Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет

681.327
И622

А.Л. Хейфец, А.Н. Логиновский, И.В. Буторина, В.Н. Васильева

ИНЖЕНЕРНАЯ 3D-КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА

Монография

Под редакцией А.Л. Хейфеца

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2010

УДК 681.327
И622

Одобрено
Советом архитектурно-строительного факультета

Рецезенты:
доц., к.т.н. И.Г. Торбеев, проф., д.т.н. С.В. Евсеенков

И622 Инженерная 3D-компьютерная графика: монография/ А.Л. Хейфец, А.Н. Логиновский, И.В. Буторина, В.Н. Васильева; под редакцией А.Л. Хейфеца. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 413 с.: ил.

Приведены методические разработки авторов, составляющие основу современного курса инженерной графики, отвечающего требованиям ФГОС 3-го поколения. Содержатся примеры выполнения контрольно-графических работ по курсу инженерной графики на основе 3D-технологий моделирования, проектирования и построения чертежа на базе пакет AutoCAD.

Рассмотрено создание геометрически точных моделей резьбовых, зубчатых и червячных передач, основанных на компьютерном 3D-моделировании. Включены элементы программирования и основы фотореалистичной визуализации.

Обобщен многолетний опыт преподавания компьютерных 3D-технологий в инженерной графике на кафедре графики ЮУрГУ.

Для студентов, аспирантов и преподавателей кафедр графики вузов.

ISBN 978-5-696-04057-8
© Издательский центр ЮУрГУ, 2010

Введение

Монография обобщает многолетний опыт преподавания 3D-компьютерных технологий в курсе инженерной графики студентам Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ) [10–12]. Преподавание было начато кафедрой графики ЮУрГУ в 1992–1995 гг. Сегодня уже приблизительно 50% студентов 1 и 2 курсов ЮУрГУ (это 2000 студентов) изучают инженерную графику с активным применением компьютерных технологий.

Монография показывает новое компьютерное наполнение традиционных заданий курса инженерной графики на основе 3D-технологий проектирования и построения чертежа.

Актуальность 3D-технологий

Методы компьютерного 3D-моделирования и проектирования сегодня активно приходят на смену традиционным 2D-методам. Речь идет не просто о компьютерных технологиях в графике, которые давно завоевали прочное положение и на практике вытеснили ручные методы. Речь о новом подходе, который направлен на построение реалистичных компьютерных 3D-моделей. Действует ГОСТ 2.052–2006 “Электронная модель изделия”, регламентирующий подготовку технологической документации на основе компьютерной 3D-модели. По этому стандарту в состав документации чертежи уже не входят [20]. Однако этот ГОСТ еще не нашел отражения в учебном процессе кафедр графики.

В активной дискуссии, развернувшейся в пространстве Международной интернет-конференции “ Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе в условиях перехода на образовательные стандарты нового поколения”, [21] признана актуальность “разработки и внедрения в образовательный процесс методик 3D-моделирования, посредством которых создаются реалистичные виртуальные модели, естественные для человека, более наглядные и доступные для восприятия, а также соответствующие реальным технологическим процессам изготовления и сборки изделий”.

2D и 3D-технологии построения чертежа

Различают двухмерную (2D) и трехмерную (3D) технологии проектирования и построения чертежа (D – Dimension, размерность).

По 2D-технологии конструктор строит проекции создаваемого объекта, то есть его плоские изображения – виды, разрезы, сечения и др. Проектирование идет одновременно с созданием чертежа объекта. 2D-технология основана на начертательной геометрии. Это традиционная, вековая технология и сегодня является основной. Лист бумаги, карандаш и кульман составляют арсенал ее технических средств. Сегодня распространены компьютерные варианты 2D-технологии, в которых компьютер применяется лишь как электронный кульман, позволяющий разгрузить конструктора от рутинной графической работы по проведению линий требуемой толщины, выполнению надписей шрифтом, стрелочек нужной формы и т.п., но не более.

Сущность 3D-технологии состоит в том, что конструктор сразу строит реалистичную, наглядную виртуальную модель детали, узла или здания, собирая ее из объемных примитивов (призма, цилиндр, конус и др.), не прибегая к построению чертежа. Модель можно осмотреть со всех сторон, разрезать, получить произвольное сечение, отредактировать. Для модель можно выполнить прочностной расчет, для архитектурных объектов – построить перспективу, фотореалистичное изображение и т.д. Этот естественный для человека вариант проектирования стал возможным в последние 10…15 лет благодаря компьютерной графике, позволяющей создавать трехмерные виртуальные модели объектов и наглядно отображать их на экране.

Чертежи по 3D-технологии получают после того, как модель создана, то есть на завершающей стадии проектирования и, в значительной мере, в автоматическом режиме. В современных графических редакторах “система” сама строит необходимые виды, разрезы, в первом приближении проставляет размеры, хотя за конструктором остается задача определить оптимальное содержание чертежа. Тем самым осуществляется интеллектуальная разгрузка проектировщика.

3D-технология на базе современной компьютерной техники и программного обеспечения активно входит в практику проектирования. Рынок программных продуктов наполнен пакетами САПР, реализующими 3D-технологию. Это AutoCAD, Mechanical Desktop, Inventor, Solidworks, Компас 3D. Пакеты для строителей и архитекторов: ArchiCAD, Architectural Desktop, Revit и др. Их внедрение в России идет весьма активно.

Несомненно, что по мере подготовки специалистов, владеющих новыми методами работы, 3D-технология станет преобладающим методом конструирования и проектирования.

AutoCAD как базовый пакет инженерной графики

AutoCAD – это наиболее распространенный в мире и доступный в России пакет САПР, изучение которого сегодня должно входить в базовую подготовку инженера.

Аббревиатура AutoCAD расшифровывается как Automated Computer Aided Drafting and Design (Автоматизированное компьютерное черчение и проектирование). AutoCAD – продукт фирмы Autodesk, является универсальным базовым пакетом, содержащим практически все основы, которые заложены в специализированных пакетах САПР или CAD более высокого уровня. Для ряда из них AutoCAD является базовой средой (упрощенно можно сказать, что в таких пакетах загружается AutoCAD и сверх того дополнительные специализированные приложения).

Широта возможностей AutoCAD'a позволяет применять его как инструментальную базу при обучении широкому спектру учебных дисциплин. Так, авторы применяют AutoCAD в курсе основ геометрического моделирования (как альтернативе курса начертательной геометрии), в курсе инженерной графики, в курсе компьютерной графики и информатики. Поскольку AutoCAD имеет свой язык программирования Auto LISP, то на его основе читается курс программирования и основ разработки САПР. AutoCAD позволяет успешно работать со светом, материалами и создавать интересные композиции, поэтому авторы преподают в этом пакете и основы компьютерного дизайна.

AutoCAD позволяет успешно решать актуальную задачу, стоящую перед кафедрами графики, по адаптации базовых графических дисциплин: начертательной геометрии и инженерной графики – к современным 3D-компьютерным технологиям.

Сегодня AutoCAD – это “букварь” в компьютерно-графической подготовке современного специалиста. Студенты, овладевшие пакетом AutoCAD, легко переключаются на другие программные продукты, когда такая необходимость возникает. Архитекторы и строители переходят в 3DMAX, ArchiCAD, Architectural Desktop, Revit. Механики – в Mechanical Desktop, Inventor, Solidworks, Компас 3D. Немаловажно и то, что AutoCAD имеет мировое распространение (то есть, зная AutoCAD, можно уверенно ехать на стажировку или работу в западные фирмы. Пакет Компас за рубежом неизвестен).

Зачастую применение других пакетов определяется не столько их преимуществами, сколько незнанием возможностей пакета AutoCAD и его приложений или ограниченным кругом интересов (например, только черчение).

AutoCAD – непрерывно и активно развивающийся пакет. Ежегодно выходят его новые версии. Последней на момент издания монографии явилась версия AutoCAD 2010 (R18), применительно к которой проведено тестирование приведенных в монографии примеров.

Широта возможностей, распространенность и открытость, возможность в рамках единого пакета решать задачи инженерной графики, теоретического анализа пространственных форм, программирования и дизайна делает AutoCAD предпочтительным программным продуктом для кафедр графики.

Коллегам-преподавателям кафедр графики

Многие до сих пор считают, что в условиях ограниченного времени, выделяемого на изучение графических дисциплин, а также дефицита преподавательских кадров, нет возможности вводить новые методы обучения, ориентированные на компьютерные технологии. Считается, что компьютерным технологиям научат выпускающие кафедры. Однако выпускающие кафед-

ры, как правило, не владеют методикой преподавания инженерной графики, и студенты осваивают новые методы работы самостоятельно, без должной методической поддержки и глубины.

Обучать новым методам построения чертежа должны кафедры графики. Этому способствует доступность компьютера как современного инструмента для работы и достаточное оснащение университетов компьютерными залами. Скоро наличие компьютерных классов перестанет быть необходимостью, поскольку идет переход на работу с ноутбуками. Сегодня домашние компьютеры имеют 100% студентов. Найти компьютер стало проще, чем хороший карандаш.

Внедрение компьютерных технологий в учебный процесс кафедр графики не только является требованием времени, но способствует повышению рейтинга кафедр, росту интереса студентов к освоению графических дисциплин. Все более актуальной становится задача разработки новых методов обучения базовым графическим дисциплинам.

Если обучение 2D-компьютерной технологии построения чертежа на кафедрах графики уже ведется, то новые эффективные методы 3D-технологии еще не нашли должного отражения в учебном процессе. Основу 3D-технологии построения чертежа составляет создание реалистичной виртуальной (то есть на экране) модели. Каждый преподаватель знает, что наличие наглядной модели существенно облегчает построение ее чертежа. В связи с этим, что может быть лучше динамичной (можно на экране вращать и рассмотреть со всех сторон) объемной модели, полученной самим студентом. Умение строить модели формируется за два…три занятия и далее совершенствуется в процессе выполнения заданий.

Замечено, что 3D-технологии способствуют освоению черчения студентами, в том числе и со слабой общей подготовкой, ибо построение компьютерных моделей у них не вызывает трудностей, а получение чертежа на основе 3D-модели во многом автоматизировано. Для таких студентов в особой мере имеет значение внешняя привлекательность компьютерных технологий – работа за компьютером, цвет и динамика формируемых моделей и чертежей и т.д.

Следует признать, что автоматизация построения чертежа снижает у студентов глубину знаний ручной технологии построения чертежа. Студенты, хорошо владеющие компьютерным черчением, как правило, хуже выполняют эскизы и владеют карандашом. Причина – ограничение общего объема часов (нельзя объять необъятное). Здесь важна методика обучения и оптимальное соотношение ручной и компьютерной графики. Учитывая лавинообразное расширение компьютерных технологий не исключено, что в обозримом будущем для студентов понадобятся факультативы по ручной (не по компьютерной, как сейчас) графике.

Переход на компьютерные технологии проектирования вызывает необходимость существенной корректировки методики преподавания. В наступающих ФГОС 3-го поколения прямо сказано о необходимости преподавания компьютерных технологий в рамках основных часов, выделяемых на инженерную графику. В связи с этим прежние рекомендации нашего Научно-методического совета о преподавании компьютерных технологий графики только в рамках специально отведенных часов устарели.

В инженерной графике, по-видимому, нормой в учебном процессе должно стать: 30…50% ручной графики, остальное – компьютерная технология. Многие кафедры уже вышли на этот уровень. Однако зачастую преподают лишь компьютерные варианты 2D-черчения.

Как найти резервы времени на компьютерные технологии? Во-первых, решительно сокращать применение карандаша и линейки, считая, что если мы в университете научим современным технологиям построения чертежа, то карандаш и линейку студент освоит и сам. Во-вторых, нужен рост квалификации преподавателей в области компьютерной графики и новых методик обучения. Основным фактором, сдерживающим развитие 3D-технологий является кадровая проблема на кафедрах графики. В-третьих, назрела необходимость корректировки учебных программ по базовым графическим дисциплинам в направлении внедрения компьютерных технологий. Видимо, это скоро произойдет в связи с наступлением ФГОС 3-го поколения.

Предполагается, что студент имеет предварительную подготовку по информатике и черчению в рамках школьной программы. Например, черчение и информатика преподаются в 90–95% школ г. Челябинска. Этого позволяет сразу приступить к заданиям, характерным для вуза, и не повторять азов школьного курса черчения. В этом еще один из резервов времени на преподавание компьютерных технологий без увеличения объема часов.

При обучении компьютерным технологиям в инженерной графике особенно важна квалификация и широта взгляда [10] преподавателя на роль компьютерных технологий. Постепенный переход от начертательной геометрии, как морально устаревшей учебной дисциплины, к теоретическим основам 3D-компьютерного геометрического моделирования, как альтернативному курсу, создаст условия для более эффективного обучения на современном уровне.

С той же целью привития студентам широты взгляда на AutoCAD и компьютерную графику в монографии, наряду с построением моделей и чертежей, показано построение кинематических поверхностей, создание программ, основы компьютерного дизайна. Для ряда специальностей после инженерной графики дается курс компьютерной графики [12], в котором рассмотрены широкие возможности современного пакета AutoCAD.

