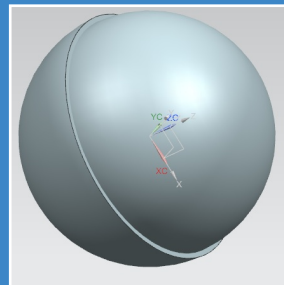
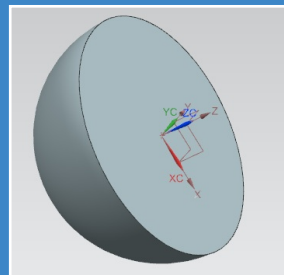
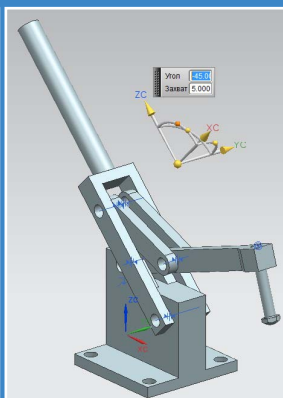
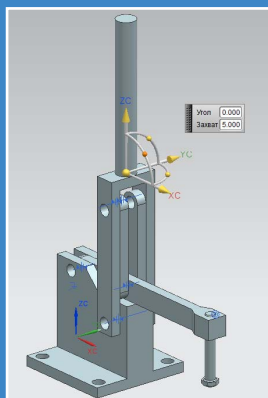


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Тольяттинский государственный университет  
Институт машиностроения  
Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

А.Л. Федоров, М.В. Сафонов

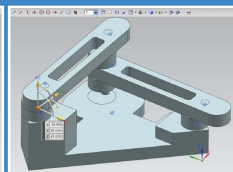
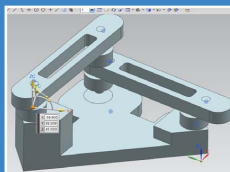
# ОСНОВЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ И ПРОЦЕССОВ В ГАЗОНЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Электронное учебное пособие



© ФГБОУ ВО «Тольяттинский  
государственный университет», 2019

ISBN 978-5-8259-1420-6



УДК 658.512:54(075.8)

ББК 32.965я73+35я73

Рецензенты:

канд. техн. наук, зам. руководителя АЦСП ООО «Средневолжский  
сертификационно-диагностический центр «Дельта» *О.В. Шашкин*;

канд. техн. наук, доцент кафедры

«Сварка, обработка металлов давлением и родственные процессы»  
Тольяттинского государственного университета *А.Ю. Краснопевцев*.

Федоров, А.Л. Основы автоматизированного проектирования объектов и процессов в газонефтехимической отрасли : электронное учебное пособие / А.Л. Федоров, М.В. Сафонов. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2019. – 1 оптический диск.

Изложены принципы автоматизированного проектирования объектов и процессов с использованием специализированных и универсальных программных средств.

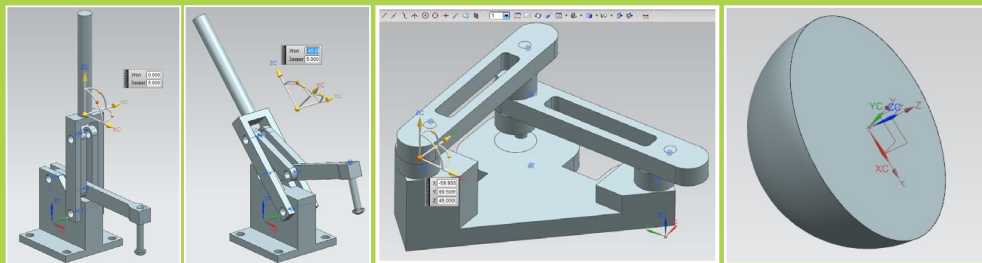
Предназначено для помощи студентам, обучающимся по направлению подготовки 15.04.01 «Машиностроение», магистерская программа «Производство и ремонт сварных конструкций газонефтехимического оборудования» очной и заочной форм обучения.

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; PIII 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский  
государственный университет», 2019



Редактор *Т.М. Воропанова*

Технический редактор *Н.П. Крюкова*

Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*

Художественное оформление,

компьютерное проектирование: *Г.В. Карасева, И.В. Карасев*

Дата подписания к использованию 22.01.2019.

Объем издания 7 Мб.

Комплектация издания: компакт-диск, первичная упаковка.

Заказ № 1-10-18.

Издательство Тольяттинского государственного университета

445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,

тел. 8 (8482) 53-91-47, [www.tltsu.ru](http://www.tltsu.ru)

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ И ОБЪЕКТОВ ГАЗОНЕФТЕХИМИИ .....	7
1.1. Общие принципы проектирования предприятий газонефтехимии .....	7
1.2. Проектирование технологического процесса .....	9
1.3. Инженерные сооружения .....	17
2. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ .....	25
2.1. Основные понятия автоматизированного проектирования .....	25
2.2. Компьютерные технологии сопровождения жизненного цикла промышленных изделий .....	27
2.3. Структура систем автоматизированного проектирования .....	31
2.4. Эффекты от применения систем автоматизированного проектирования .....	35
3. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВАХ .....	43
3.1. Общие сведения о программе «ПАССАТ» .....	43
3.2. Проектирование и расчет горизонтального сосуда .....	44
3.3. Проектирование вертикального сосуда .....	57
4. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДАХ .....	61
4.1. Краткое описание пакета NX .....	62
4.2. Варианты построения трехмерных моделей в NX .....	64
4.3. Создание сборок в NX .....	71
4.4. Анимация сборок .....	79
4.5. Расчеты методом конечных элементов .....	83

5. МОДЕЛИРОВАНИЕ СВАРНЫХ ШВОВ В NX .....	92
5.1. Общие сведения о сварных соединениях .....	93
5.2. Запуск приложения «Мастер сварки» (Weld Assistant) .....	97
5.3. Работа в приложении над стыковыми соединениями .....	101
5.4. Работа над угловыми соединениями .....	111
5.5. Ограничения длины сварного шва .....	118
5.6. Прерывистый шов .....	120
5.7. Сварка электрозаклепками .....	123
5.8. Создание шаблонов сварных швов .....	126
5.9. Окно обозначения сварного шва .....	127
Библиографический список .....	129

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время компьютерные технологии охватывают практически все сферы человеческой деятельности. Информационные технологии позволяют в том числе выполнять проектирование различных технических объектов, полностью или частично заменяя человека. При этом автоматизация проектирования позволяет уменьшить время выхода продукции на рынок, повысить ее качество, снизить ее стоимость. Это в конечном счете повышает конкурентные преимущества предприятия, использующего компьютерные технологии в проектировании.

Следует отметить, что проектирование объектов и процессов химической и нефтехимической промышленности представляет сложный, многообразный и трудоемкий процесс, представляющий совокупность множества социально-организационных и инженерно-технических стадий. Вот почему в последние годы стремительно развиваются и совершенствуются теория математического моделирования и оптимизации технологических процессов, системы автоматизированного проектирования (САПР) химических производств.

Важную роль в строительстве оборудования газонефтехимии играет сварка. За прошедшие годы сварка вышла на ведущие позиции среди способов получения неразъемных соединений в большинстве отраслей промышленности. Многообразие способов сварки, большой практический опыт ее применения, высокие эксплуатационные характеристики сварных швов — все это аргументы в пользу выбора этого вида соединения при проектировании новых изделий.

Современные тенденции развития сварки в машиностроении и строительстве предъявляют новые, повышенные требования не только к сварочным материалам и технологиям, но и к методологии проектирования и качеству проработки элементов сварных конструкций [1]. Поэтому современные технологии автоматизированного проектирования охватывают как проектирование сварных изделий, так и разработку технологий их производства.

Для проектирования объектов и процессов в газонефтехимии можно использовать универсальные программные среды и специализированные. В данном учебном пособии рассмотрены варианты работы в таких программных средах, их возможности.

# 1. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ И ОБЪЕКТОВ ГАЗОНЕФТЕХИМИИ

---

## 1.1. Общие принципы проектирования предприятий газонефтехимии

Проект промышленного предприятия (в том числе газонефтехимического) представляет комплекс технических документов, который содержит описание с принципиальными обоснованиями, необходимые расчеты, чертежи, макеты предназначенных к постройке, изготовлению или реконструкции сооружений, установок, машин, станков, аппаратов, приборов и т. п. [6].

Архитектурный проект представляет собой документ, в котором выражены любым изобразительным способом (макет, рисунок, чертеж, фото) материальная (строительно-техническая) и идейно-художественная (эстетическая) основы будущего здания, сооружения или комплекса, воплощающие научно обоснованную композиционную идею рациональной организации пространства для деятельности человека [7; 8].

Проект промышленного предприятия состоит из следующих трех главных частей:

- 1) технология производства;
- 2) объемно-планировочное решение;
- 3) рациональные строительные конструкции и инженерное оборудование.

Технология производства должна быть основана на передовых достижениях науки и техники в данной области. Планировочные решения должны не только обеспечивать оптимальный технологический процесс и возможность его постоянного развития, но также простоту и универсальность экономичных инженерно-строительных решений, создавать трудовой и бытовой комфорт производственного персонала, художественную выразительность образа сооружения в целом и красоту отдельных его деталей. Строительные конструкции и инженерное оборудование должны обеспечивать наилучшие условия для организации технологического процесса и его развития во времени, а также отвечать условиям механизирован-

ного строительного производства и являться основой объемно-планировочного построения сооружения.

Основой для проектирования являются исходные данные в задании на проектирование согласно нормам и положениям по строительному проектированию. В задании должны быть указаны следующие основные сведения:

- наименование предприятия;
- основание для проектирования, район, пункт и площадка строительства;
- номенклатура продукции и мощность производства по основным ее видам (в натуральном или денежном выражении) на полное развитие и на первую очередь;
- режим работы и намеченная специализация предприятия;
- основные источники обеспечения предприятия при его эксплуатации и строительстве сырьем, водой, теплом, газом, электрической энергией;
- условия по очистке и сбросу сточных вод;
- основные технологические процессы и оборудование;
- предполагаемое развитие (расширение) предприятий;
- намеченные сроки строительства;
- намеченный размер капиталовложений и основные технико-экономические показатели предприятия, которые должны быть достигнуты при проектировании;
- данные для проектирования объектов жилищного и культурно-бытового строительства, стадии проектирования;
- наименование генеральной проектной организации;
- наименование строительной организации генерального подрядчика.

При проектировании новых газонефтехимических заводов их следует, как правило, размещать в составе группы предприятий с общими объектами (промышленного узла), на территории, которая предусмотрена схемой или проектом районной планировки, проектом планировки промышленного района [7; 8].

Для размещения завода выбираются земли не сельскохозяйственного назначения или непригодные для сельского хозяйства [8].



При отсутствии таких земель используются участки на сельскохозяйственных угодьях худшего качества.

Поскольку предприятия газонефтехимии являются источниками загрязнения атмосферного воздуха, их следует размещать по отношению к жилой застройке с учетом ветров преобладающего направления [12].

Между промышленной зоной и жилым поселком предусматривается санитарно-защитная зона, размеры которой выбираются в соответствии с «Санитарными нормами проектирования промышленных предприятий».

В процессе выбора площадки различные варианты размещения завода наносятся на чертеж ситуационного плана [6; 12]. Кроме площадок на ситуационный план наносятся промышленные предприятия, имеющиеся в районе; существующие населенные пункты и площадка, намеченная для размещения заводского жилого поселка; железнодорожные пути и автомобильные дороги; трассы линий водопровода и канализации с указанием мест водозабора и площадки для очистных сооружений; заводская ТЭЦ и трассы линий электро- и теплоснабжения; водоемы и водные пути; карьеры местных строительных материалов. Ситуационный план составляется в масштабе 1:10000 или 1:25000 согласно ГОСТ 21.401-88 «Система проектной документации для строительства (СПДС). Технология производства. Основные требования к рабочим чертежам».

## **1.2. Проектирование технологического процесса**

Основой для архитектурно-строительной разработки проекта служит технологическая производственная схема, которая представляет графическое изображение функциональной зависимости между отдельными производственными процессами, осуществляемыми на данном производственном участке [12].

Например, схема производства серной кислоты контактным способом (рис. 1.1) включает три стадии после обжига колчедана:

- очистку газа от вредных для катализатора примесей;
- контактное окисление сернистого ангидрида в серный;
- абсорбцию серного ангидрида серной кислотой.

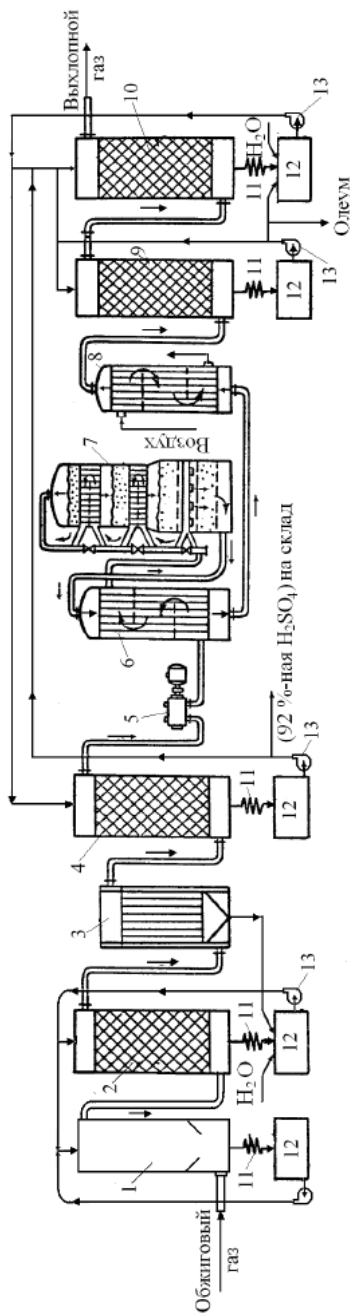


Рис. 1.1. Схема производства серной кислоты [25]: 1, 2 – промывные башни; 3 – электрофилтр; 4 – сушильная башня; 5 – компрессор; 6 – теплообменник; 7 – контактный аппарат; 8 – холодильник; 9 – олеумный абсорбер; 10 – многоступенчатый абсорбер; 11 – воздушный холодильник; 12 – сборник; 13 – насос

Внимательное изучение технологической схемы функциональной связи помещений дает возможность установить рациональную последовательность расположения отделений и помещений цеха, и эта схема является исходной базой для проектирования плана здания. Процесс очистки газов и получения кислоты на заводах протекает в промывном и сушильно-абсорбционном отделениях. Основное оборудование этих отделений (электрофильтры, промывные и сушильно-абсорбционные башни) устанавливают на отметке 7–8 метров над уровнем пола.

Электрофильтры, промывные и сушильно-абсорбционные башни имеют вертикальный технологический процесс и обслуживаются с площадок на разных уровнях. Оборудование размещают обычно на открытом воздухе. Для укрепления технологического оборудования устраивают железобетонные постаменты (этажерки). Сетка колонн постаментов – 6×6 м.

Оборудование можно устанавливать на отдельные постаменты для независимой осадки фундаментов. Пространство под постаментами используют для установки насосов, сборников кислоты, для подсобных помещений, трансформаторных подстанций, ремонтных мастерских, бытовых помещений.

Предприятия химической и нефтехимической промышленности выпускают продукцию следующих классов:

- продукцию неорганической химии и горно-химическое сырье;
- полимеры, пластические массы, химические волокна;
- лакокрасочные материалы;
- синтетические красители и органические продукты;
- продукты органического синтеза (нефтехимия, коксохимия, лесохимия);
- химические реактивы и особо чистые вещества;
- медикаменты и химико-фармацевтические изделия;
- резинотехнические и асбестовые изделия.


Технологическое оборудование, необходимое для реализации выпуска перечисленной продукции и составляющее основу застройки большинства химических и нефтехимических предприятий, можно разделить на 5 групп (табл. 1.1) [22; 25]:

- машинное оборудование (насосы, компрессоры, воздуходувки, холодильные машины и др.);
- аппараты, в которых осуществляются химические процессы (реакторы);
- аппараты, в которых осуществляются массообменные процессы
  - колонны;
- емкости;
- теплообменники.

Таблица 1.1

Процессы и соответствующие им аппараты  
химической промышленности

Классы процессов	Класс аппаратов	Виды процессов	Виды аппаратов	Характерный тип компоновочного решения
Химические	Реакторы	Окисление	Контактный аппарат	Здания, павильоны 
		Хлорирование	Трубчатый реактор	
		Нитрирование	Полочный реактор	
		Гидратация	Реакционная камера	
		Полимеризация	Реакционный котел	
		Электролиз	Электролизер	
Массообменные	Колонны	Абсорбция	Абсорбер	Открытые установки 
		Адсорбция	Адсорбер	
		Ректификация	Ректификационная колонна	
		Сушка	Башня сушки	
		Экстракция	Экстрактор	
		Кристаллизация	Кристаллизатор	
Тепловые	Теплообменники	Выпаривание	Выпарной аппарат	
		Нагревание	Испаритель	
		Конденсация	Конденсатор	
		Охлаждение	Холодильник	

Классы процессов	Класс аппаратов	Виды процессов	Виды аппаратов	Характерный тип компоновочного решения
Гидромеханические	Емкости	Фильтрация	Фильтр	Открытые площадки 
		Промежуточное хранение жидкости	Бак	
		Хранение сжиженных газов	Газгольдер	
		Отстаивание	Осветлитель	
	Машины	Центрифугирование	Центрифуга	Насосные, компрессорные, машинные залы 
		Перемещение жидкостей	Насос	
		Перемещение газов	Газодувка	
		Сжатие газов	Компрессор	
Холодильные		Умеренное охлаждение	Холодильная машина	
		Глубокое охлаждение	Компрессор-дрессель	
Механические		Дробление	Дробилка	
		Измельчение	Мельница	
		Сортировка	Грохот	

Машинное оборудование размещается, как правило, в отапливаемых зданиях, в то время как условия эксплуатации колонного оборудования позволяют устанавливать его на открытых площадках, на этажерках, специальных постаментов, а особо крупное — на собственных фундаментах; только в редких случаях в суровых климатических условиях часть такого оборудования нуждается в укрытиях [25].

Вынос технологического оборудования из отапливаемых помещений на открытые площадки, этажерки и под навесы — одна из важнейших тенденций в строительстве химических объектов.

Увеличение производительности аппаратов оказывает существенное влияние на снижение удельного расхода требуемых площадей и капитальных затрат.

Это позволяет установить насосы, компрессоры и другие машины порознь, открыто, приблизив их к основному технологиче-

скому оборудованию, и соответственно уменьшить протяженность коммуникаций.

С точки зрения сварочных технологий важным является внешняя форма оборудования [9]. В табл. 1.2 показаны наиболее распространенные формы основного оборудования. В табл. 1.3 – наиболее распространенные формы вспомогательного оборудования.

Система технологических элементов, из которых формируют объекты химии и нефтехимии, включает следующие единицы. Аппараты. Они выполняют отдельные операции и являются первичными элементами общей технологической структуры предприятий [16]. Аппараты, как правило, объединяют в группы и образуют качественно новую структурную единицу – технологические узлы или агрегаты. В агрегате протекает не один, как в аппарате, а несколько процессов. Сочетание агрегатов быстрого и планомерного освоения производственных мощностей потребовало выделить минимальный комплект технологических установок (дающих, подобно целому, готовую продукцию, но в меньших масштабах) в самостоятельную единицу – технологическую линию, образующую следующий уровень организации технологии [25].

В зависимости от заданной мощности и номенклатуры продуктов несколько технологических линий, функционирующих автономно, комплектуют в новую структурную единицу – производство, которая, участвуя в общей программе предприятия по выпуску готовой продукции, в случае необходимости также может функционировать самостоятельно.

Формирование и объединение специализированных химических и нефтехимических предприятий обычно осуществляется автономными технологическими комплексами, в которые входит группа производств, объединенная общим технологическим процессом и имеющая в своем составе необходимые объекты подсобно-производственного и обслуживающего назначения.

Каждый автономный технологический комплекс специализируется на выпуске одного или нескольких видов готовой продукции и формируется на основе единичной укрупненной мощности головного производства (например, производство этилена на заводе оргсинтеза).

Таблица 1.2

Пространственные формы основного оборудования






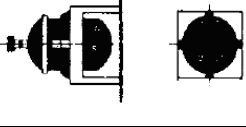

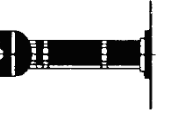




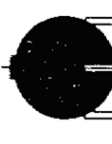









Виды основного оборудования		Колонны
Машины		
		
Реакторы		
		
		
		
Сложные объемные машинные формы		Линейно-цилиндрические
Сложные объемно-цилиндрические		Линейно-цилиндрические

Таблица 1.3

Пространственные формы вспомогательного оборудования

Виды основного оборудования		Складские емкости				Массивные с поверхностью вращения
Теплообменники		Емкости		Складские емкости		
						
						
Простые объемно-цилиндрические		Массивные с поверхностью вращения				



Автономные технологические комплексы должны по возможности иметь однородную структуру, основанную на оптимальном сочетании производств и внутреннем материальном балансе, строго последовательном размещении производств, в соответствии с технологическим потоком и при самостоятельном материально-техническом снабжении.

### **1.3. Инженерные сооружения**

К инженерным сооружениям относятся все строительные объекты, кроме зданий, например мост, водопровод, эстакада, галерея, трубопровод, этажерки, водонапорные башни и т. п. На промышленных предприятиях инженерные сооружения различаются в зависимости от характера производства [25].

Они могут располагаться как внутри, так и вне промышленных зданий, а также независимо от зданий, имея самостоятельное значение.

Инженерные сооружения следует отличать от технологического и инженерного оборудования, зданий, систем инженерного обеспечения, производственных сооружений. В отличие от инженерных сооружений в производственных сооружениях осуществляется технологический процесс по получению основного и промежуточного продукта производства, но возводятся они, как и инженерные сооружения, строительными методами.

Однако инженерные сооружения обеспечивают процесс производства, и без них производство невозможно реализовать.

К инженерным сооружениям относят опоры и эстакады. Подстаменты под горизонтальную и вертикальную аппаратуру предназначаются для разного рода аппаратов, в которых могут проходить различные химические и другие процессы. Наиболее часто встречаются в химической, нефтеперерабатывающей, каучуковой промышленности, на заводах железобетонных и пластмассовых изделий. Отдельно стоящие опоры и эстакады для трубопроводов применяют в тех случаях, когда производственные коммуникации прокладывают открытым способом.

Трубопроводы представляют собой устройства для транспортировки жидких, газообразных и сыпучих веществ при различных давлениях и температурах. Так как пропускная способность трубопроводов различна, то и размеры их (диаметры) тоже колеблются в большом диапазоне. Трубопроводы применяются диаметрами от нескольких сантиметров до 2–3 м для газопроводов [25].

Трубопроводы средних и больших диаметров являются балками цилиндрического сечения и имеют большую несущую способность, что позволяет опирать их на отдельно стоящие опоры с шагами 6–12–18 м. Трубопроводы малых диаметров требуют более частых опор, поэтому для них необходимо применять эстакады с пролетными строениями, на которые опираются поперечные траверсы с шагами 3–4–6 м.

Трубопроводы могут располагаться в трех уровнях:

- по железобетонным шпалам, уложенным на песчаной подушке по грунту;
- на низких железобетонных опорах высотой 0,9–1,2 м;
- на высоких железобетонных или стальных опорах и эстакадах высотой 5–6 м и более.

Одноярусные и двухъярусные отдельно стоящие опоры выполняют, как правило, сборными железобетонными. При ширине траверс до 1,8 м они делаются одностоечными Т-образными, а при ширине до 2,4 м – одностоечными с отдельными траверсами.

При большей ширине траверс опоры делаются двухстоечными.

Многоярусные опоры, а в северных и труднодоступных районах – все опоры, могут выполняться стальными. Высота опор до верха нижней траверсы принимается 5,4; 6; 6,6; 7,2 и 7,8 м.

Типовые двухъярусные эстакады пролетом 18 м могут быть железобетонными с сегментными безраскосными фермами, со стальными решетчатыми фермами, опирающимися на железобетонные или стальные колонны.

Температурные блоки могут иметь длину до 72–75 м.

Двухъярусные эстакады в сборном железобетоне тяжелы, сложны, имеют малую повторяемость элементов, поэтому такие эстакады выполняются в большинстве случаев стальными.

Трехъярусные эстакады, а также эстакады в труднодоступных районах и эстакады с пролетами больше 18 м делаются стальными.

Колонны железобетонные опорные делаются обычно прямоугольными, сечением 400×400 мм, заземленными в отдельные фундаменты, в виде отдельных свай-колонн, забитых в грунт, свай-колонн, объединенных в плоские или пространственные системы путем постановки стальных крестовых связей. Применяются также колонны, устанавливаемые на односвайные фундаменты из свай-оболочек или буронабивных свай. При небольших нагрузках и плотных грунтах колонны могут устанавливаться в скважины, засверленные в грунт с последующим бетонированием. Свай-колонны – самый экономичный вид опор. Рекомендуются они во всех случаях, допустимых по грунтовым условиям.

Опоры и эстакады проектируют с использованием следующих нормативно-технических документов: СНиП 2.09.03-85 «Сооружения промышленных предприятий»; ГОСТ 23235-78 «Эстакады одноярусные под технологические трубопроводы. Типы и основные габариты»; ГОСТ 23236-78 «Эстакады двухъярусные под технологические трубопроводы. Типы и основные габариты»; ГОСТ 23237-78 «Опоры отдельно стоящие под технологические трубопроводы. Типы и основные параметры».

К галереям относят наземное или надземное, горизонтальное или наклонное протяженное сооружение, предназначенное для инженерных или технологических коммуникаций (конвейеров, кабелей, трубопроводов), а также для прохода людей.

Наибольшее распространение имеют конвейерные и в меньшей степени – пешеходные галереи. Пропуск кабелей и трубопроводов обычно производится попутно в комбинированных галереях, совмещенных с конвейерными или пешеходными.

Ширина пешеходных галерей определяется их пропускной способностью в одном направлении из расчета 2 тыс. чел. в час на 1 м ширины, но не менее 1,5 м.

Высота галерей от уровня пола до низа выступающих конструкций покрытий – не менее 2 м (в наклонных галереях высота должна измеряться по нормали к полу).

Бункера и силосы. Бункера и силосы – емкости для сыпучих материалов. Форма бункера зависит от его назначения, компоновки сооружения, требуемого запаса материала, физических свойств сыпучего материала, типа несущих конструкций и др. Рекомендуемые формы бункеров: пирамидально-призматические, конусно-цилиндрические, лотковые, параболические.

Бункера бывают открытого и закрытого типа. Открытые бункера дешевле закрытых, но их применяют только для материалов, не поддающихся воздействию атмосферных осадков и не выделяющих пыль, вредную для здоровья людей и окружающей среды.

Металлические резервуары и газгольдеры. Для хранения и технологической переработки нефти и нефтепродуктов, воды, химических продуктов, минеральных удобрений, сжиженных газов, пульпы руды, угля и других жидких и полужидких продуктов применяются металлические резервуары.

Резервуары могут быть заглубленными, круглыми и прямоугольными.

Резервуары в виде цистерн цилиндрических или каплевидных баков применяют на промышленных предприятиях для закрытого хранения легковоспламеняющихся жидкостей: нефти, керосина, бензина, масла, спирта и т. д. Резервуары и цистерны могут быть подземными, полуподземными и надземными.

Расположение резервуаров для горючего на генеральном плане должно быть увязано с рельсовыми и автомобильными дорогами, водными и береговыми устройствами. Вертикальные цилиндрические резервуары сооружаются трех типов: со стационарной крышей, стационарной крышей и понтоном и с плавающей крышей. Такие резервуары имеют объем до 50 тыс. м<sup>3</sup>, диаметр 4,7–60,7 м, высоту 3–18 м.

Разработаны проекты вертикальных резервуаров объемом 100, 120 и 150 тыс. м<sup>3</sup>. Вертикальные резервуары со стационарной крышей предназначаются для хранения слабо испаряющихся продуктов и состоят из цилиндрической стенки, днища и покрытия различных типов (конического, сферического, «безмоментного» и др.). «Безмоментное» покрытие представляет собой оболочку отрицательной гауссовой кривизны.

Аналогичные резервуары со стационарной крышей и понтоном отличаются от описанного резервуара наличием плавающего на продукте внутри резервуара понтона специальной конструкции, обеспечивающей сокращение испарений при хранении легкоиспаряющихся продуктов. Понтон передвигается по двум вертикальным трубчатым направляющим, при опорожнении резервуара он устанавливается на днище на стойках.

Пространство между стенкой и контуром понтона герметизируется уплотняющим затвором различных типов. Вертикальные резервуары предназначаются для хранения нефтепродуктов и широко применяются на нефтеперерабатывающих заводах, нефтеперекачивающих станциях нефтепроводов.

Вертикальные резервуары с плавающей крышей предназначены, как и резервуары с понтоном, для хранения легкоиспаряющихся продуктов. В резервуарах такого типа функции понтона и стационарной крыши совмещены в одной конструкции, которая, в отличие от понтона, рассчитывается на нагрузки от атмосферных воздействий. В связи с этим в плавающей крыше имеется «водоспуск» — трубчатая конструкция, обеспечивающая отвод воды с поверхности крыши за пределы резервуара.

Все вертикальные резервуары изготавливаются на специализированных заводах резервуарных металлоконструкций с применением метода рулонирования стенок, днищ, центральных частей плавающих крыш, понтонов и «безмоментных» стационарных крыш.

Элементы крыш других типов, а также остальные нерулонируемые конструкции (корона понтонов и плавающих крыш, кольца жесткости и др.) изготавливают промышленными методами в виде законченных крупных элементов. Сборке резервуаров предшествуют разворачивание рулонов и установка их в проектное положение. Резервуары с плавающими крышами предназначаются для хранения нефти. Они эффективны и применяются в южных районах и районах с умеренным климатом. Их металлоемкость в среднем на 20 % ниже металлоемкости резервуаров со стационарной крышей и понтоном.

Вертикальные изотермические резервуары, двустенные и одностенные, предназначаются для хранения сжиженных газов под избыточным давлением, близким к атмосферному, и при низкой

отрицательной температуре ( $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$  для аммиака,  $-46\text{ }^{\circ}\text{C}$  для пропана,  $-106\text{ }^{\circ}\text{C}$  для этилена,  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$  для сжиженного природного газа,  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  для кислорода).

