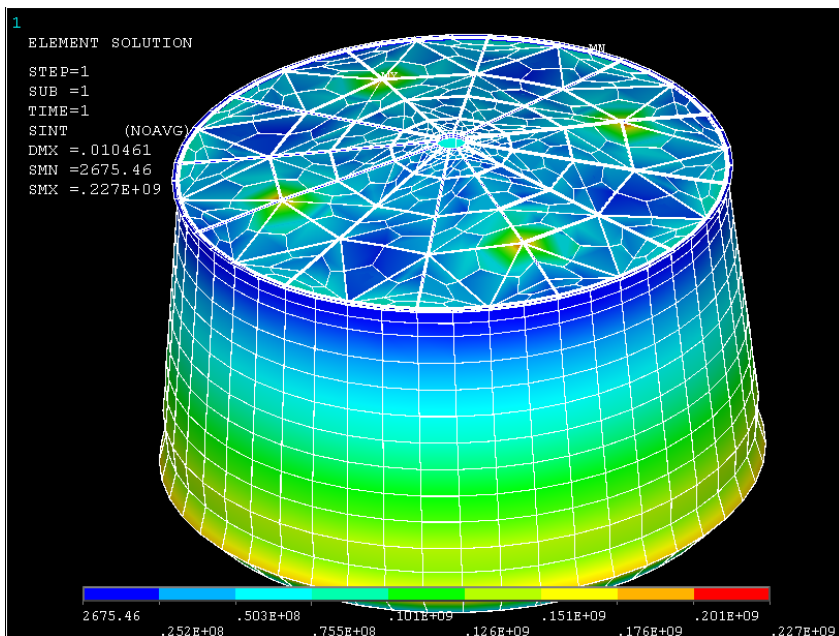
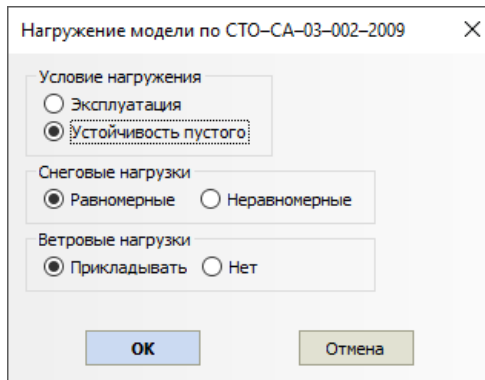


Рис. 3.222 Пример решения экспортированной модели в Ansys (нагружение гидростатическим давлением, деформированный вид, интенсивность напряжений)

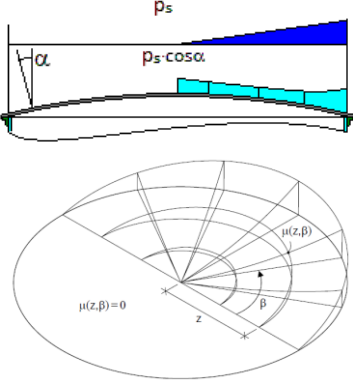
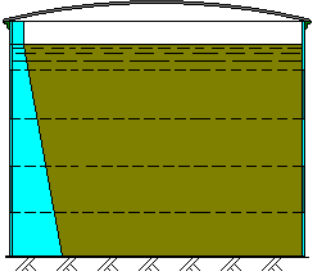
### 3.18.1.1 Нагружение модели по СТО-СА-02-003, ГОСТ 31385-2016

При выборе в общих данных опции “Расчет резервуара по СТО-СА-02-003, ГОСТ 31385-2016”, нагружение модели производится согласно настройкам Рис. 3.223.



**Рис. 3.223 Нагружение модели резервуара согласно СТО-СА-02-003, ГОСТ 31385-2016**

Название опции	Описание	Примечание
Ветровые нагрузки	Ветровые нагрузки, если указаны, прикладываются на крышу (ветровой отсос как постоянное внутреннее давление $0.9 \cdot p_w \cdot C_{e2}$ согласно [35]) и на стенку (переменная эпюра давления по высоте и в плане $0.9 \cdot k \cdot p_w \cdot C_{e1}$ согласно [35])	
Снеговые нагрузки: равномерные	Весовая нагрузка от снега прикладывается вертикально вниз, с учетом наклона нормали к поверхности крыши: $p_s = 0.9 \cdot p_{s0}$	

<p>Снеговые нагрузки: неравномерные</p>	<p>Весовая нагрузка от снега прикладывается вертикально вниз, с учетом наклона нормали к поверхности крыши и коэффициента неравномерности по [54]: <math>p_s = 0.9 \cdot \mu \cdot p_{s0}</math></p>	
<p>Эксплуатация</p>	<p>Нагружение весовыми нагрузками, внутренним давлением паров и гидростатическим давлением продукта: <math>p = \rho \cdot g \cdot (H-x) + 1.2 \cdot p_i</math> Ветровые нагрузки прикладываются автоматически (если есть). Вес металла принимается в корродированном состоянии. Вес присоединенных металлоконструкций и оборудования прикладывается с коэффициентом 0.95. Оборудование и металлоконструкции, установленные на стенке, прикладываются как распределенная по окружности весовая нагрузка.</p>	
<p>Устойчивость пустого</p>	<p>Наружное давление на стенку: <math>p = 0.95 \cdot 1.2 \cdot p_v</math> Наружное давление на крышу: <math>p = 0.95 \cdot 1.2 \cdot p_v +</math></p>	

	$0.95 \cdot (1.05 \cdot G_{r0} + 1.3 \cdot G_{ri}) / (\pi \cdot r^2)$ , где $G_{ri}$ – вес изоляции крыши, $G_{r0}$ – вес оборудования крыши Снеговые и ветровые нагрузки прикладываются опционально.	
--	--	--

### 3.18.1.2 Нагружение модели по API-650

При выборе в общих данных опции “Расчет резервуара по API-650”, нагружение модели производится согласно настройкам Рис. 3.224.