Важно, чтобы все чертежи и наглядные изображения моделей, в том числе фотореалистичные, были выведены на печать и собраны в семестровый отчет. Это организует и дисциплинирует работу студентов.

Занятия по инженерной графике проводятся в компьютерном зале. Зал должен быть оснащен мультимедийным оборудованием. Требуется предусмотренная учебными планами самостоятельная работа студентов за компьютером. Общий минимально необходимый объем компьютерного времени в неделю для студента составляет 4–6 часов.

О содержании монографии

Монография предназначена для преподавателей и студентов инженерных специальностей вузов. Содержит методические рекомендации для выполнения характерных заданий курса инженерной графики на основе компьютерных методов построения чертежа по 3D-технологии. Инструментальной базой является пакет AutoCAD. Содержание заданий взято из учебной программы кафедры графики ЮУрГУ. Близкие задания применяются в большинстве вузов РФ.

Приведены примеры выполнения заданий. Примеры и методические рекомендации основаны на материалах ранее изданных многочисленных учебных пособий кафедры графики ЮУрГУ и многолетнем опыте преподавания этих заданий авторами [10–12]. Ряд материалов является новой разработкой и может служить основой для создания новых оригинальных учебно-методических пособий.

Монография актуальна в связи с расширением 3D-технологий на рынке программных продуктов и в практической сфере деятельности, а также в связи с переходом вузов на образовательные стандарты (ФГОС ВПО) 3-го поколения.

Монография позволяет глубоко освоить AutoCAD применительно к сфере инженерной графики, то есть построения моделей и чертежей машиностроительных деталей и узлов.

Монография содержит 24 главы, объединенные в четыре части.

Часть 1 (главы 1–4) излагает основы интерфейса последних версий AutoCAD. Приведены упражнения, позволяющие быстро, за 1–2 занятия, освоить методы работы в пакете AutoCAD в объеме, необходимом для начала выполнения учебных заданий курса. В качестве примеров, закрепляющих материал по построению плоских объектов в пакете AutoCAD, приводятся упражнения на построения геометрических узоров, кругов Аполлония (это из истории геометрии), шестиугольника Паскаля (это из проективной геометрии). Эти примеры неизменно вызывают интерес студентов.

Рассмотрена классическая 2D-технология построения чертежа, по которой проектирование ведется посредством создания проекций – плоских отображений объекта (эпюр Монжа). Здесь AutoCAD играет роль электронного кульмана, автоматизирующего графическую часть работы (линии, стрелочки, шрифт). Показано (глава 3) выполнение учебного задания “Плоский контур”, которое выдается ряду специальностей в качестве первого задания на освоение техники 2D-построения чертежа. Показан (глава 4) пример построения и оформления чертежа несложной детали на основе 2D-технологии.

Часть 2 (главы 5–11) рассматривает основы техники построения и редактирования трехмерных объектов. В главе 5 приведен “джентльменский набор” средств 3D-графики AutoCAD. В завершение главы 5 даны оригинальные примеры 3D-моделей (псевдоповерхность Эшера, лента Мебиуса, рифовый узел и др.), показывающие нетрадиционные возможности применения AutoCAD, направленные на активизацию творческого интереса студентов к предмету.

В главах 6–11 изложено компьютерное прочтение традиционного учебного задания "Проекционное черчение". Задание содержит четыре работы, выполнение которых позволяет освоить 3D-методы построения изображений, образующих чертеж детали. Каждая работа начинается с создания компьютерной 3D-модели и заканчивается получением ее чертежа.

Особый интерес представляет первая работа задания (глава 6), в которой по одной проекции следует сконструировать и построить 3D-модель с последующим выполнением ее чертежа. Это работа, достойная открывать учебный курс университетской программы по инженерной графике (вместо зачастую выполняемого задания по эскизированию элементарных моделей, повторяющего школьную программу).

Для продвинутых студентов дан материал (глава 9) по элементам программирования в AutoCAD на языке AutoLisp. Показано, как создать простую программу для анимации перемещения наклонного сечения.

Часть 3 (главы 12–17) – это научно-исследовательский раздел монографии. Приведены оригинальные методики построения и исследования геометрически точных 3D-моделей резьбы, зубчатых передач, червячной передачи, модели пружин. Построение этих моделей предназначено, главным образом, для реферативной работы студентов. Модели раскрывают возможности пакета AutoCAD, могут служить основой для последующих исследований геометрии и напряженно-деформированного состояния.

Для применения реалистичных изображений резьбы, зубчатых и червячных передач приведены наглядные модели, более простые в построении, чем точные, но придающие высокую наглядность 3D-моделям машиностроительных деталей и узлов. К этим моделям студенты будут обращаться при выполнении заданий по деталированию и объемной сборке узлов.

Показано построение кинематических поверхностей, на основе которых формируется рабочая поверхность резьбы (наклонный геликоид), зубчатых колес (эвольвентный геликоид), червячных передач. Этот материал показывает связь теоретических основ геометрического моделирования с практикой.

Показано (главы 13–16), как создать ряд простых программ для построения наглядной реалистичной анимации работы зубчатых и червячных передач.

Часть 4 (главы 18–24) содержит материалы по выполнению учебных заданий “Деталирование” и “Объемная сборка и сборочный чертеж”. На примере узлов шестеренного насоса и червячного редуктора показано построение моделей, рабочих чертежей деталей и сборочных чертежей. Шестеренный насос (главы 18, 19) – пример несложного узла, на котором рассмотрены основы создания объемных сборок и чертежей. Червячный редуктор (главы 20–22) – сложный узел. Методика его построения дана подробно и может служить основой для олимпиадной подготовки студентов. Построение узлов начинается с корпусной модели, которая наполняется упрощенными (в виде цилиндров) моделями подшипников, зубчатых и червячных передач. Затем упрощенные модели могут быть заменены на наглядные. Здесь же (глава 22) приведена методика построения реалистичных наглядных моделей подшипников.

В главах 23, 24 изложены основы фотореалистичной визуализации в пакете AutoCAD. Приведен подробный пример построения дизайн-композиции, в которой корпусной модели присвоены материалы, воспроизводящие литейные и механически обработанные поверхности. Показано создание и настройка источников света и теней. Рассмотрены особенности и пример фотореалистичной визуализации узла шестеренного насоса.

Фотореалистичная визуализация предназначена главным образом для отдельного курса компьютерной графики. Однако авторы поощряют интерес студентов к этой работе и в курсе инженерной графики.

Монографию разработали: профессор А.Л. Хейфец – главы 1–7, 18, 19, 23, 24 и общая редакция; доцент А.Н. Логиновский – главы 12–17; доцент И.В. Буторина – главы 1, 5, 8, 10, 11; старший преподаватель В.Н. Васильева – главы 8, 9, 20–22.
С авторами можно связаться по адресу: heifets@yandex.ru

Часть 1. 2D-ГРАФИКА

Глава 1

Дружественный интерфейс

В этом разделе приведены начальные сведения об интерфейсе пакета AutoCAD, командах создания и редактирования объектов, управления изображением на экране. Требуется не столько запомнить эти команды, сколько понять методы работы с ними. В завершение раздела построим ряд красивых геометрических узоров.
Термин “дружественный” означает, что интерфейс пакета AutoCAD легко усваивается, размещение его элементов функционально, и что действует правило “не знаешь – согласись с предложениями системы, они оптимальны”.

1.1. Начало работы

Считаем, что на вашем компьютере установлен пакет AutoCAD 2010. Начнем его изучение.



AutoCAD

Рис. 1.1. Ярлык пакета AutoCAD 2010

Загрузка пакета

Найдите на экране (на “Рабочем столе”) ярлык пакета (рис. 1.1) и активизируйте его. Начнется загрузка пакета, итогом которой является появление на экране окна пакета AutoCAD (рис. 1.2) .
Вид окна на момент загрузки может быть различным. Он определяется настройками, сохранившимися с предыдущего сеанса работы. К ним относятся режим рабочего пространства и набор инструментов.

Рабочие пространства. Классический AutoCAD

В зависимости от выполняемой задачи пользователю предлагается выбрать один из трех вариантов интерфейса или рабочего пространства: *2D Drafting and Annotation* (2D черчение и аннотации), *3D Modeling* (3D моделирование) и *AutoCAD Classic* (Классический AutoCAD).
Название первых двух пространств определяет преимущественную область их применения. Это новые варианты интерфейса, появившиеся в последних версиях пакета. Пространство классического AutoCAD’а является универсальным и предназначено для пользователей, привыкших к работе в предыдущих версиях пакета. В нашей работе будем ориентироваться на классический AutoCAD. Новые варианты интерфейса рассмотрим кратко в той мере, которая в дальнейшем позволит начинающим пользователям его освоить самостоятельно.
Выбор рабочего пространства осуществляется указанием кнопки *8* статусной строки (см. рис. 1.2). По той же кнопке можно переходить в различные пространства в процессе работы. Можно создавать свои пространства.

- Укажите кнопку *8* (см. рис. 1.2) и посмотрите интерфейс каждого из предлагаемых пространств.
- Вернитесь в пространство классического AutoCAD’а.

Рассмотрим окно пакета в режиме классического AutoCAD’а (см. рис. 1.2). Его основными элементами являются: зона графических построений *1*, в которой находится перекрестие курсора *2*, управляемого мышью; окно команд *3*, нижняя строка которого называется командной

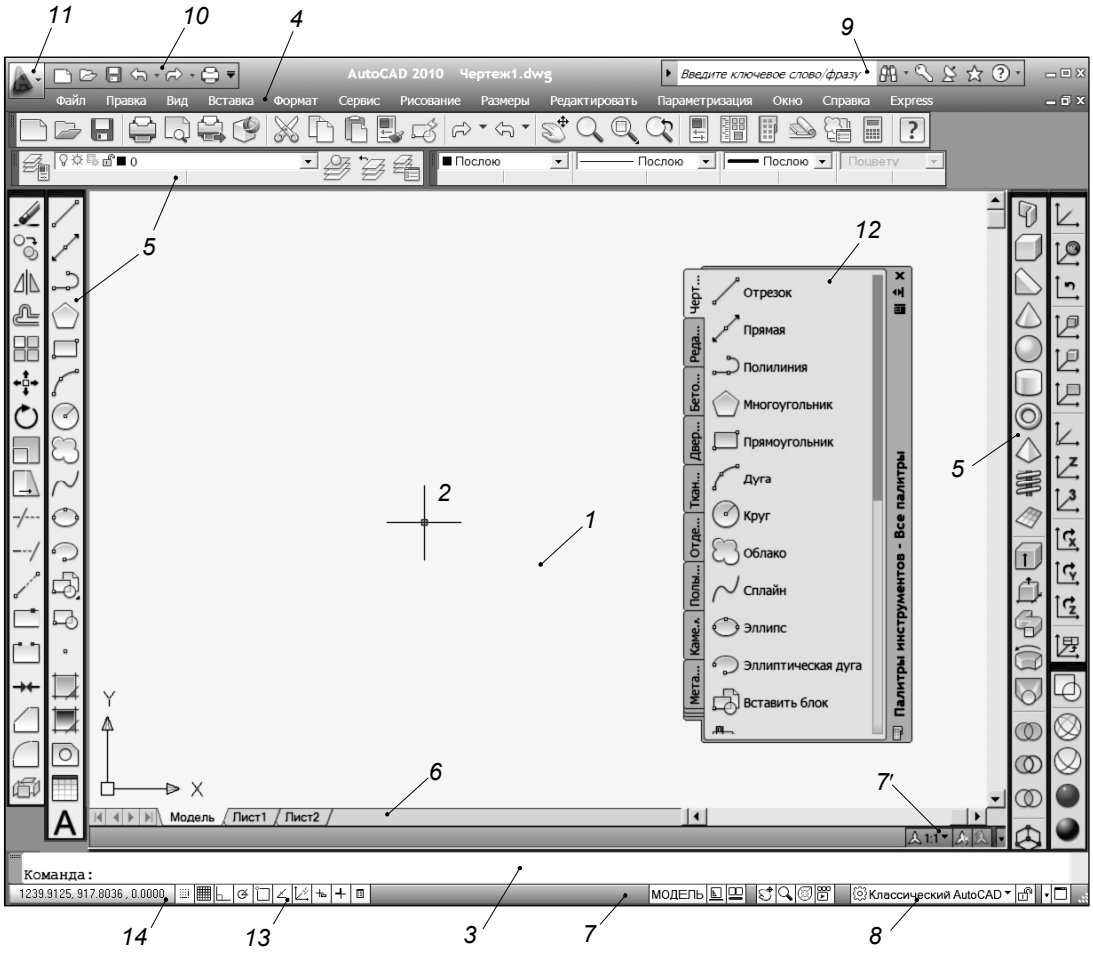


Рис. 1.2. Окно графического редактора в режиме рабочего пространства “ Классический AutoCAD”:
1 – зона построений; *2* – курсор мыши; *3* – окно команд; *4* – главное меню; *5* – панели инструментов; *6* – строка закладок; *7*, *7′*– строка состояния; *8* – кнопка смены рабочего пространства; *9* – инфоцентр; *10* – панель быстрого доступа; *11* – кнопка приложения; *12* – палитры инструментов; *13* – кнопки режимов построений; *14* – координаты курсора

(в эту строку пользователь с клавиатуры вводит команды, а система выводит сообщения); главное меню *4*, через которое можно вызвать основные команды; панели инструментов *5* для быстрого вызова команд. Остальные элементы интерфейса рассмотрим ниже, по мере изложения материала.