В двустенных изотермических резервуарах наружный корпус выполняется из обычной углеродистой или низкоуглеродистой стали и рассчитывается на атмосферные нагрузки и нагрузки от теплоизоляции в межстенном пространстве. Внутренний корпус, а также корпуса одностенных изотермических резервуаров выполняются из хладостойких марок стали и рассчитываются на нагрузки от гидростатического давления за счет сжиженного продукта, избыточного давления в паровоздушном пространстве, давления от теплоизоляции и на вакуум. Изотермические резервуары изготавливают на заводах резервуарных металлоконструкций с применением метода рулонирования стенки, а также путем сборки из отдельных листов.

Шаровые (сферические) резервуары и газгольдеры объемом 6 и 2 тыс.  $\text{м}^3$  предназначены для хранения жидких и газообразных продуктов при высоком внутреннем избыточном давлении – от 0,25 до 1,8 МПа.

Расчет шаровых резервуаров и газгольдеров выполняется на гидростатическое давление жидкости, избыточное давление в газовом пространстве, атмосферные и другие нагрузки с учетом требований Госгортехнадзора России.

Оболочка такого резервуара (газгольдера) выполняется из отдельных лепестков, изготавливаемых методом холодной вальцовки. Сборка оболочки на монтаже производится с применением специального манипулятора либо другим способом. Монтажная сварка – автоматическая.

Резервуар (газгольдер) устанавливается на трубчатых стойках (опорах), имеющих между собой связи.

Шаровые резервуары (газгольдеры) оснащаются наружными шахтными лестницами, внутренними вращающимися смотровыми лестницами, а также площадками для обслуживания оборудования. Несколько таких резервуаров (газгольдеров) объединяют в парки и соединяют переходными площадками.

Газгольдеры переменного объема (постоянного давления) подразделяют на газгольдеры с водяным бассейном (мокрые газгольдеры) и газгольдеры цилиндрические поршневые (сухие газгольдеры).

Мокрые газгольдеры состоят из вертикального цилиндрического резервуара, наполненного водой, и одного или двух подвижных звеньев — телескопа и колокола. В газгольдере большого объема может быть несколько подобных звеньев.

В газгольдерах небольшого объема телескопа нет. Изменение объема достигается выдвижением подвижных звеньев при наполнении газом и опусканием их обратно по мере его расходования. Давление в газгольдере (~5 кПа) поддерживается специальными грузами и массой подвижных звеньев. Герметичность смежных звеньев обеспечивается водяными затворами.

В сухих газгольдерах объем изменяется посредством перемещения поршня (шайбы) внутри газгольдера.

Резервуары подземного расположения, траншейного и казематного типа объемом до 10 тыс. м<sup>3</sup> предназначаются для долговременного хранения светлых нефтепродуктов и жидкого сырья для пищевых продуктов.

Градирни, брызгательные бассейны и охлаждающие пруды — сооружения, предназначенные для охлаждения воды. В башенных капельных градирнях поступающая на ороситель вода высокой температуры, падая, проходит систему решетки, дробится на капли и охлаждается. Охлажденная вода скапливается в резервуаре, откуда поступает на производство.

Основной конструктивный элемент башенных градирен — вытяжная башня. Башни градирен изготавливают из стали и монолитного железобетона. Башни из сборного железобетона не получили широкого распространения из-за возможного разрушения в стыках. Ранее построенные градирни малой производительности имеют вытяжные башни из дерева.

Для градирен малой и средней производительности преимущественное распространение получили башни в виде пространственного стального каркаса с обшивкой внутренней стороны деревянными щитами или асбестоцементными волнистыми листами. Все эти градирни пирамидальной формы, причем нижний ярус башни имеет вертикальное расположение. В конструктивном отношении вытяжная башня каркасно-обшивного типа представляет собой решетчатое многогранное сооружение.

Дымоотводящие трубы предназначены для отвода дымовых газов, образующихся в промышленных теплоэнергетических установках.

Ствол кирпичной дымовой трубы состоит из отдельных поясов по высоте. Переход от одного пояса к другому осуществляется путем уменьшения толщины кладки с образованием уступа с внутренней стороны ствола. Толщина стенок ствола верхнего пояса не менее 1,5 кирпича. Для восприятия внутренних напряжений с наружной стороны ствола устанавливают стяжные кольца из полосовой стали.

Монолитные железобетонные дымовые трубы проектируются в настоящее время высотой до 420 м, с футеровкой из легкого полимерцементного бетона. Газоотводящие стволы выполняют из стали, керамики, пластмасс и других материалов.

### **Контрольные вопросы**

1. Что включает в себя проект промышленного предприятия?
2. Что является основой для архитектурно-строительной разработки проекта промышленного предприятия?
3. Что относится к инженерным сооружениям предприятий газонефтехимии?
4. На какие группы разбивают технологическое оборудование газонефтехимических предприятий, необходимое для выпуска продукции?
5. Особенности изготовления вертикальных резервуаров.
6. Какие химические процессы могут быть реализованы в колоннах?
7. Почему предпочтительно выносить технологическое оборудование из отапливаемых помещений на открытые площадки?
8. Для чего могут применяться трубопроводы?
9. На какие группы может быть разделено технологическое оборудование газонефтехимических предприятий, необходимое для выпуска продукции?
10. Как следует размещать предприятия газонефтехимии по отношению к жилой застройке?
11. Какие земли предпочтительно выбирать для размещения предприятий газонефтехимии?



## 2. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

---

### 2.1. Основные понятия автоматизированного проектирования

Одной из функций магистра профиля «Производство и ремонт сварных конструкций газонефтехимического оборудования» является проектирование объектов того или иного назначения предприятий газонефтехимии или технологических процессов их изготовления. В частности, профессиональная компетенция 11 сформулирована так: «...способностью подготавливать технические задания на разработку проектных решений, разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты технических разработок с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий...».

Проектирование технического объекта – создание, преобразование и представление в принятой форме образа этого еще не существующего объекта. Образ объекта или его составных частей может создаваться в воображении человека в результате творческого процесса или генерироваться в соответствии с некоторыми алгоритмами в процессе взаимодействия человека и ЭВМ. В любом случае инженерное проектирование начинается при наличии выраженной потребности общества в некоторых технических объектах, которыми могут быть объекты строительства, промышленные изделия или процессы. Проектирование включает разработку технического предложения и (или) технического задания, отражающих эти потребности, и реализацию технического задания в виде проектной документации [4; 5].

Обычно техническое задание представляют в виде некоторых документов, и оно является исходным (первичным) описанием объекта. Результатом проектирования, как правило, служит полный комплект документации, содержащий достаточные сведения для изготовления объекта в заданных условиях. Эта документация и есть проект, точнее окончательное описание объекта. Более коротко: проектирование – процесс, заключающийся в получении и преобразовании исходного описания объекта в окончательное опи-

сание на основе выполнения комплекса работ исследовательского, расчетного и конструкторского характера.

Преобразование исходного описания в окончательное порождает ряд промежуточных описаний, подводящих итоги решения некоторых задач и используемых для обсуждения и принятия проектных решений для окончания или продолжения проектирования.

Проектирование, при котором все проектные решения или их часть получают путем взаимодействия человека и ЭВМ, называют автоматизированным, в отличие от ручного (без использования ЭВМ) или автоматического (без участия человека на промежуточных этапах).

Автоматическое проектирование возможно лишь в отдельных частных случаях для сравнительно несложных объектов. Превалирующим в настоящее время является автоматизированное проектирование [4].

Проектирование в широком смысле можно определить как процесс разработки описания проектировщиком (или группой проектировщиков), которое позволяет создать еще не существующий объект в заданных условиях. Завершающий этап проектирования — выпуск комплекта документации, отображающей принятые решения в форме, необходимой для производства объекта [13; 14].

В автоматизированном проектировании коллектив специалистов различного профиля и средства автоматизации объединяются в специализированную организационно-техническую систему САПР. Работу САПР обеспечивает ее персонал, а также комплекс средств автоматизации проектирования, который содержит в своем составе техническое, математическое, программное, информационное, лингвистическое, методическое и организационное обеспечение. Взаимодействие этих видов обеспечения, осуществляемое персоналом системы в соответствии с целями и задачами проектирования, составляет существо функционирования САПР, которое приводит к необходимым конечным результатам.

## 2.2. Компьютерные технологии сопровождения жизненного цикла промышленных изделий

Возможности автоматизированного проектирования в настоящее время следует рассматривать в комплексе с другими средствами компьютерного сопровождения жизненного цикла сложных промышленных изделий. В настоящее время на передовых промышленных предприятиях реализована концепция комплексного проектирования и включения систем автоматизированного проектирования в единую систему управления производством. Следует отметить, что некоторые компоненты указанной системы обладают бизнес-функциями. Это позволяет обеспечить непрерывное сопровождение компьютерными технологиями все жизненные циклы сложных технических изделий рис. 2.1 [13; 14], к которым, безусловно, относится оборудование и технологии нефтехимических предприятий.

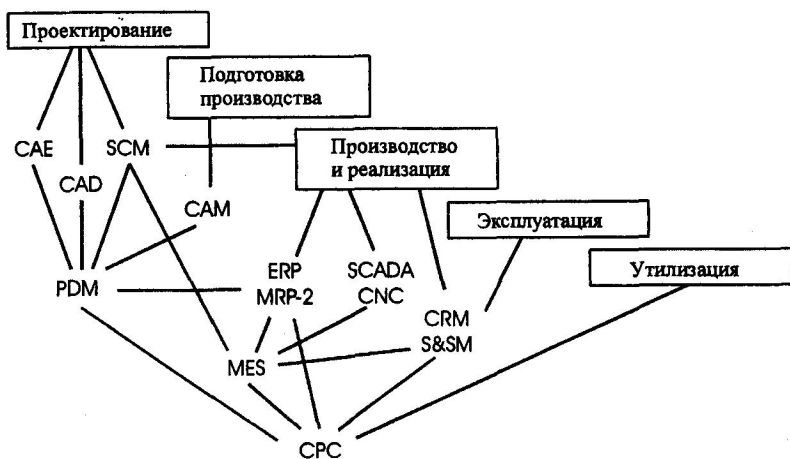


Рис. 2.1. Этапы жизненного цикла промышленных изделий и системы их автоматизации

Системы, указанные на рис. 2.1, поддерживают следующие этапы и процедуры в жизненном цикле изделий:

- CAE – Computer Aided Engineering (автоматизированные расчеты и анализ);
- CAD – Computer Aided Design (автоматизированное проектирование);

- CAM – Computer Aided Manufacturing (автоматизированная технологическая подготовка производства);
- PDM – Product Data Management (управление проектными данными);
- ERP – Enterprise Resource Planning (планирование и управление предприятием);
- MRP-2 – Manufacturing (Material) Requirement Planning (планирование производства);
- MES – Manufacturing Execution System (производственная исполнительная система);
- SCM – Supply Chain Management (управление цепочками поставок);
- CRM – Customer Relationship Management (управление взаимоотношениями с заказчиками);
- SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition (диспетчерское управление производственными процессами);
- CNC – Computer Numerical Control (компьютерное числовое управление);
- S&SM – Sales and Service Management (управление продажами и обслуживанием);
- CPC – Collaborative Product Commerce (совместный электронный бизнес).

Современные САПР (или системы CAE/CAD), обеспечивающие сквозное проектирование сложных изделий или, по крайней мере, выполняющие большинство проектных процедур, имеют многомодульную структуру [19]. Модули различаются своей ориентацией на те или иные проектные задачи применительно к тем или иным типам устройств и конструкций. При этом возникают естественные проблемы, связанные с построением общих баз данных, с выбором протоколов, форматов данных и интерфейсов разнородных подсистем, с организацией совместного использования модулей при групповой работе [13; 14].

Эти проблемы усугубляются на предприятиях, производящих сложные изделия, в частности с механическими и радиоэлектронными подсистемами, поскольку САПР машиностроения и радио-

электроники до недавнего времени развивались самостоятельно, в отрыве друг от друга.

Для решения проблем совместного функционирования компонентов САПР различного назначения разрабатываются системы управления проектными данными – системы PDM [20]. Они либо входят в состав модулей конкретной САПР, либо имеют самостоятельное значение и могут работать совместно с разными САПР.

Уже на этапе проектирования требуются услуги системы SCM, иногда называемой системой управления поставками комплектующих (Component Supplier Management), которая на этапе производства обеспечивает поставки необходимых материалов и комплектующих.

АСТПП, составляющие основу системы САМ, выполняют синтез технологических процессов и программ для оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ), выбор технологического оборудования, инструмента, оснастки, расчет норм времени и т. п. Модули системы САМ обычно входят в состав развитых САПР, и потому интегрированные САПР часто называют системами CAE/CAD/CAM/PDM.

Функции управления на промышленных предприятиях выполняются автоматизированными системами на нескольких иерархических уровнях [10; 17].

Автоматизацию управления на верхних уровнях от корпорации (производственных объединений предприятий) до цеха осуществляют АСУП, классифицируемые как системы ERP или MRP-2 [24].

Наиболее развитые системы ERP выполняют различные бизнес-функции, связанные с планированием производства, закупками, сбытом продукции, анализом перспектив маркетинга, управлением финансами, персоналом, складским хозяйством, учетом основных фондов и т. п. Системы MRP-2 ориентированы главным образом на бизнес-функции, непосредственно связанные с производством.

Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) контролируют и используют данные, характеризующие состояние технологического оборудования и протекающие технологических процессов. Именно их чаще всего называют системами промышленной автоматизации [13; 14].

Для выполнения диспетчерских функций (сбора и обработки данных о состоянии оборудования и технологических процессов) и разработки программного обеспечения для встроенного оборудования в состав АСУТП вводят систему SCADA. Для непосредственного программного управления технологическим оборудованием используют системы CNC на базе контроллеров (специализированных компьютеров, называемых промышленными), встроенных в технологическое оборудование.

На этапе реализации продукции выполняются функции управления отношениями с заказчиками и покупателями, проводится анализ рыночной ситуации, определяются перспективы спроса на планируемые к выпуску изделия. Эти задачи решаются с помощью системы CRM. Маркетинговые функции иногда возлагаются на систему S&SM, которая, кроме того, служит для решения проблем обслуживания.

На этапе эксплуатации применяются специализированные компьютерные системы, занятые вопросами ремонта, контроля, диагностики эксплуатируемых систем. Обслуживающий персонал использует интерактивные учебные пособия и технические руководства, а также средства для дистанционного консультирования при поиске неисправностей, программы для автоматизированного заказа деталей взамен отказавших.

Следует отметить, что функции некоторых автоматизированных систем часто перекрываются. В частности, это относится к системам ERP и MRP-2. Управление маркетингом может быть поручено как системе ERP, так и системе CRM или S&SM.

На решение оперативных задач управления проектированием, производством и маркетингом ориентированы системы MES. Они близки по некоторым выполняемым функциям к системам ERP, PDM, SCM, S&SM и отличаются от них именно оперативностью, принятием решений в реальном времени, причем важное значение придается оптимизации этих решений с учетом текущей информации о состоянии оборудования и процессов.

Перечисленные автоматизированные системы могут работать автономно, и в настоящее время так обычно и происходит. Однако эффективность автоматизации будет заметно выше, если данные, ге-

нерируемые в одной из систем, будут доступны в других системах, поскольку принимаемые в них решения станут более обоснованными.

### **2.3. Структура систем автоматизированного проектирования**

По видам обеспечения средства автоматизированного проектирования можно структурировать следующим образом: техническое; математическое; программное; информационное; лингвистическое; методическое; организационное [10; 15; 18].

Техническое обеспечение САПР представляет собой совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих технических средств, предназначенных для выполнения автоматизированного проектирования. К компонентам технического обеспечения относят устройства вычислительной и организационной техники, средства передачи данных, измерительные и другие устройства и их сочетания, обеспечивающие функционирование комплекса средств автоматизированного проектирования.

Структура технического обеспечения может представлять локальные вычислительные сети, объединяющие в своем составе, в зависимости от задач, решаемых САПР, различные классы ЭВМ, периферийные устройства, сетевое оборудование и микропроцессорную технику, встроенную в технологическое оборудование.

Компоненты технического обеспечения должны давать возможность: кодирования и ввода информации с ее визуальным контролем и редактированием; передачи информации по различным каналам связи; хранения, контроля и восстановления информации; загрузки, хранения и исполнения программного обеспечения; оперативного предоставления запрашиваемой информации на устройства вывода.

Математическое обеспечение САПР — совокупность математических методов, математических моделей и алгоритмов проектирования, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования. Сюда входят математические модели конкретных объектов (технологических процессов, инструментов, приспособлений и др.) и процессов проектирования, методы проектирования, а

также методы и алгоритмы выполнения различных инвариантных проектных операций и процедур, связанных с оптимизацией, поиском информации, автоматизированной графики и др.

Взаимосвязи между компонентами математического обеспечения должны обеспечивать формализацию процесса проектирования, его целостность, адекватно описывать проектируемый объект, обеспечивать точность и экономичность [18].

Модель всегда лишь приближенно отражает некоторые свойства объекта. Адекватность имеет место, если модель отражает заданные свойства объекта с приемлемой точностью. Под точностью понимают степень соответствия оценок одноименных свойств объекта и модели. Экономичность (вычислительная эффективность) определяется затратами ресурсов, требуемых для реализации модели.

Программное обеспечение – совокупность машинных программ, необходимых для выполнения АП и представленных в заданной форме. Сюда включаются комплексы программ специального и общего назначения. Специальное программное обеспечение представляется в виде текстов прикладных программ, ориентированных на решение специальных задач (проектирование маршрутных и операционных технологических процессов, техническое нормирование, проектирование оснастки и т. п.). Общее программное обеспечение предназначено для управления вычислительным процессом и подготовки прикладных программ к использованию на ЭВМ. Эти функции обычно выполняют программы, входящие в состав операционных систем.

Компоненты программного обеспечения должны иметь иерархическую организацию, в которой на верхнем уровне размещается монитор управления компонентами нижних уровней – программными модулями. Программный модуль должен: регламентировать функционально законченное преобразование информации; быть написанным на одном из стандартных языков программирования; удовлетворять соглашениям о представлении данных, принятым в данной системе АП.

Информационное обеспечение – совокупность сведений, необходимых для выполнения АП и представленных в заданной форме. Основная составная часть информационного обеспечения САПР



– банк данных, представляющий совокупность средств для централизованного накопления данных. Банк данных состоит из базы данных и системы управления базой данных.

Банки данных должны обеспечивать: информационную совместимость проектирующих и обслуживающих подсистем; независимость данных на логическом и физическом уровнях, в том числе инвариантность к программному обеспечению; возможность одновременного использования данных из различных баз данных и различными пользователями; возможность интеграции неоднородных баз данных для совместного их использования различными подсистемами; возможность наращивания баз данных; контролируемую избыточность данных.

Построение банков данных САПР – сложная задача. Это обусловлено следующими особенностями САПР [19]:

1. Разнообразие проектных данных, фигурирующих в процессах обмена как по своей семантике (многоаспектность), так и по формам представления. В частности, значительна доля графических данных.

2. Нередко обмены должны производиться с высокой частотой, что предъявляет жесткие требования к быстродействию средств обмена (полагают, что СУБД должна работать со скоростью обработки тысяч сущностей в секунду).

3. В САПР проблема целостности данных оказывается более трудной для решения, чем в большинстве других систем, поскольку проектирование является процессом взаимодействия многих проектировщиков, которые не только считывают данные, но и изменяют их, причем в значительной мере работают параллельно. Из этого факта вытекают следствия: во-первых, итерационный характер проектирования обычно приводит к наличию по каждой части проекта нескольких версий, любая из них может быть принята в дальнейшем в качестве основной, поэтому нужно хранить все версии с возможностью возврата к любой из них; во-вторых, нельзя допускать использования неутвержденных данных, поэтому проектировщики должны иметь свое рабочее пространство в памяти и работать в нем автономно, а моменты внесения изменений в общую БД должны быть согласованными и не порождать для других пользователей неопределенности данных.

4. Транзакции могут быть длительными и трудоемкими. Транзакцией называют последовательность операций по удовлетворению запроса. В САПР внесение изменений в некоторую часть проекта может вызвать довольно длинную и разветвленную сеть изменений в других его частях из-за существенной взаимозависимости компонентов проекта (многошаговость реализации запросов). В результате транзакции могут длиться даже несколько часов. При хранении компонентов проекта во внешней памяти затраты времени на обработку запросов оказываются значительно выше, чем в большинстве других автоматизированных систем.

5. Иерархическая структура проектных данных и, следовательно, отражение наследования в целях сокращения объема базы данных.

Лингвистическое обеспечение — совокупность языков проектирования, включая термины и определения, правила формализации естественного языка и методы сжатия и развертывания текстов, необходимых для автоматизирования проектирования и представленных в заданной форме.

Компоненты лингвистического обеспечения должны быть согласованными с компонентами обеспечения других видов, быть относительно инвариантными к конкретному содержанию баз данных, предоставлять в компактной форме средства для описаний всех объектов и процессов заданного для системы класса с необходимой степенью детализации и без существенных ограничений на объект описания, быть рассчитанными в основном на диалоговый режим их использования.

Поскольку созданием программ для программируемых контроллеров обычно занимаются не профессиональные программисты, а заводские технологи, такие языки программирования должны быть достаточно простыми, обычно построенными на визуальных изображениях ситуаций. Например, используются различные схемные языки. Ряд языков стандартизован и представлен в международном стандарте I EC 1131-3.

Методическое обеспечение — совокупность документов, устанавливающих состав и правила отбора и эксплуатации средств обеспечения АП и необходимых для решения проектных задач.

К компонентам методического обеспечения относят: утвержденную документацию инструктивно-методического характера, устанавливающую технологию автоматизированного проектирования; правила эксплуатации комплекса средств АП; нормативы, стандарты и другие руководящие документы, регламентирующие процесс и объект проектирования.

Компоненты методического обеспечения должны размещаться на машинных носителях информации, позволяющих осуществлять как долговременное хранение документов, так и их оперативный вывод в форматах, установленных соответствующими стандартами.

Организационное обеспечение – совокупность документов, устанавливающих состав проектной организации и ее подразделений, связи между ними, их функции, а также форму представления результата проектирования и порядок рассмотрения проектных документов, необходимых для выполнения АП.

Компоненты организационного обеспечения должны устанавливать организационную структуру системы и подсистем, включая взаимосвязи ее элементов; задачи и функции службы САПР и связанных с ней подразделений организации; права и ответственность должностных лиц по обеспечению создания и функционирования АП; порядок подготовки и переподготовки пользователей.

## **2.4. Эффекты от применения систем автоматизированного проектирования**

Эффект от внедрения автоматизированного проектирования может быть экономический, социальный и технический.

Полный экономический эффект от внедрения автоматизированного проектирования на предприятии  $\Theta_n$  складывается из следующих составляющих:

$$\Theta_n = \Theta_{нт} + \Theta_{пр} + \Theta_{итпн},$$

где  $\Theta_{нт}$  – экономический эффект, полученный на этапе потребления изделий, обладающих улучшенными потребительскими свойствами благодаря тому, что их свойства сформулированы технологиями, спроектированными средствами САПР;  $\Theta_{пр}$  – экономический эффект, полученный на этапе использования в серийном и опытном

производства технологий, которые, благодаря тому, что они спроектированы средствами АП, обладают улучшенными производственно-технологическими показателями;  $\Theta_{\text{нтпп}}$  — экономический эффект, получаемый непосредственно на этапе проектирования изделий и технологий.

Точная оценка  $\Theta_{\text{пр}}$  для предприятия, внедряющего систему автоматизированного проектирования, проблематична, так как эффект получается у потребителя изделий. Однако предприятие-производитель получает возможность успешного продвижения продукции на рынке, расширения сбыта и сохранения конкурентоспособности.  $\Theta_{\text{пр}}$  и  $\Theta_{\text{нтпп}}$  рассчитываются по стандартным методикам.

Получаемый за счет снижения текущих расходов и увеличения сбыта доход должен быть достаточен для обеспечения приемлемого возврата капитальных затрат на внедрение системы. Коэффициент сравнительной экономической эффективности по всей промышленности принят 0,35. Следовательно, затраты на внедрение системы автоматизированного проектирования должны окупиться в течение примерно 3-х лет. Вместе с тем если внедрение системы автоматизированного проектирования является единственной возможностью для выживания предприятия, то срок может быть существенно большим.

При этом следует учитывать, что внедрение системы машинного черчения (САПР) позволяет до 3-х раз увеличить производительность труда конструктора (подразумевается двумерное проектирование). В случае внедрения интегрированной системы «САПР/АСТПП», которая требует трехмерного проектирования, оценить экономию сложнее. Не всегда производительность труда конструктора увеличивается столь значительно, и в общем случае легче получить и измерить экономию при разработке технологии, чем при проектировании объекта. Причина в том, что трехмерное моделирование требует больших временных затрат, чем двумерное черчение. Однако трехмерная модель содержит больше информации об объекте, чем двумерный проект, хотя двумерные чертежи богаты размерными и текстовыми пояснениями; трехмерная модель может быть использована при проектировании оснастки, приспособлений, форм.

Следует отметить, что внедрение более совершенных типов АП требует возрастающих затрат, как временных, так и финансовых. Например, компания SolidWorks Russia предлагает программное обеспечение (ПО) для систем САПР/АСТПП/АСНИ (CAD/CAM/CAE) SolidWorks. Стоимость ПО для одной рабочей станции системы твердотельного моделирования (CAD) составляла в сентябре 2000 года \$7000, системы механообработки (CAM) – \$7000 и системы инженерных расчетов (CAE) – \$7790. Кроме того, возможны дополнительные расходы при покупке различных специализированных приложений. Так, стоимость ПО для создания трехмерных моделей печатных плат составляла \$1795, для трехмерной разводки кабелей, жгутов и технологии их изготовления – \$5995, для проектирования прессформ – \$5995, для анализа проливаемости литьевых форм с учетом литника – \$14950.

Внедрение АП позволяет получить ряд социально-экономических эффектов, важнейшими из которых являются: снижение степени зависимости (чувствительности) уровня организации и реализации результатов проектирования от изменения коллектива субъектов проектирования; сокращение доли нетворческих, репродуктивных, рутинных работ в общем балансе рабочего времени субъектов проектирования, обладающих высокой профессиональной квалификацией; повышение продуктивности интеллектуальных ресурсов, организаций, реализующих процессы проектирования; повышение квалификации субъектов проектирования и престижности их труда; изменение социальной и профессионально-квалификационной структуры коллектива субъектов проектирования.

Существует ряд проблем, решение которых средствами АП невозможно. Хотя в какой-то степени системы АП корректируют небрежную работу исполнителей, недобросовестные и низкоквалифицированные сотрудники могут сделать некорректной работу самой системы. Система АП не производит конечную продукцию, и ее эксплуатация в сочетании с низкопроизводительным оборудованием и устаревшими технологиями не приведет к получению ожидаемого эффекта. Внедрение системы является стратегической задачей и неприемлемо для предприятий, балансирующих на грани банкротства, или малых предприятий, ориентированных на быстрый оборот капитала.

*Расчет экономического эффекта для предприятия, внедряющего САПР*, может быть определен по следующей методике. В первую очередь определяется необходимое количество рабочих станций проектировщиков.

Расчет необходимого количества рабочих станций вычислительного комплекса может быть произведен по формуле [23]

$$N_{PC} = \frac{T_{МАШ} \cdot A_2}{\Phi_{\text{Э}}}, \quad (2.1)$$

где  $A_2$  – общее количество проектируемых в год изделий, технологий и т. д.;  $\Phi_{\text{Э}}$  – годовой эффективный фонд времени работы вычислительного комплекса;  $T_{МАШ}$  – машинное или экранное время при проектировании одного изделия, технологического процесса и т. д.

Численность проектировщиков:

$$P_{\text{ПР}} = \frac{T_{\text{ПР}} \cdot A_2}{\Phi_{\text{ЭР}}}, \quad (2.2)$$

где  $\Phi_{\text{ЭР}}$  – годовой эффективный фонд времени одного работника;  $T_{\text{ПР}}$  – трудоемкость проектирования единицы изделия, технологии с использованием САПР.

***Расчет дополнительных капитальных вложений на вычислительную технику, затрат на проектирование САПР и на площадь помещения комплекса ВТ***

Капитальные вложения в вычислительную технику:

$$K_{\text{ВТ}} = (C_{\text{PC}} \cdot N_{\text{PC}} + C_{\text{ПУ}}) \cdot K_3, \quad (2.3)$$

где  $C_{\text{PC}}$  – стоимость рабочей станции;  $K_3$  – коэффициент загрузки комплекса;  $C_{\text{ПУ}}$  – цена периферийных устройств.

Капитальные вложения в площадь помещения для размещения ВТ:

$$K_{\text{ПОМ}} = N_{\text{PC}} \cdot П \cdot C_{\text{ПЛ}} \cdot K_3, \quad (2.4)$$

где  $П$  – площадь, занимаемая рабочей станцией.

Заработная плата проектировщиков САПР:

$$З_{\text{ПР}} = T_{\text{ПРОЕКТ}} \cdot З_{\text{ЧАС}}, \quad (2.5)$$

где  $T_{\text{ПРОЕКТ}}$  – затраты времени на проектирование САПР;  $З_{\text{ЧАС}}$  – часовая заработная плата, основная и дополнительная.

Общие дополнительные капитальные вложения на создание САПР:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{вт}} + K_{\text{пом}} + Z_{\text{пр}} \quad (2.6)$$

***Расчет себестоимости одного часа машинного времени работы ЭВМ***

1. Расходы на заработную плату проектировщиков:

$$Z_{\text{пл}} = P_{\text{пр}} \cdot Z_{\text{час}} \cdot K_0, \quad (2.7)$$

где  $K_0$  – коэффициент отчислений единого социального налога.

2. Расходы на амортизацию ВТ:

$$P_A = \frac{C_{\text{вт}} \cdot N_A \cdot K_3}{\Phi_{\text{пол}} \cdot 100}, \quad (2.8)$$

где  $C_{\text{вт}}$  – общая стоимость вычислительной техники;  $N_A$  – норма амортизации;  $K_3$  – коэффициент загрузки комплекса ВТ;  $\Phi_{\text{пол}}$  – время полезной работы ЭВМ.

3. Расходы на электроэнергию:

$$P_{\text{э}} = M \cdot C_{\text{э}} \cdot K_M, \quad (2.9)$$

где  $M$  – мощность, потребляемая вычислительной техникой;  $C_{\text{э}}$  – цена электроэнергии;  $K_M$  – коэффициент использования мощности.

4. Расходы на текущий ремонт и профилактическое обслуживание вычислительной техники:

$$P_P = \frac{C_{\text{вт}} \cdot K_P \cdot K_3}{\Phi_{\text{пол}}}, \quad (2.10)$$

где  $K_P$  – коэффициент затрат на ремонт и профилактическое обслуживание ЭВМ.