Минимальная расчетная нагрузка на крышу  $L_r=1.0$  кПа рассматривается как постоянная в плане вертикальная нагрузка, к элементам крыши она прикладывается с учетом направления нормали к поверхности в рассматриваемой точке ( $L_r \cdot \cos\alpha$ ).

Равномерная снеговая нагрузка  $S_b=0.84 \cdot S$ , неравномерная зависит от наклона крыши:  $S_u=\{S_b \text{ при } \theta \leq 10^\circ; 1.5 \cdot S_b \text{ при } \theta > 10^\circ\}$ , распределяется на сектор крыши  $135^\circ$  в плане.

Расчетное ветровое давление на обечайку  $P_{WS}=0.89 \cdot (V/190)^2$ , прикладывается как горизонтальная нагрузка с наветренной стороны, с учетом направления нормали:  $F_x=P_{WS} \cdot A_1 \cdot \cos\alpha$ , где  $A_1$  – площадь рассматриваемого элемента стенки.

Расчетное ветровое подъемное давление на крышу  $P_{WR}=1.48 \cdot (V/190)^2$ , прикладывается как внутреннее давление к элементам крыши (нормально к поверхности в рассматриваемой точке).

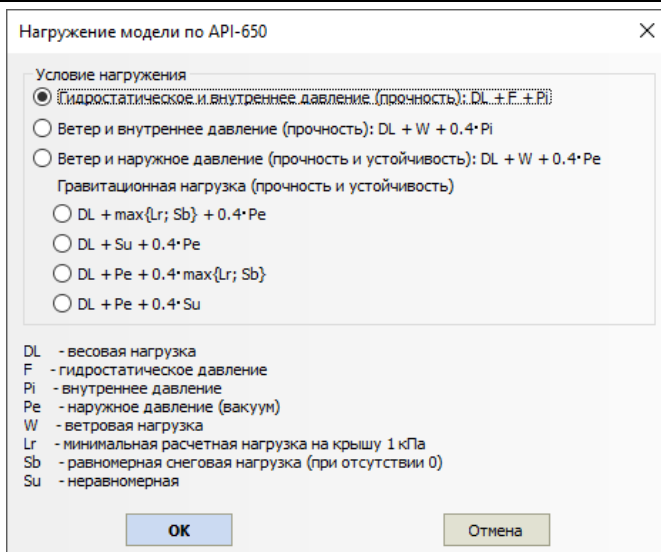


Рис. 3.224 Нагружение модели резервуара согласно API-650

### 3.19. Расчет элементов сосудов и вывод результатов

После создания модели, задания свойств используемых материалов и условий нагружения для проведения расчетов необходимо нажать на кнопку «**Расчет сосуда F3**» (или пиктограмму ).

Если геометрия и расположение элементов сосуда не выходят за рамки условий применения, выдается подробный отчет с результатами расчета прочности каждого элемента в отдельности с заключениями о работоспособности.



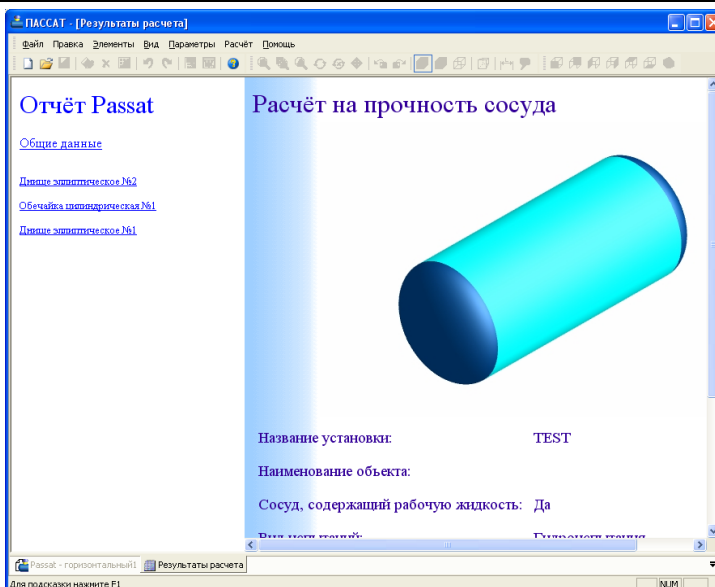



Рис. 3.225 Окно отчета

### 3.20. Создание отчетов в формате RTF

Программа позволяет сформировать отчеты, содержащие ход расчета, в файле формата RTF. Отчет в формате RTF удобен тем, что может иметь произвольный вид, определяемый пользователем при помощи шаблона, а также возможностью редактировать готовый отчет в текстовом редакторе, например – Microsoft Word.