При нажатии кнопки <F2> клавиатуры на экран выводится текстовое окно, в котором отображается протокол (журнал) работы в текущем сеансе и содержатся сообщения системы. Командная строка отображает нижние строчки текстового окна. Повторное нажатие клавиши <F2> закрывает это окно. В ряде случаев, когда системе нужно вывести для вас большое сообщение, текстовое окно может открыться автоматически.

- Несколько раз нажмите клавишу <F2>, открывая и закрывая текстовое окно.

Если главное меню, поз. *4*, на экране отсутствует (такой режим настройки возможен), введите с командной строки:

- **`menubar /`** задайте 1. Чтобы убрать меню, введите 0.

Переход в пространство модели

Для краткости изложения введем термин “укажите”, означающий наведение курсора на объект, раздел меню или кнопку панели инструментов и щелчок левой кнопкой мыши.

Обратите внимание на пиктограмму осей координат в левом нижнем углу графического окна.

Если пиктограмма имеет вид осей (см. рис. 1.2 и 1.3), то активен режим пространства модели. Иначе пиктограмма имеет вид треугольника и активен режим пространства листа. Далее (см. разд. 3.6, 5.1) мы подробно рассмотрим особенности и назначение каждого режима. Сейчас, для выполнения упражнений данной главы, нужен режим пространства модели. Если пиктограмма не соответствует (то есть имеет вид треугольника), нужно перейти в пространство модели:

- укажите в строке *6* закладку **Model** или в строке *7* кнопку **Model** (см. рис. 1. 2);
- перемещая курсор по экрану, следите за отображением координат перекрестия в статусной строке. Передвинув перекрестие в левый нижний угол, вы должны увидеть координаты (0.0,0.0,0.0).

1.2. Отрезок прямой линии

Построим первый графический объект:

- переместите курсор в верхнюю зону экрана. В строке главного меню (см. рис. 1.3, *а*) укажите раздел **Draw** (Рисование) – раскрылся раздел меню, содержащий ссылки на основные команды построения объектов;
- укажите в раскрывшемся меню строку **Line** (Отрезок).

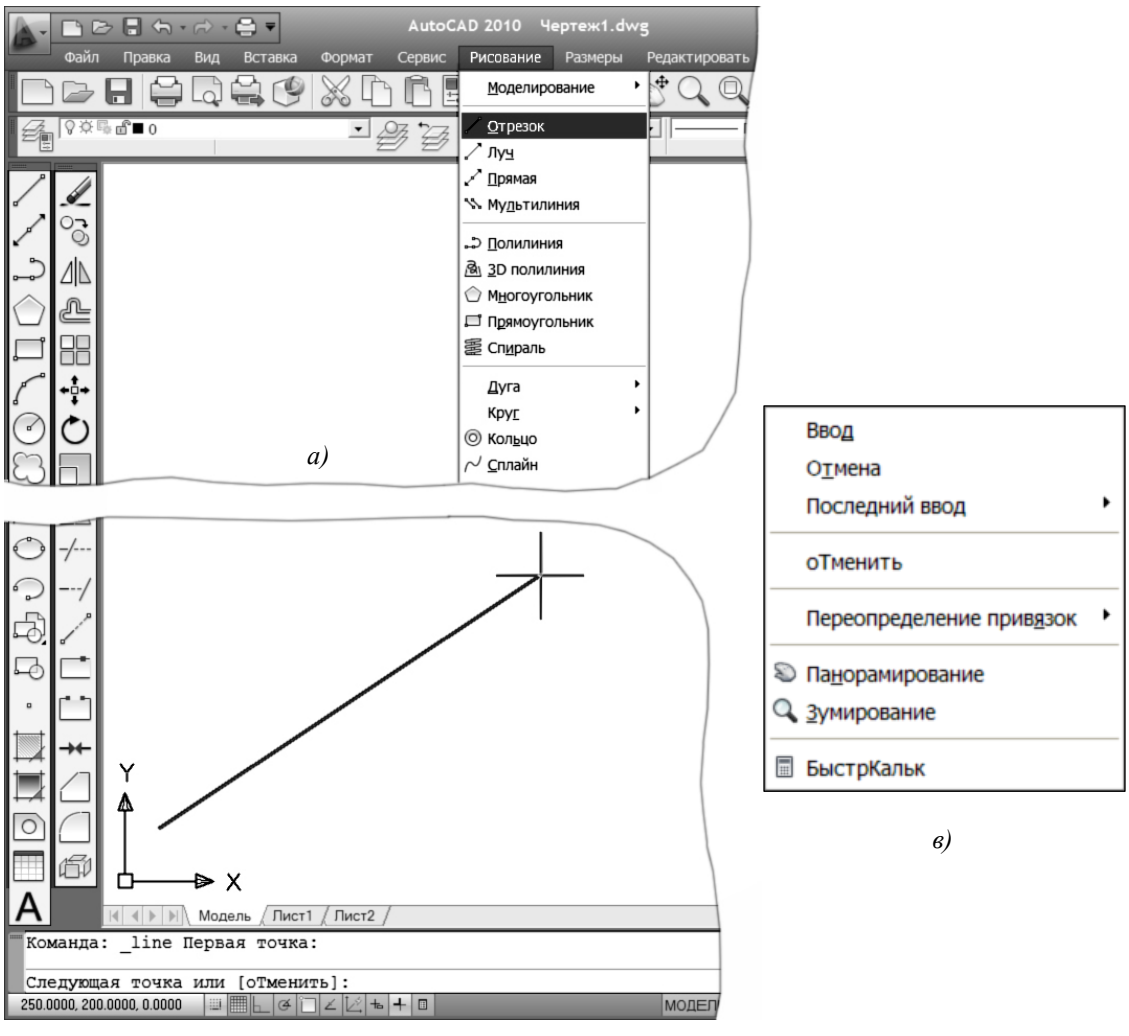


Рис. 1.3. Построение отрезка прямой:
а – раскрытие подменю Draw с активизацией команды **LINE**; *б* – создаваемый отрезок при указании его конечной точки; *в* – контекстное меню команды **LINE**

Внизу экрана, в командной строке, появилось сообщение *"_line Specify first point"*, содержащее имя команды построения отрезка прямой **LINE** и предложение задать координаты первой точки отрезка.

Координаты можно задать различным образом (см. разд. 2.1). Сейчас просто укажем точку:

- переведите курсор в зону рисования и установите его так, чтобы в статусной строке значения координат составили приблизительно 100, 100, затем зафиксируйте точку с этими координатами, щелкнув левой кнопкой мыши;
- переместите курсор в положение, например, 250, 200 (обратите внимание на отслеживание создаваемого отрезка с помощью так называемой "резиновой нити") и вновь щелчком левой кнопки мыши укажите вторую точку – построен отрезок прямой (см. рис. 1.3, *б*);
- продолжайте указывать точки, тем самым строя еще несколько отрезков;
- для завершения команды щелкните правой кнопкой мыши.

В зависимости от действующей настройки после "правого" щелчка либо произойдет прерывание команды, либо возникнет контекстное меню (см. рис. 1.3, *в*) с опциями выполняемой команды, в котором нужно указать верхнюю строку **Enter** (Ввод). Для отмены последнего построения укажите опцию **Undo** (Отмени). Команду можно также прервать с клавиатуры клавишей <Esc> или <Enter>. После прерывания командная строка очистилась. Система ждет следующей команды.

Предусмотрено множество приемов, ускоряющих работу (постепенно вы их освоите). Например, последнюю команду можно возобновить правым щелчком мыши или с клавиатуры клавишей <Enter>. Еще один, дополнительный правый щелчок или <Enter> начнет новый отрезок от последней точки предыдущей линии. Это относится ко многим командам построения. Проверьте сказанное:

- командой **line** постройте отрезок прямой;
- сделайте двойной клик правой кнопкой мыши или дважды нажмите <Enter> – построение отрезков продолжено.

1.3. Панели инструментов

Панели инструментов – принадлежность интерфейса классического рабочего пространства (см. рис. 1.2, поз. *5*). Они позволяют наглядно и быстро найти и активизировать команду. Для работы с панелями нужно перейти в рабочее пространство классического AutoCAD'а.

Выбор и замена панелей

Панели – легко заменяемый инструмент работы. Предусмотрен набор панелей инструментов. Для вывода на экран нужной панели выполните следующее:

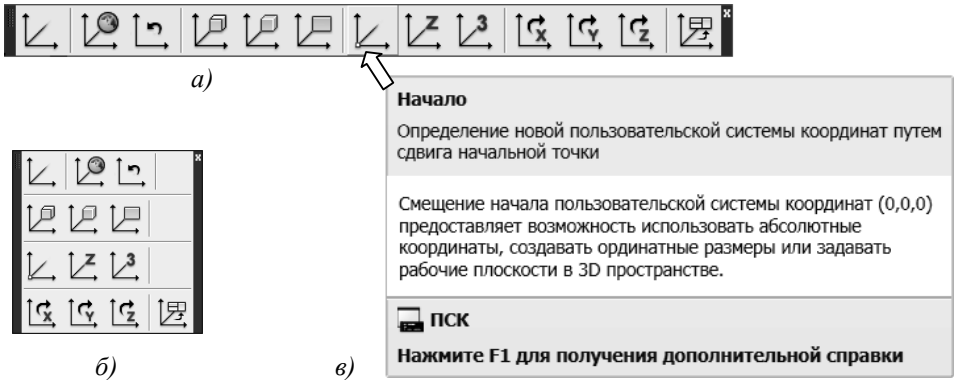
- убедитесь, что находитесь в режиме классического AutoCAD'а, иначе перейдите в него;
- щелкнуть правой кнопкой мыши по одной из активных панелей, присутствующих на экране.

Откроется контекстное меню, в котором приведены подготовленные панели инструментов. В версии AutoCAD 2010 предусмотрено 44 панели. Если слева от названия панели есть "птичка или крестик", панель уже выведена на экран. Указав строку с названием панели, можно вывести ее на экран или удалить с экрана. Например:

- найдите в контекстном меню панелей инструментов строку **UCS** (ПСК) и укажите ее – на экране возникнет панель *Пользовательской системы координат* (рис. 1.4). Повторным указанием строки с именем панели ее можно погасить.

Перемещение и удаление панелей

Панели можно расположить в удобном месте экрана. При расположении в левой или правой части экрана панель принимает вертикальное положение, в верхней части экрана – горизонтальное (см. рис. 1.2). На экране возможно горизонтальное или табличное положение панели (см. рис. 1.4, *а, б*).



а) *б)* *в)*

Рис. 1.4. Варианты размещения панели инструментов (*а*, *б*) и всплывающая подсказка (*в*)

Для перемещения панели:

- установите курсор в ту часть панели, где имеются две риски или темная полоса, нажмите левую кнопку мыши, перемещая мышь, перетяните (буксируйте) панель в нужное место экрана. При этом, панели можно придать горизонтальное или вертикальное положение;
- отпустите кнопку мыши – панель зафиксирована в новом положении;
- перемещая границы панели, можно изменить ее положение с вертикального, на горизонтальное или табличное.

Панели занимают место на экране, поэтому работать нужно с минимальным набором необходимых панелей. Для удаления панели:

- вытяните панель на экран и щелкните в крестик справа вверху этой панели – панель удалена.

Вызов команд указанием кнопок панели

- Подведите курсор к одной из кнопок панели (см. рис. 1.4, *а*, *в*). Если курсор задержать на кнопке в течение 1…2 с, то рядом с кнопкой возникнет название команды и краткое пояснение ее назначения, а затем, краткая справка по этой команде. Достаточно щелкнуть левой кнопкой мыши по кнопке и команда будет запущена.
- Повторите построение отрезка прямой, указав кнопку **Line**  на панели инструментов рисования **Draw**.

Настройка отображения подсказок осуществляется через диалоговое окно **Options** (Настройка):

- **Tools** (Сервис) / **Options** (Настройка) / в диалоговом окне выберите закладку **Display** (Экран) и в группе настроек **Window element** (Элементы окна) поставьте птичку в строке **Show Tool Tips** (Показывать всплывающие подсказки).

Оптимальное размещение панелей. Сохранение рабочего пространства

Оставьте на экране панели **Standard** (Стандартная), **Properties** (Свойства), **Layer** (Слои), **Draw** (Рисование), **Modify** (Изменение) – это универсальный набор панелей инструментов для работы. Первые три панели рекомендуем располагать горизонтально в верхней части экрана, непосредственно под главным меню, две последние – вертикально слева от зоны рисования

(см. рис. 1.2). Справа вертикально будем располагать панели инструментов для текущей задачи, например, панель простановки размеров, панель системы координат.
Если в данный момент на экране положение панелей иное, то выполните рекомендуемое размещение панелей. Созданную настройку экрана сохраните как новое рабочее пространство со своим именем:

- **Tools** (Сервис, Средства) / **Workspase** (Рабочие пространства) / **Save current As…** (Сохранить текущее как…) / в предложенном диалоговом окне задайте имя, например, "Иванов".