5. Расходы на содержание производственной площади, занятой ЭВМ:

$$P_{\text{пл.вт}} = \frac{C_{\text{вт}} \cdot C_{\text{пл}} \cdot K_3}{\Phi_{\text{пол}}}, \quad (2.11)$$

где  $C_{\text{пл}}$  – цена одного квадратного метра площади.

6. Расходы на содержание площади рабочих мест проектировщиков:

$$P_{\text{пл.пр}} = \frac{P_{\text{уд}} \cdot C_{\text{пл}} \cdot N_{\text{рс}}}{\Phi_{\text{пол}}}, \quad (2.12)$$

где  $P_{уд}$  – площадь, занимаемая одним рабочим местом проектировщика;  $H_{рс}$  – количество рабочих станций.

7. Возмещение износа быстроизнашивающихся и малоценных деталей:

$$P_{ИЗН} = \frac{Ц_{ВТ} \cdot K_{ИЗН} \cdot K_3}{\Phi_{ПОЛ}}, \quad (2.13)$$

где  $K_{ИЗН}$  – коэффициент затрат на возмещение износа малоценных и быстроизнашивающихся деталей ЭВМ.

8. Прочие расходы, связанные с эксплуатацией ЭВМ:

$$P_{ПРОЧ} = \frac{Ц_{ВТ} \cdot K_{ПРОЧ} \cdot K_3}{\Phi_{ПОЛ}}, \quad (2.14)$$

где  $K_{ПРОЧ}$  – коэффициент прочих затрат по эксплуатации ЭВМ.

Итого, себестоимость работы одного машино-часа ЭВМ:

$$C_{МЧ} = Z_{ПЛ} + P_A + P_{\Theta} + P_P + P_{ПЛ.ВТ} + P_{ПЛ} + P_{ИЗН} + P_{ПРОЧ}. \quad (2.15)$$

***Расчет годовых производственных затрат по проектированию с помощью САПР***

$$Z_{ГОД} = C_{МЧ} \cdot T_{МАШ} \cdot A_2. \quad (2.16)$$

Дополнительная прибыль (условно-годовая экономия) от снижения расходов на заработную плату проектировщиков:

$$\Theta_{ЗПЛ} = (T_{ПРБ} - T_{ПР}) \cdot A_2 \cdot Z_{ЧАС} \cdot K_0, \quad (2.17)$$

где  $Z_{ЧАС}$  – средняя часовая заработная плата;  $K_0$  – коэффициент отчислений единого социального налога;  $T_{ПРБ}$  – трудоемкость проектирования единицы изделия, технологии без использования САПР (ручное проектирование).

Расчет дополнительной прибыли (условно-годовой экономии) от снижения себестоимости проектирования единицы изделия, технологии:

$$P_{РДОП} = \Theta_{ЗПЛ} - Z_{ГОД}. \quad (2.18)$$

Расчет чистой прибыли за вычетом налога на прибыль:

$$P_{РЧИСТ} = P_{РДОП} - P_{РДОП} \cdot H_{ПР}, \quad (2.19)$$

где  $H_{ПР}$  – налог на прибыль.



Определение расчетного срока окупаемости:

$$T_{\text{ОК.РАСЧ}} = \frac{K_{\text{ДОП}}}{\text{Пр.ЧИСТ}}. \quad (2.20)$$

Определение общей текущей стоимости денежных доходов в пределах расчетного срока окупаемости, приведенных к текущему времени (времени начала осуществления затрат) через коэффициент дисконтирования:

$$D_{\text{ОБЩ.ТЕК}} = \sum_1^T \frac{\text{Пр.ЧИСТ}}{12} \cdot \frac{1}{(1+E)^t}, \quad (2.21)$$

где  $T$  – расчетный срок окупаемости;  $\frac{\text{Пр.ЧИСТ}}{12}$  – средняя прибыль за месяц;  $E$  – месячная ставка дохода на капитал;  $t$  – 1-й, 2-й и т. д. месяц.

Определение интегрального экономического эффекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ИНТ}} = D_{\text{ОБЩ.ТЕК}} - K_{\text{ДОП}}. \quad (2.22)$$

Если  $\mathcal{E}_{\text{ИНТ}} > 0$  – внедрение САПР эффективно.

Определение индекса доходности:

$$\text{ИД} = \frac{D_{\text{ОБЩ.ТЕК}}}{K_{\text{ДОП}}}. \quad (2.23)$$

Срок окупаемости капитальных затрат:

$$T_{\text{ОК}} = \frac{K_{\text{ДОП}}}{D_{\text{ОБЩ.ТЕК}}}. \quad (2.24)$$

Внедрение САПР считается эффективным, если  $\text{ИД} > 0,42$ , где 0,42 – нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности [23]. Однако если внедрение САПР – единственный способ выжить для предприятия, то возможно внедрение и при меньших значениях индекса доходности.

## Контрольные вопросы

1. Какие этапы жизненного цикла промышленных изделий вы знаете?
2. Что такое проектирование технического объекта?
3. Чем автоматизированное проектирование отличается от автоматического?
4. Что относится к компонентам технического обеспечения САПР?
5. В чем сложности создания банков данных применительно к САПР?
6. В каком случае математическая модель какого-либо объекта является адекватной?
7. Какие социально-экономические эффекты могут быть получены от внедрения САПР на предприятии?
8. Из каких составляющих складывается полный эффект от внедрения автоматизированного проектирования?
9. Могут ли автоматизированные системы управления выполнять бизнес-функции?

## **3. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВАХ**

---

### **3.1. Общие сведения о программе «ПАССАТ»**

Специализированные программные средства позволяют выполнять достаточно узкие задачи при проектировании. С учетом того, что большая часть процессов в газонефтехимии реализуется в установках цилиндрической формы, представляющих собой реакторы, теплообменники, колонны, емкости [11; 16], рассмотрим специализированное программное средство «ПАССАТ» (Прочностной анализ состояния сосудов, аппаратов, теплообменников).

Разработчик программы – ООО «НТП Трубопровод». ООО «НТП Трубопровод» было основано в 1992 г. и в настоящее время является одной из ведущих в России компаний по информационным технологиям в области проектирования нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических производств; по экспертизе промышленной безопасности проектов производств, объектов и технических устройств; диагностике и контролю неразрушающими методами сосудов, аппаратов, резервуаров и трубопроводов.

Предприятие разрабатывает и поставляет программное обеспечение для инженерных расчетов сосудов, аппаратов, трубопроводов и оборудования в самых разных отраслях, в том числе и газонефтехимии.

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, плавающей головки проводится с помощью модуля «ПАССАТ – Теплообменники».

Расчет вертикальных стальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов выполняется с помощью модуля «ПАССАТ – Резервуары».

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

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

Следует отметить, что инструментарий для построения твердотельной модели в ПАССАТ существенно ограниченнее, чем в универсальных САПР, с которыми мы познакомимся позже. ПАССАТ использует геометрическое ядро С3D разработки компании «АСКОН». 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.).

В качестве примера рассмотрим несколько вариантов построения твердотельных моделей.

### **3.2. Проектирование и расчет горизонтального сосуда**

После запуска программы разворачивается главное окно программы, рис. 3.1. Диалоговый интерфейс программы соответствует стандартам приложений для Microsoft Windows и построен на стандартных элементах диалога Microsoft Windows (меню, панели инструментов, окна, поля ввода и т. п.), поэтому последовательно активируем кнопку *Файл* главного меню; в развернувшемся подменю *Создать*; в развернувшемся окне *Новый* (рис. 3.2). Проектировщику предлагается на выбор несколько возможных вариантов. Выбираем пункт *Горизонтальные сосуды и аппараты*; открывается окно *Общие*

данные (рис. 3.3). В нем проектировщик должен ввести информацию о рабочей среде внутри сосуда, о давлении, другую служебную информацию.

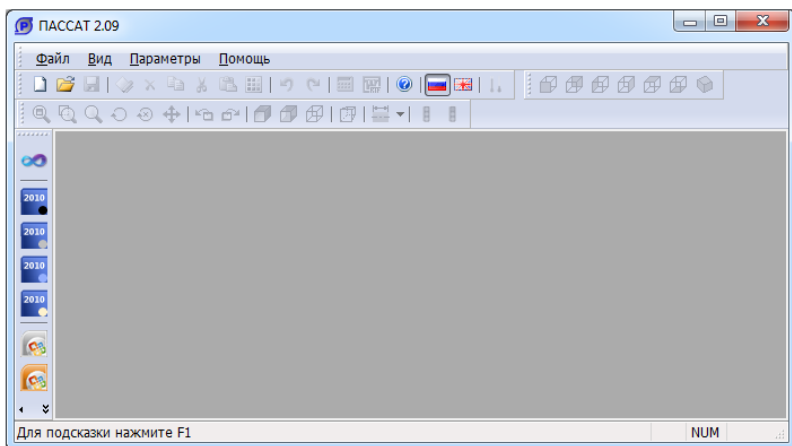


Рис. 3.1. Главное окно программы

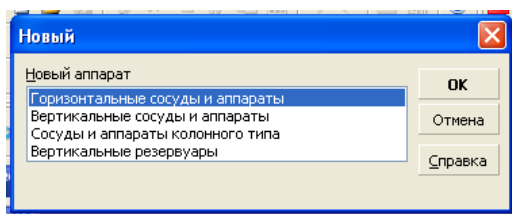


Рис. 3.2. Окно *Новый*

По завершении ввода появляется окно (рис. 3.4) с областью просмотра и панелями инструментов, предназначенными для вызова всех основных команд программы и редактирования графического отображения расчетной модели.

Окно для графического отображения модели располагается в центре экрана. Ось  $Z$  совпадает с осью симметрии будущей модели.

Пиктограммы в панели *Элементы горизонтального сосуда* используются при создании новых элементов расчетной модели.

Общие данные

Наименование объекта:

Название установки:

Группа рабочей среды по ТР ТС 032/2013:

Сосуд, содержащий рабочую жидкость

Расчет заполнения сосуда в рабочих условиях

По коэффициенту заполнения (приблизленно)

Процент заполнения сосуда:  %

Название рабочей среды:

Плотность рабочей среды:  кг/куб.м

Вид испытаний:  Не проводить

Сероводородная среда

Расчет теплообменников  
(модуль "ПАССАТ-Теплообменник")

Расчет на малоцикловую прочность

Учет сейсмических нагрузок  
(модуль "ПАССАТ-Сейсмика")

Сейсмичность, балл:

Категория сейсмостойкости:

Относительное демпфирование:  %

Учет высоты установки сосуда

Рис. 3.3. Окно *Общие данные*

Весь инструментарий проектировщика по созданию трехмерных моделей находится в панели *Элементы горизонтального сосуда* или пункте главного меню *Элементы*.

Как уже было указано ранее, основой сосудов, как горизонтальных, так и вертикальных, равно как и других объектов – колонн, реакторов, являются цилиндрические обечайки. С создания трехмерной модели обечайки и начнем работу над трехмерной моделью горизонтального сосуда.

Активируем последовательно *Элементы*, *Обечайка цилиндрическая* или соответствующую пиктограмму в панели *Элементы горизонтального сосуда*.

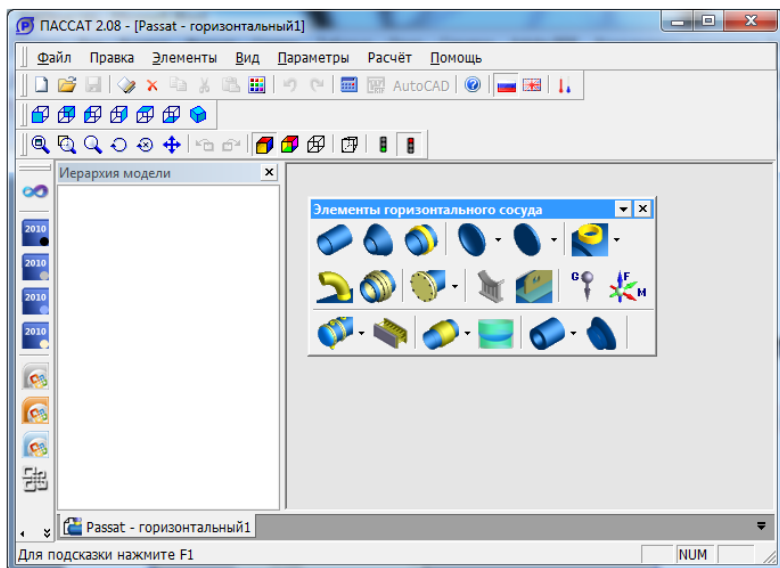


Рис. 3.4. Рабочая область программы

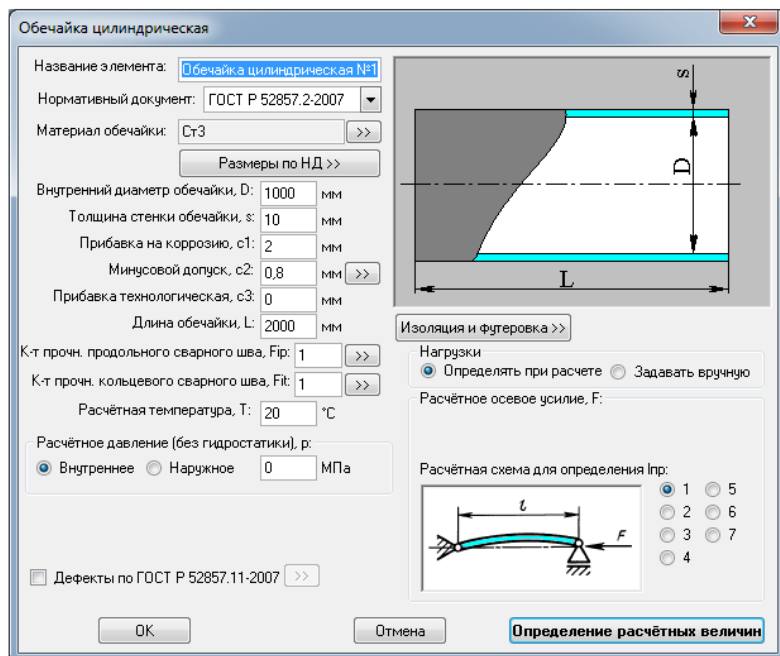


Рис. 3.5. Окно создания обечайки

Разворачивается окно *Обечайка цилиндрическая* (рис. 3.5). В поле *Название элемента* задается имя элемента (по умолчанию присваивается «Обечайка цилиндрическая № ...»). В дальнейшем это имя используется при редактировании, удалении, задании сопряженных элементов, а также при выводе результатов расчета.

В поле *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.

В поле *Материал обечайки* задается или выбирается из базы данных (ГОСТ Р 52857.1-2007, 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 °С) материал, из которого изготовлена обечайка.

Пользователь вводит данные во все остальные поля, причем в поле *Расчетная схема для определения  $l_{пр}$*  расчетные схемы при нагружении обечайки сжимающими силами определяются по ГОСТ 14249-89, и все 7 возможных вариантов представлены на рис. 3.6.

По окончании ввода всех данных нажимаем *OK*, и готовая трехмерная модель обечайки появляется в рабочей области (рис. 3.7).

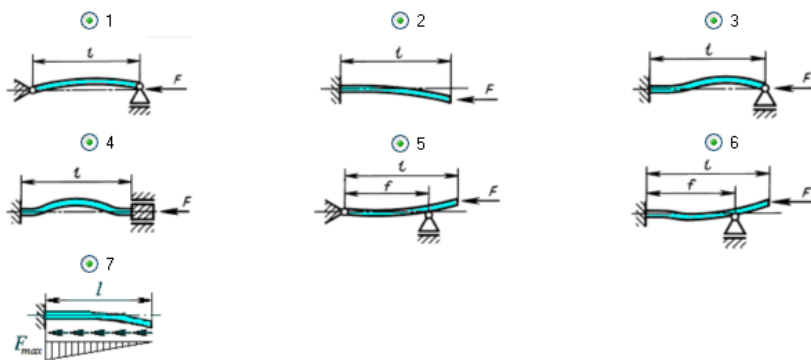


Рис. 3.6. Расчетные схемы при нагружении обечайки сжимающими силами



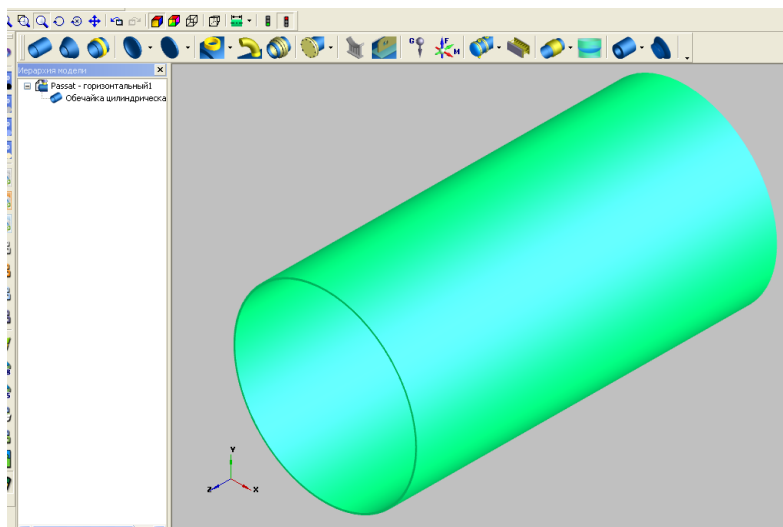


Рис. 3.7. Трёхмерная модель обечайки

Предположим, что проектируемый горизонтальный сосуд состоит из двух обечайек. Повторно активируем *Элементы*, *Обечайка цилиндрическая* или соответствующую пиктограмму в панели *Элементы горизонтального сосуда*. Появляется окно *К чему присоединить элемент* (рис. 3.8). На данном этапе проектирования горизонтального сосуда выбор ограничен обечайкой № 1, мы можем присоединить вторую обечайку к ее концу или к началу.

Затем работа по внесению информации ведется в окне *Обечайка цилиндрическая*, как было указано выше.

Допустим, корпус состоит из двух обечайек. Теперь нужно определиться с днищами. Есть два варианта – выбрать выпуклые или плоские днища.

Программа предлагает к выбору следующие конструктивные варианты выпуклых днищ: эллиптическое; полусферическое; торосферическое; коническое пологое; коническое крутое; сферическое неотбортованное.

Программа предлагает к выбору следующие конструктивные варианты плоских днищ: днище плоское; днище плоское с ребрами.

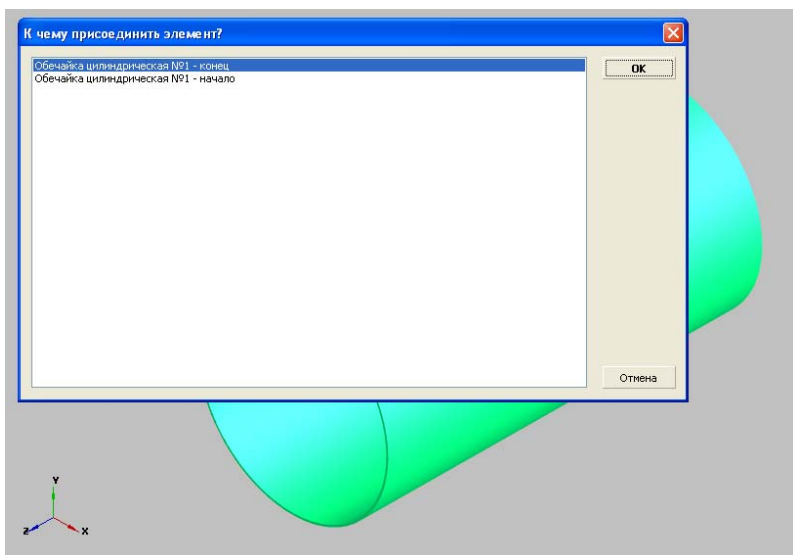


Рис. 3.8. Окно *К чему присоединить элемент*

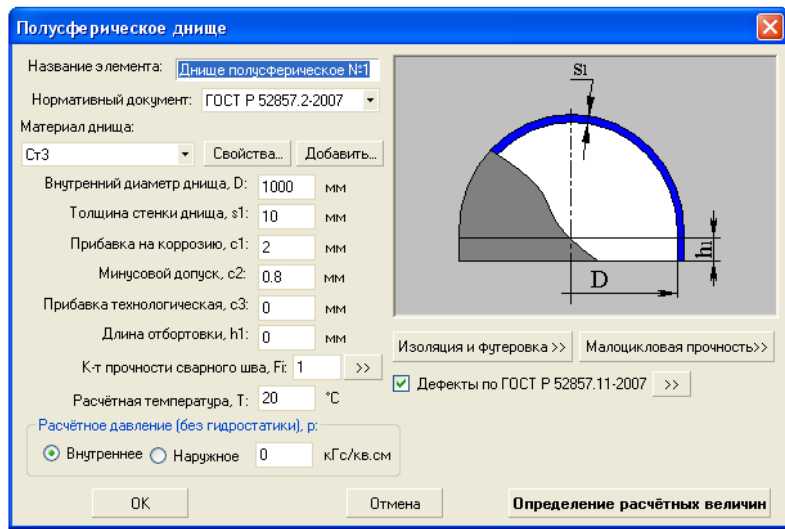


Рис. 3.9. Окно *Полусферическое днище*

Выбираем выпуклое полусферическое днище. Появляется окно *К чему присоединить элемент*, и затем в окне *Полусферическое днище*

(рис. 3.9) вводим имя элемента, нормативный документ, размеры по ГОСТ, материал, геометрию, коэффициенты прочности сварных швов, изоляцию и футеровку, а также условия нагружения по аналогии с цилиндрической обечайкой.

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. Результатом работы является днище, присоединенное к обечайкам (рис. 3.10).

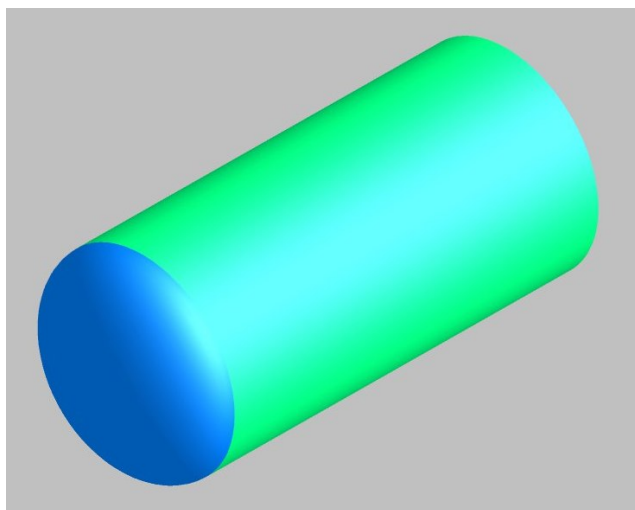


Рис. 3.10. Обечайки с днищем

После присоединения второго днища к корпусу продолжается работа над моделированием корпуса. Горизонтальный сосуд должен стоять на каких-то опорах. Активируя *Элементы*, *Опора седловая*, открываем окно *Седловая опора* (рис. 3.11). 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. Одна из опор сосуда должна быть задана как неподвижная.

**Седловая опора**

Название элемента: Опора седловая №2      Опора присоединена к: Обечайка цилиндрическая №1

Нормативный документ: ГОСТ Р 52857.5-2007

Внутренний диаметр обечайки, D: 2400 мм  
Толщина стенки обечайки, s: 8 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: 4000 мм  
Расчётная температура, T: 50 °C  
Высота опоры, H: 198 мм

Толщина листа, s2: 8 мм  
Ширина листа, b2: 450 мм  
Угол охвата листа, delta2: 140 градус  
Длина выступающей части листа, f: 210.8 мм

Требуется расчет опоры                 

Рис. 3.11. Окно *Седловая опора*

**Штуцер**

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

Нормативный документ: ГОСТ Р 52857.3-2007

Материал штуцера: 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, Fc: 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 торковой вставкой  
 8 - С сварным кольцом

**РАСПОЛОЖЕНИЕ:**

Радиальный  
 В плоскости попер. сечения  
 Смешанный  
 Наклонный

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

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

Рис. 3.12. Окно *Штуцер*

После установки двух опор необходимо в горизонтальном соуде сделать соответствующие люки, патрубки, штуцера. Иначе невозможно будет использовать его по назначению. Возможны два варианта штуцеров – круглый и овальный. Для создания штуцера активируем *Элементы, Штуцер*. Появляется окно *К чему присоединить элемент*; переходим в окно *Штуцер* (рис. 3.12).

Имя элемента, нормативный документ, материал, геометрия, 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 днища штуцер может быть радиальным, располагаться в плоскости поперечного сечения, смещённым, а также произвольного расположения (наклонный), рис. 3.13.

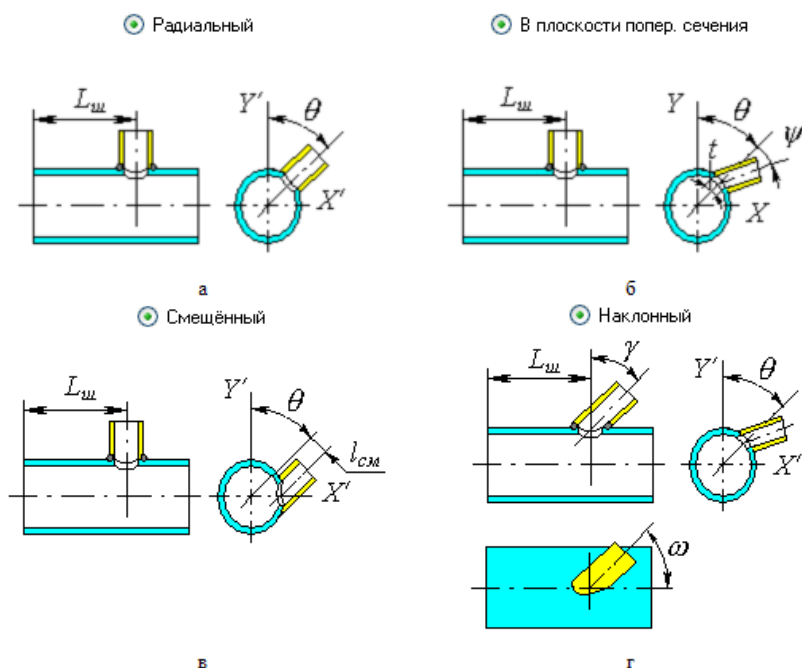


Рис. 3.13. Варианты расположения штуцера относительно корпуса

Для выпуклых днищ (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). Для плоских днищ предусмотрено расположение штуцеров только перпендикулярно поверхности.

Также для горизонтального сосуда потребуются несущие ушки. Необходимость в них обусловлена тем, что сосуд придется монтировать на месте эксплуатации с использованием грузоподъемных средств.

Чтобы установить на трехмерную модель ушки, активируем последовательно *Элементы*, *Несущее ушко*. Появляется окно *К чему присоединить элемент*. Ушко может быть присоединено к любой цилиндрической или конической обечайке корпуса аппарата или к эллиптическому (полусферическому) днищу. После выбора переходим в окно *Несущее ушко* (рис. 3.14).

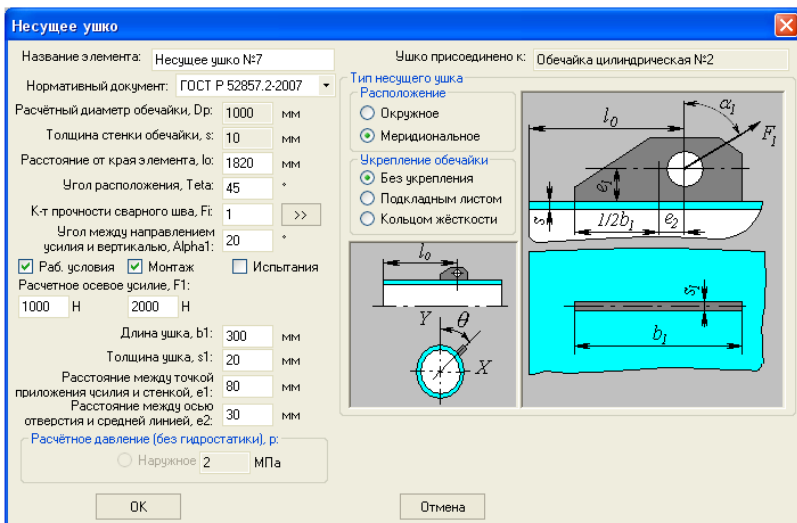


Рис. 3.14. Окно *Несущее ушко*

Нагрузка и направление её действия должны назначаться пользователем исходя из условий применения ушек. На обечайке ушки могут располагаться в продольном и поперечном направлении.

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

После комплектации трехмерной модели ушками она оснащена всем необходимым и приобрела следующий вид (рис. 3.15).

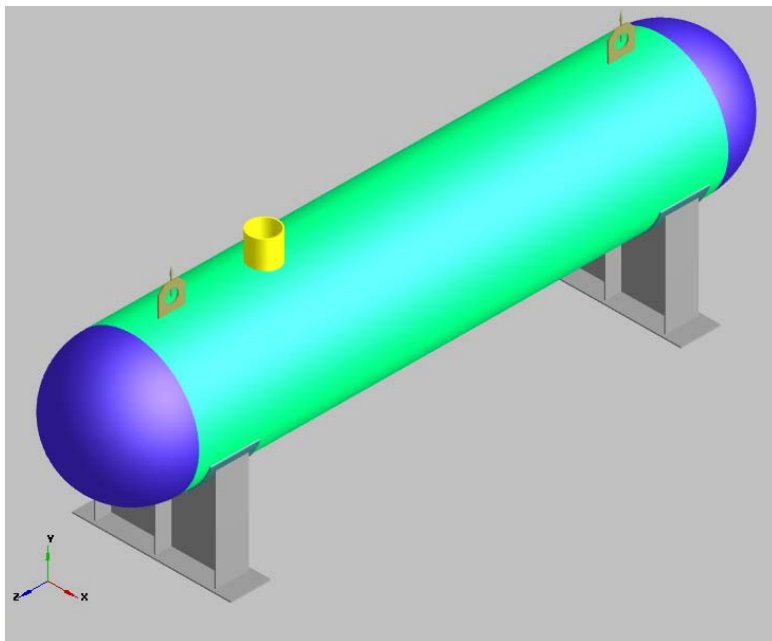


Рис. 3.15. Готовая трехмерная модель корпуса горизонтального сосуда

Разработанная трехмерная модель является параметризованной. Слева находится панель *Иерархия модели*. Данная панель предназначена для наглядного представления проектировщику структуры модели и быстрой навигации. Элементы модели представлены в панели в виде пиктограмм с названиями. Пиктограммы интерактивны и снабжены выпадающими меню. Таким образом, из указанных меню обеспечивается легкий доступ к командам редактирования элементов. Самый верхний элемент с названием файла модели отвечает за редактирование общих данных.