Отчет создается при помощи команды  (Ctrl+W). Параметры отчета настраиваются в открывшемся окне (Рис. 3.226).

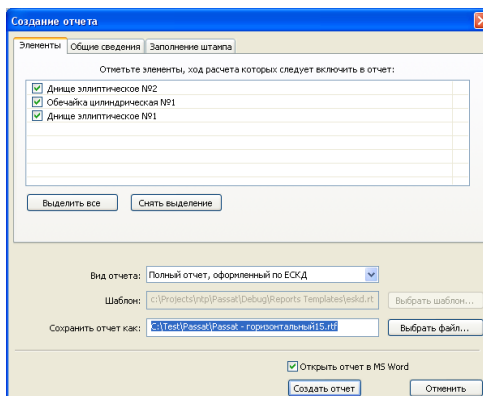


Рис. 3.226 Создание отчета RTF

Параметры отчета:

<b>Вид отчета</b>	<p><i>Полный отчет, оформленный по ЕСКД</i> – отчет с ходом расчета, включающий рамки и штампы в соответствии с ЕСКД.</p> <p><i>Краткий отчет, оформленный по ЕСКД</i> – отчет с исходными данными и результатами расчета, включающий рамки и штампы в соответствии с ЕСКД. Включает только критерии, по которым делается вывод о работоспособности сосуда, и вычисления величин, которые в них входят.</p> <p><i>Полный отчет в свободном формате</i> – отчет, содержащий только ход расчета. Вид отчета аналогичен отчету в формате HTML, выводимому после расчета.</p> <p><i>На основе пользовательского шаблона</i> – вид отчета определяется шаблоном, указанным пользователем.</p>
<b>Шаблон</b>	Позволяет указать имя файла шаблона, на основе которого создается отчет.
<b>Сохранить отчет как</b>	Позволяет указать имя файла, под которым будет сохранен отчет.
<b>Открыть отчет в MS Word</b>	Если включено, после формирования отчета, программа открывает его в программе MS Word (для использования этой возможности на ПК должен быть установлен MS Word версии 2000 и выше)
<b>Создать отчет</b>	Начать формирование отчета
<b>Отменить</b>	Закреть окно без формирования отчета
<b>Вкладка «Элементы»</b>	Позволяет отметить элементы модели, информация о ходе расчета которых должна быть включена в отчет
<b>Вкладка «Общие сведения» (Рис. 3.227)</b>	Позволяет задать названия объекта, установки, номер расчета и др. значения, которые могут быть выведены в отчет. См. п. 3.20.1
<b>Вкладка «Заполнение штампа» (Рис. 3.227)</b>	Позволяет задать значения, выводимые в штамп отчета, оформленного по ЕСКД (или пользовательского отчета, использующего аналогичный шаблон)

Рис. 3.227 Заполнение штампа

### 3.20.1. Создание шаблона

Шаблон для создания отчета выступает обычный файл в формате RTF, подготовленный в любом текстовом редакторе, поддерживающим этот формат, например, Microsoft Word. Шаблон может содержать любые элементы и любое форматирование, которые будут перенесены в отчет. Для вывода информации в отчет программа использует переменные, определенные в шаблоне, подставляя на их место реальные значения. Имена переменных заключаются в символы решетки '#'. Две

переменных, идущих подряд, должны отделяться пробелом. Если необходимо разместить символ решетки (вне определения переменной), используется последовательность из двух идущих подряд решеток: «##».

Для управления выводом переменной могут использоваться параметры. Параметры задаются внутри переменной через запятую, отделяясь от имени переменной двоеточием; параметры могут иметь значения, задаваемые через знак равенства:


#ИМЯ\_ПЕРЕМЕННОЙ:ПАРАМЕТР[=ЗНАЧЕНИЕ],ПАРАМЕТР[=ЗНАЧЕНИЕ]...#.

### 3.20.2. Использование переменных

В настоящее время в шаблонах можно использовать следующие переменные:

Имя переменной	Описание	Где вводится значение
#OBJECT#	наименование объекта проектирования	вкладка «Общие сведения»
#PLANT#	наименование рассчитываемой установки	вкладка «Общие сведения»
#NCALC#	номер расчета	вкладка «Общие сведения»
#NORDER#	номер заказа	вкладка «Общие сведения»
#ORDER#	наименование заказа	вкладка «Общие сведения»
#ORGANIZATION#	наименование организации	вкладка «Общие сведения», вкладка «Заполнение штампа»
#CITY#	город организации	вкладка «Общие сведения»
#TITLE1# – #TITLE5#	наименование должностей в штампе, нумерация сверху вниз	вкладка «Заполнение штампа»
#NAME1# – #NAME5#	фамилии в штампе, нумерация сверху вниз	вкладка «Заполнение штампа»
#APPTITLE#	название и версия программы	устанавливается программой автоматически
#PROGRESS#	ход расчета элемента аппарата	устанавливается программой автоматически в границах действия цикла <b>#&lt;ELEMENT#</b>
#IMG#	рисунок с изображением аппарата	устанавливается программой автоматически по заданным параметрам
#CALCDATE#	дата и время расчета	устанавливается программой автоматически по текущему времени расчета
#COMPLEX#	Определяет, является ли текущий параметр составным (содержащим другие параметры). Составным, например, является материал элемента.	устанавливается программой автоматически в границах действия цикла <b>#&lt;PARAMETERS#</b> , принимает значения «TRUE» (истина) и «FALSE» (ложь)
#CALC#	Определяет, является	устанавливается програм-