1.4. Инструментальные палитры

Палитры инструментов – еще одна форма интерфейса классического AutoCAD'а. Палитры являются альтернативой панелям инструментов, то есть можно работать с панелями или палитрами, можно держать на экране оба варианта интерфейса.
Палитры инструментов (см. рис. 1.2, поз. *12*) содержат множество страниц (закладок) с именами и кнопками команд. Каждая страница имеет корешок с ее названием. Все корешки выступают с одной стороны. Указав корешок, открываем соответствующую страницу. Указав строку с командой, вызываем выполнение этой команды.
Вывести палитры на экран можно через главное меню:

- **Tools** (Сервис) / **Palettes** (Палитры) / **Tool Palettes** (Инструментальные палитры).

Кроме того, палитры можно вызвать с клавиатуры сочетанием клавиш <Ctrl+3> или указав кнопку  панели инструментов **Standart** (Стандартная), или вводом с командной строки команды **`TOOLPALETTES (ИНСТРПАЛВКЛ)`**.

- Откройте окно палитр инструментов одним из приведенных способов.
- Правым щелчком по вертикально расположенному заголовку "**Tool Palettes"** (Палитры инструментов) откройте контекстное меню палитр. Укажите в нем нижнюю строку **All Palettes** (Все палитры).
- Укажите три нижних риски, являющиеся завершением столбца закладок, – возник список из 43 палитр (AutoCAD 2010).
- В списке палитр укажите палитру **Draw** (Чертить) – возникла страница, содержащая те же команды, что и панель инструментов **Draw** (Чертить) (см. рис. 1.2, поз. *5*).

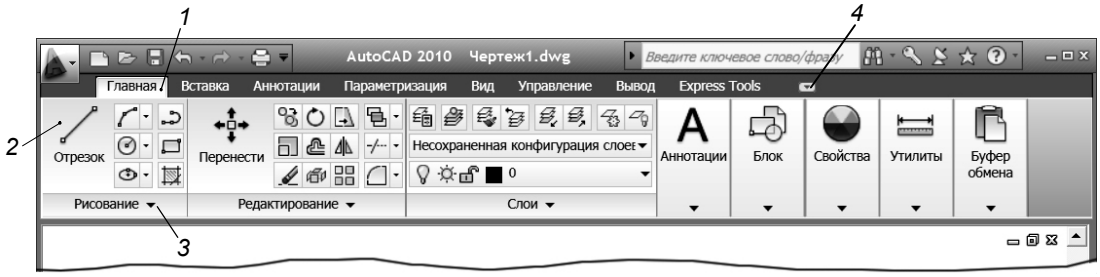
В контекстном меню палитр предусмотрено пополнение палитр новыми командами, создание своих палитр.

1.5. Лента

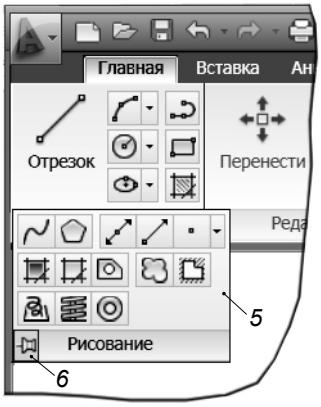
Лента (**Ribbon**) – еще один, новый вариант интерфейса AutoCAD, появившийся в 2009 версии. Лента заменяет главное меню и панели инструментов классического AutoCAD'а. Лента является перспективным вариантом интерфейса, развитию которого в последующих версиях AutoCAD'а будет уделяться основное внимание. Мы не ставим задачу детального изучения интерфейса и будем работать в режиме классического AutoCAD'а. Поэтому приведем лишь основные сведения о ленте.
Лента автоматически выводится на экран в рабочем пространстве "*2D рисование и аннотации*" или "*3D моделирование*". Ленты разных пространств отличаются содержанием, но структура лент одинакова. Рассмотрим ее на примере ленты "*2D рисование и аннотации*":

- **Tools** (Сервис) / **Workspase** (Рабочие пространства) / *2D Drafting and Annotation* (*2D рисование и аннотации*) – возникла лента указанного рабочего пространства (рис. 1.5).

Можно открыть ленту, не меняя рабочее пространство. Для этого с командной строки нужно ввести команду **`_ribbon (Лента)`**.
Лента (см. рис. 1.5, *а*) содержит строку вкладок *1*, при указании вкладки раскрываются ее панели *2*. Например, вкладка **Home** (Главная) содержит панели **Draw** (Рисование), **Modify** (Редак-



а)



б)

Рис. 1.5. Лента рабочего пространства "*2D рисование и аннотации*"

тирование), **Layers** (Слои) и др. Панели ленты содержат те же кнопки инструментов, что и панели классического AutoCAD'а.

Если рядом с кнопкой команды изображен треугольник, то при указании его раскрывается список опций этой команды.

Указание треугольника, расположенного внизу панели, добавляет группу команд, соответствующих названию панели. Например, указав треугольник *3*, полностью раскрываем панель **Draw** (Рисование), добавляя к ней разворот *5*. Чтобы оставить панель развернутой на время работы, укажите значок канцелярской кнопки *6*. Чтобы свернуть панель, повторно щелкните по значку *6*.

Лента может выводиться на экран в трех режимах, задаваемых кнопкой *4*. При первом указании кнопки 4 лента сворачивается так, что видны только заголовки ее вкладок. Поле чертежа максимально свободно. Следующее указание кнопки *4* приводит к дополнительному отображению панелей ленты. Указав кнопку *4* третий раз, полностью раскрываем ленту.

- Познакомьтесь с лентой, раскрывая различные вкладки, панели и команды.
- Посмотрите вид ленты в свернутом виде (действие кнопки *4*).
- Посмотрите ленту рабочего пространства *3D Modeling* (3D моделирование).
- Вернитесь в *AutoCAD Classic* (Классический AutoCAD) к нашим панелям инструментов, в которых, как договорились, мы будем продолжать работу.

Работу с лентой освойте самостоятельно. За ней будущее.

1.6. Диалог пользователя с AutoCAD'ом

Работа в AutoCAD'е осуществляется через систему команд. Пользователь вызывает нужную команду. Это может быть команда создания или редактирования графического объекта. Система в ответ запрашивает дополнительные параметры, например, *опцию* как вариант выполнения команды, координаты точки или значение параметров объекта. Пользователь выполняет эти требования, вводя необходимые значения. Система выполняет команду полностью или частично. В последнем случае она запрашивает дополнительные параметры до тех пор, пока команда не будет полностью выполнена.

Диалог чаще всего реализуется через сообщения в командной строке. Поэтому, вызвав команду, найдите ответ в командной строке и выполните требования системы. Диалог может проис-

ходить и через диалоговое окно, выводимое системой на экран после вызова команды.
В некоторых случаях окно команд может быть удалено с экрана. Не теряйтесь. Включение и отключение этого окна выполняется сочетанием клавиш (Ctrl+9):

- выполните несколько раз отключение и включение окна команд.

Вызвать команду можно через интерфейс: из главного меню, указанием кнопки панели инструментов, инструментальной палитры или кнопки панели ленты. Можно вызвать напрямую, с командной строки. В меню и панелях команды систематизированы и могут быть легко найдены. Ввод с командной строки – требует знания имени команды, а поэтому характерен для опытных пользователей.

1.7. Соглашение по записи действий

Для краткости изложения мы будем применять сокращенную запись действий. Например:

- **Draw** (Рисование) / **Line** (Отрезок) / 100,100 / 200,100 / 200,200 / 100,200 / **`Close (Замкни).`**

Здесь знак ❑ служит приглашением к действию. Жирным шрифтом приводятся названия разделов главного меню классического AutoCAD'а (в скобках – варианты перевода). Косая черта разделяет действия, означая перемещение по разделам меню, нажатие <Enter> либо щелчок правой кнопкой мыши.
С выходом новых версий пакета, которые обновляются ежегодно, содержание меню и панелей инструментов постоянно изменяется. Однако имена команд во всех версиях остаются неизменными. Поэтому мы будем, в основном, приводить лишь имена команд. Имя команды нужно ввести с клавиатуры и нажать <Enter>:

- **`line (Отрезок)`** / 100,100 / 200,100 / 200,200 / 100,200 / **`Close (Замкни)`** – построен квадрат.

Расшифруем приведенную выше запись: с командной строки ввести имя команды: в английской версии **`line`**, в русской – **`Отрезок`**. Нажать клавишу <Enter>. Далее с клавиатуры набрать 100,100 (это x, y-координаты начальной точки отрезка), нажать <Enter>; затем набрать с клавиатуры следующую пару цифр, вновь <Enter> и т.д. В заключение ввести с клавиатуры имя опции **`Close`** или ее ключевую букву **`C`** и вновь нажать <Enter>.

- Реализуйте приведенную выше запись.

Числа или текст, приведенные в записи, указывают необходимость их ввода в командную строку. Это могут быть значения параметров, координаты точек, имена опций. Если команда снабжена диалоговым окном, то будет указано поле окна, в которое нужно ввести приведенное значение. Ввод значений выполняется с клавиатуры.
Вводить численные значения нужно так, как они приведены в записи, без лишних пробелов, помня, что запятая разделяет x, y, z-координаты, а точка, если она есть, отделяет целую часть числа от дробной. Например, ввод дробных значений x, y-координат точки: / 100.5,120.7 /.
Имена опций могут быть приведены полностью или сокращенно с указанием только ключевой буквы. Например, опция **`Close`** может быть задана ее ключевой буквой **`C`**, опция **`coLor`** – буквой **`L`**.
Если для завершения команды нужно нажать <Enter> или правую кнопку мыши, будем приводить двойную косую черту //:

- **`line`** / 100,100 / 200,100 // – построен горизонтальный отрезок .

Будут также применяться комбинированные варианты записи с указанием кнопок панелей инструментов.
Щелчок левой кнопкой мыши при наведении курсора на графический объект, точку экрана, раздел меню или кнопку панели будем называть "укажите", например, "укажите отрезок", "укажите точку", "укажите кнопку".
В тех случаях, когда понадобится обозначить щелчок правой кнопкой мыши, будем приводить "выполните правый клик".
Различают английскую и русскую версии пакета. Признаком английской версии является слово "Command:" в командной строке. Если командная строка имеет приглашение в виде "Коман-

да:”, то вы работаете в русской версии. В ней в качестве основных применяются русские имена команд, например:

- **отрезок** / 200,100 / 400,100 / 300,250 / **Замкни**.

В русской версии можно вводить английские имена, но обязательно добавляя к ним в начало нижний дефис. Поэтому, если вы работаете в русской версии, то увидев запись:

- **line** / 200,100 / 400,100 / 300,250 / **c**.

нужно ввести:

- **_line** / 200,100 / 400,100 / 300,250 / **_c**.

1.8. Справки по командам, помощь

Особое внимание обратите на справочную информацию пакета. Информация доступна, наглядна, содержит подробное описание всех команд и примеры их применения. Обращение к ней позволит преодолеть неизбежные трудности начального этапа освоения пакета. Учитывая, что справочная служба пакета содержит наиболее полную информацию о методах работы, обращение к справке полезно и опытным пользователям.

Встроенный учебник

- На клавиатуре нажмите клавишу <F1>, либо укажите одну из кнопок   информационной панели (см. рис. 1.2, поз. *9*) или панели инструментов **Standard** (Стандартная), либо введите имя команды **help (Справка).**

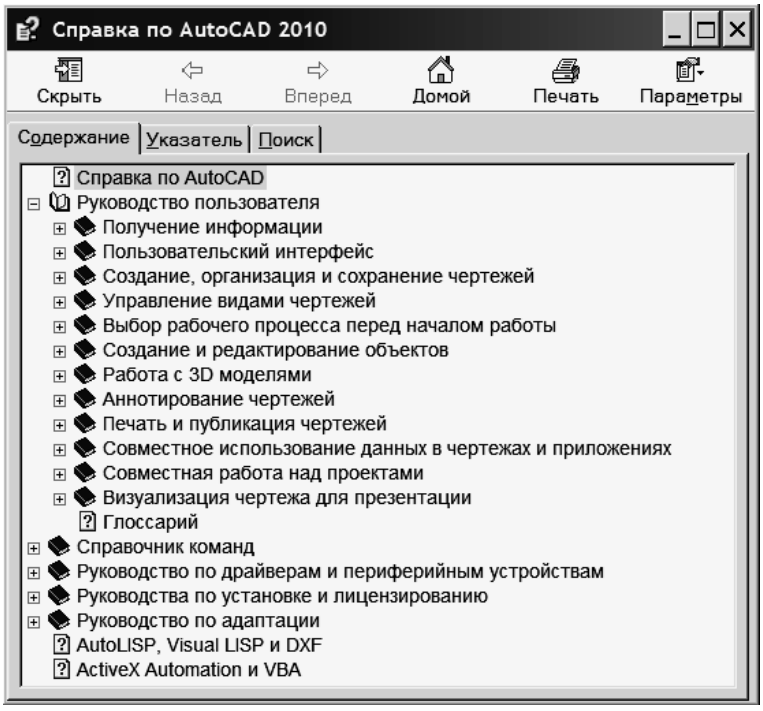


Рис. 1.6. Окно справочной информации

Появилось окно справочной информации (рис. 1.6). В левой части окна содержатся три закладки, задающие режим работы со справочной информацией.