Например, заданные размеры штуцера (рис. 3.12) нас не устраивают. Активируем на панели *Иерархия модели* пиктограмму *Штуцер № 1*. Элемент (штуцер) выделяется синим цветом (рис. 3.16).

Затем кликаем правой кнопкой мыши, разворачивается панель, на которой кликаем *Редактировать*. Переходим в окно *Штуцер*, где вносим необходимые изменения, например, увеличиваем его диаметр со 100 мм до 300 мм. Результат редактирования представлен на рис. 3.17. Помимо редактирования панель предоставляет возможности удаления штуцера, изменения его цвета и пр. в зависимости от активированной функции.

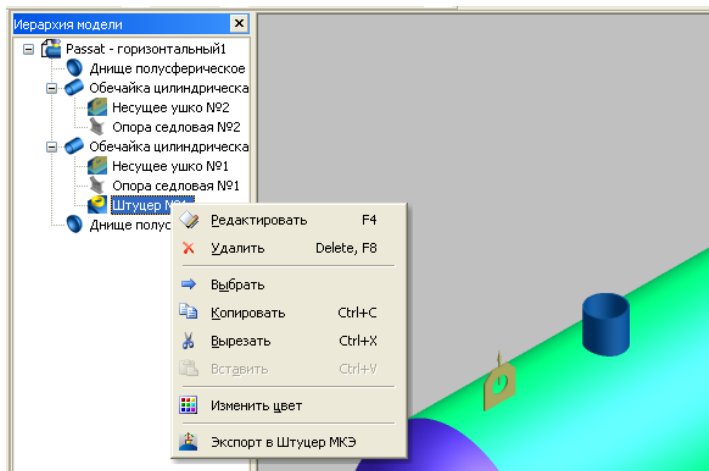


Рис. 3.16. Редактирование штуцера

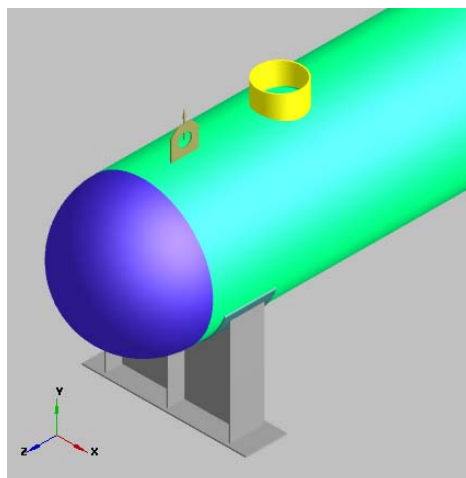


Рис. 3.17. Штуцер увеличенного диаметра



После того, как корпус горизонтального сосуда полностью укомплектован всем необходимым оснащением (рис. 3.15), для проведения расчетов необходимо последовательно активировать *Расчет, Расчет сосуда F3*.

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.

### 3.3. Проектирование вертикального сосуда

В качестве другого примера работы в программе «ПАССАТ» рассмотрим проектирование вертикального сосуда (рис. 3.2). После выбора пункта меню *Вертикальные сосуды и аппараты* переходим в окно *Общие данные* (см. рис. 3.3) и после ввода всех необходимых данных – в рабочую область программы (рис. 3.4). Отличие в работе от горизонтального резервуара будет заключаться в моделировании конического перехода (рис. 3.18).

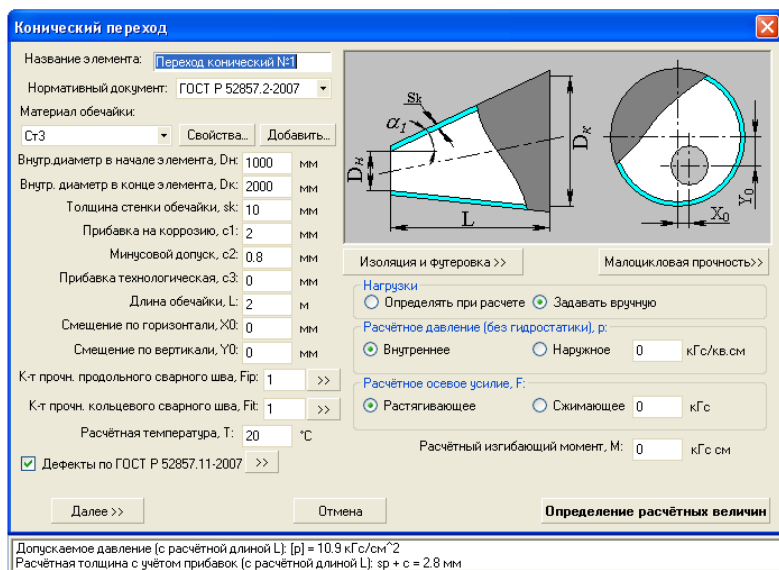


Рис. 3.18. Окно *Конический переход*

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 переход к описанию узлов сопряжения со смежными элементами. Конструкции узлов сопряжения определяются по ГОСТ Р 52857.2-2007 (ГОСТ 14249-89).

Кроме того, конструктивно опорные стойки будут выполнены не так, как у горизонтального резервуара. Возможны три варианта конструктивного оформления (рис. 3.19): *Опорные лапы*, *Опорные стойки*, *Опоры-стойки*.

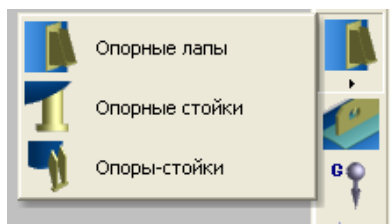


Рис. 3.19. Варианты опор вертикального сосуда

Если выбираем *Опорные стойки*, то в окне *Опорные стойки* вводим всю необходимую информацию. Причем расчет может быть произведен при наличии 3 или 4 стоек. При этом при наличии 4 стоек необходимо уточнить качество монтажа. Опорные стойки могут быть как без укреплений, так и подкреплены подкладными листами. Типы опорных стоек определяются ГОСТ Р 52857.5-2007.

Еще для охлаждения корпуса вертикального сосуда зададим *Рубашка цилиндрическая* (рис. 3.20, 3.21).

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.

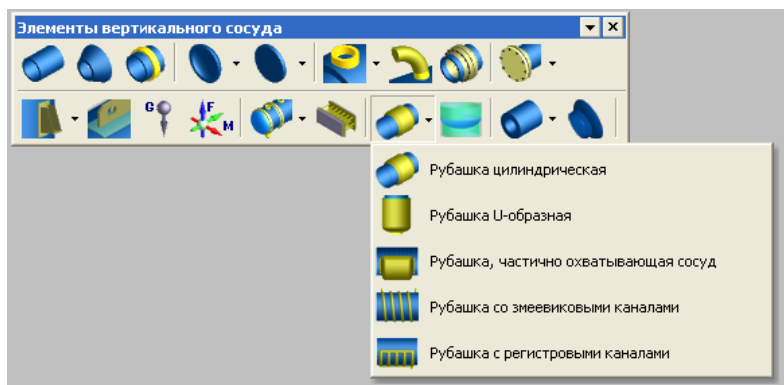


Рис. 3.20. Выбор вариантов охлаждения корпуса

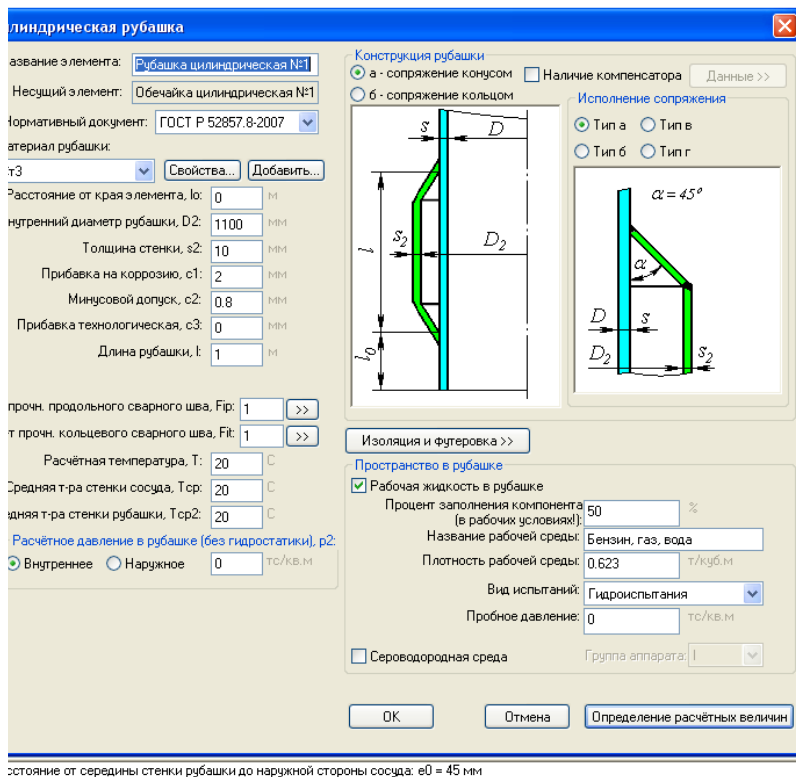


Рис. 3.21. Окно Цилиндрическая рубашка

Готовая трехмерная модель вертикального сосуда, спроектированная с учетом вышеизложенного, представлена на рис. 3.22.

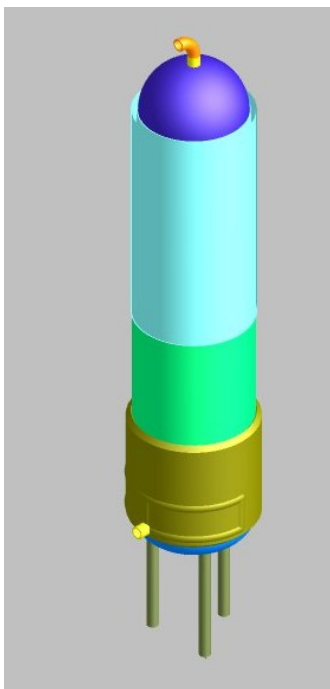


Рис. 3.22. Вертикальный сосуд

### Контрольные вопросы

1. Кто разработчик используемого в ПАССАТ геометрического ядра?
2. Какие возможности предоставляет ПАССАТ проектировщику в плане построения трехмерных моделей?
3. Что является основой горизонтальных, вертикальных сосудов, колонн, реакторов?
4. Какие варианты днищ предлагает программа проектировщику?
5. Вдоль какой оси координат размещаются оси обечаек?
6. Позволяет ли заложенный в программе инструментариий моделировать сварные швы?

## 4. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДАХ

---

Универсальных программных сред (пакетов) для автоматизированного проектирования достаточно много. Возможности у них разные – от автоматизированной подготовки чертежей до полноценных функций CAD/CAM/CAE.

К очень мощным системам, обладающим обширным инструментарием, относится CATIA (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) – одна из самых распространенных САПР высокого уровня. Это комплексная система автоматизированного проектирования (CAD), технологической подготовки производства (CAM) и инженерного анализа (CAE), включающая передовой инструментарий 3D-моделирования, подсистемы программной имитации сложных технологических процессов, развитые средства анализа и единую базу данных текстовой и графической информации. Система позволяет эффективно решать все задачи технической подготовки производства – от внешнего (концептуального) проектирования до выпуска чертежей и спецификаций.

Другая мощная система Pro/ENGINEER является САПР верхнего уровня и охватывает все сферы проектирования, технологической подготовки производства и изготовления изделия. Широкий диапазон возможностей аппарата трехмерного моделирования, высокое качество получаемого результата и устойчивость его к последующим изменениям сделали Pro/ENGINEER одним из лидеров систем CAD/CAM/CAE.

SolidWorks – продукт компании SolidWorks Corporation, система автоматизированного проектирования, инженерного анализа и подготовки производства изделий любой сложности и назначения. Она представляет инструментальную среду, предназначенную для автоматизации проектирования сложных изделий в машиностроении и в других областях промышленности. У нее обширный инструментарий, но по возможностям она несколько уступает предыдущим.

Все перечисленные многофункциональные САПР и многие другие позволяют успешно разрабатывать объекты и процессы,

в том числе и газонефтехимии. Как это делается – рассмотрим на примере пакета NX.

#### **4.1. Краткое описание пакета NX**

У NX довольно долгий и сложный путь развития. Корни его лежат в системе Unigraphics [3].

В 1976 г. в результате объединения с компанией United Computing была образована компания Unigraphics Solutions как дочернее предприятие корпорации McDonnell Douglas (сегодня Boeing). Наверное, именно там закладывались первые алгоритмы Unigraphics. В 1988 г. произошло объединение Unigraphics Solutions с компанией Shape Data Ltd, которая в те годы вела разработку математического ядра геометрического моделирования Parasolid. С этого момента вся математика Unigraphics базируется на ядре Parasolid.

В 1991 г. компанию приобретает фирма EDS и дает ей название EDS Unigraphics, и в этом же году состоялась первая поставка системы в Россию. В 1992 г. к компании приходит мировая известность – крупнейшими пользователями системы Unigraphics становятся корпорации General Electric, McDonnell Douglas; в этом году открывается представительство EDS Unigraphics в Москве.

В 1998 г. EDS Unigraphics становится дочерней компанией EDS, возвращает прежнее название – Unigraphics Solutions и присоединяет подразделение компании Intergraph, разрабатывающей систему твердотельного моделирования Solid Edge.

В 2001 г. компания была переименована в UGS. В 2007 году концерн Siemens AG приобрел компанию UGS. Программный пакет Unigraphics получил новое название – NX.

За прошедшие годы официальными пользователями пакета NX в России стали сотни предприятий. Система успешно эксплуатируется в авиационной и автомобильной промышленности, в тяжелом машиностроении, в производстве товаров народного потребления. Фактически ядро Parasolid стало стандартом для систем трехмерного моделирования и инженерного анализа. Его лицензировали для построения своих систем многие разработчики, и даже некоторые российские системы используют платформу Parasolid.

С помощью пакета NX инженер создает модель изделия или его элементов такими, какими он их себе представляет. Пакет NX – это система трехмерного твердотельного моделирования, в которой инженеру предоставляется полный набор функций работы с твердым телом, поверхностью и каркасной моделью.

Полный набор операций с твердым телом и поверхностью основан на полностью ассоциативном, параметрическом дереве построения. Навигатор модели, наглядно показывающий элементы, из которых построена эта модель, и порядок построения позволяют произвольно выбрать конструктивные элементы трехмерной модели и оперативно менять их и связи между ними. Историю построения модели можно просмотреть пошагово, а конструктивные элементы допускается копировать и затем вставлять в модель. Количество элементов, из которых строится модель, не ограничено, и это дает возможность построить особо сложную модель. С помощью методов геометрического конструирования можно вносить необходимые изменения в модель, а также преобразовывать поверхности и твердые тела в типовые элементы и заносить их в конструкторскую базу данных.

Круг решаемых системой задач можно разделить на уровни: начальный, средний, высокий. К высокому уровню относят комплексные системы, которые связывают воедино все процессы проектирования и изготовления изделия. Они помогают решать задачи, стоящие в ходе разработки больших сложных изделий – от эскизного проектирования до реализации проекта, – через этап расчетов и оптимизации изделия. В данном случае мы будем работать на начальном уровне – разработка достаточно простой трехмерной модели изделия и ее модификация.

Для решения каждой из задач разработан законченный пакет программ, который называют модулем, или приложением. Любое рабочее место в пакете NX формируется набором модулей, что позволяет составить оптимальный по функциональности инструмент для дизайнера, конструктора, исследователя, технолога и других специалистов.





## 4.2. Варианты построения трехмерных моделей в NX

Имеющийся в программе NX инструментарий позволяет получать трехмерные объекты несколькими путями. Возможно создание трехмерных тел из первичных строительных блоков (в дальнейшем ПСБ, конструкторы на своем сленге называют их «примитивами») с последующей трансформацией полученного объекта за счет объединения, вычитания, пересечения блоков, обрезания ненужного, получения скруглений и фасок. Можно нарисовать так называемый эскиз (двумерное тело – параметрическое образование) и произвести с ним операции выдавливания или вращения вокруг оси, получив тем самым трехмерное тело. Возможен вариант выдавливания или вращения замкнутой кривой. Возможно создание поверхностей, и далее, задавая с помощью специальной функции «толщину» такой поверхности, можно получить трехмерное тело [3].

Следует отметить, что по аналогичному принципу происходит построение трехмерных моделей и в других системах автоматизированного проектирования, в том числе и в упомянутых выше Pro/ENGINEER, CATIA, SolidWorks.

После запуска программы NX работа при построении любой трехмерной модели начинается в модуле *Модель* (рис. 4.1); для этого при входе в окне *Новый* должна быть активна вкладка *Модель*.

Рассмотрим вариант создания твердых тел, моделирующих объекты нефтехимии с помощью ПСБ. Выбор базовых ПСБ в программе NX ограничен следующим набором: параллелепипед, сфера, конус, цилиндр. Для создания требуемого объекта последовательно активируем в главном *Меню* пункт *Вставить*, в развернувшемся подменю пункт *Элементы проектирования* и затем требуемый геометрический объект или в *Ленточной панели* во вкладке *Исходная* в разделе *Элемент*.

Если в главном *Меню* в *Элементах проектирования* был выбран цилиндр, то развернется окно *Цилиндр* , в котором в поле *Тип* следует выбрать вариант построения, например, *Ось, диаметр высота*  или *Дуга и высота* , нажав на треугольник справа  и выбрав из развернувшегося *Меню* нужный вариант (рис. 4.2).



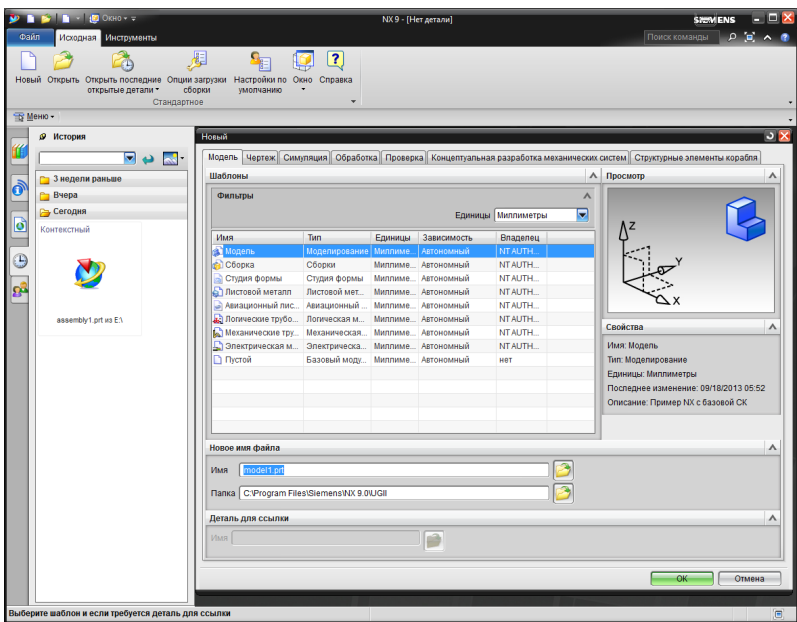


Рис. 4.1. Окно создания нового документа

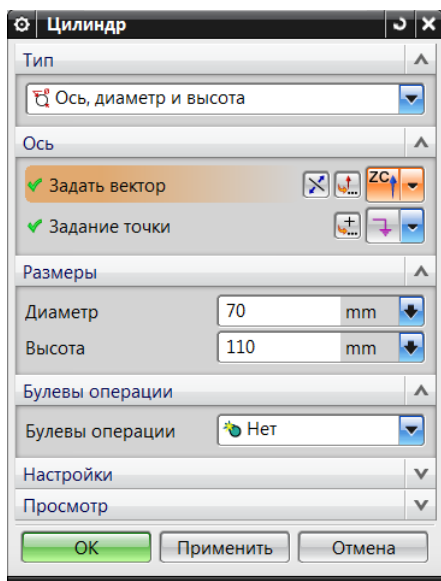







Рис. 4.2. Окно *Цилиндр*

Направление оси цилиндра задается в поле *Задать вектор*, в котором можно выбрать требуемую ось декартовой системы координат, например ось *OZ*, для чего нажимаем кнопку *ZC*. При этом направление построения будет совпадать с положительным значением оси *Z*. Можно задать направление построения противоположное, нажав кнопку *ZC*. Или, нажимая кнопку *Сменить направление*, можно менять направление построения цилиндра от места расположения его базы.

Далее необходимо указать координаты центра окружности базы цилиндра (базовой точки). Это делается в поле *Задайте точку*. Можно указать координаты базовой точки, нажав кнопку , введя их с клавиатуры в поля соответственно *XC*, *YC*, *ZC*. После ввода необходимых значений нажимаем кнопку *OK*. Необязательно вводить численные значения координат. Можно «привязать» базовую точку к уже построенному геометрическому объекту, например, к центру окружности или иным геометрическим объектам, допустим, к пересечению двух кривых, нажав кнопку  и выбрав нужный геометрический объект, нажав требуемую пиктограмму. Затем на ранее построенном объекте наводим курсор на геометрический объект (окружность, пересечение кривых), он выделится цветом, и нажимаем левую кнопку мыши.

В поле *Размеры* вводим с клавиатуры в заданные поля значения диаметра и высоты цилиндра. Перемещение курсора из поля в поле производится мышью или клавишей *Tab*.

В окне *Булевы* можно объединить объект с уже построенными в единое тело, для чего нажать кнопку *Объединение* . Можно вычесть объект из уже построенных, нажав кнопку *Вычитание* . Вычитая цилиндр, можно таким приемом вырезать круглое отверстие. Нажав кнопку *Пересечение* , можно получить тело, принадлежащее уже построенному и строящемуся. Следует отметить, что построенное тело и строящееся для реализации вышеперечисленных операций должны пересекаться или касаться.

После ввода требуемых значений нажимаем кнопку *OK* внизу окна, и создается цилиндр.

Теперь рассмотрим, как создается с помощью перечисленного инструментария обечайка – как элемент колонны, реактора или сосуда. Ранее мы рассмотрели ее создание в специализированной программной среде ПАССАТ (рис. 3.4). Один из возможных вариантов создания обечайки по тем же геометрическим характеристикам, что были в ПАССАТе, – создать цилиндр диаметром 1020 мм, высотой 2000 мм, затем с теми же координатами базы (основания цилиндра) создается второй цилиндр диаметром 1000 мм и высотой несколько больше, чем 2000 мм, чтобы было легче манипулировать в дальнейшем (рис. 4.3).

Теперь из внешнего цилиндра, активируя *Булеву операцию* вычитания, вычитаем внутренний. Результатом такого вычитания будет обечайка длиной 2000 мм, наружным диаметром 1020 мм и толщиной стенки 10 мм (рис. 4.4). Согласно рассмотренной ранее работе в ПАССАТ следующим этапом будет создание трехмерной модели дна резервуара, например полусферического.

Для создания трехмерной модели полусферического дна строим сферу диаметром 1020 мм. Для построения сферы нажимаем кнопку *Сфера* 🟡. Разворачивается окно *Сфера* (рис. 4.5). Здесь программа предлагает два варианта построения сферы: *Точка центра* 🟡+ и *Дуга* 🟡.

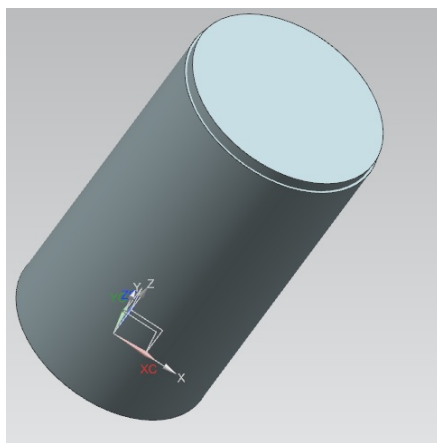


Рис. 4.3. Цилиндры: первый – диаметром 1020 мм и высотой 2000; второй – диаметром 1000 мм и высотой 2050 мм

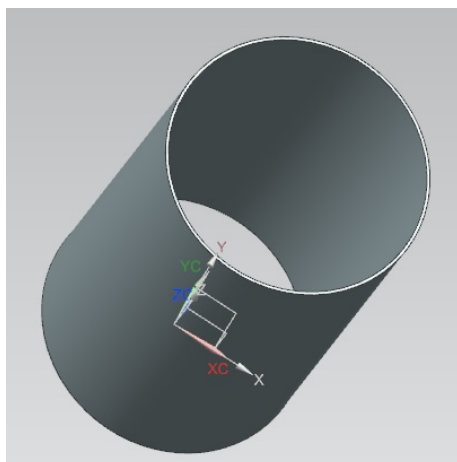


Рис. 4.4. Обечайка наружным диаметром 1020 мм, высотой 2000 мм и толщиной стенки 10 мм

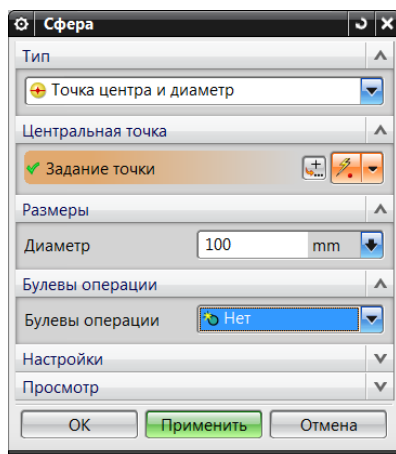



Рис. 4.5. Окно построения сферы

Выбираем требуемый. В окне *Центральная точка* вводятся координаты центра сферы, или центр сферы привязывается к построенным ранее геометрическим объектам. Работа ведется так же, как при вводе координаты центра базы цилиндра. В поле *Диаметр* указывается диаметр сферы. В результате получается сфера. Теперь сферу обрезаем; для этого последовательно активируем *Вставить*, *Обрезка*, *Обрезка тела*; разворачивается окно *Обрезка тела* (рис. 4.6).

Выбираем объект, который нужно обрезать, наведя на него курсор мышью, при этом выбранный объект меняет цвет; нажимаем левую кнопку мыши. В поле *Инструмент* предлагаются на выбор 2 варианта обрезки – новой плоскостью или уже существующими гранью или плоскостью. Если мы выбираем *Новая плоскость*, нам предлагается задать данную плоскость. Для этого достаточно указать 3 точки. Нажимаем кнопку  поля *Инструмент*, разворачивается диалоговое окно *Плоскость* (рис. 4.7).

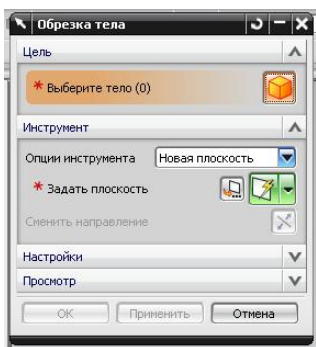


Рис. 4.6. Окно *Обрезка тела*

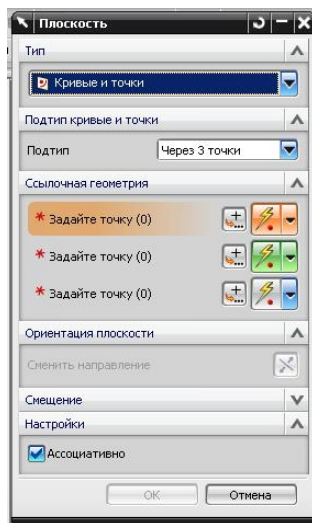





Рис. 4.7. Окно *Плоскость*

Наиболее простой вариант *Через 3 точки*, выбирается в поле *Подтип*. Задаются точки в окне *Ссылочная геометрия*. Здесь возможны следующие варианты. Можно, последовательно активируя кнопки , в разворачивающихся диалоговых окнах *Точка* вводить координаты X, Y, Z каждой точки. Можно, нажимая кнопки   в разворачивающемся подменю, выбирать варианты привязки точек к различным, уже построенным, геометрическим объектам.

После того как плоскость будет построена, станет активна кнопка *Сменить направление*. Вектор из центра плоскости покажет ту часть тела, которая должна быть удалена. Нажимая указанную кнопку, можно выбрать ту часть, которую нужно удалить.

Завершается работа нажатием кнопки *Применить* или *ОК*; получаем полусферу (рис. 4.8).

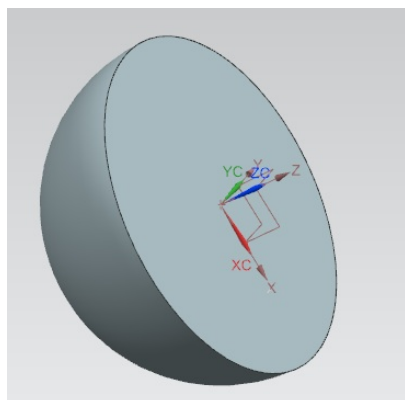


Рис. 4.8. Полусфера

Теперь строим сферу диаметром 10 мм (рис. 4.9). Вычитаем из полусферы сферу и получаем полусферическое днище (рис. 4.10).

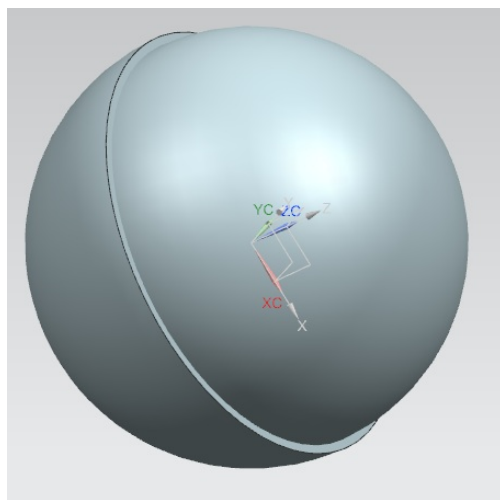


Рис. 4.9. Полусфера и сфера

Таким образом, построение элементов химического оборудования в NX требует от проектировщика большого количества «шагов», но это плата за универсальность. Кроме того, в ПАССАТ мы можем

строить только ограниченную номенклатуру трехмерных моделей. Возможности в этом плане инструментария NX и других универсальных САПР весьма широки.

После того, как построены трехмерные модели обечаек, днищ, их следует объединить в корпус. Для этого в NX следует воспользоваться функцией *Сборка*.

### 4.3. Создание сборок в NX

Сборка в NX – трехмерная модель, объединяющая модели деталей, подборок (сборка, входящая в состав текущей сборки) и стандартных изделий (все они называются компонентами сборки), а также информацию о взаимном положении компонентов и зависимостях между параметрами их элементов.