	ли параметр промежуточным расчетным значением	мой автоматически в границах действия цикла <b>#&lt;PARAMETERS#</b> , принимает значения «TRUE» и «FALSE»
<b>#NAME#</b>	Имя параметра	устанавливается программой автоматически в границах действия цикла <b>#&lt;PARAMETERS#</b>
<b>#DIM#</b>	Размерность параметра (если применимо)	устанавливается программой автоматически в границах действия цикла <b>#&lt;PARAMETERS#</b>
<b>#SYMB#</b>	Обозначение параметра (если применимо)	устанавливается программой автоматически в границах действия цикла <b>#&lt;PARAMETERS#</b>
<b>#VAL#</b>	Значение параметра	устанавливается программой автоматически в границах действия цикла <b>#&lt;PARAMETERS#</b>
<b>#RESULT#</b>	Результат расчета элемента (удовлетворяет или нет нормативным параметрам)	устанавливается программой автоматически в границах действия цикла <b>#&lt;MODEL_ELEMENT#</b> , принимает значения «SUCCESS» (успех) и «FAIL» (неудача)
<b>#COLUMN#</b>	Определяет, является ли модель аппаратом колонного типа	
<b>#SEISMIC_CALC#</b>	Определяет, учитываются ли сейсмические нагрузки в колонном аппарате	устанавливается программой автоматически по заданным параметрам
<b>#SEISMIC_LEVEL#</b>	Текстовое обозначение сейсмичности района	
<b>#WIND_CALC#</b>	Определяет, учитываются ли ветровые нагрузки в колонном аппарате	
<b>#WIND_AREA#</b>	Текстовое обозначение ветрового района	

При создании нового шаблона удобно воспользоваться поставляемым с программой шаблоном eskd.rtf, хранящимся в папке  **[Reports Templates]**, для чего следует скопировать его под новым именем и отредактировать.

Любая переменная может быть использована в любом месте шаблона многократно. Форматирование значения переменной будет совпадать с форматированием переменной в шаблоне.

Например, если шаблон содержит следующий фрагмент:

Расчет выполнен организацией «**#ORGANIZATION#**»

г. **#CITY#**

и значения переменных – «НТП Трубопровод» и «Москва» соответственно, в отчет будет выведено:

Расчет выполнен организацией «**НТП Трубопровод**»

г. *Москва*

Исключение составляет только переменная **#REPORT#** (**#REPORT\_BRIEF#**), значение которой форматируется программой, т. к. она содержит значительные фрагменты текста, заголовки, таблицы и рисунки, составляющие описание хода расчета элемента (полного или краткого).

### 3.20.3. Условные переменные

Программа поддерживает условные переменные, позволяющие выводить те или иные данные в зависимости от выполнения различных условий. Условная переменная состоит из двух частей, между которыми располагается фрагмент, вывод которого зависит от условий. Первая часть – текст вида **#<ИМЯ\_ПЕРЕМЕННОЙ#**, вторая (завершающая) – текст вида **#>ИМЯ\_ПЕРЕМЕННОЙ#**. Условная переменная может иметь зависимые переменные, значение которых устанавливается автоматически в зависимости от состояния условной переменной. Вывод содержимого условной переменной производится циклически до тех пор, пока её значение истинно.

В настоящее время поддерживаются следующие условные переменные:

Имя переменной	Описание	Зависимые переменные	Число циклов
<b>#&lt;_IF_:условие#... #&gt;_IF_:условие #</b>	Истинно, если истинно <b>условие</b> . Условием может быть имя переменной (в этом случае выражение истинно, если переменная присутствует) или конструкция <b>имя_переменной=значение</b> .	нет	1
<b>#&lt;POURING#... #&gt;POURING#</b>	Истинно, если сосуд используется под налив (параметр «Сосуд, содержащий рабочую жидкость» в окне «Общие данные»)	нет	1
<b>#&lt;TEST# ... #&gt;TEST#</b>	Истинно, если проводятся испытания (параметр «Вид испытаний» в окне «Общие данные»)	Нет	1
<b>#&lt;ELEMENT#... #&gt;ELEMENT#</b>	Истинно, пока выведены не все элементы полного отчета из	<b>#REPORT#</b>	равно числу выводимых в

	списка со вкладки «Элементы»		отчет элементов
<b>#&lt;ELEMENT_BRIEF#...#&gt;ELEMENT_BRIEF#</b>	Истинно, пока выведены не все элементы краткого отчета из списка со вкладки «Элементы»	<b>#REPORT_BRIEF#</b>	равно числу выводимых в отчет элементов
<b>#&lt;MODEL_ELEMENT#...#&gt;MODEL_ELEMENT#</b>	Истинно, пока выведены не все элементы из списка со вкладки «Элементы», при этом элементы должны удовлетворять дополнительным параметрам, если такие параметры установлены	<b>#ELEMENT# #&lt;PARAMETERS# #&lt;ATTACHED#</b>	равно числу выводимых в отчет элементов
<b>#&lt;ATTACHED# ... #&gt; ATTACHED#</b>	Истинно, пока выведены не все элементы, присоединенные к текущему и к присоединенным	<b>#ELEMENT# #&lt;PARAMETERS#</b>	Равно числу элементов, присоединенных к текущему и присоединенным
<b>#&lt;PARAMETERS# ... #&gt;PARAMETERS#</b>	Истинно, пока выведены не все параметры текущего элемента	<b>#&lt;LEVEL# #COMPLEX# #CALC# #PIC# #NAME# #DIM# #SYMB# #VAL#</b>	Равно числу параметров элемента
<b>#&lt;LEVEL#... #&gt;LEVEL#</b>	Обозначает уровень вложенности параметра		Равно уровню вложенности текущего параметра