- Откройте закладку **Содержание**, в ней откройте раздел **User’s Guide** (Руководство пользователя). Здесь приведено описание основных методов и приемов работы. К ним мы будем постоянно обращаться.
- Посмотрите раздел **The User Interface** (Пользовательский интерфейс). Здесь найдете подробное изложение вопросов интерфейса, рассматриваемых в настоящей главе.

- Посмотрите раздел **Command Reference** (Справочник команд). Здесь в алфавитном порядке приведен перечень всех команд. При указании имени команды выводится информация по команде.

Закладки **Указатель** и **Поиск** позволяют найти информацию по ключевому слову.

Инфоцентр

Для получения информации можно воспользоваться **Инфоцентром** (см. рис. 1.2, поз. *9*). Объектом поиска может быть любой термин. Например:

- введите в поле *1* (рис. 1.7) имя команды **`arc`** или русское имя этой команды **`Дуга`**;

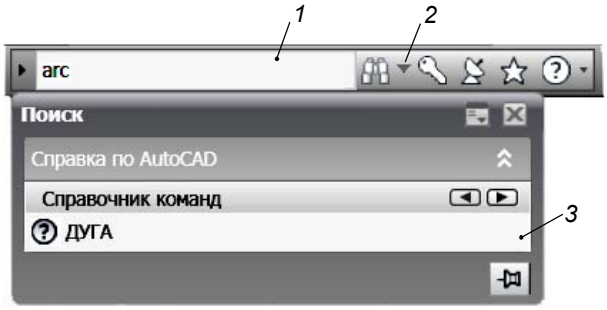


Рис. 1.7. Поисковая панель Инфоцентра

- нажмите <Enter> – раскроется окно поиска, где приведены все упоминания введенной команды в справочной информации пакета.

Можно конкретизировать область поиска:

- укажите треугольник *2* – раскроется контекстное меню;
- в контекстном меню задайте область поиска, например, **Command Reference** (Справочник команд) – в строке *3* получено имя команды в русской версии;
- указав строку *3* с найденным именем команды, получим страницу справочной информации по команде построения дуги (рис. 1.8).

Помощь в прозрачном режиме

Достаточно во время выполнения команды нажать на клавиатуре <F1>, выйдет окно справочной информации по выполняемой команде. Разобравшись и закрыв окно, можно продолжить выполнение команды. Например, построим дугу окружности с использованием помощи в прозрачном режиме:

- **`arc`** (не забудьте про нижний дефис в русской версии) / нажмите <F1> – выведено окно справочной информации по команде построения дуги (см. рис. 1.8).

В справочном окне приведены способы доступа к команде в различных вариантах интерфейса и инструкция по ее применению. В окне приведены опции команды. Имена опций подчеркнуты. При указании выделенных терминов осуществляется вывод дополнительной информации. Например, укажите опцию **`start point`** **`(начальная точка)`** – раскроется часть справочного окна с дополнительной информацией.

Обратите внимание на закладки: **Concepts** (Понятие), **Procedures** (Процедура) и **Quick Reference** (Краткий справочник). Каждая из них содержит дополнительную информацию по команде и методам ее применения.

Освойте несложные приемы работы со справочным окном, общие для системы Windows: перемещение и корректировка размеров окна, прокрутка окна и др.

- Чтобы убрать окно помощи, нажмите клавишу <Esc> – продолжено действие команды **`ARC (ДУГА)`**.

Завершите построение дуги:

- укажите на экране три точки: начало, центр и конец дуги.

При вызове ряда сложных команд на экран выводится диалоговое окно данной команды. Примером является команда **`ARRAY`** построения массива объектов, рассматриваемая ниже. Справочную информацию по таким командам можно вызвать, указав кнопку **Help** в правом нижнем углу диалогового окна.

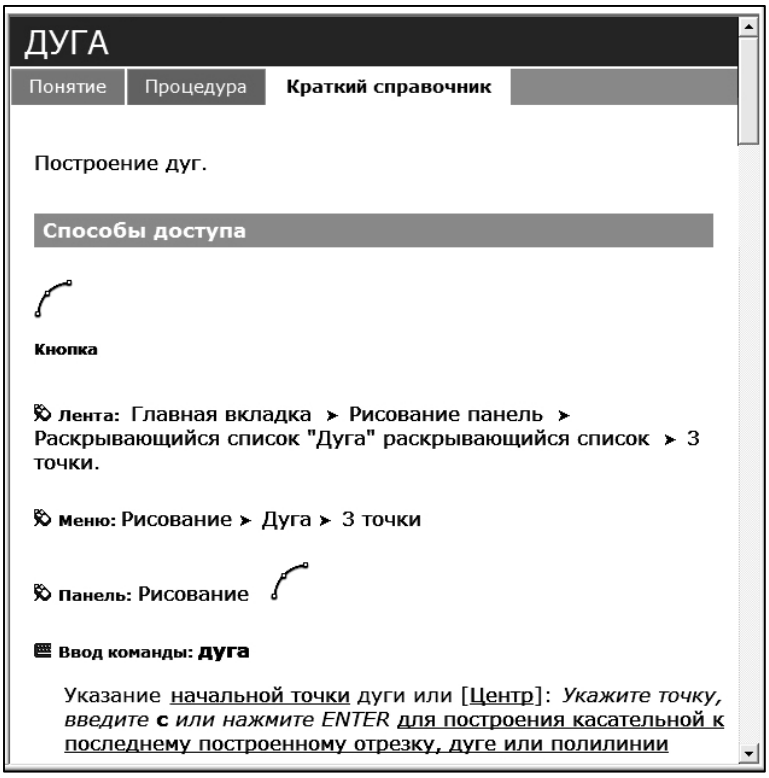


Рис. 1.8. Справочная информация по команде **ДУГА**

1.9. Режимы построений – ORTHO, Шаг, Сетка

Режимы построений обеспечивают повышение точности и скорости построений. Управление режимами осуществляется группой кнопок, расположенных в статусной строке, слева (см. рис. 1.2, поз. *13*). Рассмотрим основные режимы, необходимые для начальной стадии освоения пакета. Остальные будут рассмотрены позднее.

ORTHO (Орто) – режим, обеспечивающий ортогональные построения, характерные для чертежей. Если режим включен, то строятся строго горизонтальные или вертикальные линии, если отключен, то линии можно провести под произвольным углом. Включение и отключение режима осуществляется последовательным указанием кнопки **ORTHO** (Орто) в статусной строке или нажатием клавиши <F8> клавиатуры.

- Постройте несколько отрезков, включая – отключая режим **ORTHO**.

Шаговая привязка – задает дискретное перемещение курсора по экрану. Например, если установить шаг равным 1, то построения, выполняемые указанием курсора на экране, будут реализованы с точностью до 1. Во многих случаях шаговая привязка ускоряет построения и повышает их точность. Включение-отключение шага осуществляется в статусной строке указанием кнопки SNAP (Шаговая Привязка) или с клавиатуры клавишей <F9>.

Сетка – создает на экране видимую сетку для удобства работы. Сетка имеет свой шаг, который может отличаться от шага привязки. Включение и отключение сетки осуществляется в статусной строке кнопкой **GRID** (Отображение Сетки) или с клавиатуры клавишей <F7>.

Кнопки **GRID**, **SNAP** и соответствующие им клавиши <F7> ,<F9> и т. д. лишь включают или отключают режимы. Для настройки параметров режимов:

- наведите курсор на кнопку **GRID** режима статусной строки и щелкните правой кнопкой мыши, в возникшем контекстном меню укажите строку **Settings** (Настройки);

- в диалоговом окне **Drafting Settings** (Режимы рисования) откройте закладку настраиваемого параметра **Snap and Grid** (Шаг и сетка) и задайте значения шага привязки, равным 1, а ячейку сетки равной 5.

Проверьте выполненную настройку параметров:

- подвигайте мышь; несколько раз включите и отключите шаг, <F9>.

Убедитесь, что при включенном шаге движение курсора происходит дискретно, рывками, при выключенном – движение плавное, непрерывное. Это проявляется как визуально, так и по показаниям координат курсора (окно *14*, см. рис. 1.2), которые при включенном шаге принимают значения в соответствии с заданной дискретностью;

- проверьте появление сетки, нажимая клавишу <F7>.

Если сетка не появляется, а в командной строке возникает сообщение “Grid too dense to display” (Сетка слишком плотна для отображения), нужно увеличить масштаб отображения (см. ниже разд. 1.15), либо увеличить шаг сетки.

1.10. Цвет

При загрузке пакета и создании нового рисунка для линий установлен черный цвет на белом экране или белый на черном. Для задания другого цвета из главного меню выполните:

- **Format** (Формат) / **Color** (Цвет).
- В возникшем диалоговом окне укажите нужный цвет, например **Red** (Красный) и **ОК** – покиньте окно.

Цвет, как и другие свойства объектов, рассматриваемые ниже, удобно задавать и редактировать через панель инструментов **Properties** (Свойства объектов) (рис. 1.9). При указании кнопки с треугольником раскроется список выбора. Если предложенные основные цвета не устраивают, укажите нижнюю строку списка для тонкой настройки цвета.

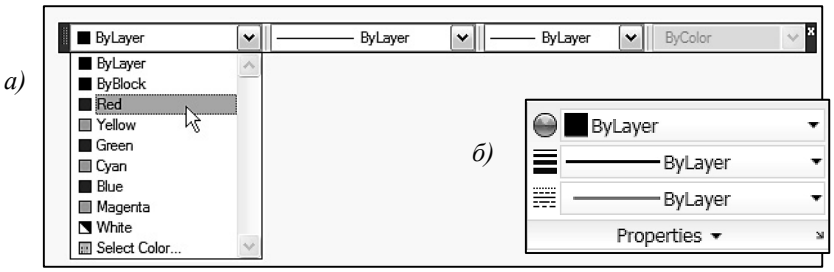


Рис. 1.9. Панели инструментов **Properties** (Свойства объектов):
а – классическая панель инструментов с раскрытым списком задания цвета объектов, *б* – панель ленты (вкладка Home)

Нарисуем примитив новым цветом. Особенно красивы примитивы, имеющие толщину. Например, кольцо:

- **`donut`** – в командной строке появилось сообщение о необходимости задать внутренний диаметр кольца. В угловых скобках указано предлагаемое значение;
- нажмите клавишу <F1> и изучите справку по команде. Покиньте окно справки (крестик в правом верхнем углу).

Если вы согласны с предлагаемым значением внутреннего диаметра кольца, то щелкните правой кнопкой мыши. Но лучше задайте свое значение. Это можно сделать двумя способами: а) ввести цифру с клавиатуры, б) указать на экране две точки (в любом месте экрана); расстояние между точками будет принято за внутренний диаметр.

- Задайте внутренний и наружный диаметры кольца;
- перемещая курсор, укажите центр кольца – кольцо построено; система предлагает указать центр нового кольца;

- постройте два-три одинаковых кольца, указывая их центр. Для прерывания команды П-щелкните;
- повторно П-щелкните для возобновления команды – команда вновь активна;
- постройте несколько разных колец, задавая для каждого свои размеры и цвет.

1.11. Удаление примитивов. Выбор объектов

Удалить графические объекты с экрана можно с клавиатуры клавишей <Delete> или командой **ERASE**.

- Укажите удаляемые объекты и нажмите клавишу <Delete> на клавиатуре – объекты удалены.

Основной вариант удаления объектов – это применение команды **ERASE (СОТРИ)**. При изучении этой команды особое внимание уделите выбору примитивов, подлежащих удалению, поскольку процедура выбора присуща всем командам редактирования, к которым относится и команда **ERASE**. Пусть на экране имеется группа ранее созданных объектов – линии, дуги, кольца. Выполните:

- **erase** или кнопка  – курсор принял вид квадратика (прицел);
- укажите прицелом удаляемый объект – выбранный объект выделен штриховой линией;
- правый клик или нажмите клавишу <Enter> – объект исчез, но прицел остался, то есть команда продолжает действовать;
- удалите еще несколько примитивов и прервите команду – правый клик.

Выбор объектов для редактирования

В рассмотренном выше примере выбор объектов осуществлялся по одному, путем их указания прицелом. Можно выбирать сразу несколько объектов. Рассмотрим выбор так называемой *Рамкой*:

- правый клик – повторно вызовите команду **ERASE**;
- укажите пустое место экрана, слева внизу от группы объектов, а затем потяните мышь вправо вверх.

Появилась прямоугольная область, очерченная сплошной линией и тонированная голубым цветом; ею можно выбрать те объекты, которые *полностью* в нее попали:

- перемещая курсор, захватите в область несколько объектов, левым щелчком мыши зафиксируйте выбор – объекты, полностью включенные в рамку, выделены штриховой линией;
- правый клик – сотрите выбранные объекты.

Рассмотрим еще один вариант выбора группы объектов – так называемой *Секущей рамкой*:

- повторите вызов команды **ERASE**;
- вновь укажите пустое место экрана, но теперь справа от удаляемых объектов, а затем переместите курсор влево – вниз.