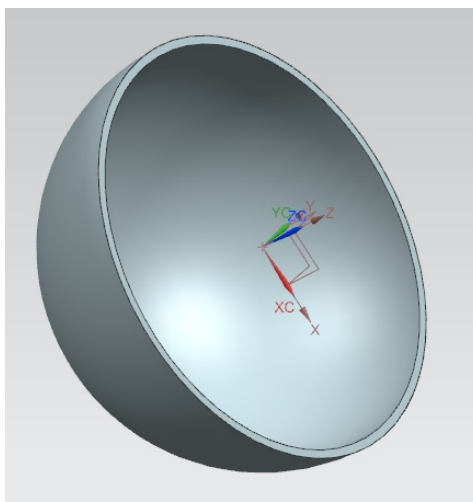


Рис. 4.10. Полусферическая крышка

Сборки являются иерархическим представлением структуры изделия, разбитой на уровни по какому-либо критерию или признаку [3]. Разбиение или группировка компонентов может производиться аналогично тому, как детали, им соответствующие, расположены в реальном изделии, или в соответствии с тем, как эти компоненты будут собираться. В обоих случаях сборка будет содержать ссылки

на уникальные компоненты, а не на их копии. При вставке детали в сборку создается объект, который содержит ссылку на модель детали и дополнительную информацию, принадлежащую детали.

Процесс создания сборки в NX состоит из следующих основных этапов:

1. Задать состав сборки, внося в нее новые компоненты или удаляя существующие. Модели компонентов могут быть записаны в отдельных файлах на диске. В файле сборки, в навигаторе сборки, хранятся ссылки на эти компоненты.

2. Указать взаимное положение компонентов сборки, задав параметрические связи между их гранями, ребрами и вершинами (например, совпадение граней двух деталей или соосность втулки и отверстия).

Для загрузки модуля сборки в окне создания нового документа активируем *Сборки*. После загрузки модуля автоматически появляется диалоговое окно *Добавить компонент* (рис. 4.11). Поле *Деталь* предназначено для выбора файла компонентов сборки. При этом все детали текущей сессии (загруженные в память) отображаются в списке *Загруженные детали*; если нужная деталь еще не загружена, то необходимо в поле *Открыть* выбрать нужный файл.

В поле *Расположение* осуществляется выбор метода размещения детали в сборке. Доступны четыре варианта:

- *Начало абсолютной системы координат* – совместить начало системы координат компонента с началом системы координат сборки.
- *Выберите начало* – совместить центр СК компонента с выбранной точкой в пространстве сборки.
- *По сопряжениям* – наложить на компонент условия сопряжения.

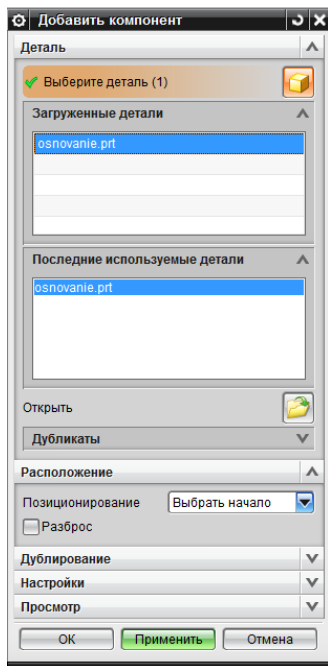


Рис. 4.11. Окно *Добавить компонент*



– *Перемещение* – переместить компонент в нужное положение с помощью соответствующих команд.

Трехмерные модели компонентов сборки создаются предварительно, чуть выше было описано, как мы создали трехмерные модели обечайки и днища. Следует отметить, что возможности универсальных САПР позволяют создавать не только достаточно простые модели. В частности, в NX имеется инструментарий, позволяющий создавать сложнейшие по геометрии (лекальные поверхности) детали кузова автомобиля.

Возможен вариант создания компонентов непосредственно в открытом окне *Сборки* с последующим сохранением каждого компонента в виде отдельного файла.

Для добавления компонентов в сборку в поле *Загруженные детали* выбираем нужную или нажимаем кнопку *Открыть*, нажимаем *Применить*. В связи с тем, что добавляется первая деталь, сопряжения накладывать не с чем, в поле *Расположение* мы предварительно выбираем *Выбрать начало*, появляется окно *Точка* (рис. 4.12).

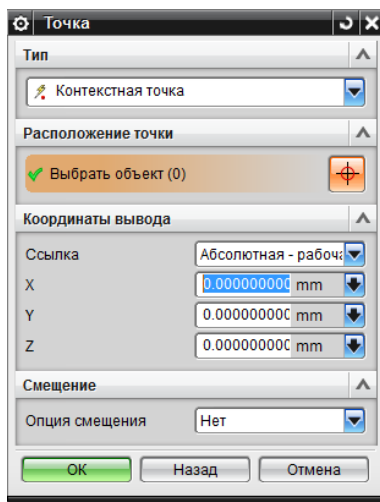



Рис. 4.12. Окно *Точка*

В поле *Координаты вывода* указываем координаты, где мы хотим расположить компонент. Нажимаем *ОК*, затем *Отмена* или *Назад* и возвращаемся в диалоговое окно *Добавить компонент* (рис. 4.11).

Затем аналогично добавляем остальные компоненты (рис. 4.13). Теперь можно в поле *Расположение* (см. рис. 4.11) выбирать другие варианты, например, по *Сопряжениям*. Можно оставить вариант *Выбрать начало*, но тогда необходимые сопряжения между компонентами сборки придется устанавливать позже.

Компоненты также можно добавлять потом, выбрав в *Меню* команду *Сборки, Компоненты, Добавить компонент*  или в ленточной панели вкладка *Исходная*, раздел *Компонент*.

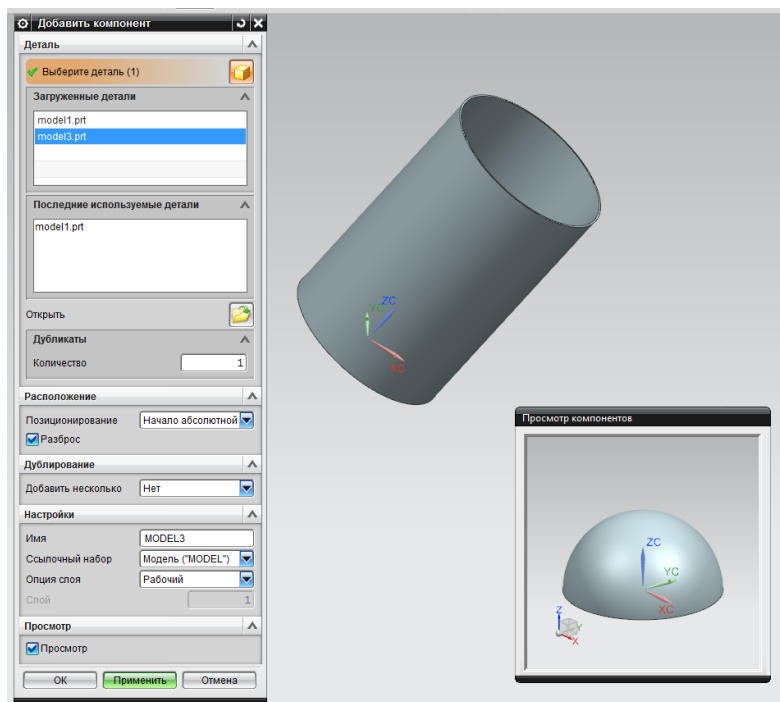



Рис. 4.13. Добавление компонентов

После того как все необходимые компоненты, в нашем случае это обечайка и днище, добавлены в сборку (рис. 4.14), необходимо наложить требуемые сопряжения между деталями. Для этого последовательно активируем *Меню, Сборки, Положение компонента, Сопряжения сборки* или в ленточной панели вкладка *Исходная*, раздел *Компонент*. Появляется диалоговое окно *Сопряжения сборки*  (рис. 4.15).

Заложенный в NX инструментарий позволяет установить множество различных сопряжений между компонентами сборки, что позволяет создавать модели сложных конструкций.

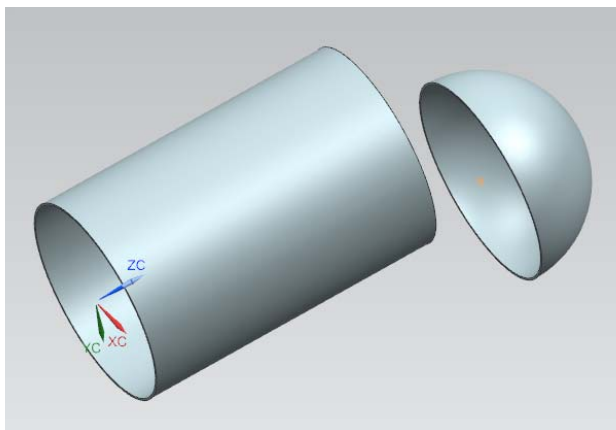


Рис. 4.14. В сборку добавлены все компоненты

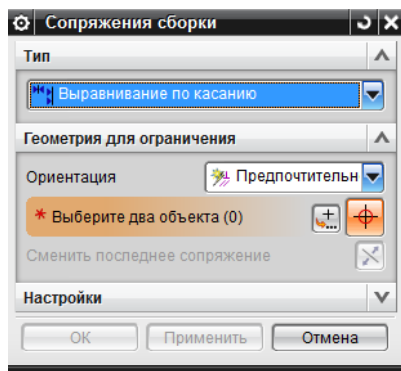




Рис. 4.15. Окно *Сопряжения сборки*


В поле *Тип* устанавливается требуемый для двух (и более) конкретных деталей тип сопряжения. Рассмотрим основные типы условий сопряжения.


*Выравнивание по касанию* 


Выравнивает два плоских объекта, совмещая их. Требуется выбрать два объекта: объект на совмещаемом компоненте; объект на базовом компоненте.

Существует несколько подтипов данного сопряжения:

*Предпочтительное касание*  — если возможно применить и *Касание*, и *Выравнивание*, то будет выбираться первое.


*Касание*  — выравнивает компоненты так, что нормали выбранных поверхностей (граней) будут направлены в противоположные стороны.

*Выравнивание*  — производится на основе одинакового направления нормали выбранных поверхностей.

*Вывод центра/оси*  — при выборе цилиндрических граней или круглых граней будут учитываться соответственно их оси и центры.

*Параллельный* 

Делает направляющие векторы двух объектов параллельными. Выбор объектов аналогичен выбору для выравнивания. Эта связь фиксирует одну линейную и две вращательные степени свободы.

*Перпендикулярный* 

Делает направляющие векторы двух объектов перпендикулярными. Выбор объектов аналогичен выбору для выравнивания. Эта связь фиксирует одну линейную и две вращательные степени свободы.

*Расстояние* 

Устанавливает минимальное расстояние между объектами. Выбор объектов аналогичен выбору для выравнивания. После выбора объектов становится активным дополнительное поле ввода «Выражение расстояния». Положительное значение расстояния определяет расстояние совмещения, отрицательное — расстояние выравнивания. Эта связь фиксирует одну линейную и две вращательные степени свободы.

*Угол* 

Задаёт угол между двумя объектами. Доступно два подтипа: *3D Угол* и *Угол ориентации*. *3D Угол* определяет угол между двумя объектами без вспомогательной оси. В этом случае необходимо выбрать только два объекта и задать угол между ними. *Угол ориентации* определяет угол между двумя объектами с использованием вспомогательной оси. При использовании этого подтипа необходимо сначала указать ось, а затем два объекта для задания угла между ними.

### Центр

Часто используемая связь совмещает в себе связи «сопряжение» и «расстояние». Имеет три режима:

- *1 в 2* – размещает объект между парой базовых объектов так, чтобы расстояние между объектом и каждой из баз было равным;
- *2 в 1* – размещает два объекта относительно базового объекта так, чтобы он служил объектом симметрии;
- *2 в 2* – размещает пару объектов относительно пары базовых объектов.

### Концентричность

Соединяет дуговые или эллиптические ребра компонентов так, чтобы их центры совпали и они лежали в одной плоскости (при включении опции «Принять допустимые кривые» в качестве дуг могут быть выбраны объекты, которые в пределах линейного допуска близки к дугам).

### Оптимизация =

Соединяет две цилиндрические грани с равными радиусами. Обычно используется при размещении крепежа в отверстиях.

### Соединение

Создает жесткое соединение между выбранными компонентами. Любое перемещение одного из соединенных компонентов приводит к перемещению других, если нет иных ограничений. Соединение может быть создано между компонентами сборки или между компонентами и геометрическими телами на уровне сборки.

### Фиксация

Фиксирует компонент в текущей позиции. Убирает все степени свободы компонента. Эту связь удобно использовать для позиционирования базового компонента, а также для временной фиксации.

Обратите внимание, что некоторые условия сопряжения можно преобразовать в другие. Для этого необходимо нажать правой кнопкой мыши на выделенное сопряжение и выбрать в списке *Преобразовать в* нужное сопряжение.

В случае если система не может подобрать решение, удовлетворяющее ограничению, то активизируется кнопка *Список ошибок*, которая открывает окно *Информация* с подробным описанием ошибки.

В диалоговом окне *Сопряжения сборки* присутствует пункт «Настройки», в котором доступны следующие опции:

*Расположения* – определяет, применяются ли ограничения ко всем расположениям сборки (режим «использование свойств компонента») или только к текущему расположению (режим «принять к использованию»).

*Динамическое позиционирование* – отображает сопряжения непосредственно после их задания. В противном случае сопряжения будут отображены после закрытия окна.

*Ассоциативно* – определяет, что ограничения сохраняются после закрытия окна (при отключенной опции при закрытии окна ограничения сохранены не будут, это используется для перемещения компонентов с использованием ограничений сборки).

*Переместить кривые и объекты трубопроводов* – определяет, что при позиционировании будут также перемещаться объекты трубопроводов и связанные неассоциативные кривые сборки.

Для нашего случая мы можем установить концентричность и выравнивание по касанию. Концентричность устанавливаем по осям симметрии. Касание устанавливаем по плоскости торца обечайки и торца днища. В результате установления указанных сопряжений получаем собранный корпус сосуда с днищем (рис. 4.16).

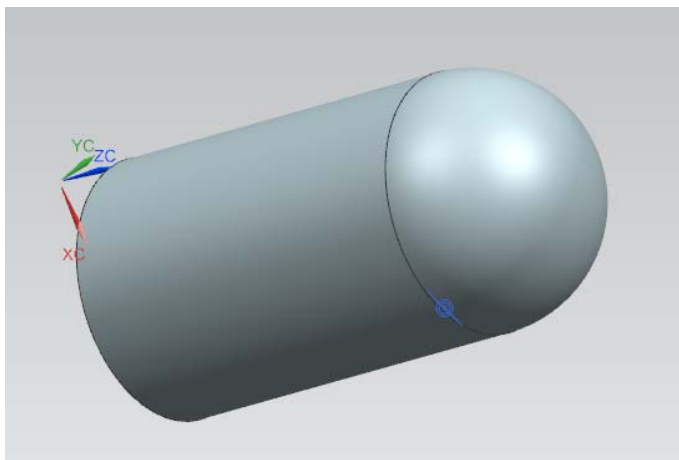



Рис. 4.16. Обечайка и днище собраны

## 4.4. Анимация сборок

Поскольку в сборке между компонентами наложены сопряжения и сборка является параметризованным геометрическим образованием, то при изменении положения одного объекта автоматически изменяются пространственные положения других объектов (компонентов сборки), у которых с данным объектом наложены сопряжения. Это представляет несомненные удобства, если требуется исследовать взаимодействие между собой компонентов какого-то разработанного механизма.

В NX предусмотрено несколько способов перемещения компонентов сборки в ее системе координат. Вы можете повернуть компонент вокруг центра его габаритного параллелепипеда, вокруг оси или вокруг точки, а также сдвинуть компонент в любом направлении. Поскольку между компонентами сборки наложены сопряжения, то перемещение одного компонента (ведущего звена, например) приведет к перемещению связанных с ним сопряжениями других компонентов сборки.

Предварительно необходимо фиксировать базовый компонент сборки. Для этого последовательно активируем *Меню, Сборки, Положение компонента, Сопряжения сборки* или в ленточной панели вкладка *Исходная*, раздел *Компонент*. Появляется диалоговое окно *Сопряжения сборки*, в нем в поле *Тип* выбираем *Фиксация* (рис. 4.17). Указываем базовый объект, он выделяется красным, нажимаем *ОК*.

Команды перемещения компонентов сборки вызываются последовательной активацией *Меню, Сборки, Положение компонента, Переместить компонент*  или в ленточной панели вкладка *Исходная*, раздел *Компонент*. При активировании данной команды открывается окно *Переместить компонент* (рис. 4.18).

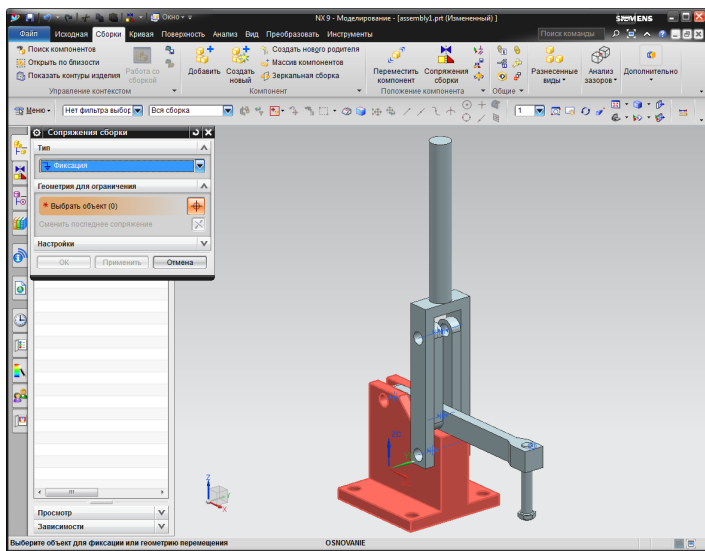


Рис. 4.17. Фиксация базового компонента сборки

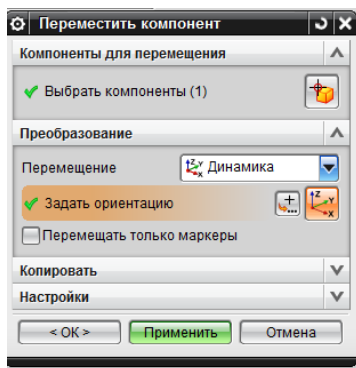











Рис. 4.18. Окно перемещения компонента

В строке *Перемещение* на выбор предлагается следующий инструментарий:

- |  |   |
|--|---|
|  расстояние               |  угол                |
|  от точки к точке         |  вращать по 3 точкам |
|  выровнять ось по вектору |  СК в СК             |
|  динамика                 |  по сопряжениям      |
|  дельта XYZ               |   |



Для проверки правильности сборки выбираем вариант *Динамика*. Выбираем ведущую деталь в сборке, указывая ее курсором. Нажимаем кнопку *Задать ориентацию*, на выбранной детали появится система координат следующего вида (рис. 4.19).

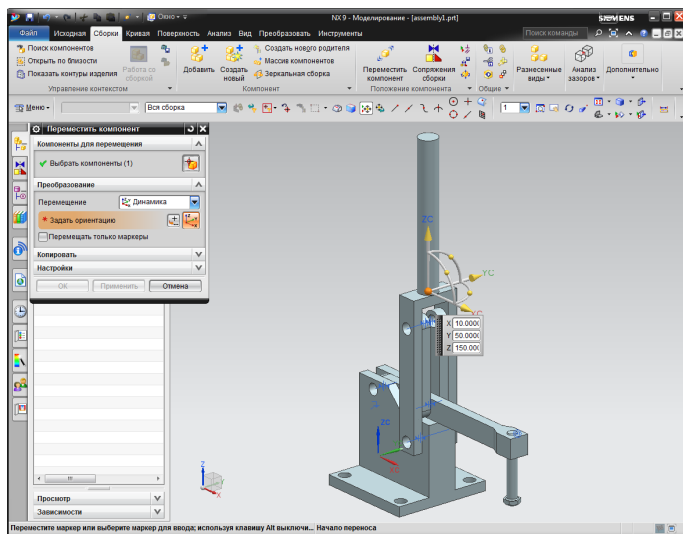


Рис. 4.19. Выбор ведущей детали

Теперь для вращения ведущего звена относительно оси  $OY$  мы курсором «цепляем» шарик, расположенный на дуге между осями  $OX$  и  $OZ$ , и мышью вращаем (рис. 4.20). При этом все детали механизма, если сопряжения были наложены правильно, будут двигаться в соответствии с законом движения ведущего звена.

В диалоговом окне *Переместить компонент* в поле *Настройки* есть поле *Обнаружение столкновений*. По умолчанию активирован режим *Нет*, то есть столкновение компонентов при перемещении не проверяется. Если выбрать режим *Выделение столкновений*, то при обнаружении пересечения компонентов в процессе перемещения они будут подсвечены в графическом окне. Если выбрать режим *Остановка перед пересечением*, то при контакте тел компонентов движение будет приостановлено.

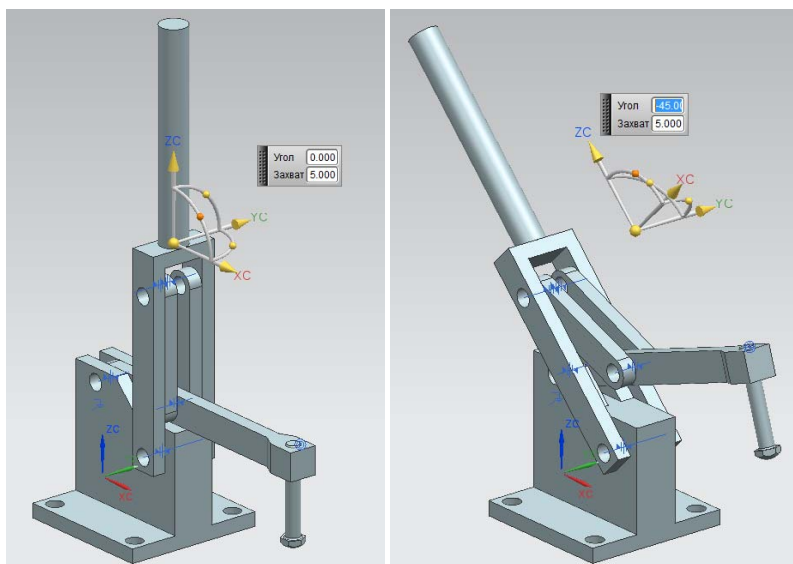


Рис. 4.20. Анимация сборки

Показано перемещение деталей достаточно простого механизма – рычажного прижима. На рис. 4.21 показано перемещение деталей в несколько шагов механизма посложнее. Ведущим звеном является коленвал (1). Через шатун (2) реализуется вращение коленвала (3), который с помощью шатуна (4) вращает коленвал (5).

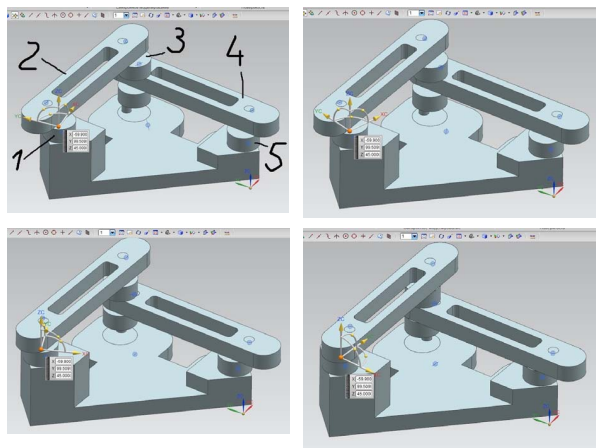


Рис. 4.21. Анимация механизма

## 4.5. Расчеты методом конечных элементов

Практическая польза создаваемых трехмерных моделей не только в том, что обеспечивается наглядность и реалистичность разработки. Как было указано выше (рис. 2.1), трехмерная модель является основой технологической подготовки производства, модуль САМ, основой для исследования методом конечных элементов, модуль САЕ.

Следует отметить, что создание изделий высокого качества невозможно без тщательного анализа способности конструкции выдерживать нагрузки и корректно функционировать при данных условиях эксплуатации. Оптимизация изделия, дающая возможность получить максимально легкую и технологичную конструкцию и в то же время гарантирующая ее правильную работу в течение всего жизненного цикла, в настоящее время является обязательным требованием рынка. Инженерный анализ включает в себя расчет статической прочности, потери устойчивости, разрушения при ударе, анализа вибрации, переноса тепла, динамики механизма и многое другое.

Традиционно для предварительной оценки прочности/работоспособности конструкции инженер-конструктор применяет инженерные подходы, основанные на представлении конструкции в виде простых узлов и элементов, для которых существуют аналитические оценки поиска напряженно-деформированного состояния. К таким оценкам можно отнести использование простейших формул для поиска напряжений в балках при их растяжении, изгибе или кручении, поиска относительного удлинения, моментов инерции, сил реакции и др. Инженер-конструктор вынужден работать с большим количеством специализированной литературы для поиска необходимых выражений и законов. Данные подходы имеют существенные ограничения при их применении к реальным сложным конструкциям и используются все меньше и меньше в современных высокотехнологичных производствах и конструкторских бюро.

Так, в NX для исследования трехмерной модели средствами САЕ включен модуль, позволяющий проводить исследования методом конечных элементов. Модуль позволяет решать как простые, так и самые сложные задачи из различных областей механики деформируемого твердого тела, механики жидкостей и газов, механики теплопереноса и др.

Суть метода конечных элементов заключается в том, что область, в которой ищут решение, разбивают на конечное количество подобластей (элементов). В каждом элементе неизвестная величина имеет простое аналитическое выражение. Указанные подобласти, элементы, имеют общие узловые точки, в которых связаны между собой и в совокупности аппроксимируют форму рассматриваемой области. Следовательно, необходимо определить неизвестные величины в узлах за счет использования одного из вариационных принципов.

Для решения задач методом конечных элементов в NX модель предварительно разбивается на дискретные области, так называемые конечные элементы; таким образом создается конечно-элементная модель. При этом следует учитывать, что разбиение на крупные элементы может не обеспечить верный результат, а высокая степень дискретизации модели потребует длительного времени для решения.

В качестве примера рассмотрим расчет методом конечных элементов спроектированную ранее модель цилиндрического корпуса со сферическим днищем (см. рис. 4.16). После создания модели, не закрывая программу, последовательно активируем *Файл*, *Новый* и в развернувшемся окне *Новый* (см. рис. 4.1) активируем вкладку *Симуляция*. В развернувшемся поле *Фильтры* выбираем *NX Nastran*, тип *КЭ модель*, нажимаем *OK*.

Появляется окно *Новая КЭ модель* и рядом окно *Деталь CAD*. Ранее созданная модель корпуса с днищем предлагается к работе (рис. 4.22). Нажимаем *OK*, и деталь появляется в рабочей области программы. В панели *Исходная* появляются новые пункты, позволяющие назначить материал для модели и выбрать конечные элементы.

Для выбора материала в меню *Управление материалами* нажимаем *Дополнительно*, в развернувшемся окне нажимаем *Назначить материалы* (рис. 4.23). Разворачивается окно *Назначить материал* (рис. 4.24), в котором пользователю предоставляется возможность выбрать тело (трехмерную модель) и материал из библиотеки. Следует отметить, что к материалам, имеющимся в библиотеке, пользователь при необходимости может внести нужный отсутствующий материал и его свойства.

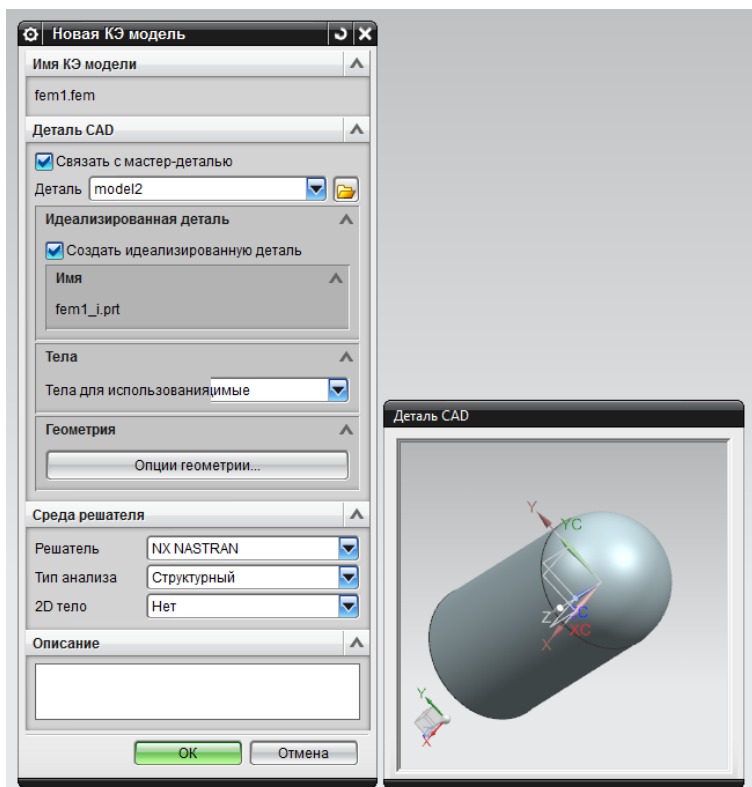


Рис. 4.22. Окна *Новая КЭ модель* и *Деталь CAD*

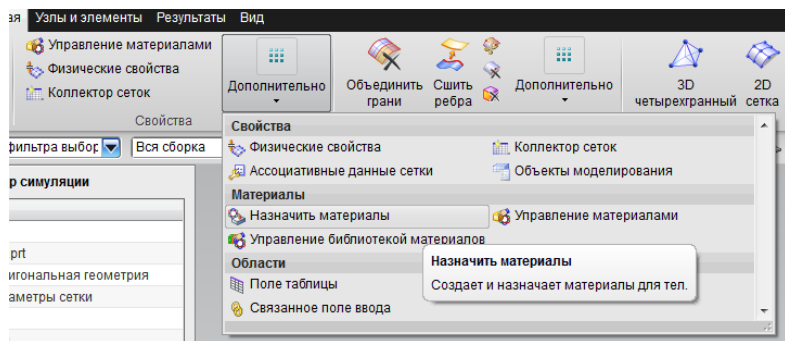


Рис. 4.23. Активация пункта *Назначить материалы*

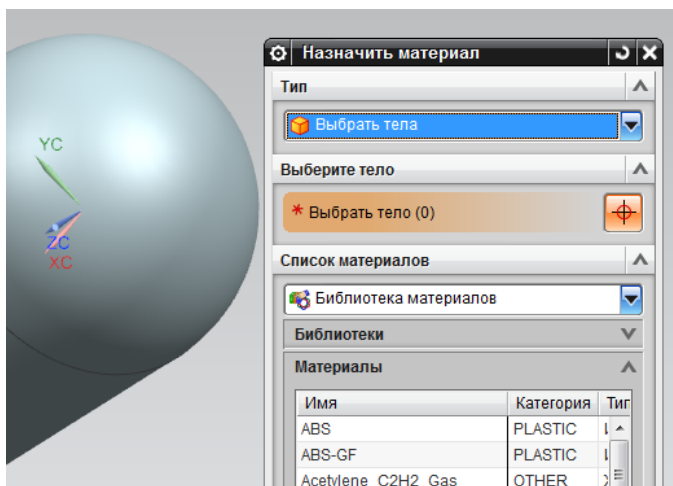


Рис. 4.24. Выбор материала в окне *Назначить материал*

Следующий этап работы — генерация сетки конечных элементов. Ранее было указано, что размер конечных элементов влияет, с одной стороны, на точность расчетов, с другой стороны, на время расчетов и требуемые вычислительные мощности. Для создания сетки конечных элементов выбираем пункт меню *3D четырехгранный*. Разворачивается окно *3D тетраэдральная сетка* (рис. 4.25). Данное окно предлагает пользователю набор инструментов, необходимых для того, чтобы задать сетку конечных элементов, обеспечивающую максимальную точность расчетов при минимуме затраченного времени. В поле *Выбрать тела* указываем на корпус, размер элемента выбираем с учетом толщины стенки сосуда — 10 мм. По окончании работы в окне нажимаем *ОК*; машине понадобится какое-то время для генерации сетки. Корпус с сеткой показан на рис. 4.26. Следует помнить, что теперь геометрия корпуса является полигональной, то есть состоит из фасетов, вершин и ребер.