Параметры условной переменной **#<MODEL\_ELEMENT#:**

Параметр	Описание	Значения	Значение по умолчанию
<b>TOPLEVEL</b>	Элементы «первого уровня», т. е. элементы, составляющие корпус аппарата	Нет	Нет
<b>T</b>	Тип элемента	<b>CYL</b> – цилиндрическая обечайка <b>CYL_CLMN</b> – цилиндрическая обечайка колонны <b>CONE</b> – коническая обечайка <b>CONE_CLMN</b> – коническая обечайка колонны <b>NZL</b> - штуцер <b>ELL</b> – эллиптическое днище <b>CONEBOTTOM</b> – днище коническое пологое <b>CONEBOTTOM_STEEP</b> – днище коническое крутое <b>ELL_FLANGEAPP</b> – отъемное эллиптическое днище <b>FLANGEAPP</b> – фланец аппар. <b>FLANGEAPP_BOTT</b> – фланец в составе с крышкой	Нет

		<b>FLANGEAPP_ARM</b> фланец арматурный <b>FLAT_FLANGEAPP</b> – отъемное плоское днище <b>FLATBOTTOM</b> – плоское днище <b>FLATBOTTOMRIBS</b> – плоское днище с ребрами <b>PACKING</b> – насадка <b>RINGSTIFF</b> – кольцо жесткости <b>SADDLE</b> – седловая опора <b>SKIRT</b> – опорная юбка <b>SPH</b> – сферическое днище <b>SPHBEADBOTTOM</b> – сферическое неотбортованное днище <b>SPHBEAD_FLANGEAPP</b> – отъемное сферическое днище <b>SUP_LUG</b> – опорные стойки <b>SUP_POLE</b> – опорные лапы	
--	--	--	--

Например, что бы вывести ход расчета по всем элементам, можно использовать следующее определение в шаблоне:

```
#<ELEMENT#
#REPORT#
#>ELEMENT#
```

В качестве реальных примеров рекомендуется рассмотреть строение поставляемых шаблонов, хранящихся в папке  [Reports Templates].

### 3.20.4. Встраивание изображений аппарата

В отчет можно встраивать рисунки с изображениями аппарата, используя переменную #IMG#. Для управления выводом изображения переменная #IMG# имеет следующие параметры:

Параметр	Описание	Значения	Значение по умолчанию
<b>VIEW</b>	стандартный вид для отображения	TOP – вид сверху LEFT – вид слева FRONT – вид спереди ISO – изометрический вид USER – проекция, выбранная пользователем	FRONT
<b>X</b>	ширина рисунка в пикселях	1-65535	100
<b>Y</b>	высота рисунка в пикселях	1-65535	100
<b>STYLE</b>	стиль изображения	SOLID – сплошное закрашивание TRANSPARENT – прозрачный WIREFRAME – каркасный	SOLID
<b>AA</b>	если установлен, производить антиалиасинг (сглаживание) изображения	нет	нет

Например, для вывода рисунка с каркасным изображением аппарата в виде сверху и размером 100x200, необходимо следующее описание:

```
#IMG:VIEW=TOP,X=100,Y=200,STYLE=WIREFRAME#
```

### 3.20.5. Встраивание даты и времени расчета

В отчет можно встраивать дату и время в различном формате, используя переменную #CALCDATE#. Для управления форматом даты переменная #CALCDATE# имеет строковый параметр DATEFORMAT, который может содержать следующие поля:

Поле	Описание
<b>%a</b>	Сокращенное название дня недели
<b>%A</b>	Полное название дня недели
<b>%b</b>	Сокращенное название месяца
<b>%B</b>	Полное название месяца
<b>%c</b>	Дата и время в представлении, соответствующем локали
<b>%d</b>	День месяца как десятичное число (01 - 31)
<b>%H</b>	Час в 24-часовом формате (00 - 23)
<b>%I</b>	Час в 12-часовом формате (01 - 12)
<b>%j</b>	День года как десятичное число (001 - 366)
<b>%m</b>	Месяц как десятичное число (01 - 12)
<b>%M</b>	Минута как десятичное число (00 - 59)
<b>%p</b>	А.М./Р.М. индикатор текущей локали в 12-часовом формате
<b>%S</b>	Секунды, в 12-часовом формат
<b>%U</b>	Неделя года как десятичное число (воскресенье – первый день недели) (00 - 53)
<b>%w</b>	День недели как десятичное число (0 - 6; воскресенье 0)
<b>%W</b>	Неделя года как десятичное число, с понедельника, первого дня недели (00 - 53)
<b>%x</b>	Дата в представлении, соответствующем локали
<b>%X</b>	Время в представлении, соответствующем локали
<b>%y</b>	Последние две цифры года как десятичное число (00 - 99)
<b>%Y</b>	Все цифры года как десятичное число (00 - 99)
<b>%z,</b> <b>%Z</b>	Название часового пояса, в зависимости от параметров реестра, или ничего, если часовой пояс неизвестен