Появилась прямоугольная область, очерченная прерывистой линией и тонированная зеленым цветом, так называемая *секущая рамка*; в отличие от сплошной рамки она выбирает объекты как полностью в нее попавшие, так и пересекаемые:

- задайте секущую рамку так, чтобы она пересекла несколько объектов;
- правый клик – сотрите выбранные объекты.

Рассмотренные варианты выбора: указанием по одному, рамкой или секущей рамкой – являются общими для большинства команд редактирования. Имеются и другие варианты выбора, которые можно узнать, вызвав команду **SELECT** и наведя справку по этой команде.

1.12. Отмена результата выполнения команд

Если вы по ошибке удалили объекты и нужно их восстановить или требуется отменить ряд построений, примените команду **UNDO (ОТМЕНИ)**:

- **Undo** / клавиша <F1> – прочтите справку по команде / 1 – отменена последняя операция.

Команду **UNDO** можно вызывать многократно, двигаясь "назад во времени", последовательно, до некоторого предела, отменяя действия любых команд, выполненных в текущем сеансе работы. Отмену одного действия можно вызвать сочетанием клавиш <Ctrl + Z> или вводом с клавиатуры символа **U**. Можно пользоваться кнопкой **Undo** панели инструментов **Standard** (Стандартная)  . Кнопка снабжена раскрывающимся списком действий, в котором можно задать глубину отмены.
Вернуть отмененное действие можно командой **MREDO (Верни)**, вызываемой кнопкой **REDO**  панели инструментов **Standard**.

1.13. Команды построения объектов

Все команды создания графических объектов сосредоточены в разделе **Draw** (Рисование) главного меню. Основные команды содержатся в одноименных панелях инструментов.
Примеры применения команд можно найти в справочной информации пакета:

- **Help** …/ **User's Guide** (Руководство пользователя) / **Create and Modify Objects** (Создание и редактирование объектов). Посмотрите указанный раздел.

Выше были рассмотрены команды построения отрезка прямой, дуги окружности и кольца. Самостоятельно изучите остальные команды по порядку их расположения в меню **Draw** или одноименной панели инструментов: **CIRCLE** (Круг), **POLYGON** (Многоугольник), **RECTANGLE** (Прямоугольник), **ELLIPSE** (Эллипс).
Порядок ознакомления с командами следующий:

- вызовите команду из главного меню или кнопкой панели инструментов;
- наведите справку по команде (F1);
- два-три раза постройте примитив, используя различные опции изучаемой команды.

1.14. Редактирование геометрии объектов

Редактирование – это изменение уже созданных объектов. Команды редактирования размеров или положения объектов сосредоточены в разделе **Modify** (Редактировать) главного меню или в одноименных панелях инструментов.
Рассмотрим, например, команду **MOVE (ПЕРЕНЕСИ)**. Она осуществляет плоскопараллельное перемещение ранее созданных объектов:

- **move** / нажмите клавишу <F1> – выдана справочная информация по команде. После изучения справки нажмите <Esc> – покиньте окно справки;
- на запрос **Select objects**: (Выберите объекты) укажите нужные объекты прицелом по одному или рамкой; закончите выбор щелчком правой кнопки мыши (П-щелчком);
- на запрос **Specify base point or displacement**: (Базовая точка или перемещение) укажите какую-либо точку выбранных объектов;
- **Specify second point of displacement**… (Вторая точка перемещения) – перемещая курсор, контролируйте перемещение объектов на экране. Зафиксируйте новое положение.

Группа выбранных объектов перешла в новое положение в соответствии с заданным вектором переноса. Если перемещение редактируемых объектов не отслеживается, необходимо ввести с командной строки имя системной переменной **DRAGMODE** и присвоить ей значение **Auto**.
Самостоятельно изучите следующие команды редактирования: **COPY (КОПИРУЙ)**, **ROTATE (ПО-**

ВЕРНИ), MIRROR (ЗЕРКАЛО), **OFFSET (ПОДОБИЕ, ОТСТУП)**. Не забывайте при этом наводить справки по изучаемым командам.

1.15. Редактирование свойств объектов

К основным свойствам графических объектов относятся цвет, тип линии, толщина линии, слой. Имеются и другие свойства, характерные для отдельных объектов, например, размерный стиль размеров или гарнитура шрифта.

Основные свойства удобно редактировать через панель инструментов **Properties** (Свойства объектов) (см. рис. 1.9). Допустим, необходимо изменить цвет уже построенного объекта:

- укажите один или несколько редактируемых объектов – объекты выделены. Найдите панель инструментов **Properties**, раскройте список выбора цвета. Укажите нужный цвет.

В итоге цвет выбранных объектов изменен.

В большей мере воздействовать на свойства объектов позволяет команда **PROPERTIES (ОКНОСВ)**, вызываемая из меню **Modify** (Редактировать) или кнопкой  панели инструментов **Standard** (Стандартная). Проще всего эту команду вызвать через контекстное меню:

- выберите один или несколько объектов. Щелчком правой кнопкой мыши вызовите контекстное меню, в котором нужно указать нижнюю строку **Properties** (Свойства).

Возникло окно редактирования свойств. В нем приведены текущие свойства выбранных объектов. Для изменения цвета:

- укажите строку **Color** (Цвет), далее по стрелке раскройте вниз список выбора цвета и укажите в нем нужный цвет – цвет выбранных объектов изменен.

Команду **PROPERTIES** можно вызвать также двойным щелчком левой кнопкой мыши по редактируемому объекту – проверьте.

Для редактирования геометрии и свойств сложных объектов, например, полилиний, сетей, штриховки, текста и др. предусмотрены специальные команды, сосредоточенные в меню **Modify** (Редактировать) / **Object** (Объект). Редактирование сложных объектов можно вызвать так же из контекстного меню, если предварительно указать этот объект левой кнопкой мыши. Для редактирования solid-объектов – меню **Modify** / **Solids Editing** (Редактирование тела). Для трехмерных преобразований – меню **Modify** / **3D Operation** (3D операции).

Еще одним вариантом редактирования является присвоение свойств одного объекта другим объектам. Пусть имеется исходный объект (отрезок прямой, окружность и т. д.), свойства которого нужно передать другим объектам. Это может быть цвет, слой, тип и ширина линии и др.:

- укажите кнопку **Match Properties** (Копирование свойств)  панели **Standard** или выберите в выпадающем меню **Modify** / **Match Properties** / укажите исходный объект / укажите или выберите рамкой объекты, которым нужно присвоить свойство исходного объекта /.

1.16. Корректировка изображения

Для удобства работы, точности построений и сохранения зрения необходимо постоянно корректировать изображение так, чтобы нужная часть рисунка была отображена на весь экран и размещена в его средней зоне. Изменение размеров изображения называют *Зуммированием*, перемещение – *Панорамированием*.

Необходимо понимать различие между зуммированием и масштабированием объектов. Масштабирование, выполняемое командой **SCALE (МАСШТАБ)**, – это изменение размеров объекта. Зуммирование, выполняемое командой **ZOOM (ПОКАЗАТЬ)**, соответствует осмотру объекта с большим увеличением или уменьшением (бинокль). При этом размеры объекта остаются прежними.

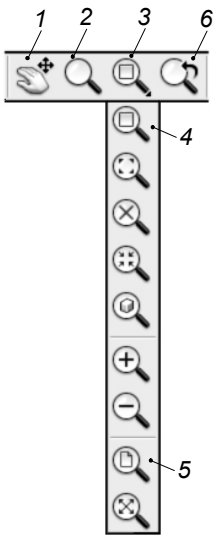


Рис. 1.10. Кнопки панели Standard для управления размерами изображения

В той же мере отличается перемещение объекта (команда **MOVE**) от панорамирования – команда **PAN (ПАН)**. Представим лист бумаги, на котором вычерчен объект. При переносе командой **MOVE** объекты смещаются на листе с изменением своих координат относительно листа. Панорамирование можно представить как перемещение всего листа с нанесенным изображением относительно экрана компьютера. При этом координаты объектов, нанесенных на листе, остаются неизменными.

Методы корректировки изображения изложены в справочной информации:

- **help** / **User's Guide** / **Control the Drawing Views** (Управление видами чертежей) – изучите.

Основной вариант грубой корректировки изображения – роликом мыши. Вращение ролика приводит к зуммированию. Если прижать ролик и перемещать мышь, произойдет панорамирование.

Плавную корректировку следует выполнять кнопками панелей (рис. 1.10). Для панорамирования:

- укажите кнопку *1*. Нажмите левую клавишу мыши – курсор примет вид руки, как на кнопке *1*, и перемещайте изображение.

Чтобы плавно увеличить изображение:

- укажите кнопку *2*. Нажмите левую клавишу мыши – курсор примет вид увеличительного стекла, и перемещайте курсор в *вертикальном* направлении.
- Для увеличения части изображения до размеров экрана, поступите следующим образом:
- укажите кнопку *3* – раскроются кнопки многочисленных опций команды ZOOM;
- укажите кнопку *4* / укажите точку слева внизу от той части изображения, которую хотите увеличить;
- передвиньте мышь вправо вверх – тянется рамка; охватите рамкой нужный для увеличения участок изображения и укажите второй угол рамки – охваченная рамкой область увеличена.

Увеличение происходит в той мере, в какой рамка может быть растянута до границ экрана. Поэтому для максимального увеличения части изображения необходимо эту часть охватывать рамкой как можно ближе, чтобы был резерв для ее растягивания.

Кнопка *5* "**Zoom All"** (Показать все) отображает на экран все объекты.

Чтобы вернуться к предыдущему изображению, укажите кнопку *6* "**Zoom Previous**" (Показать Предыдущий).

1.17. Узоры

Предлагаем построить два узора, основанных на создании массива графических объектов. Многократное копирование объектов в определенном порядке позволяет из простых объектов получить красивый узор и убедиться в проявлении известного закона о "переходе количественных изменений в качественные".

Абстракция

- Нарисуйте на экране 5...10 различных примитивов. Пусть это будут отрезки прямых линий, дуги окружностей, куски полилиний, кольца. Все разным цветом, разной толщины, в пересечении. Больше фантазии!

Размножим созданную группу объектов командой **ARRAY (МАССИВ):**

- **Modify** (Изменить) / **Array** (Массив) / F1 – изучите команду построения массива;
- выберите все объекты "секущей рамкой" (см. разд. 1.11) / задайте прямоугольный вид

массива (**Rectangular Array**) / в поле **Rows** (строки) задайте 4 строки, в поле **Columns** задайте 4 столбца;

- укажите кнопку **Pick Both Offsets** (Размер ячейки) / укажите на экране точку слева внизу относительно изображения, переместите мышь вправо вверх и возникшей рамкой охватите часть области, занятой изображением; зафиксируйте рамку повторным щелчком / **OK**.

Создан массив из 4 строк и 4 столбцов, то есть, выполнено 16-кратное копирование изображения со смещением. Отобразите массив на весь экран, последовательно указав кнопки 5 и 4 (рис. 1.10).

Кружево

Получим узор вращением треугольника (рис.1.11). Для построения правильного треугольника:

- **`polygon`** (или кнопка ) / Enter number of sides: (Количество сторон) 3 / Specify center of polygon (Укажите центр многоугольника) – укажите произвольную точку на экране;
- Enter an option [Inscribed in circle/Circumscribed about circle] <I>: I (треугольник внутри окружности или вокруг нее) – задайте внутри, то есть выберите опцию I. Поскольку она предложена по умолчанию, можно просто щелкнуть правой кнопкой мыши;
- Specify radius of circle: (Задайте радиус), например, 100, или укажите его визуально, переместив курсор и зафиксировав размер треугольника щелчком левой кнопки мыши.

Треугольник построен. Размножим его круговым массивом:

- **`array (Массив)`** / в диалоговом окне команды задайте тип массива **Polar Array** (Круговой);

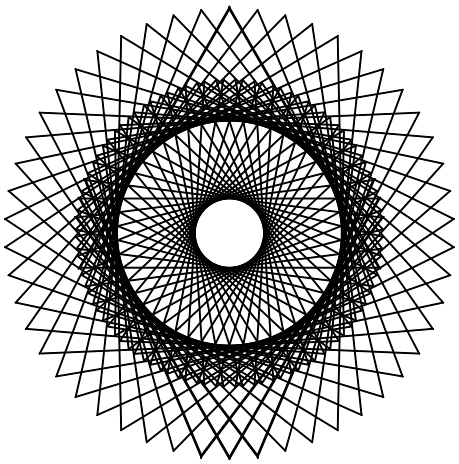


Рис. 1.11. Узор “Кружево”

- укажите кнопку **Select Objects** в правой части диалогового окна, на экране укажите треугольник, закончив выбор правым щелчком;
- на строке **Center Point** (центр массива) укажите кнопку, затем на экране укажите точку где-нибудь внутри треугольника, обязательно смещенную от его центра;
- количество поворотов **Total Number of Items** задайте равным 50...60;
- задайте угол заполнения **Angle to Fill** равным 360;
- убедитесь, что активен режим **Rotate Items as Copied**, обеспечивающий поворот объектов при построении массива;
- укажите кнопку **Preview** (Предварительный просмотр). На экране возникает узор, поверх которого расположено окно с тремя кнопками выбора. Сместите это окно (так же, как перемещают панели инструментов, см. разд. 1.3) и осмотрите узор. Если узор понравился, укажите кнопку **Accept** (Примени), иначе укажите **Modify** – будет восстановлено диалоговое окно, и в узор можно внести коррективы; например, советуем несколько раз задать новое положение центра массива, посмотрите узор при отключенном режиме **Rotate Items as Copied** и т.д.