Итак, корпусу назначен материал, сгенерирована сетка; теперь необходимо назначить нагрузки и активировать программу на выполнение расчетов.

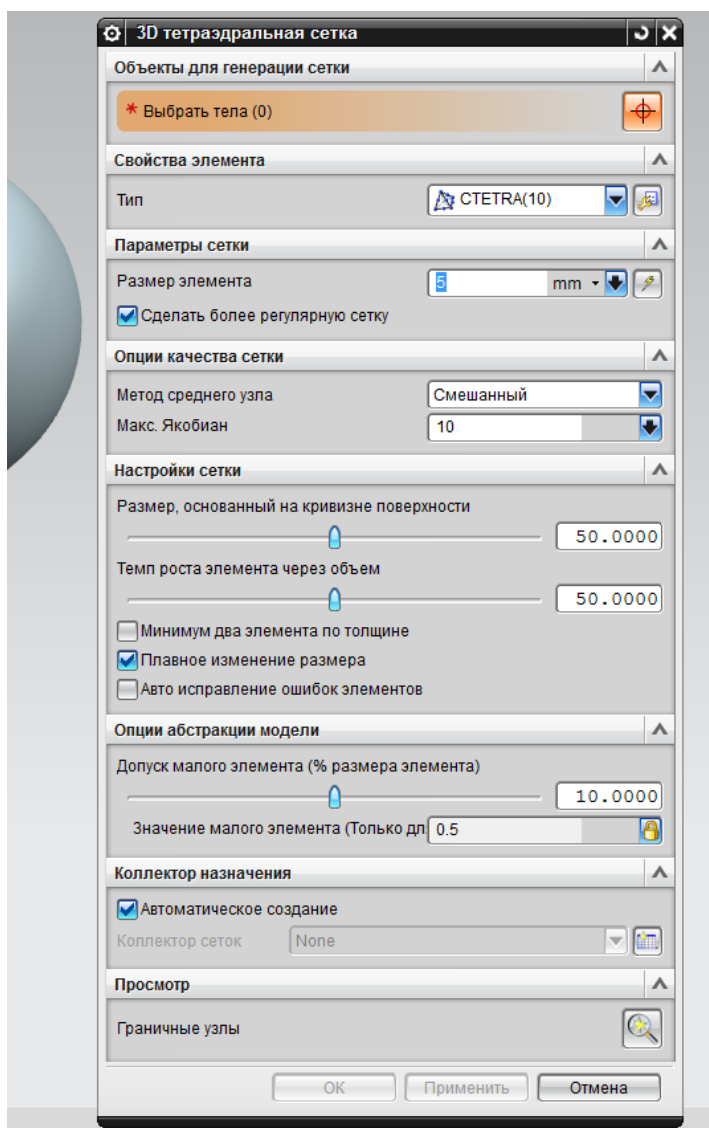


Рис. 4.25. Окно 3D тетраэдральная сетка

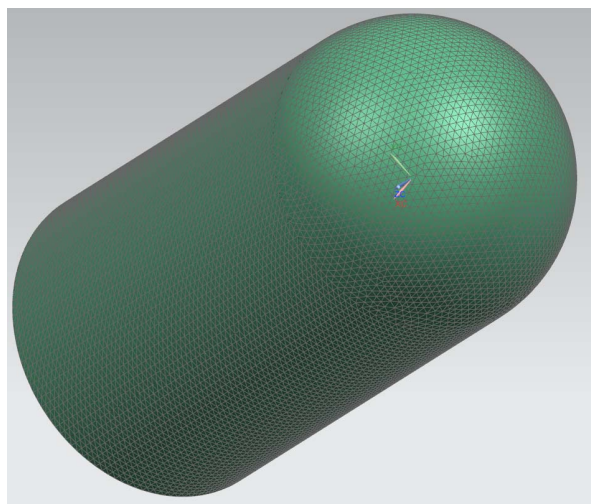


Рис. 4.26. Корпус разбит на конечные элементы

Для этого, ничего не закрывая, нажимаем *Файл, Новый*. Вкладка *Симуляция* будет активна; в поле *Фильтры* выбираем *NX Nastran*, тип *Симуляция*; нажимаем *ОК*.

Появляются окна *Новая симуляция* и *Деталь КЭ* (рис. 4.27). Нажимаем *ОК*. В появившемся окне *Решение* нажимаем *ОК*. Далее работаем с пунктами главного меню *Тип нагрузки* и *Тип ограничения*. Устанавливаем жесткую заделку на торцовую плоскость, в качестве типа нагрузки выбираем *Давление* (рис. 4.28). Давление прикладываем к внутренней части сосуда, в окне *Давление* в поле *Величина* указываем численные значения давления. Нажимаем *ОК*. Теперь модель готова к проведению расчетов. Нажимаем пункт *Решить* главного меню и нажимаем *ОК* в развернувшемся окне *Решить*.

Продолжительность решения зависит, как уже было сказано выше, от размеров элементов сетки. По окончании решения в *Навигаторе симуляции* нажимаем пункт *Результаты*. Открываются в *Навигаторе постпроцессора* пункты *Перемещение по узлам*; *Вращение по узлам*; *Напряжения по элементам* и т. д., позволяющие просмотреть напряженно-деформированное состояние модели от действия внутреннего давления на корпус (рис. 4.29).



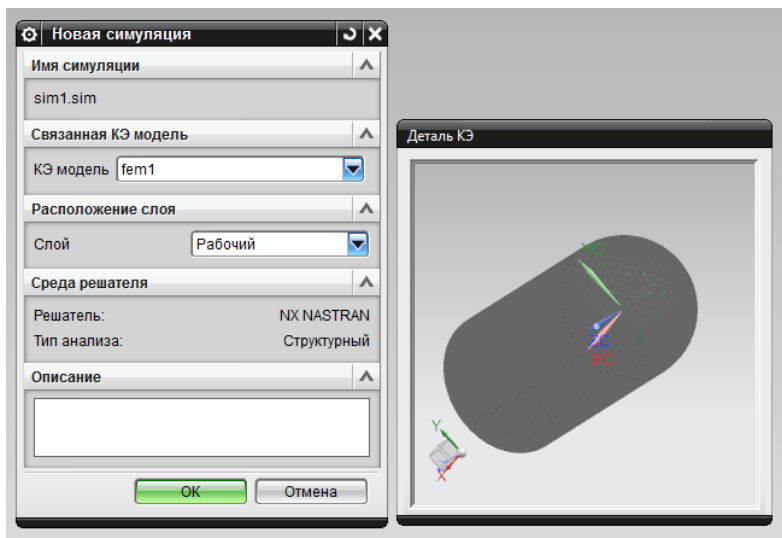


Рис. 4.27. Окна *Новая симуляция* и *Деталь КЭ*

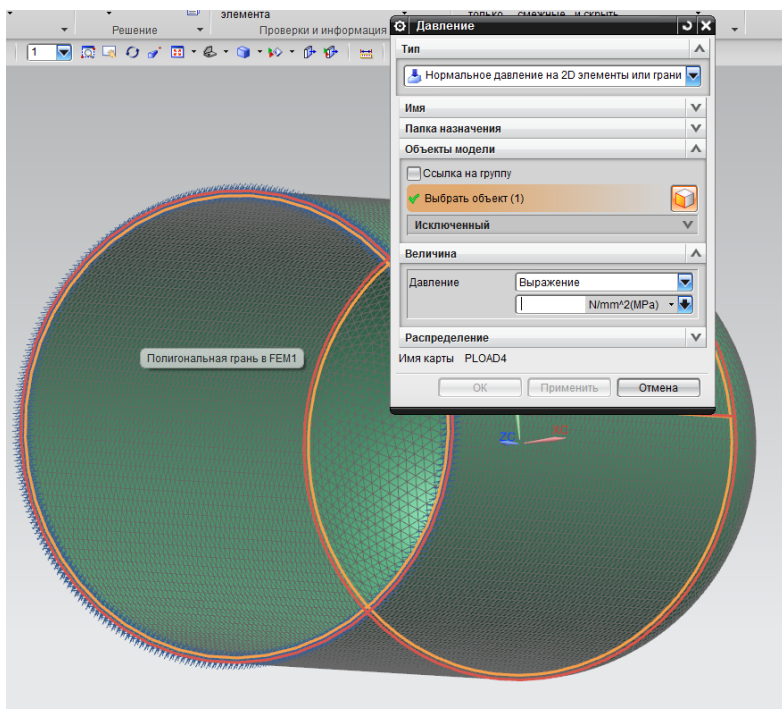


Рис. 4.28. Окно *Давление*

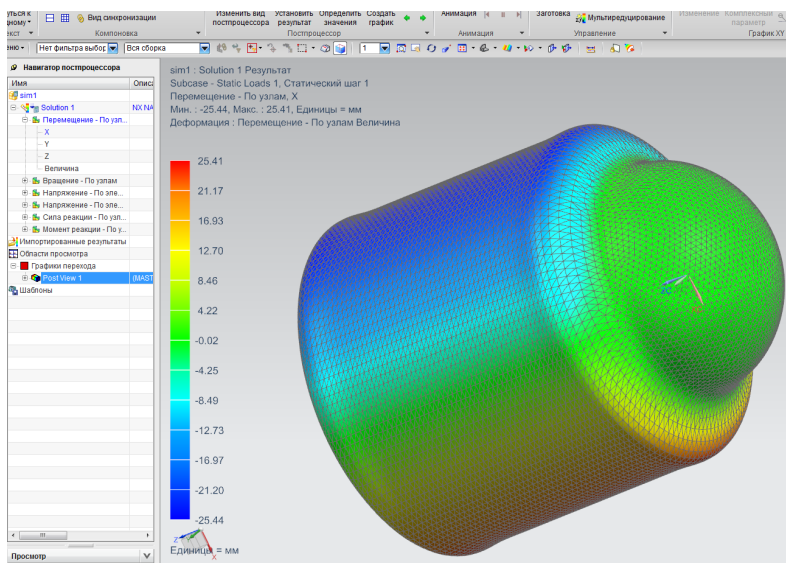


Рис. 4.29. Просмотр перемещений в узлах в направлении оси X

В данном примере рассмотрен вариант расчета напряженно-деформированного состояния трехмерной модели. Модуль CAE в NX позволяет проводить численное моделирование не только для отдельных элементов конструкций, но и для нескольких деталей, объединенных в единую сборку. В этом случае структура расчетной сборки немного отличается от структуры расчетной модели. Для создания конечно-элементной (КЭ) модели сборки предварительно создаются конечно-элементные модели каждой из деталей, а затем создается КЭ модель сборки, где все конечно-элементные модели деталей объединяются в единую сборку. При этом позиционирование КЭ моделей отдельных деталей относительно друг друга в сборке происходит автоматически в соответствии с их исходным положением в CAD-сборке.

Имеющийся в NX инструментарий позволяет также проводить тепловые расчеты. Для запуска тепловых расчетов следует открыть вкладку *Симуляция*. Затем в развернутом поле *Фильтры* выбирать *NX Thermal/Flow* (тепловой поток). Данный модуль позволяет выполнить анализ теплопередачи и анализ динамики жидкости и газов.

Кроме того, возможна комплектация пакета NX модулями, позволяющими выполнять: линейный статический анализ; анализ собственных частот и форм свободных колебаний; анализ потери устойчивости конструкций; анализ переходных процессов и другие.

### **Контрольные вопросы**

1. В чем преимущества метода конечных элементов?
2. Какие задачи решает модуль CAE в NX?
3. Каковы этапы при проведении анализа напряженно-деформированного состояния в NX?
4. Каковы особенности анализа сборок методом конечных элементов в NX?
5. Как изменяется геометрия трехмерной модели при наложении сетки конечных элементов?

## 5. МОДЕЛИРОВАНИЕ СВАРНЫХ ШВОВ В NX

---

За прошедшие годы сварка вышла на ведущие позиции среди способов получения неразъемных соединений в большинстве отраслей промышленности, в том числе и газонефтехимии. Многообразие способов сварки, большой практический опыт ее применения, высокие эксплуатационные характеристики сварных швов — все это аргументы в пользу выбора этого вида соединения при проектировании новых изделий.

Современные тенденции развития сварки в машиностроении и строительстве предъявляют новые, повышенные требования не только к сварочным материалам и технологиям, но и к методологии проектирования и качеству проработки элементов сварных конструкций [1]. Поэтому сегодня невозможно обойтись без современных технологий автоматизированного проектирования: применение САПР позволяет еще на этапе рабочего проектирования оценить те или иные конструктивные решения с точки зрения наиболее важных потребительских качеств будущего изделия.

Поэтому разработчики систем автоматизированного проектирования включают модули проектирования сварных соединений в свои программные продукты. В частности, такой модуль есть и в пакете NX. Данный модуль позволяет проектировать сварные соединения с использованием широко применяемых при строительстве и ремонте объектов газонефтехимии методов сварки. Модуль предоставляет информацию о сварных швах и соединениях для выполнения анализа методом конечных элементов. В настоящее время не поддерживает моделирование пайкой, болтами и клепкой. В приложении автоматически создается 2D-документация и аннотации на основе 3D-элементов сварки.

В данном учебном пособии рассмотрены возможности пакета NX в плане проектирования сварных швов. Возможности пакета в этом направлении, заложенные его разработчиками, достаточно обширны. Однако есть некоторые моменты, касающиеся совместимости российских стандартов со стандартами зарубежных производителей, так как NX — это все-таки зарубежная разработка.

## 5.1. Общие сведения о сварных соединениях

Термины и определения основных понятий в области сварки установлены ГОСТ 2601-84 «Сварка металлов. Термины и определения основных понятий». Согласно указанному стандарту, сварное соединение – неразъемное соединение, выполненное сваркой. Сварной шов – это участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации расплавленного металла или в результате пластической деформации при сварке давлением или сочетания кристаллизации и деформации.

Тип шва определяется типом соединения, формой поперечного сечения кромок свариваемых деталей и технологическими особенностями его выполнения.

Выбор тех или иных типов соединений зависит от назначения конструкции, условий работы, технологических возможностей и металлоемкости сварных соединений.

Конструктивная форма, размеры и качество соединений являются основными признаками, определяющими работоспособность сварной конструкции.

Основными типами сварных соединений являются стыковые, угловые, нахлесточные и тавровые; конструктивные элементы этих соединений и их размеры определяются соответствующими ГОСТами.

Стыковые соединения наиболее просты, надежны и работоспособны при всех видах нагружения, поэтому они применяются в наиболее нагруженных и ответственных узлах сварной конструкции. Стыковые соединения – это сварные соединения двух элементов, расположенных в одной плоскости или на одной поверхности (рис. 5.1).

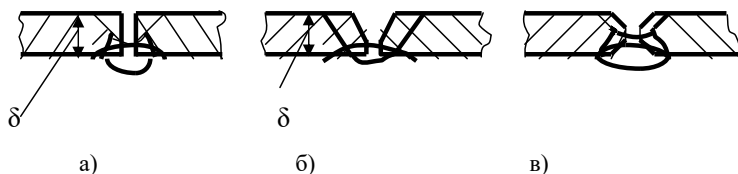


Рис. 5.1. Стыковые соединения: *a* – двусторонние без разделки кромок; *б, в* – с разделкой кромок

Обозначаются в ГОСТах стыковые соединения буквой С.

В зависимости от толщины соединяемых элементов и способа сварки различают соединения без обработки и с обработкой кромок. Форма швов соединений встык примерно одинакова как при ручной, так и при механизированной сварке.

Стыковые соединения применяют в балках, колоннах, но особенно целесообразно их использование в листовых конструкциях (резервуарах, газгольдерах, трубопроводах и т. п.); эти соединения обеспечивают надлежащую герметичность, удобны для физических методов контроля качества, экономичны и характеризуются менее значительной концентрацией напряжений по сравнению с другими типами сварных соединений.

Угловые соединения (рис. 5.2) в основном выполняют дуговыми способами.

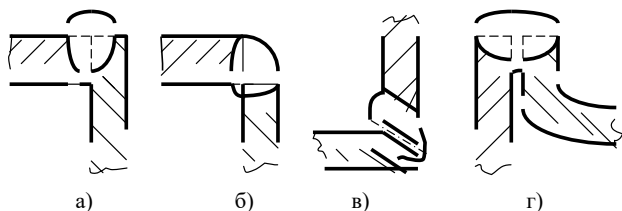


Рис. 5.2. Конструктивное оформление угловых соединений

Они преобладают в сварных конструкциях, выполняемых дуговой сваркой. По оценкам специалистов, на них расходуется не менее 75–80 % наплавленного металла. Например, при изготовлении строительных металлоконструкций объем угловых швов составляет около 90 % от общего объема наплавленного металла.

В зависимости от свариваемых толщин и требований к швам детали угловых соединений могут соединять с разделкой и без разделки кромок, непрерывными одно- и двусторонними швами. Угловые швы, воспринимающие нагрузку (рабочие угловые швы), должны быть непрерывными, а связующие (соединительные) – как непрерывными, так и прерывистыми или точечными.

Соединения внахлестку, заимствованные у клепаных конструкций, широко распространены в сварных конструкциях (рис. 5.3). Их применяют при изготовлении балок с накладками, элементов шарнирных соединений и т. д. Они менее прочные по сравнению со

стыковыми соединениями и иногда не экономичны из-за перерасхода металла. Преимущества нахлесточных соединений – небольшая трудоемкость их сборки и сварки, отсутствие необходимости в разделке свариваемых кромок.

Нахлесточные соединения отличаются большим многообразием конструктивных форм в зависимости от применяемых способов сварки. Угловые швы располагают по кромкам нахлестки или по контуру отверстий (круглых или продолговатых) в одном из листов (рис. 5.3).

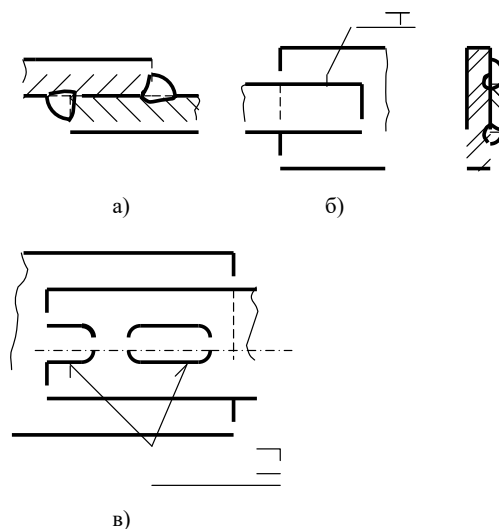


Рис. 5.3. Соединения внахлестку

Соединения, в которых швы накладывают по поверхности элемента, могут иметь прерывистые или непрерывные швы, выполненные дуговой или контактной сваркой.

Разновидностью соединений внахлестку являются соединения с накладками (рис. 5.4); они не характерны для сварных узлов, но в некоторых случаях их применяют для соединения двух листов (например, для исключения эксцентриситета приложения усилий используют двойные накладки, для усиления стыкового соединения – односторонние накладки). Однако в большинстве случаев накладки не повышают, а понижают работоспособность сварных стыковых соединений.

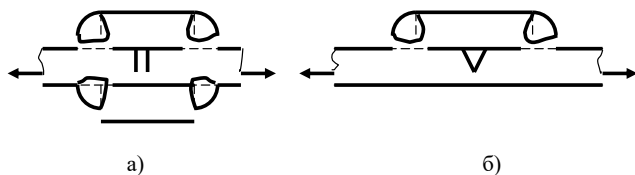


Рис. 5.4. Соединения с накладками

Тавр соединяют элементы, расположенные во взаимно перпендикулярных плоскостях и работающие преимущественно на изгиб (рис. 5.5).

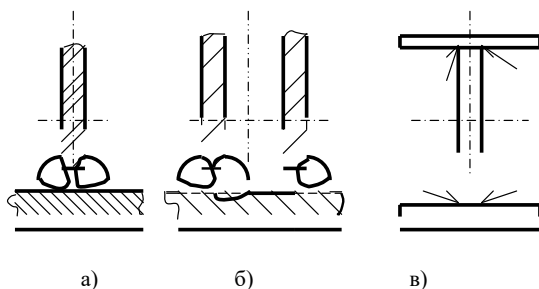


Рис. 5.5. Сварные соединения тавр

Эти соединения применяют при производстве различных балок, установке усиливающих элементов (диафрагм, ребер жесткости, кронштейнов), изготовлении рамных конструкций и др. Следует помнить, что тавровые соединения элементов толщиной более 10 мм, выполненные без разделки кромок, плохо работают при переменных и ударных нагрузках из-за возможного непровара корня шва.

Большинство объектов газонефтехимии, как было указано выше (табл. 1.1–1.3), – это сварные листовые конструкции. К ним относятся реакторы, колонны, емкости [6; 11; 25]. Листовые конструкции представляют сплошные тонкостенные пространственные конструкции, несущей основой которых являются плоские или изогнутые металлические листы, образующие оболочки различной формы (преимущественно оболочки вращения – цилиндрические, конические, сферические).

Листовые конструкции широко применяются в различных отраслях, как правило, для хранения, перемещения, технологической



переработки жидкостей, газов и сыпучих материалов и составляют около 20 % объема всех металлических конструкций.

Протяженность сварных соединений в листовых конструкциях существенно больше, чем в других типах сварных конструкций. Так, например, в сварных листовых конструкциях малой и средней толщины на 1 т стали приходится 30...50 м сварных швов против 15...25 м в обычных строительных металлических конструкциях.

Основной особенностью оболочковых конструкций является то, что все их соединения должны удовлетворять не только условиям прочности, но одновременно и условиям плотности (герметичности). Толщина листов в подобных конструкциях определяется не только из условий прочности, но и из условий их жесткости и долговечности.

## **5.2. Запуск приложения «Мастер сварки» (Weld Assistant)**

Приложение предназначено для моделирования сварных соединений. Приложение обеспечивает проектировщика информацией о сварных швах и соединениях для выполнения анализа методом конечных элементов. В приложении автоматически создается 2D-документация и аннотации на основе 3D-элементов сварки [3]. Поскольку возможен вариант работы с нерусифицированным продуктом NX, на всякий случай в некоторых местах приведены англоязычные термины.

Приложение *Мастер сварки* позволяет задать геометрические и параметрические характеристики сварного шва, определить свариваемые компоненты и проанализировать правильность наложения сварных швов. Также данный модуль экспортирует информацию о сварке в приложения, выполняющие планирование процессов производства. Приложение поддерживает создание моделей соединений, выполненных точечной и дуговой сваркой с соответствующими им характеристиками. В трехмерную модель проектируемого изделия добавляется модель сварного соединения, и при необходимости производится разделка кромок свариваемых деталей. Автоматически производится расчет длины сварных швов и объем наплавленного металла. Данная информация является параметризованной и при

изменении конструкции изделия, повлекшей изменение геометрии свариваемых деталей, автоматически пересчитывается.

Сварные изделия (две и более детали, сваренные между собой) представляют собой особый случай, так как могут являться и сборками, и деталями.

Возможны два варианта запуска приложения:

- 1) последовательно активировать *Меню, Вставить, Мастер сварки* (рис. 5.6);
- 2) вкладка *Приложение, Дополнительно, Мастер сварки*.

Появляется одноименная вкладка на ленточной панели (рис. 5.7).

Приложение *Мастер сварки* обеспечивает проектировщика следующим инструментарием (табл. 2.1).

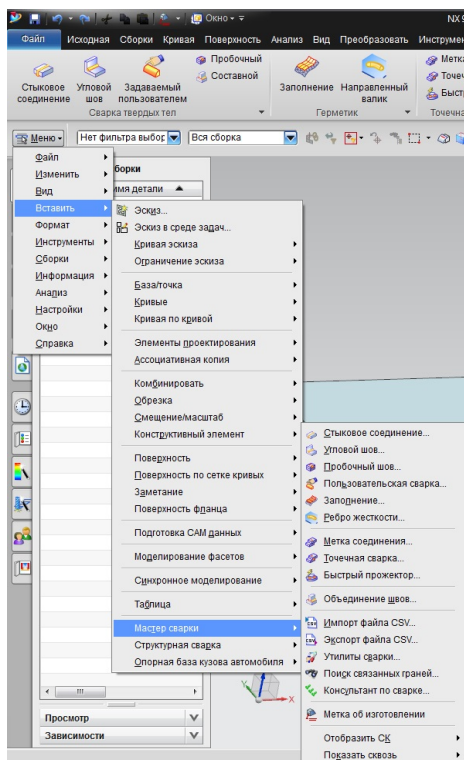


Рис. 5.6. Запуск приложения *Мастер сварки*

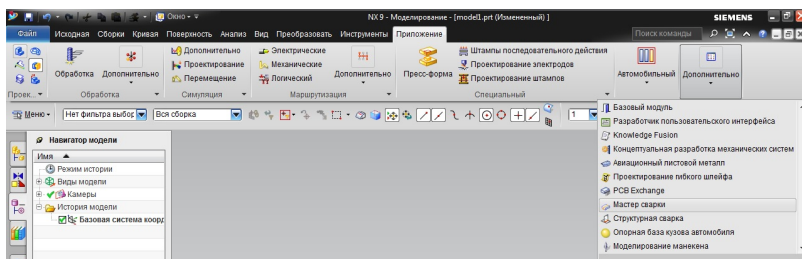


Рис. 5.7. Запуск приложения

Таблица 2.1

### Инструментарий приложения *Мастер сварки*

Команда	Иконка	Описание
<b>Сварка твердых тел (<i>Solid Weld</i>)</b>		
Стыковое соединение ( <i>Groove</i> )	 Стыковое соединение	Подготовка кромок и сварка двух состыкованных плит, используя указанную форму сечения
Угловой шов ( <i>Fillet</i> )	 Угловой шов	Сварка двух плит вместе по тавровому, нахлесточному или угловому соединению
Пробочный ( <i>Plug/Slot</i> )	 Пробочный	Сварка двух перекрывающихся плит вместе, используя существующее отверстие или паз для сварки
Задаваемый пользователем ( <i>User Defined</i> )	 Задаваемый пользователем	Определяет твердое тело как пользовательскую сварку
Составной ( <i>Compound Weld</i> )	 Составной	Комбинация нескольких сварных швов или точек в один элемент
<b>Герметик (<i>Sealer</i>)</b>		
Заполнение ( <i>Fill</i> )	 Заполнение	Создает область заполнения герметиком
Направленный валик ( <i>Bead</i> )	 Направленный валик	Создает твердое тело, используя форму и траекторию сечения

Команда	Иконка	Описание
<b>Точечная сварка (<i>Point Weld</i>)</b>		
Метка соединения ( <i>Joint Mark</i> )	 Метка соединения	Соединяет материалы и отмечает точкой и кривой место соединения
Точечная сварка ( <i>Weld Point</i> )	 Точечная сварка	Соединяет материалы и отмечает точкой место соединения
Быстрая точечная ( <i>Easy Spot</i> )	 Быстрая точечная	Создает сварные точки только между компонентами сборки, автоматически расставляя их
<b>Утилиты (<i>Utilities</i>)</b>		
Поиск соединенных граней ( <i>Connected Face Finder</i> )	 Поиск соединенных граней	Обнаружение недостающих граней соединенных деталей для сварных точек, конструкторских или измерительных баз
Помощник сварки ( <i>Weld Advisor</i> )	 Помощник сварки	Проверяет сварные точки, конструкторские или измерительные базы на соответствие установленным правилам
Метка об изготовлении ( <i>Fabrication Label</i> )	 Метка об изготовлении	Добавляет метки на соединения, на конструкторские или измерительные базы
Импорт файла CSV ( <i>Import CSV File</i> )	 Импорт файла CSV	Загрузка CSV-файла, содержащего информацию о сварных соединениях, определительных или измерительных базах
Экспорт файла CSV ( <i>Export CSV File</i> )	 Экспорт файла CSV	Сохранение или просмотр CSV-файла, содержащего информацию о сварных соединениях, определительных или измерительных базах
Утилиты сварки ( <i>Weld Utilities</i> )	 Утилиты сварки	Утилиты сварки, такие как группировка точек сварки, основанные на связанных комбинациях деталей, и идентифицируют сварочные точки, которые потеряли их связанные детали

### 5.3. Работа в приложении над стыковыми соединениями

*Стыковое соединение (Groove Weld)* используется для создания соединений между двумя поверхностями, находящимися в одной или параллельных плоскостях, а также для стыковых соединений труб.

Стыковые сварные соединения выполняются по ГОСТ 5264-80 «Ручная дуговая сварка. Соединения сварные», ГОСТ 14771-76 «Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные», ГОСТ 16037-80 «Соединения сварные стальных трубопроводов», ГОСТ 8713-79 «Сварка под флюсом. Соединения сварные».