Например, для вывода даты в формате DD.MM.YYYY HH:MM, необходимо следующее описание:

```
#CALCDATE:DATEFORMAT=%d.%m.%Y %H:%M#
```

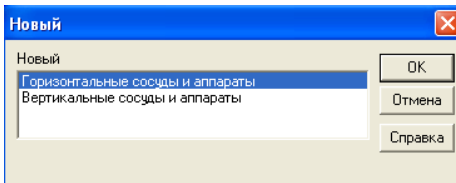


## 4. Контрольный пример

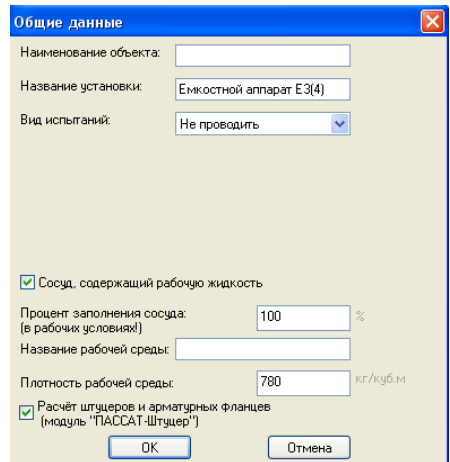
### 4.1. Подготовка исходных данных

В качестве контрольного примера приведен расчет горизонтального сосуда на седловых опорах, заполненного нефтепродуктами ( $\rho=780 \text{ кг/м}^3$ ) с избыточным внутренним давлением 1 атм. Избыточное давление при гидротестированиях – 2 атм.

Емкость состоит из обечайки длиной 5000мм диаметром 2400мм и двух эллиптических днищ. Емкость опирается седловые опоры шириной 300мм с углом обхвата 120°, с подкладными листами шириной 500мм толщиной 12мм и углом обхвата 140°. Прибавка на коррозию принята 2 мм. Сосуд испытывает сжимающее осевое усилие 100000Н.



После задания вида сосуда и общих данных (Рис. 4.1) переходим к созданию расчетной модели.



**Рис. 4.1 Контрольный пример: общие данные**

Задаем геометрию, свойства материала и условия нагружения цилиндрической

обечайки , эллиптических днищ  и седловых опор  (Рис. 4.2 – Рис. 4.4).

**Обечайка цилиндрическая**

Название элемента: Обечайка цилиндрическая №1  
 Нормативный документ: ГОСТ Р 52857.2-2007  
 Материал обечайки: Ст3

Свойства... Добавить...  
 Размеры по ГОСТ >>

Внутренний диаметр обечайки, D: 2400 мм  
 Толщина стенки обечайки, s: 12 мм  
 Прибавка на коррозию, c1: 2 мм  
 Минусовой допуск, c2: 0 мм  
 Прибавка технологическая, c3: 0 мм  
 Длина обечайки, L: 5000 мм

К-т прочн. продольного сварного шва, Fp: 0,9 >>  
 К-т прочн. кольцевого сварного шва, Ft: 0,9 >>  
 Расчётная температура, T: 20 °C

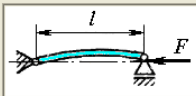
Расчётное избыточное давление, p:  
 Внутреннее  Наружное 0,1 МПа

Расчётный изгибающий момент, M: 0 Н·м  
 Расчётное поперечное усилие, Q: 0 Н

Изоляция и футеровка >>

Нагрузки  
 Определять при расчете  Задавать вручную

Расчётные осевые усилия, F:  
 Растягивающее  
 Сжимающее 100000 Н

Расчётная схема Inp:  

 1  4  
 2  5  
 3  6

OK Отмена Определение расчётных величин

Допускаемое давление (с расчётной длиной L):  $[p] = 1.15$  МПа  
 Расчётная толщина с учётом прибавок (с расчётной длиной L):  $s_r + c = 2.8661$  мм  
 Диаметр отверстия, не требующего укрепления:  $d_0 = 3329$  мм  
 Минимальное расстояние между «одиночными» шпунтами:  $b_0 = 309.8$  мм

Рис. 4.2 Контрольный пример: обечайка

**Эллиптическое днище**

Название элемента: Днище эллиптическое №1  
 Нормативный документ: ГОСТ Р 52857.2-2007  
 Материал днища: Ст3

Свойства... Добавить...  
 Размеры по ГОСТ >>

Внутренний диаметр днища, D: 2400 мм  
 Толщина стенки днища, s1: 10 мм  
 Прибавка на коррозию, c1: 2 мм  
 Минусовой допуск, c2: 0 мм  
 Прибавка технологическая, c3: 0 мм  
 Высота днища, H: 600 мм  
 Длина отбортовки, h1: 0 мм

К-т прочности сварного шва, Fi: 0,9 >>  
 Расчётная температура, T: 20 °C

Расчётное избыточное давление, p:  
 Внутреннее  Наружное 0,1 МПа

Изоляция и футеровка >>

OK Отмена Определение расчётных величин

Расчётная толщина с учётом прибавок:  $s_1 p + c = 2.866$  мм  
 Допускаемое давление:  $[p] = 0.9225$  МПа