В итоге получен изящный узор, напоминающий кружево.

Исследуем геометрию узора в динамичном режиме просмотра, применив команду **`DSVIEWER (Глаз)`**. Команду удобно вызвать из главного меню:

- **View** / **Aerial View** (Общий вид) – возникло диалоговое окно **Aerial View** (рис. 1.12);
- переместите диалоговое окно в правую часть экрана;

- укажите точку внутри диалогового окна.

В месте указания возникла динамичная рамка. Перемещение мыши приводит к перемещению изображения на экране.
Изменяя размер динамичной рамки, можно регулировать степень увеличения. При этом часть изображения (узора), заключенная внутри динамичной рамки, растягивается до границ экрана: чем меньше рамка, тем больше увеличение и наоборот. Отрегулируйте степень увеличения:

- щелкните левой кнопкой мыши в области диалогового окна **Aerial View** и, перемещая мышь, измените размер динамичной рамки, контролируя степень увеличения по изображению на экране. Зафиксируйте размер повторным щелчком;
- двигая мышь, перемещайте динамичную рамку, изучайте геометрию узора. При возрастании плотности узора сделайте левый щелчок и уменьшайте размер динамичной рамки, добиваясь большего увеличения;
- для фиксации изображения на экране щелкните правой кнопкой мыши или <Esc>.

Если узор понравился, постройте ряд ему подобных, вращая различные геометрические фигуры: окружность, эллипс, многоугольник или размножая их по строкам и столбцам.

1.18. Выход из пакета с сохранением рисунка

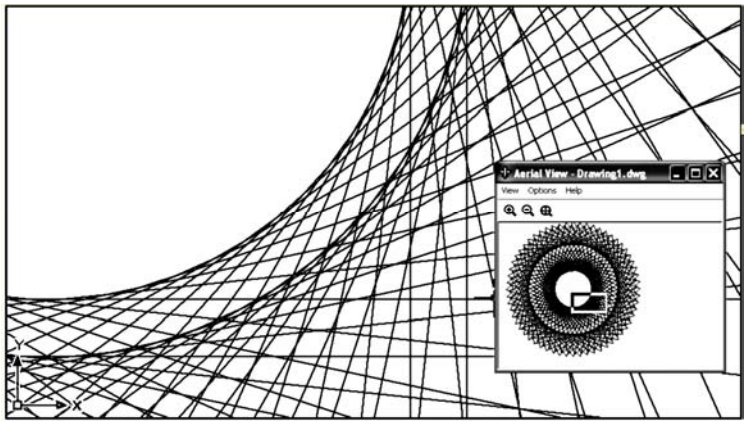


Рис. 1.12. Исследование геометрии узора

- Создайте папку (директорию) группы, в ней свою папку.
- **File** (Файлы) / **Save** (Сохрани) или укажите кнопку  панели быстрого доступа или панели **Standard** с изображенной дискетой;
- в возникшем окне откройте “свою” папку и введите в нижнюю строку окна имя файла / **Save** (Сохранить) – покиньте окно.
- **File** (Файлы)/ **Exit** (Выход) или укажите кнопку-крестик в правом верхнем углу экрана.
- Пакет выгружен, рисунок сохранен в указанной папке.

Глава 2

Подготовка к построению чертежа

Чертеж отличается от рисунка или эскиза точностью построений и соблюдением целого ряда требований, приведенных в Государственных стандартах (ГОСТ) и Единой системе конструкторской документации (ЕСКД). В этой главе освоим часть этих требований: научимся строить по координатам, размерам, линией нужной толщины и типа, выполнять штриховку и надписи.

- Загрузите пакет и откройте новый рисунок (см. разд. 1.1).

2.1. Построения по координатам

Координаты точек, например, концов отрезка или центра окружности, можно вводить в режиме указания мышью или вводить с клавиатуры. В первом случае, перемещая мышь, наблюдаешь за координатами курсора, которые отображаются в статусной строке или в окнах динамического ввода, и в нужный момент фиксируешь точку левым щелчком мыши. При вводе с клавиатуры печатаешь координаты в нужном формате.

Координаты можно задать относительно начала координат текущей системы координат – это абсолютные координаты, или относительно предыдущей точки – это относительные координаты. В каждом из вариантов точку можно задать декартовыми координатами либо полярными координатами. То есть возможны четыре варианта: абсолютные декартовые, относительные декартовые, абсолютные полярные, относительные полярные.

Рассмотрим основные варианты задания координат. Подробно – см. справочную информацию:

- `help` / закладка **Содержание** / **User's Guide** (Главы пользователя) / **Create and Modify Objects** (Создание и редактирование объектов) / **Use Precision Tools** (Средства обеспечения точности) …

Координаты курсора в статусной строке

Координаты курсора отображаются в статусной строке в левом нижнем углу экрана (см. рис. 1.2, поз. *14*). Предусмотрены три режима отображения: фиксация, запоминание координат; отображение абсолютных декартовых координат в текущей системе координат; отображение относительных полярных координаты (длина и угол по отношению к предыдущей точке). Переключиться между режимами отображения можно левым щелчком мыши по окну координат:

- начните строить отрезок прямой, задав первую точку отрезка;
- перемещайте курсор и смотрите его координаты в статусной строке;
- щелкайте левой кнопкой мыши по окну координат – увидите изменение режимов их отображения;
- <Esc> – прервите команду.

Точность отображения координат

AutoCAD выполняет построения с точностью 10^{-8}. С такой же точностью могут быть отображены координаты и размеры создаваемых им объектов. Как правило, такая точность отображения избыточна. На учебных чертежах достаточно выводить координаты с точностью "до десятых" или даже округляя значения "до целого".

Точность представления координат задается командой **UNITS** (**Единицы**):

- **units** / в диалоговом окне **Drawing Units** (Единицы чертежа) задайте точность линейных и угловых параметров, равной 0.00.

Ввод координат с клавиатуры

Напомним, что координаты x,y,z при отображении и вводе разделяются запятой. Целая и дробная часть любой из координат, разделяются точкой.

Декартовые координаты

Построим отрезок прямой в *абсолютных* декартовых координатах:

- **line** / 20,30 / 100,120 // – в левом нижнем углу экрана возник отрезок;

Чтобы задать координаты как *относительные*, то есть приращения к координатам предыдущей точки, нужно ввести знак @. Например, построим прямоугольник, у которого левый нижний угол имеет координаты 50,50, длина равна 100, высота 70:

- **rectang** / 50,50 / @100,70 / – построен прямоугольник.

Полярные координаты

В полярных координатах положение точки определяется ее радиус-вектором. Чаще применяют относительные полярные координаты. В этом варианте положение точки задается длиной и углом наклона отрезка, соединяющего новую точку с предыдущей. Угол измеряется от оси X текущей системы координат в градусах, причем, положительное значение – против часовой стрелки. Например, отрезок с начальной точкой 150, 100, длиной 200 под углом 35° к оси X:

- **line** / 150,100 / @200<35 //.

В абсолютных полярных координатах радиус-вектор точки задается от начала координат, а не от предыдущей точки. Для этого нужно опустить знак приращения @.

Комбинированный метод

Можно курсором указать направление радиус-вектора точки, а длину вектора ввести с клавиатуры:

- **rectang** / 50,50 / переместите курсор в каком-либо направлении / 200 – построен прямоугольник с длиной диагонали 200, заданной в направлении перемещения курсора.

Комбинированный метод эффективен в сочетании с режимом, фиксирующим угол перемещения. Это режимы **ORTHO** (см. разд. 1.8) или **POLAR**. Последний позволяет задать предварительно установленный угол перемещения. Включение режима осуществляется указанием кнопки **POLAR** в статусной строке (см. рис. 1.2, поз.*13*), а настройка – в диалоговом окне, вызываемом щелчком правой кнопки мыши по указанной кнопке.

Трехмерные координаты

При работе в трехмерном пространстве добавляется третья координата Z – высота точки. Если Z=0, эту координату можно не вводить – она подразумевается равной нулю. Как правило, применяют абсолютные или относительные декартовые координаты. Реже применяются цилиндрическая и сферическая системы координат (см. справочную информацию).

Динамический ввод координат

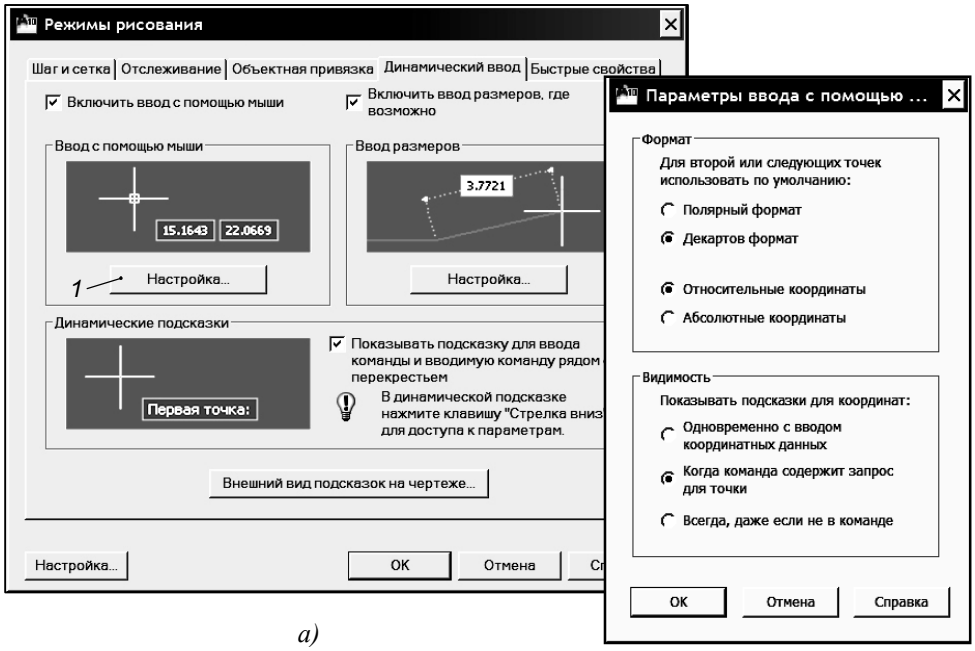
Это новая возможность интерфейса. Динамический ввод позволяет ввести координаты, отследить размеры и получить подсказки рядом с курсором. Это удерживает взгляд в области построения, не отвлекаясь на командную или статусную строки.

Включение-отключение режима выполняется кнопкой  “**Dynamic Input**” (Динамический ввод) статусной строки (см. рис. 1.2, поз. *13*) или клавишей <F12> с клавиатуры. Настройка режима выполняется через диалоговые окна:

- щелкните правой кнопкой мыши по кнопке . В контекстном меню укажите строку **Settings** (Настройка) – возникло диалоговое окно "**Drafting Settings**" (Режимы рисования), открытое на вкладке "**Dynamic Input**" (Динамический ввод). Проверьте, что настройки этого окна выполнены как на рис. 2.1, *а*. По кнопке **Help** изучите справочную информацию по динамическому вводу;
- укажите кнопку 1, **Settings (**Настройка) – возникло следующее диалоговое окно (см. рис. 2.1, *б*). Проверьте настройки и этого окна.

Построим отрезок прямой, задавая его координаты в режиме динамического ввода:

- включите режим динамического ввода ; активизируйте команду **LINE**.



а) *б)*

Рис. 2.1. Настройки динамического ввода

В области курсора возникло три окна. В первом окне отображена подсказка команды **LINE** “Первая точка”, в двух других окнах отображаются текущие координаты курсора. Зададим первую точку отрезка, например, с координатами x=50.5, y=62:

- введите 50.5 и нажмите клавишу <Tab> – значение введено в первое окно, в конце числа поставлен замок, курсор перешел во второе окно;
- введите 62 и нажмите <Enter> – начальная точка задана.

Для последующих точек предусмотрен ряд вариантов задания. Рассмотрим три из них. Первый вариант: *относительные полярные координаты*, например, точка на расстоянии 70 от первой точки под углом 35°:

- переместите курсор – рядом с ним выводятся относительные полярные координаты курсора. Введите 70, нажмите <Tab> – возник замок, курсор перешел во второе окно, введите угол 35, нажмите <Enter>.

Второй вариант: *относительные декартовые координаты*, например, x=60, y=45.6:

- Введите 60, введите запятую – в первом окне поставлен замок, курсор перешел во вторе окно, введите 45.6, нажмите <Enter>.

Третий вариант: *абсолютные декартовые координаты*. Перед вводом координат нужно первоначально ввести знак #. Затем – как в предыдущем варианте.

Другие варианты динамического ввода – см. разделы справочной информации.