ГОСТ 5264-80 предусматривает 32 конструктивных варианта стыковых соединений. Они имеют условные обозначения: С1, С2, ... С28 и т. д. Они отличаются различной подготовкой кромок в зависимости от толщины, расположения свариваемых элементов, технологии сварки и наличия оборудования для обработки кромок. При большой толщине металла ручной сваркой невозможно обеспечить проплавление кромок на всю толщину, поэтому делают разделку кромок, т. е. скос их с двух или одной стороны. Кромки скашивают на строгальном станке или термической резкой (плазменной, газокислородной). Общий угол скоса ( $50 \pm 4$ )°; такая подготовка называется односторонней со скосом двух кромок. При этом должна быть выдержана величина притупления (нескошенной части) и зазор, величины которых установлены стандартом в зависимости от толщины металла. Шов стыкового соединения называют стыковым швом, а подварочный шов — это меньшая часть двустороннего шва, выполняемая предварительно для предотвращения прожогов при последующей сварке основного шва или накладываемая в последнюю очередь, после его выполнения. Для предотвращения прожогов применяют остающиеся стальные подкладки.

ГОСТ 14771-76 предусматривает 28 конструктивных вариантов стыковых соединений. У них аналогичные обозначения.

ГОСТ 8713-79 предусматривает 37 конструктивных вариантов стыковых соединений. Принципиальным отличием от двух предыдущих являются применение так называемой флюсовой подушки в соединениях С4, С9, С18, С29, С30, С31, С32, С33, С36, С38.

ГОСТ 16037-80 предусматривает выполнение соединений дуговой сваркой в защитном газе плавящимся электродом, дуговой

сваркой в защитном газе неплавящимся электродом, ручной дуговой сваркой, дуговой сваркой под флюсом и газовой сваркой. В данном ГОСТ 19 вариантов стыковых соединений.

Расположение команды: вкладка *Мастер сварки* – группа *Сварка твердых тел* – команда *Стыковое соединение (Groove)* (рис. 5.8).

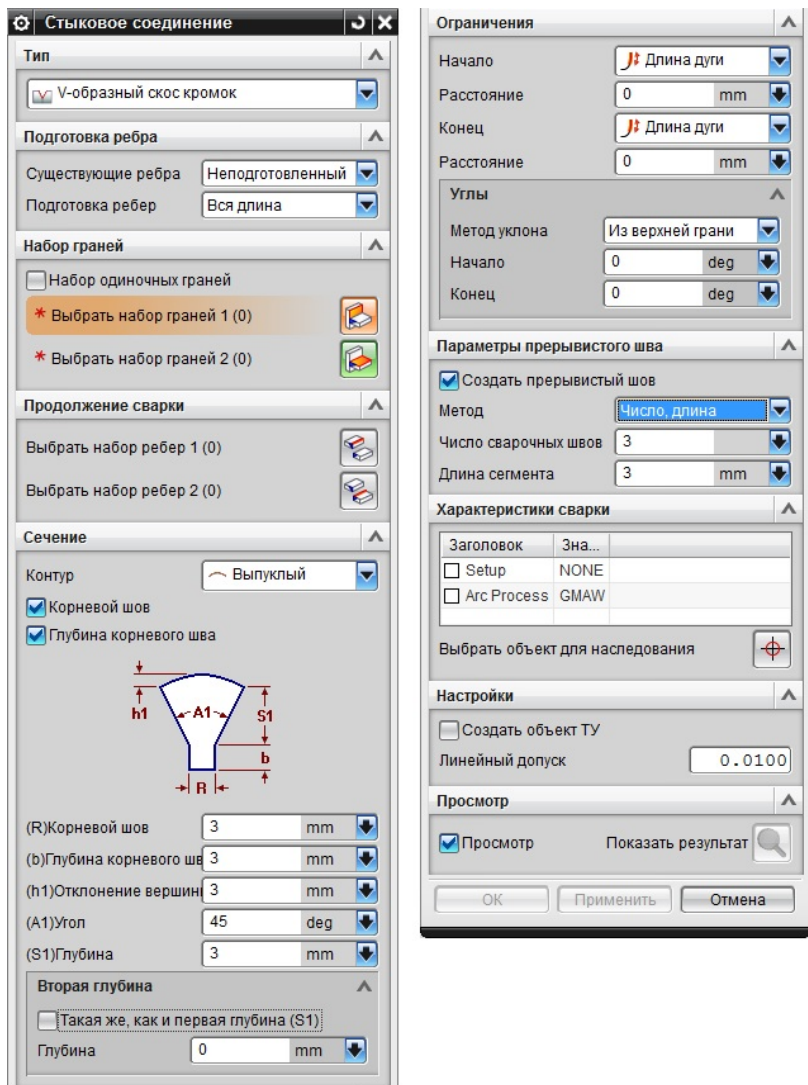


Рис. 5.8. Окно *Стыковое соединение*

Все параметры стыкового соединения задаются в открывшемся окне *Стыковое соединение*; некоторые параметры могут задаваться с помощью маркеров на модели в графическом окне (рис. 5.9).

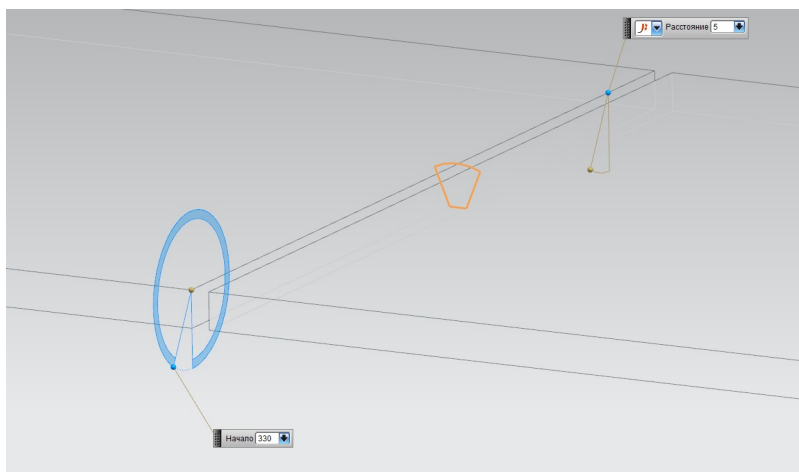


Рис. 5.9. Маркеры стыкового соединения в графическом окне

В NX предлагается на выбор несколько *типов* обработки кромок (*Type*) стыкового соединения, от которых зависят характеристики сечения сварного шва:

без скоса кромок (*Square Butt*), соединения типа C2, C4 (рис. 5.10);

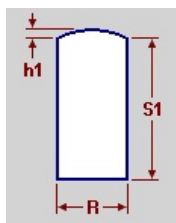

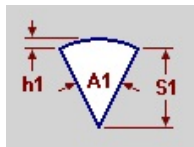
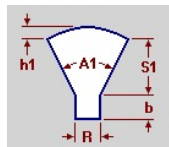


Рис. 5.10. Соединение без скоса кромок

 *V-образный скос кромок (V Groove)* – со скосом обеих кромок, соединения типа C17, C18 (рис. 5.11);




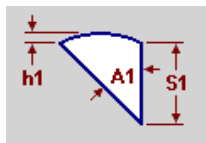
без корневого шва



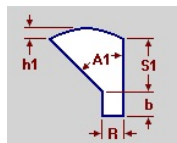
с корневым швом

Рис. 5.11. Соединения со скосом обеих кромок

 со скосом одной кромки (*Bevel Groove*), соединения типа C8, C9 (рис. 5.12);




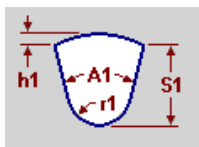
без корневого шва



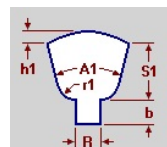
с корневым швом

Рис. 5.12. Соединение со скосом одной кромки

 *U-образный скос кромок (U Groove)* – с криволинейным скосом кромок, соединения типа C23 (рис. 5.13);




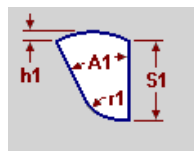
без корневого шва



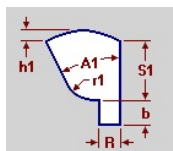
с корневым швом

Рис. 5.13. Соединение с криволинейным скосом кромок

 *J-образный скос кромок (J Groove)* – с криволинейным скосом одной кромки, соединения типа C13 (рис. 5.14);



без корневого шва

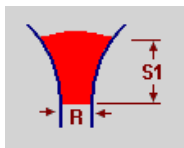


с корневым швом

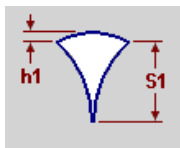
Рис. 5.14. Соединение с криволинейным скосом одной кромки



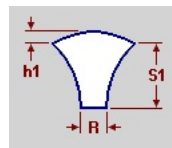
 с отбортовкой кромок (*Flares V Groove*), соединения типа C28 (рис. 5.15);



заполнение конструкции



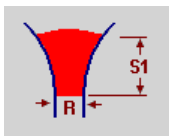
без корневого шва



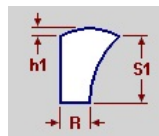
с корневым швом

Рис. 5.15. Соединения с отбортовкой кромок

 со скосами кромок (*Flares Bevel Groove*) – с отбортовкой одной кромки, соединения типа У2.



заполнение конструкции



с корневым швом

Рис. 5.16. Соединение с отбортовкой одной кромки

Создание сварного шва возможно как по заранее подготовленным пользователем кромкам, так и по неподготовленным. Во втором случае программа сама сделает все необходимые операции по подготовке кромок; для этого необходимо в разделе *Подготовка ребра (Edge Preparation)* в графе *Существующие ребра (Existing Edges)* выбрать:

- *неподготовленные (Not Prepared)* – для неподготовленных ребер, создается построение и выделяется сварка из тела;
- *подготовка ребер (Prepare Edges)*;
- *нет (None)* – не подготавливает ребра перед созданием соединения;
- *вся длина (Entire Length)* – выполняет подготовку по всей длине соединения (рис. 5.17);
- *пределы сварки (Weld Limits)* – выполняет подготовку только там, где выполняется сварка, подготовка на всей длине (рис. 5.18);
- *подготовка кромок только там, где выполняется шов* (рис. 5.19);
- *комплексное (Complex)* – выполняет подготовку по всей длине, твердое тело под корневым швом (замок) не изменяется (рис. 5.20);

– *подготовленные (Prepared)* – для подготовленной пользователем разделки ребер, стыковое соединение наследует форму подготовленных ребер, заполняя расстояние между ними (рис. 5.21).

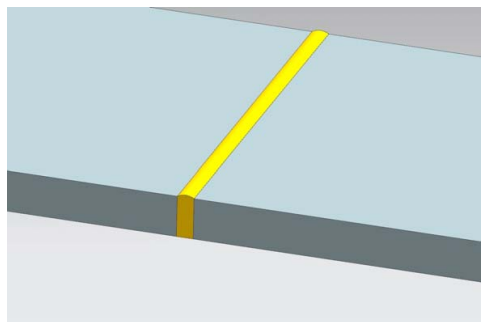


Рис. 5.17. Шов выполнен по всей длине

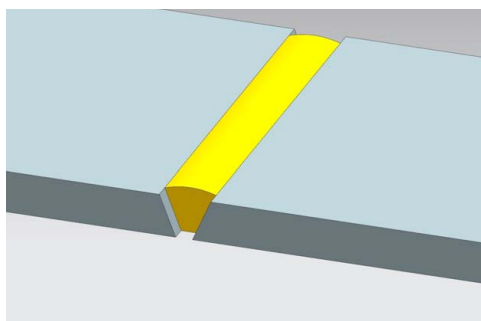


Рис. 5.18. Шов выполнен в заданных пределах

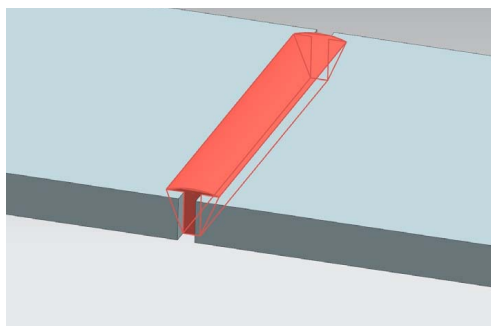


Рис. 5.19. Шов выполнен в заданных пределах, подготовка кромок только там, где выполнен шов

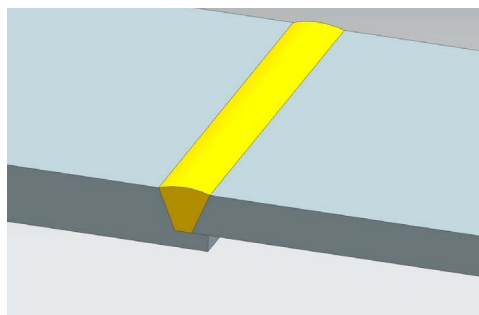


Рис. 5.20. Подготовка кромок на примере соединения С6

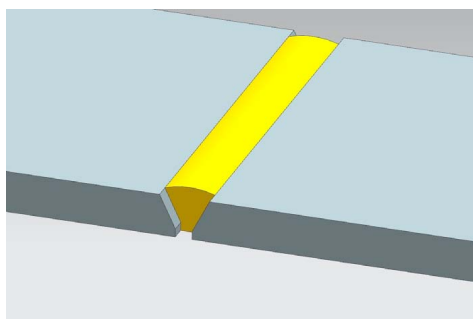


Рис. 5.21. Заполнение швом подготовленной разделки

Опция *Набор одиночных граней (Single Face Set)* сваривает вместе два конца одной грани. Данная опция позволяет создать стыковое соединение в цилиндре (рис. 5.22). Это может быть обечайка химического аппарата, резервуара, колонны или труба.

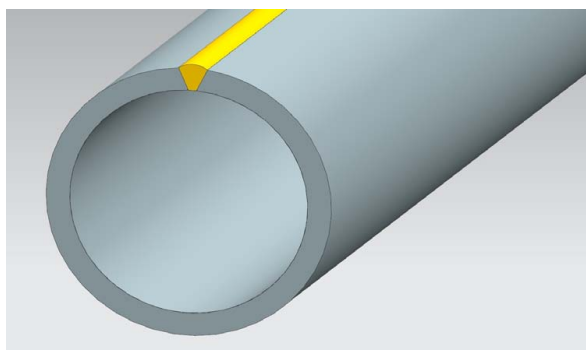






Рис. 5.22. Сварка одиночных граней на примере продольного шва трубы

В поле *Набор граней (Face Sets)* функция *Выбрать набор граней 1 (Select Face Set 1)* позволяет выбрать одну или несколько граней для первой стороны стыкового соединения, функция *Выбрать набор граней 2 (Select Face Set 2)* позволяет выбрать одну или несколько граней для второй стороны стыкового соединения при снятой галочке *Набор одиночных граней*.

Поле *Продолжение сварки (Weld Extent)* используется, когда есть зазор между деталями. Здесь ограничивается направление сварки до выбранных ребер в случаях, когда контекстное увеличение является неуместным. Ребра задаются функциями *Выбрать набор ребер (Select Edge Set)* аналогично функциям *Выбрать набор граней*.

Для сварных соединений представлено несколько типов *Контура шва (Contour)*:

-  *нет* — оставляет контур сварки не обозначенным;
-  *выпуклый (Convex)*;
-  *плоский (Flush)*;
-  *вогнутый (Concave)*.

От вида выбранной формы шва зависит количество параметров сварного шва. Основными параметрами *сечения (Cross Section)* сварного шва стыкового соединения в NX являются:

- *(SI)* глубина провара (*Depth*);
- *(hI)* отклонение вершины (*Contour Height*) — высота усиления шва;
- *(AI)* угол (*Angle*) разделки кромок.

При включенных опциях *Корневой шов (Root Opening)* и *Глубина корневого шва (Root Depth)* добавляются дополнительные параметры:

- *(R)* *корневой шов (Root Opening)* — ширина корня шва;
- *(b)* *глубина корневого шва (Root Depth)* — высота усиления корневого шва.

Для типов *C отбортовкой кромок* и *Co скосами кромок* присутствует опция *Заполнение конструкции (Use Fill In Construction)* — заполнение до приблизительной точки пересечения, если выбранные грани не касаются (рис. 5.23).

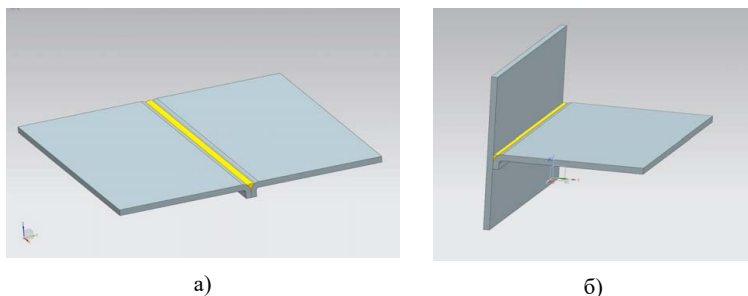


Рис. 5.23. Стыковое соединение: *a* – с отбортовкой кромок C28;  
*б* – с отбортовкой одной кромки Y2

Опция *Вторая глубина* (*Second Depth*) сохраняет одну и ту же глубину провара по обоим сторонам стыкового соединения. Отсутствует для типов *C отбортовкой кромок* и *со скосами кромок* (рис. 5.24).

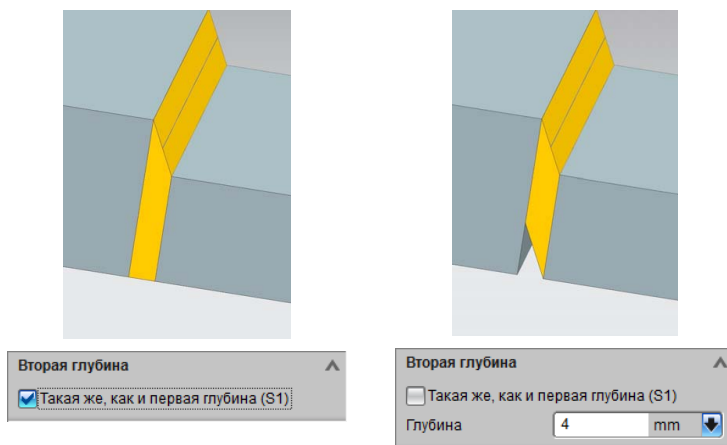


Рис. 5.24. Опция *Вторая глубина*

Опция *Характеристики сварки* (*Weld Characteristics*), см. рис. 5.8, – это список дополнительных атрибутов, которые можно назначить сварному шву.

*Выбрать объект для наследования* (*Select Inherit Object*) – позволяет выбрать объект, от которого будут наследоваться атрибуты проточки под сварку (рис. 5.25).

### Настройки (Settings):

- *создать объект ТУ (Assign Weld PMI)* – открытие диалогового окна *Символ сварки*, в котором можно создать комментарии для сварки (рис. 5.8);
- *линейный допуск (Distance Tolerance)* – допуск моделирования элемента сварки.

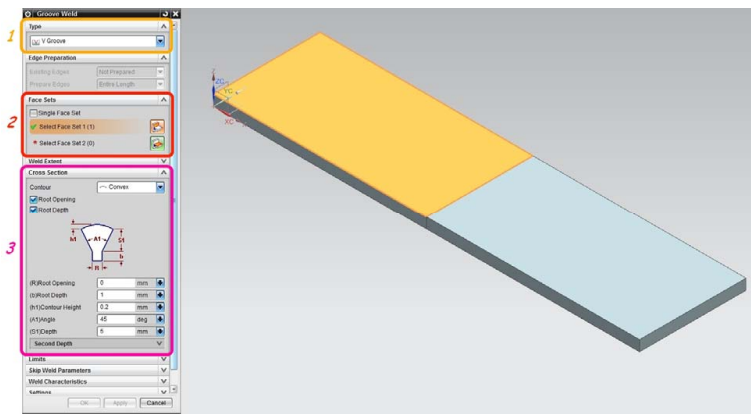


Рис. 5.25. Выбор места сварки и задание параметров сечения шва

Соединение с двумя скосами кромок всех типов (C25, C26, C27 и др.) делается последовательным созданием сварных швов с обеих сторон соединения (рис. 5.26).

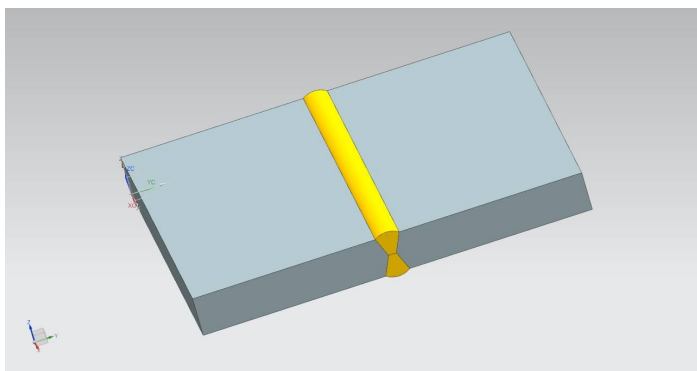


Рис. 5.26. Стыковое соединение с двумя симметричными скосами кромок C27

## 5.4. Работа над угловыми соединениями

Команда *Угловой шов (Fillet Weld)* в NX используется для создания соединений двух поверхностей, находящихся под углом друг к другу, и объединяет угловые, тавровые и нахлесточные соединения.

Угловое соединение — соединение двух элементов, расположенных под углом и сваренных в месте примыкания их краев (рис. 5.27).

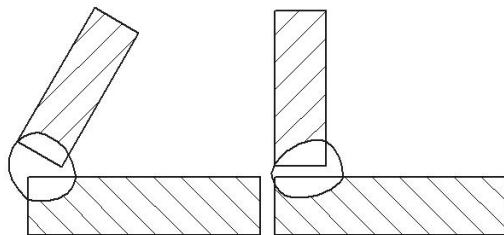


Рис. 5.27. Угловые соединения

ГОСТ 5264-80 предусматривает 10 конструктивных вариантов угловых соединений. Они имеют условные обозначения У1, У2 и т. д. В зависимости от толщины свариваемых деталей может выполняться разделка кромок. Односторонняя — У6, У7, У9, У10. Максимальная толщина свариваемых деталей может достигать 60 мм. Двусторонняя — У8. Максимальная толщина 100 мм.

ГОСТ 14771-76 также предусматривает 10 конструктивных вариантов угловых соединений. У них аналогичные обозначения. Диапазон свариваемых толщин совпадает.

ГОСТ 8713-79 предусматривает 4 конструктивных варианта угловых соединений — У1, У3, У5, У7. Следует отметить, что свариваемые толщины здесь меньше, чем при ручной дуговой сварке и дуговой сварке в защитном газе.

ГОСТ 16037-80 предусматривает выполнение 10 конструктивных вариантов угловых соединений. Это приварка двух труб под углом. Конструктивные соединения У5, У7, У15, У16 выполняются ручной дуговой сваркой и дуговой сваркой в защитном газе плавящимся электродом. Соединение У8 выполняется дуговой сваркой в защитном газе плавящимся электродом. Соединения У17, У18 при толщине от 1 до 7 мм могут выполняться газовой сваркой. При

тощине от 2 до 25 мм могут выполняться дуговой сваркой в защитном газе плавящимся электродом, дуговой сваркой в защитном газе неплавящимся электродом, ручной дуговой сваркой. Соединения У19 и У20 могут выполняться дуговой сваркой в защитном газе плавящимся электродом, дуговой сваркой в защитном газе неплавящимся электродом, ручной дуговой сваркой.

Кроме того, угловые соединения выполняются по ГОСТ 11534-75 «Ручная дуговая сварка. Соединения сварные под острыми и тупыми углами». Данный ГОСТ предусматривает 8 конструктивных вариантов угловых соединений. Их обозначения – У1, У2 и т. д. Варианты У4, У5 предусматривают одностороннюю разделку кромок. Варианты У6, У7, У8 – двустороннюю.

Тавровое соединение – соединение, в котором торец одного элемента примыкает под углом и приварен к боковой поверхности другого элемента (рис. 5.28).

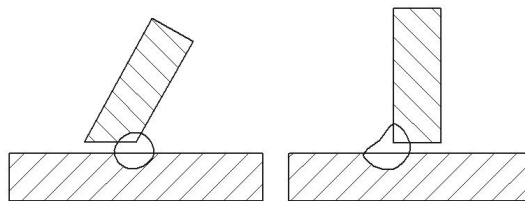


Рис. 5.28. Тавровое соединение

ГОСТ 5264-80 предусматривает 8 конструктивных вариантов тавровых соединений. Они имеют условные обозначения Т1, Т2, Т3 и т. д. В зависимости от толщины свариваемых деталей может выполняться разделка кромок. Односторонняя – Т2, Т6, Т7. Максимальная толщина свариваемых деталей может достигать 60 мм для соединений Т6 и Т7. Для соединения Т2 максимальная толщина 100 мм. Двусторонняя разделка у соединений Т8, Т9, Т5. Свариваемые максимальные толщины у соединений Т8 и Т9 100 мм. У соединения Т5 – 120 мм.

ГОСТ 14771-76 предусматривает 6 конструктивных вариантов тавровых соединений. У них аналогичные обозначения. Диапазон свариваемых толщин соединений с односторонней разделкой (Т6, Т7) 60 мм. С двусторонней разделкой: Т8 – 80 мм; Т9 – 100 мм.



ГОСТ 8713-79 предусматривает 8 конструктивных вариантов тавровых соединений – Т1, Т2, Т3, У5, У7. Следует отметить, что свариваемые толщины здесь меньше, чем при ручной дуговой сварке и дуговой сварке в защитном газе.

Кроме того, тавровые соединения выполняются по ГОСТ 11534-75. Данный ГОСТ предусматривает 8 конструктивных вариантов тавровых соединений. Их обозначения Т1, Т2 и т. д. Варианты Т3, Т4, Т5, Т6 предусматривают одностороннюю разделку кромок. Варианты Т7, Т8 – двустороннюю.

Нахлесточное соединение – соединение, в котором сваренные элементы расположены параллельно и частично перекрывают друг друга (рис. 5.29).

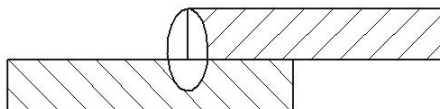


Рис. 5.29. Нахлесточное соединение

Нахлесточные сварные соединения выполняются по ГОСТ 5264-80, ГОСТ 14771-76, ГОСТ 16037-80, ГОСТ 8713-79.

ГОСТ 5264-80, ГОСТ 14771-76 и ГОСТ 8713-79 предусматривают 2 конструктивных варианта нахлесточных соединений – Н1 и Н2. Однако если максимальная толщина соединяемых деталей при ручной дуговой сварке до 240 мм, то при механизированной – до 60 мм и при сварке под флюсом – до 20 мм.

ГОСТ 16037-80 предусматривает нахлесточные соединения Н1, Н3, Н4. Максимальная толщина до 7 мм.

В NX при создании угловых соединений не показывается провар основного материала, а только заполнение присадочным материалом между свариваемыми поверхностями.

Расположение команды: вкладка *Мастер сварки (Weld Assistant)* – группа *Сварка твердых тел (Solid Weld)* – команда *Угловой шов (Fillet)*.

Все параметры углового шва задаются в открывшемся окне *Угловой шов* (рис. 5.30). Некоторые параметры могут задаваться с помощью маркеров на модели в графическом окне (рис. 5.31).

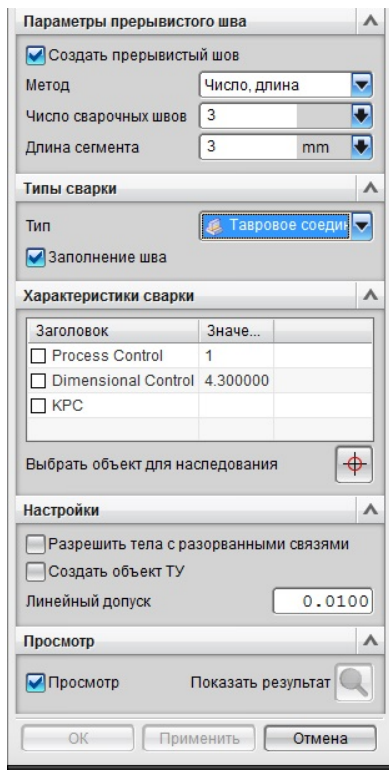
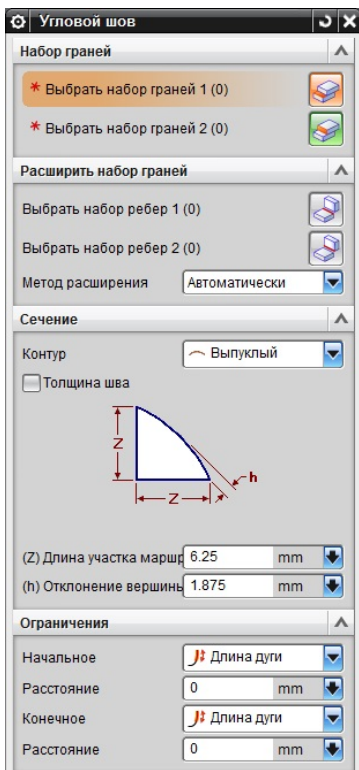


Рис. 5.30. Окно *Угловой шов*

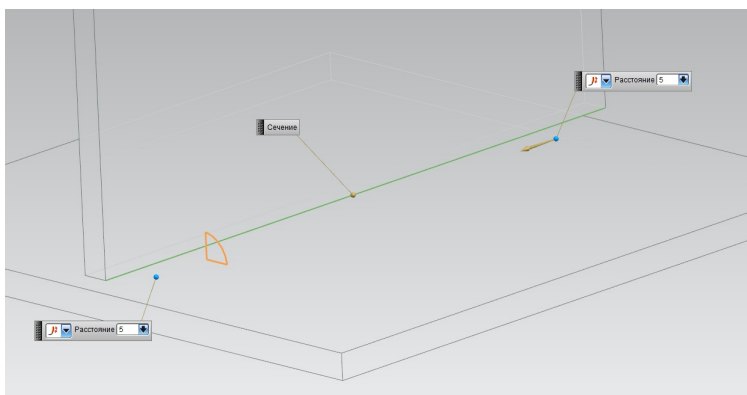






Рис. 5.31. Маркеры углового шва в графическом окне

В поле *Набор граней (Face Sets)*, см. рис. 5.30, функция *Выбрать набор граней 1 (Select Face Set 1)* позволяет выбрать одну или несколько граней для первой стороны углового шва; от выбора первой грани зависит определение решения построения углового шва при наличии нескольких вариантов. Функция *Выбрать набор граней 2 (Select Face Set 2)* позволяет выбрать одну или несколько граней для второй стороны углового шва.