Рис. 4.3 Контрольный пример: днище

**Седловая опора**

Название элемента: Опора седловая №1      Опора присоединена к: Обечайка цилиндрическая №1

Нормативный документ: ГОСТ Р 52857.5-2007

Внутренний диаметр обечайки, D: 2400 мм

Толщина стенки обечайки, s: 12 мм

**Укрепление обечайки**

Без укрепления

Подкладным листом

Кольцом жёсткости

**Закрепление**

Подвижная       Неподвижная

Ширина опоры, b: 300 мм

Угол охвата опоры, delta1: 120 градус

Расстояние от края элемента, l0: 500 мм

Расчётная температура, T: 20 С

Высота опоры, H: 198 мм

Требуется расчет опоры

Толщина листа, s2: 12 мм

Ширина листа, b2: 450 мм

Угол охвата листа, delta2: 140 градус

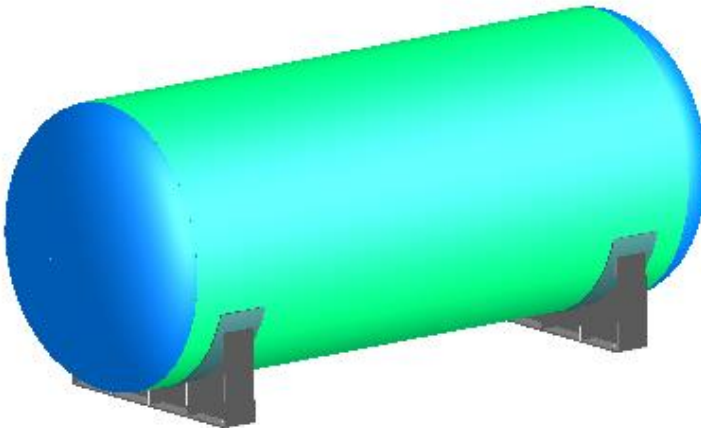
Длина выступающей части листа, f: 211,5 мм

Размеры по ГОСТ >>

OK      Отмена      Определение расчётных величин


**Рис. 4.4 Контрольный пример: опора**

В результате в окне для графического отображения получаем расчетную модель (Рис. 4.5).



**Рис. 4.5. Контрольный пример: расчетная модель**

## 4.2. Расчет и вывод результатов

Для расчета созданной модели необходимо нажать на кнопку «**Расчет сосуда F3**» (или пиктограмму ). В процессе расчета формируется подробный отчет с промежуточными результатами, который автоматически открывается по окончании расчета. Готовый отчет имеет вид веб-страницы, в левой части которой находится оглавление (Рис. 4.6).

### Отчёт Passat

[Общие данные](#)

Прочность от опорных нагрузок:

- [Эпюры сил и моментов](#)
- [Опора седловая №1](#)
- [Опора седловая №2](#)

[Днище эллиптическое №2](#)

[Обечайка цилиндрическая №1](#)

[Днище эллиптическое №1](#)

### Расчёт на прочность сосуда



Название установки:	TEST
Наименование объекта:	
Сосуд, содержащий рабочую жидкость:	Да
Коэффициент заполнения сосуда: (в рабочих условиях)	1
Плотность рабочей среды:	780 кг/куб.м
Название рабочей среды:	

**Рис. 4.6** Контрольный пример: отчет

## 5. Литература

1. СА 03-004-08. Расчет на прочность сосудов и аппаратов. Нормы и методы расчета на прочность. Стандарт ассоциации экспертных организаций техногенных объектов повышенной опасности «Ростехэкспертиза».
2. СТО-СА-03.003-2009. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на сейсмические воздействия. Стандарт ассоциации экспертных организаций техногенных объектов повышенной опасности «Ростехэкспертиза».
3. ГОСТ 34233.1-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.
4. ГОСТ 34233.2-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.
5. ГОСТ 34233.3-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер.
6. ГОСТ 34233.4-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.
7. ГОСТ 34233.5-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок.
8. ГОСТ 34233.6-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках.
9. ГОСТ 34233.7-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты.
10. ГОСТ 34233.8-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Сосуды и аппараты с рубашками.
11. ГОСТ 34233.9-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Аппараты колонного типа.
12. ГОСТ 34233.10-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Сосуды и аппараты, работающие с сероводородными средами.
13. ГОСТ 34233.11-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Метод расчета на прочность обечаек и днищ с учетом смещения кромок сварных соединений, угловатости и некруглости обечаек.
14. ГОСТ 34233.12-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Требования к форме представления расчетов на прочность, выполняемых на ЭВМ.
15. ГОСТ 14249-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.