Поле *Расширить набор граней (Extend Face Set)*, см. рис. 5.30, используется, когда есть зазор между деталями. Здесь продлевается набор граней по выбранным ребрам, чтобы найти пересечение со вторым набором граней. Функции *Выбрать набор ребер (Select Edge Set)* позволяет выбрать ребра аналогично функциям *Выбрать набор граней*. Выбор ребра является необязательным шагом.

Предлагается два *Метода расширения ребер (Extension Distance)*:  
– *автоматически (Automatic)* – сварной шов автоматически продлевается в соответствии с существующей геометрией;  
– *по значению (By Value)* – сварной шов продлевается вдоль ребра на заданное пользователем значение.

Для углового соединения предлагается на выбор несколько типов *Контура шва (Contour)*, см. рис. 5.30:

-  *нет*,
-  *выпуклый (Convex)*,
-  *плоский (Flush)*,
-  *вогнутый (Concave)*.

Параметры сварного шва также зависят от выбранной формы шва.

*Сечение углового шва (Cross Section)* можно определить по одному из двух наборов параметров (рис. 5.32, 5.33):

*(Z) длина участка маршрута (Leg Length)* и *(h) отклонение вершины (Contour Height)* – по катету шва и высоте усиления;

*толщина шва (Throat Thickness)* и *(h) отклонение вершины (Contour Height)* при включенной опции *Толщина шва (Throat Thickness)*.

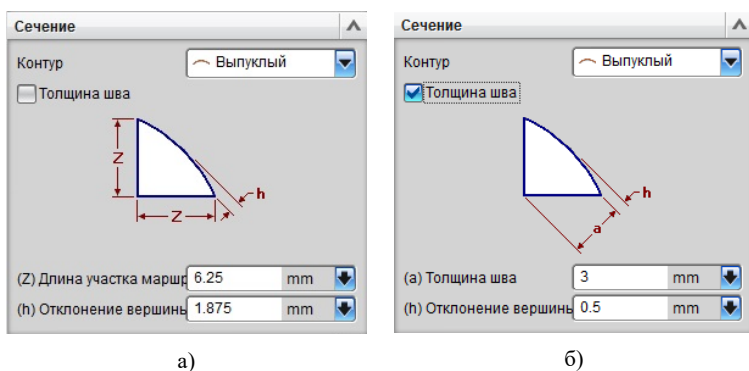


Рис. 5.32. Задание параметров углового шва:  
 $a$  – по размерам катета;  $b$  – по толщине шва

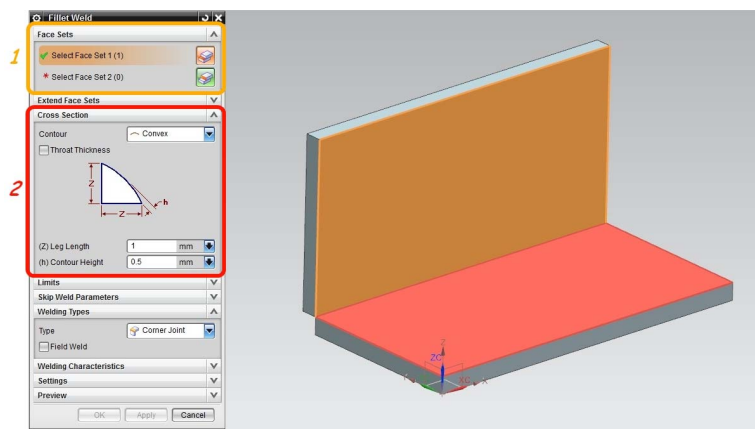


Рис. 5.33. Выбор места сварки и задание параметров углового шва

Тип соединения деталей при сварке угловых швов задается в графе *Тип сварки (Welding Types)*:

- тавровое соединение (*T Joint*);
- соединение внахлест (*Lap Joint*);
- угловое соединение (*Corner Joint*).

*Заполнение шва (Field Weld)* – назначает атрибут заполнения шва для параметра *Заполнение шва*.

*Характеристики сварки (Weld Characteristics)* – список дополнительных атрибутов, которые можно назначить сварочному скруглению.

*Выбрать объект для наследования (Select Inherit Object)* – позволяет выбрать объект, от которого будут наследоваться атрибуты проточки под сварку.

*Настройки (Settings):*

- *разрешить тела с разорванными связями (Allow Broken Link Bodies)* – управляет возможностью выбора граней связанных тел; является особенно полезным при редактировании элемента *Угловой шов*, если требуется заменить грани тела с разорванными связями на грани тела с новыми связями;
- *создать объект ТУ (Assign Weld PMI)* – открытие диалогового окна *Символ сварки*, в котором можно создать комментарии для сварки;
- *линейный допуск (Distance Tolerance)* – допуск моделирования элемента сварки.

*Примечания:*

- 1) соединения типа У2, У6 и У9 делаются с помощью создания *Стыкового соединения*;
- 2) обработка кромок для соединений типа У8, Т2 и Т6–Т9 делается созданием фаски на торце привариваемой детали.

Примеры выполненных соединений – на рис. 5.34, 5.35, 5.36.

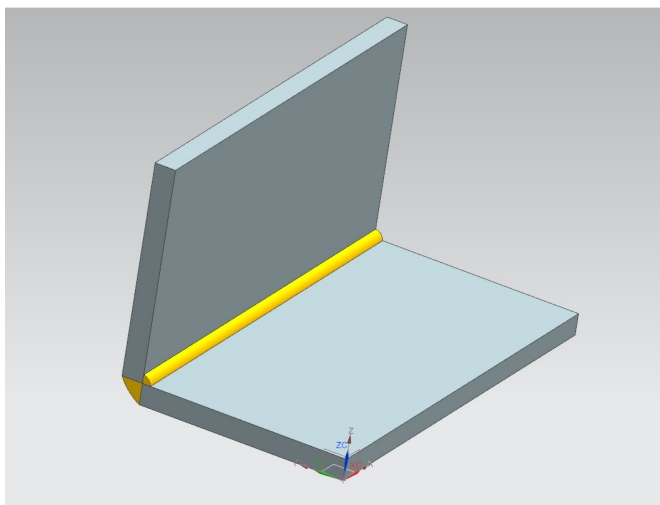
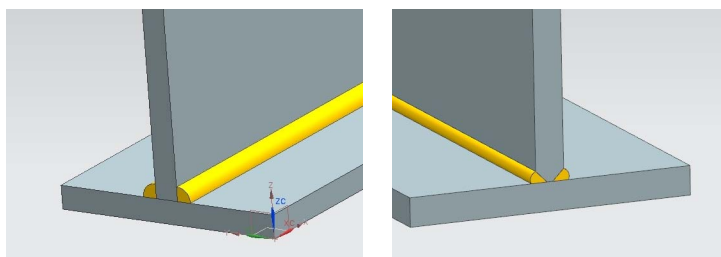


Рис. 5.34. Угловое соединение (У5)



а)

б)

Рис. 5.35. Тавровые соединения: а – Т3; б – Т9

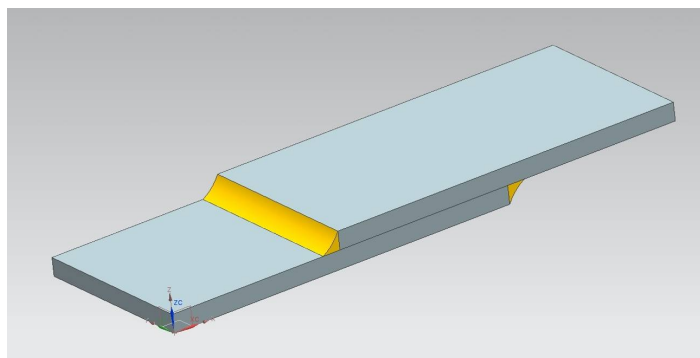




Рис. 5.36. Нахлесточное соединение H2

## 5.5. Ограничения длины сварного шва

Для стыкового соединения и углового шва в поле *Ограничения* (*Limits*) можно указать положения *Начало* (*Start*) и *Конец* (*End*) сварного шва.

Задание ограничения:

-  *длина дуги* (*Arc Length*) – определяет местоположение по расстоянию вдоль кривой;
-  *через точку* (*Trough Point*) – определяет местоположение как заданную точку.

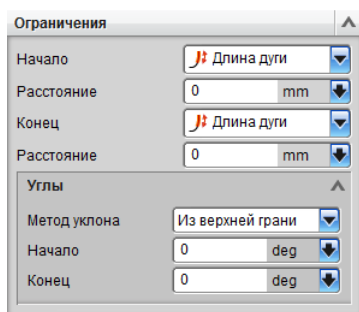


Рис. 5.37. Поле *Ограничения*

Для стыкового соединения можно изменять *углы* начала и конца шва. Предлагается три *Метода уклона (Taper Method)*:  
 – без уклона (рис. 5.38);

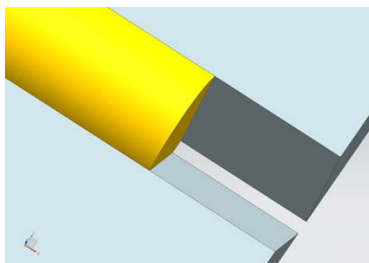


Рис. 5.38. Начало шва без уклона

– *из верхней грани (From Top Face)* – угол наклона измеряется от верхней грани (рис. 5.39);

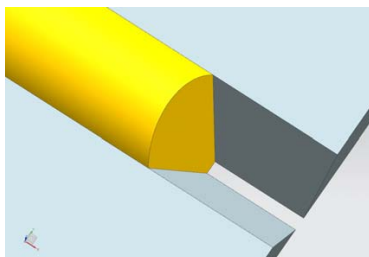


Рис. 5.39. Угол наклона начала шва меняется от верхней грани

— из конечной грани — угол наклона измеряется от кромок (рис. 5.40):

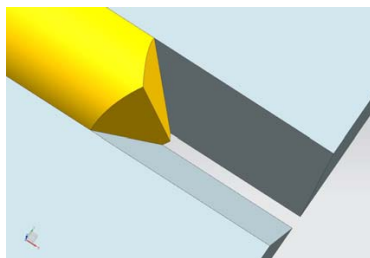


Рис. 5.40. Угол наклона начала шва измеряется от кромок

## 5.6. Прерывистый шов

Прерывистый шов — сварной шов с промежутками по длине. Следует помнить, что прерывистый шов, равнопрочный непрерывному, экономически невыгоден [2; 12]. Оправданы прерывистые швы только в том случае, когда требуемый по условиям прочности катет непрерывного шва оказывается слишком малым и по ТУ приходится применять катет больший требуемого по расчету.

Прерывистый шов бывает двух видов: цепной и шахматный (рис. 5.41). Цепной прерывистый шов — двусторонний прерывистый шов, у которого промежутки расположены по обеим сторонам стенки один против другого. Шахматный прерывистый шов — двусторонний прерывистый шов, у которого промежутки на одной стороне стенки расположены против сваренных участков шва с другой ее стороны. Шахматный шов приводит к большим сварочным деформациям, чем цепной.

Прерывистые швы чаще всего применяются в качестве конструктивных швов. Расстояния между участками прерывистого шва должны быть в сжатых элементах не более  $16\delta$ , а в растянутых — не больше  $30\delta$ , где  $\delta$  — толщина листа [2].

Поле *Параметры прерывистого шва* присутствует только в окнах *Стыковое соединение* и *Угловой шов* (см. рис. 5.8, 5.30).



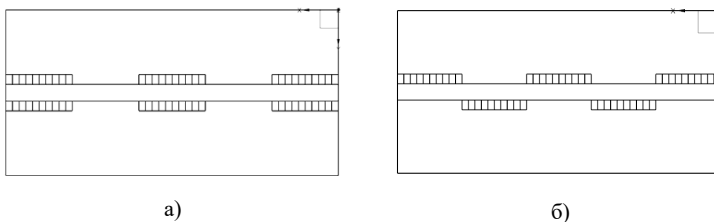


Рис. 5.41. Прерывистые швы: *a* – цепной; *б* – шахматный

Для создания прерывистого шва необходимо в поле *Параметры прерывистого шва* (*Skip Weld Parameters*) поставить галочку в опции *Создать прерывистый шов* (*Create Skip Welds*), рис. 5.42.

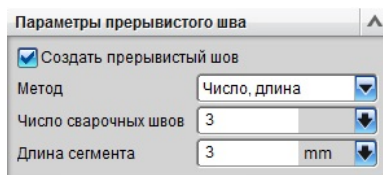


Рис. 5.42. Окно *Параметры прерывистого шва*

*Методы* построения прерывистого шва:

- *число, длина* (*Number, Length*) – заданное число участков сварного шва определенной длины равномерно распределяется по линии соединения, размер пустого интервала устанавливается автоматически;
- *число, интервал* (*Number, Spacing*) – заданное число участков сварного шва располагается строго через заданное значение пустого участка, длина сварных швов устанавливается автоматически;
- *интервал, длина* (*Spacing, Length*) – участки сварного шва определенной длины располагаются на определенном расстоянии друг от друга, количество участков сварного шва устанавливается автоматически (рис. 5.43).

После завершения ввода необходимых параметров получаем следующую картину прерывистого шва (рис. 5.44):

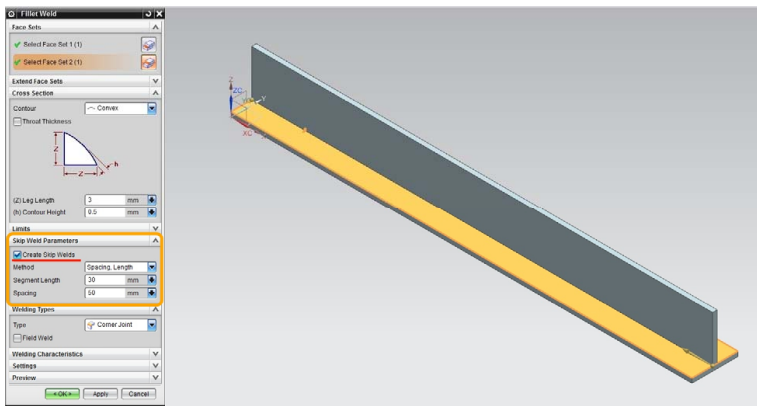


Рис. 5.43. Задание параметров прерывистого шва по методу *интервал, длина*

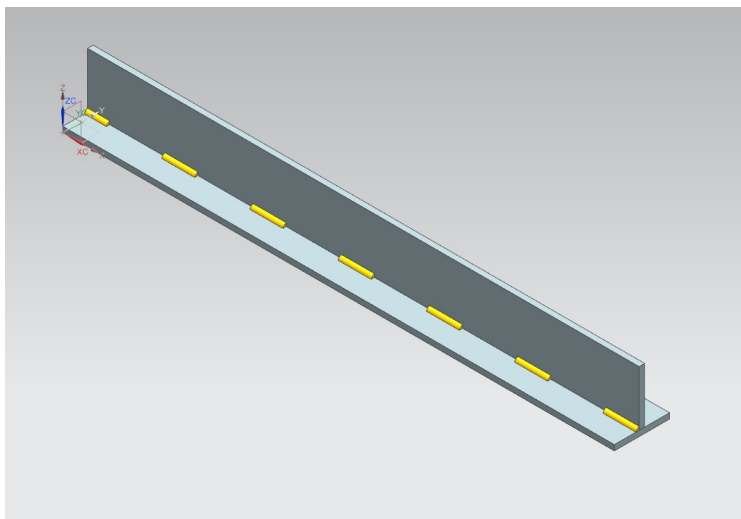


Рис. 5.44. Прерывистый шов

## 5.7. Сварка электрозаклепками

*Пробочный шов* (электрозаклепка) – это сварная точка при точечном сварном соединении металла, выполняемом точечной дуговой сваркой. Электрозаклепки (рис. 5.45), выполняются по ГОСТ 14776-79 «Дуговая сварка. Соединения сварные точечные».

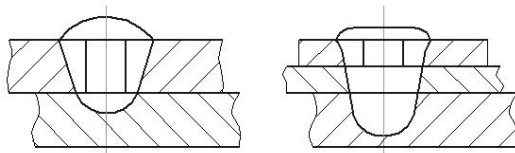


Рис. 5.45. Пробочные швы с круглым отверстием в верхней детали

Для образования электрозаклепки требуется полное проплавление одного из соединяемых элементов. В случае если толщина детали, которую необходимо проплавить, довольно приличная, то в ней можно высверлить отверстие, которое и будет впоследствии заполнено жидким электродным металлом.

Прорезной шов – сварной шов, образуемый в результате заполнения жидким металлом плавящегося электрода прорези, предварительно подготовленной в одном из соединяемых элементов (рис. 5.46).

*Пробочный/прорезной шов (Plug/Slot Weld)* применяется для создания нахлесточных соединений.

С помощью команды *Пробочный шов* соединение создается в NX, только используя существующее отверстие или паз для сварки (соединение типа H5). Отверстие или паз может быть частично или полностью заполнено сварочным материалом.

Расположение команды: вкладка *Мастер сварки (Weld Assistant)* – группа *Сварка твердых тел (Solid Weld)* – команда *Пробочный шов (Plug/Slot)*.

Все параметры пробочного шва задаются в открывшемся окне *Пробочный шов* (рис. 5.47).

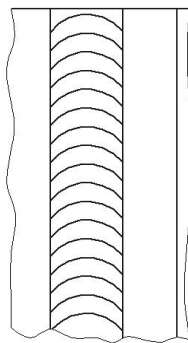
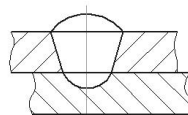


Рис. 5.46. Прорезной шов

*Примечание:* нахлесточные соединения типа Н1-Н4 создаются с помощью команд *Точечной сварки (Weld Point)*.

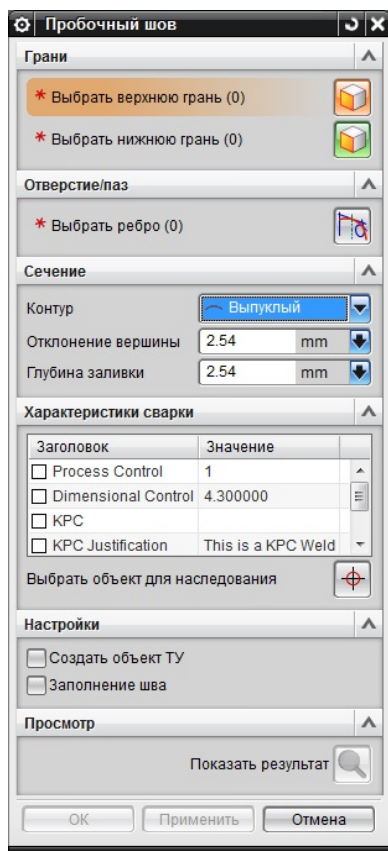






Рис. 5.47. Окно *Пробочный шов*

В разделе *Грани (Faces)* функции *Выбрать верхнюю/нижнюю грань (Select Top/Bottom Face Set)* позволяют выбрать соответственно верхнюю и нижнюю грани построения пробочного шва (рис. 5.48).

В поле *Отверстие/паз (Hole/Slot)* функцией *Выбрать ребро (Select Edge)* необходимо выбрать ребро отверстия или паза для формирования пробочного шва (рис. 5.49).

*Контур шва (Contour):*

-  *нет* — позволяет создать пробочный шов с не указанной оконечательной сварочной операцией;

-  выпуклый (Convex);
-  плоский (Flush);
-  вогнутый (Concave).

Параметры сечения пробочного шва (Cross Section), см. рис. 5.49:

- отклонение вершины (Contour Height) – высота усиления;
- глубина заливки (Depth of Filling) – глубина проплавления листов.

В поле *Характеристики сварки (Weld Characteristics)* приведен список дополнительных атрибутов, которые можно назначить пользовательской сварке.

*Выбрать объект для наследования (Select Inherit Object)* – позволяет выбрать объект, от которого будут наследоваться атрибуты проточки под сварку.

*Настройки (Settings):*

- *создать объект ТУ (Assign Weld PMI)* – открытие диалогового окна *Символ сварки*, в котором можно создать комментарии для сварки;
- *заполнение шва (Field Weld)* – позволяет задавать атрибут *Заполнение шва для сварочного объекта*.

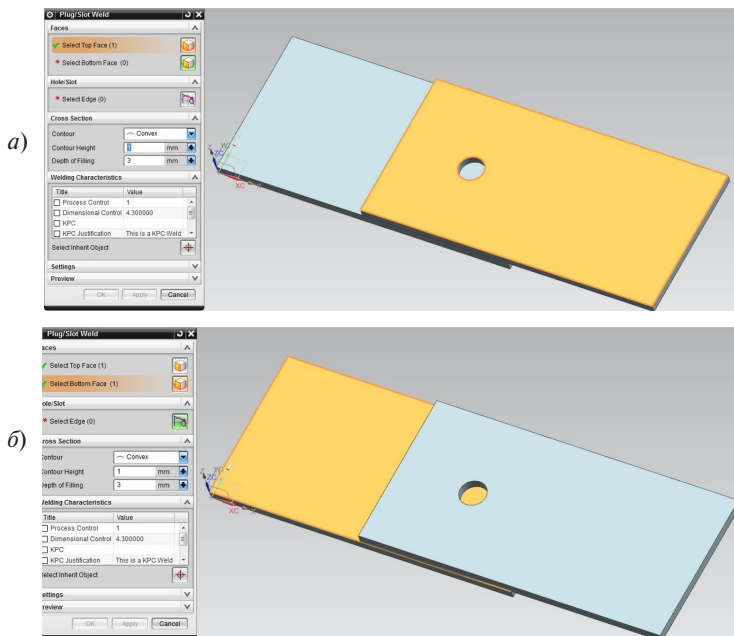


Рис. 5.48. Выбор свариваемых плоскостей

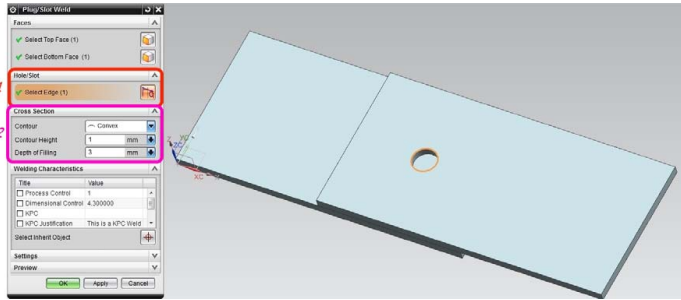


Рис. 5.49. Выбор ребра для сварки и задание размеров пробочного шва

## 5.8. Создание шаблонов сварных швов

Расположение команды, позволяющей создавать нужный пользователю шаблон сварного шва во вкладке *Мастер сварки (Weld Assistant)* – группе *Сварка твердых тел (Solid Weld)* – команда *Заданый пользователем (User Defined)*. Открывается окно *Пользовательская сварка* (рис. 5.50).

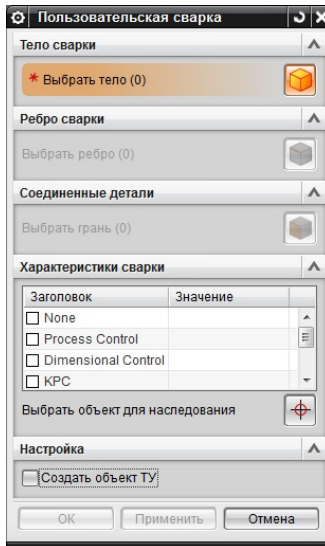


Рис. 5.50. Окно *Пользовательская сварка*

## 5.9. Окно обозначения сварного шва

Условные обозначения сварных соединений на чертежах устанавливаются ГОСТ 2.312-72 «ЕСКД. Условные изображения и обозначения швов сварных соединений».

Окно *Символ сварки* (рис. 5.51) открывается при установленной галочке *Создать объект ТУ* в разделе *Настройки* только для *Стыкового соединения*, *Углового шва*, *Пробочного шва* и *Пользовательской сварки*.

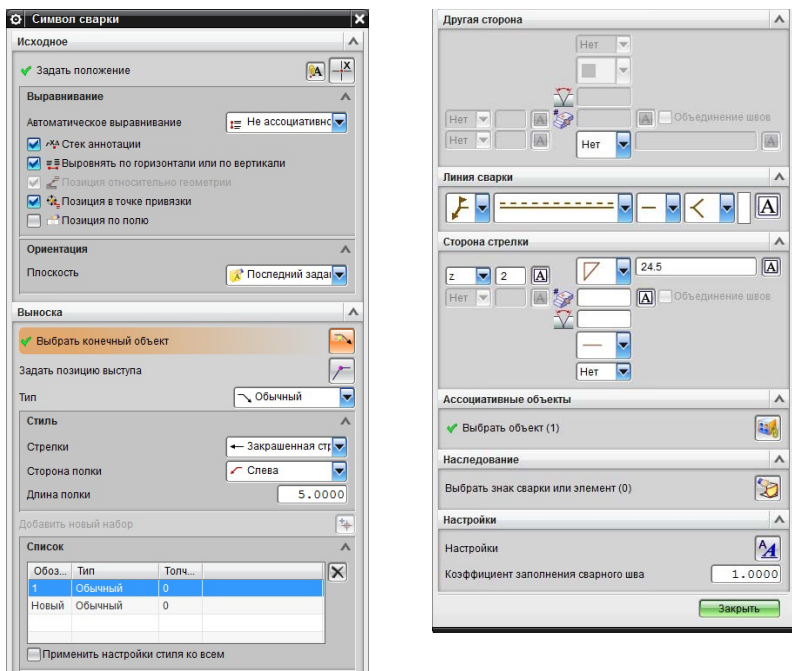


Рис. 5.51. Окно *Символ сварки*

Работа в данном окне позволяет выполнить обозначение сварных швов при построении на основании трехмерной модели двумерных чертежей.

### **Контрольные вопросы**

1. Каковы возможности модуля сварки?
2. Какие способы сварки поддерживает приложение *Мастер сварки*?
3. Что обеспечивает функция *Массив*?
4. Каковы достоинства стыковых сварных соединений?
5. Каковы достоинства и недостатки нахлесточных соединений?
6. Что называется сварным швом?



## Библиографический список

1. Аведьян, А. Проектирование сварных конструкций в SolidWorks / А. Аведьян, И. Щекин // САПР и графика. – 2004. – № 2.
2. Шинкевич, Н.И. Справочное пособие по сварным, резьбовым и заклепочным соединениям / Н.И. Шинкевич, Д.Ю. Маянц, И.В. Манцетова ; под ред. канд. техн. наук доц. Н.И. Шинкевича. – Минск : Изд-во М-ва высш., сред. спец. и проф. образования БССР, 1961. – 299 с.
3. NX для конструктора-машиностроителя / П.С. Гончаров [и др.]. – М. : ДМК Пресс, 2010. – 501 с.
4. Информационно-вычислительные системы в машиностроении: CALS-технологии / Ю.М. Соломенцев [и др.]. – М. : Наука, 2003. – 292 с.
5. Информационный анализ и автоматизированное проектирование трехмерных компоновок оборудования химико-технологических схем : учебное пособие / Е.Н. Малыгин [и др.]. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – 128 с.
6. Миронов, В.М. Основы автоматизированного проектирования химических производств : учеб. пособие для студентов очного и заочного обучения по специальности 170500 – «Машины и аппараты химических производств» / В.М. Миронов, В.М. Беляев. – Томск : Изд-во ТПУ, 2001. – 169 с.
7. Основы проектирования химических производств : учебник / С.И. Дворецкий [и др.]. – М. : Спектр, 2014. – 356 с.
8. Дворецкий, С.И. Основы проектирования химических производств / С.И. Дворецкий, Г.С. Кормильцин, В.Ф. Калинин. – М. : Машиностроение-1, 2005. – 180 с.
9. Беркман, Б.Е. Основы технологического проектирования / Б.Е. Беркман. – М. : Химия, 1970. – 320 с.
10. Схиртладзе, А.Г. Интегрированные системы проектирования и управления : учебник для студ. высш. учеб. заведений / А.Г. Схиртладзе, Т.Я. Лазарева, Ю.Ф. Мартемьянов. – М. : Академия, 2010. – 347 с.
11. Ветехин, В.Н. Программирование и вычислительные методы в химии и химической технологии / В.Н. Ветехин, А.И. Бояринов, В.В. Кафаров. – М. : Наука, 1972. – 387 с.

12. Иоффе, И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии : учебник для техникумов / И.Л. Иоффе. – Л. : Химия, 1991. – 352 с.
13. Норенков, И.П. Основы автоматизированного проектирования : учебник для вузов / И.П. Норенков. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 360 с.
14. Норенков, И.П. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии / И.П. Норенков, П.К. Кузьмик. – М. : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.
15. Шандров, Б.В. Технические средства автоматизации : учеб. для вузов / Б.В. Шандров, А.Д. Чудаков. – М. : Академия, 2007. – 361 с.
16. Иванов, Г.Н. Основные методы расчета промышленных реакторов : учеб. пособие / Г.Н. Иванов, В.П. Лопатинский. – Томск : Изд-во ТПИ им. С.М. Кирова, 1985. – 69 с.
17. Меньков, А.В. Теоретические основы автоматизированного управления : учебник для вузов / А.В. Меньков, В.А. Острейковский. – М. : Оникс, 2005. – 639 с.
18. Муромцев, Д.Ю. Математическое обеспечение САПР : учеб. пособие / Д.Ю. Муромцев, И.В. Тюрин. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Лань, 2014. – 464 с.
19. Кудрявцев, Е.М. Основы автоматизированного проектирования : учеб. для студентов вузов, обуч. по специальности «Подъемно-транспорт., строит., дорож. машины и оборудование» направления «Транспорт. машины и транспортно-технол. комплексы» / Е.М. Кудрявцев. – 2-е изд., стер. – М. : Академия, 2013. – 295 с.
20. Панкратов, Ю.М. САПР режущих инструментов : учеб. пособие / Ю.М. Панкратов. – СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2013. – 335 с.
21. Лашинский, А.А. Конструирование сварных химических аппаратов. Справочник / А.А. Лашинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 428 с.
22. Рудин, М.Г. Проектирование нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов / М.Г. Рудин, Г.Ф. Смирнов. – Л. : Химия, 1984. – 256 с.
23. Мурахтанова, Н.М. Организационное проектирование производственных систем : учебник / Н.М. Мурахтанова, Е.М. Шевлякова, Н.В. Александрова. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2013. – 290 с.

24. Гладков, Э.А. Автоматизация сварочных процессов : учеб. для студентов вузов, обуч. по направлению «Машиностроение» / Э.А. Гладков, В.Н. Бродягин, Р.А. Перковский. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 421 с.
25. Основы проектирования химических производств : учебник для вузов / В.И. Косинцев [и др.]. – М. : Академкнига 2010. – 371 с.