16. ГОСТ 25221-82. Сосуды и аппараты. Днища и крышки сферические неотбортованные. Нормы и методы расчета на прочность.
17. ГОСТ 26202-84. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок.
18. ГОСТ 24755-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий.
19. ГОСТ 25859-83. Сосуды и аппараты стальные. Нормы и методы расчета на прочность при малоцикловых нагрузках.
20. 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.
21. ГОСТ Р 51274-99. Сосуды и аппараты. Аппараты колонного типа. Нормы и методы расчета на прочность.
22. ГОСТ 34283-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность при ветровых, сейсмических и других внешних нагрузках.
23. ГОСТ 25867-83. Сосуды и аппараты. Сосуды с рубашками. Нормы и методы расчета на прочность.
24. ГОСТ 30780-2002. Сосуды и аппараты стальные. Компенсаторы сильфонные и линзовые. Методы расчета на прочность.
25. ГОСТ 26159-84. Сосуды и аппараты чугунные. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.
26. ГОСТ 27772-88. Прокат для строительных стальных конструкций.
27. ГОСТ Р 54522-2011. Сосуды и аппараты высокого давления. Нормы и методы расчета на прочность.
28. ГОСТ 26303-84 Сосуды и аппараты высокого давления. Шпильки. Методы расчета на прочность.
29. ГОСТ Р 55722-2013. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на сейсмические воздействия.
30. ГОСТ 34283-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность при ветровых, сейсмических и других внешних нагрузках.
31. ГОСТ 31385-2016. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия.
32. ОСТ 26-01-86-88. Уплотнения неподвижные металлические для сосудов и аппаратов на давление свыше 10 до 100 МПа.
33. ОСТ 26-1046-87. Сосуды и аппараты высокого давления. Нормы и методы расчета на прочность.
34. ПНАЭ Г-7-002-86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.
35. СП 20.13330.2016. Свод правил. Нагрузки и воздействия.

36. РД 24.200.08-90. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность конических, эллипсоидных и сферических переходов.
37. РД 26-14-88. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Элементы теплообменных аппаратов.
38. РД 26-15-88. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность и герметичность фланцевых соединений.
39. РД РТМ 26-01-96-83. Крышки и днища плоские круглые с радиальными ребрами жесткости сосудов и аппаратов.
40. РД РТМ 26-13-79. Крышки и решетки аппаратов воздушного охлаждения. Метод расчета на прочность.
41. РД 26-02-62-98. Расчет на прочность элементов сосудов и аппаратов, работающих в коррозионно-активных сероводородосодержащих средах.
42. 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.
43. РД 10-249-98. Нормы и расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды.
44. ОСТ 26-01-64-83. Зажимы. Конструкция и размеры.
45. РД 26-01-169-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность днищ в местах крепления опор-стоек.
46. РД 24.200.21-91. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность элементов плавающих головок кожухотрубчатых теплообменных аппаратов.
47. РД 26-18-8-89. Сварные соединения приварки люков, штуцеров и муфт. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
48. 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.
49. РТМ 26-110-77. Расчет на прочность цилиндрических горизонтальных аппаратов, установленных на седловых опорах.
50. РТМ 26-111-77. Опоры цилиндрических вертикальных сосудов и аппаратов. Нормы и методы расчета
51. РД 26-01-149-84. Сосуды и аппараты стальные сварные с рубашками из полутруб, расположенных вдоль образующих. Нормы и методы расчета на прочность.
52. РД РТМ 26-01-44-78. Детали трубопроводов на давление свыше 10 до 100 МПа. Нормы и методы расчета на прочность.

53. СА 03-003-07. Расчет на прочность и вибрацию стальных технологических трубопроводов. Стандарт ассоциации экспертных организаций техногенных объектов повышенной опасности «Ростехэкспертиза».
54. СТО-СА-03-002-2009. Правила проектирования, изготовления и монтажа вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов. Стандарт ассоциации экспертных организаций техногенных объектов повышенной опасности «Ростехэкспертиза».
55. Горбачев М.В. "Тепломассообмен". Издательство НГТУ, 2015.
56. Standards of the Expansion Joint Manufacturers Association, INC, 8th Edition, 2003.
57. EN 13445-3. European Standard. Unfired pressure vessels – Part 3. Issue 1 (2002-05).
58. EN 1991-1-4. Actions on structures - General actions - Wind actions
59. EN 1998-1. Design of structures for earthquake resistance. General rules, seismic actions and rules for buildings
60. ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Sect.VIII, Div.1.
61. ASME VIII, Div 1, 2015. Rules for construction of pressure vessels.
62. ASME VIII, Div 2, 2015. Rules for construction of pressure vessels. Alternative rules.
63. ASME II, 2015.
64. WRC-107 Welding Research Council. Bulletin. "Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings". 1979.
65. WRC-297 Welding Research Council. Bulletin. "Local Stresses in Cylindrical Shells due to External Loadings on Nozzles – Supplement to WRC Bulletin №107". 1987.
66. WRC-537 Welding Research Council. Bulletin. "Precision Equations and Enhanced diagrams for Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings for implementation of WRC Bulletin 107. 2013.
67. BS-5500: 1976 Specification for Unfired fusion welded pressure vessels. British Standards Institution.
68. WRC-368 Welding Research Council. Bulletin. "Stresses in Intersecting Cylinders subjected to Pressure". 1991. –32 p.
69. 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.
70. Zick, L.P., "Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports", Welding Research Journal Supplement, September, 1951.
71. Henry H.Bednar, Pressure Vessel Design Handbook. Second edition. 1986
72. Dennis R.Moss, Pressure Vessel Design Manual. 1987



73. AzDTN 2.3-1. Seysmik rayonlarda tikinti (Azərbaycan Respublikası Dövlət Şəhərsalma və Arxitektura Komitəsi)
74. IS 1893. Indian Standard. Criteria for earthquake resistant design of structures
75. API 650-2020. Welded Tanks for Oil Storage