2.2. Толщина линии

Начиная с AutoCAD 2000, любая линия на экране может иметь требуемую регулируемую толщину. В русской версии для толщины принят термин “вес линии”. Толщину линии можно включать или отключать. Построения следует выполнять при выключенной толщине линии. Затем линиям можно придать толщину согласно стандарту черчения. (Вспомните, как на бумаге чертеж сначала строят тонкими линиями, а затем обводят толстыми). Следует учесть, что при большом количестве линий включение толщины замедляется преобразование изображения.

Для задания толщины линии откройте в главном меню:

- **Format** (Формат) / **Lineweight** (Веса линий) – в возникшем окне настройки, в поле **Lineweights** (Веса линий), задайте толщину, например, 1;
- постройте какой–либо графический примитив: отрезок, круг, эллипс;
- найдите в статусной строке (см. рис. 1.2, поз. *13*) кнопку  **Show/Hide Lineweight** (Скрыть / Показать вес). При указании этой кнопки толщина всех линий, которым она присвоена, принимает заданное значение. При повторном указании кнопки толщина “отключается”. Проверьте.

Толщину удобно задавать и редактировать через панель инструментов **Properties** (Свойства объектов). Толщина определяется третьей слева секцией этой панели (см. рис. 1.8).

Заданное значение толщины линии реализуется только в режиме пространства листа. При работе в пространстве модели толщина задается в условных единицах. Подробнее о задании толщины:

- **`help`** / **Содержание** / **User’s Guide** (Главы пользователя) / **Create and Modify Objects** (Создание и редактирование объектов) / **Control the Properties of Objects** (Свойства объектов) / **Work Lineweights** (Работа с весами линий) …

2.3. Редактирование геометрии “ручками”

“Ручки” – быстрое и доступное средство редактирования геометрии объектов.

- Убедитесь, взглянув в командную строку, что нет активной команды, иначе прервите ее – <Esc>.
- Укажите какой-либо объект на экране, например, отрезок – в вершинах отрезка появились квадратики – это “ручки”.
- Каждая ручка отвечает за определенное свойство геометрии объекта.
- Укажите одну из ручек – ее цвет стал красным. Не отпуская кнопки, движением мыши переместите указанную ручку в новое положение – изменена форма объекта или его положение.
- Для удаления ручек нажмите <Esc>.

О работе “ручками” см.:

- **`help`** / **Содержание** / **User’s Guide** (Главы пользователя) / **Create and Modify Objects** (Создание и редактирование объектов) / **Change Existing Objects** (Методы редактирования) / **Modify Objects** (Редактирование объектов) / **Use Grips to Edit Objects** (Редактирование с помощью ручек)…

2.4. Объектная привязка и геометрические построения

Объектная привязка – средство, позволяющее задать точку графического объекта с определенными качественными свойствами, например, как конечную точку отрезка, центр круга, основание перпендикуляра, опущенного на отрезок. Точки будут рассчитаны вычислителем пакета с максимальной “компьютерной” точностью.

- Щелкните правой клавишей мыши по кнопке  **Object snap** (Объектная привязка) в статусной строке экрана (см. рис. 1.2, поз *13*) – возникло контекстное меню, в котором укажите нижнюю строку **Settings** (Настройка) – открылось диалоговое окно настойки режима объектной привязки.

Предусмотрено 13 режимов привязки. Указав в окне настройки кнопку **Help** (Справка), прочтите раздел справки (учебник) с комментариями к каждому режиму. Для активизации какого-либо режима нужно указать квадрат рядом с его названием (“поставить птичку”). Режим привязки начнет действовать после вызова одной из команд построения графического объекта и будет действовать постоянно до его отмены нажатием клавиши <F3>.

Вместо постоянно-действующей привязки удобно применять разовый режим привязки. В этом режиме для привязки к объекту нужно во время выполнения какой-либо команды нажать клавишу <Shift> клавиатуры и, не отпуская ее, щелкнуть правой кнопкой мыши (сокращенно будем записывать <Shift>+ПЩ) – возникнет контекстное меню, в котором нужно указать строку нужной привязки. После этого можно продолжить выполнение команды, указав объект, которому предназначена привязка.

Рассмотрим примеры построений, основанные на применении объектной привязки.

Задача 1. Из середины отрезка *m* провести касательную к окружности *c* до пересечения с отрезком *n* (рис.2.2, *а*):

- подготовьте исходные данные – нарисуйте окружность *c* и два отрезка *m* и *n*;
- **`line`** / на запрос “от точки: ” нажмите <Shift>+ПЩ и выберите привязку **Midpoint** (Середина);
- укажите отрезок *m* в любом его месте – середину система найдет сама. В средней точке указанного отрезка должен возникнуть маркер треугольной формы. Дождитесь подтверждения привязки в окне рядом с курсором. После этого перемещайте курсор – от средней точки отрезка *m* тянется “резиновая” нить нового отрезка;
- на запрос “к точке:” вновь <Shift>+ ПЩ и выберите привязку **Tangent** (Касательная);

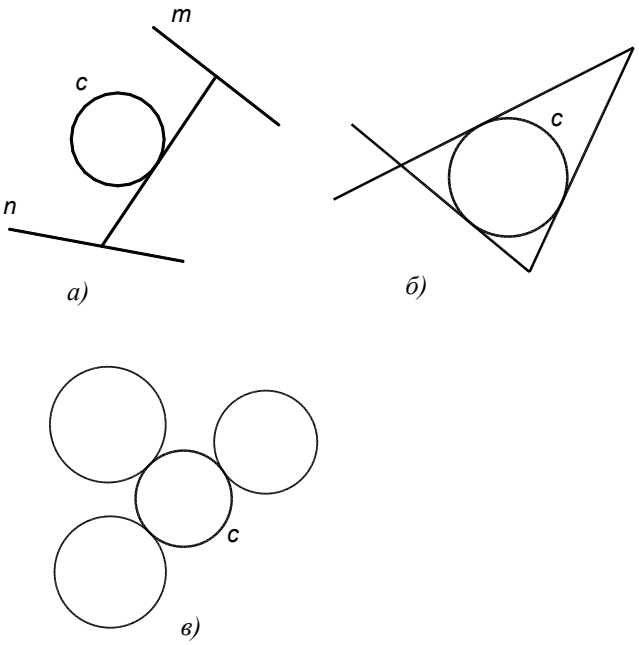


Рис. 2.2. Задачи на геометрические построения с применением объектной привязки

- подведите курсор к окружности со стороны желаемой точки касания – появился курсор характерной формы. Щелкните левой кнопкой мыши – проведена касательная, но только до точки касания с окружностью.

Для завершения задачи нужно удлинить отрезок касательной до пересечения с отрезком *n*.

- **`extend`** / укажите отрезок *n* / укажите отрезок касательной со стороны, ближней к отрезку *n* / – задача решена.

Задача 2. Построить окружность, касательную к трем пересекающимся отрезкам прямой (см. рис. 2.2, *б*):

- командой **`LINE`** постройте три пересекающихся отрезка;
- **Draw** / **Circle** / **Tan**,**Tan**,**Tan** (опция нахождения окружности по трем точкам касания) // подведите курсор к одному из отрезков, дождитесь подтверждения привязки **Tangent** и укажите отрезок;
- то же повторите для двух других отрезков – построена искомая окружность *c*.

Задача 3. Построить окружность, касательную к трем окружностям (задача Аполлония).

- Постройте три окружности (см. рис. 2.2, *в*).

Искомая окружность *c* может быть получена как в предыдущей задаче, применением опции **Tan**,**Tan**,**Tan**. Рассмотрим общий вариант – построение окружности по трем точкам, для каждой из которых нужно вызвать объектную привязку **Tangent**:

- **`circle`** / **3P** (это опция построения окружности по трем точкам. Нужно или ввести имя опции с клавиатуры, или щелкнуть правой кнопкой мыши и в контекстном меню указать эту опцию);
- на запрос “Specify first point on circle (Укажите первую точку окружности)”: выполните <Shift> + ПЩ и выберите привязку **Tangent**, затем установите курсор на одну из окружностей, дождитесь подтверждения привязки и щелкните левой кнопкой мыши;
- то же повторите для задания точки на второй и третьей окружностях.

2.5. Объектное слежение

Объектное слежение – один из режимов точных построений. Он применяется совместно с объектной привязкой. Слежение позволяет избежать множества вспомогательных построений, заменяя их трассировочными лучами, автоматически формируемыми параллельно осям текущей системы координат. Реализация объектного слежения требует некоторого навыка, но освоив его, вы существенно повысите скорость построений.

Подробную информацию и простые примеры применения этого способа найдите в разделе:

- **`help`** / … / Главы пользователя / Создание и редактирование объектов / Средства обеспечения точности / Комбинирование и смещение точек и координат / Объектное отслеживание.

Для реализации режима необходимо, чтобы объектная привязка была предварительно включена в постоянном режиме. Включение и отключение самого объектного отслеживания выполняется кнопкой  **Object snap Tracing** (Объектное отслеживание) строки состояния (см. рис. 1.2, поз. *13*) или клавишей <F11> клавиатуры.

Рассмотрим задачу на применение объектного слежения.

Задача: даны прямоугольники *A* и *B* (рис. 2.3). Считая прямоугольник *A* видом спереди, а прямоугольник *B* видом сверху, привести их в проекционное соответствие. Обеспечить заданное расстояние между проекциями, например, 20 мм:

- **`rectang (Прямоугольник)`** или  / 30,90 / 86,125 // 48,24 / 128,58 – построены два прямоугольника.

Пусть прямоугольник *A* находится в нужном положении. Для проекционного соответствия необходимо переместить и смасштабировать прямоугольник *B*. Задача решается в два действия.

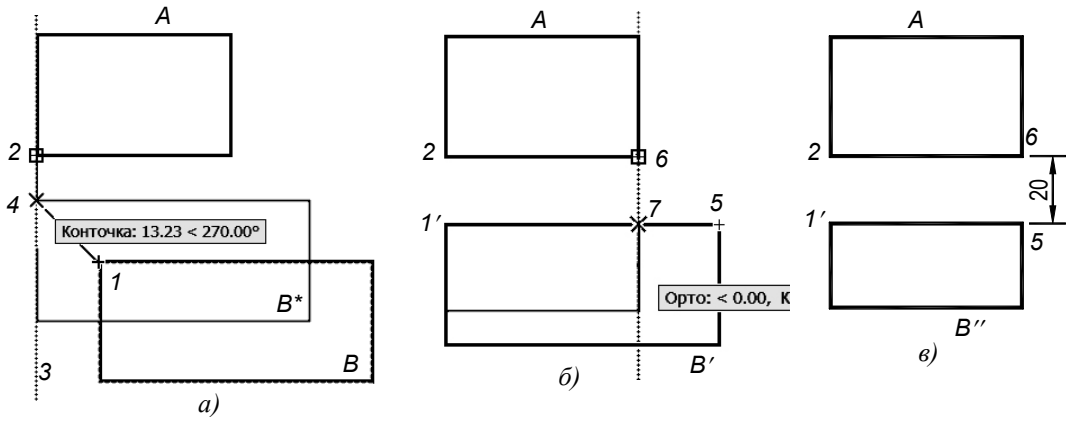


Рис. 2.3. Объектное слежение при установлении проекционной связи между видом спереди *A* и видом сверху *B*

Первое – перемещение прямоугольника *B* в положение *B′*, второе – масштабирование прямоугольника *B′* до положения *B″*: Для решения понадобится *постоянно* включенная объектная привязка **Endpoint** (Конечная):

- включим объектную привязку **Endpoint** (Конечная). Включим режим объектного слежения  .

Переместим прямоугольник *B* так, чтобы точка *1* оказалась на вертикальной линии связи с точкой *2*, причем расстояние между точками стало 20 мм (см. рис. 2.3, *а*):

- **`move`** / указать прямоугольник *B* / указать точку *1* как базовую точку перемещения / коснуться курсором точки *2* и переместить курсор вниз.

Возник вертикальный трассировочный луч *3*. Двигая мышь, наблюдайте, как по лучу перемещается маркер точки *4* и вместе с ним образ перемещаемого объекта (в нашем примере – прямоугольник *B*).* Справа от точки *4* видим окно, в котором указана примененная объектная привязка точки *2* и отслеживается расстояние между точками *2* и *4*.

Для завершения первого действия:

- ввести с клавиатуры требуемое расстояние 20 – в итоге точка *1* установлена в проекционной связи с точкой *2* на расстоянии 20 от нее, прямоугольник *B* принял положение *B′* (см. рис. 2.3, *б*).

Второе действие – масштабировать прямоугольник *B′* относительно точки *1′* так, чтобы его длина стала равной длине прямоугольника *A*. Это действие также выполняем в режиме объектного слежения:

- включить режим **ORTHO**;
- **`scale`** (**`Масштаб`**) / указать прямоугольник *B′* / указать точку *1′* как базовую точку масштабирования / опция **`Reference`** (**`Опорный отрезок`**) / указать точки *1′* и *5* / коснуться курсором точки *6* и переместить курсор вниз.

Возник вертикальный трассировочный луч и маркер точки *7*, рядом видим прямоугольник, подтверждающий захват в режиме **ORTHO**. Завершаем построение:

- выполните левый клик, подтвердив положение точки *7* – прямоугольник *B* принял положение *B″* (см. рис. 2.3, *в*). Задача решена.
- Применение рассмотренной задачи при построении чертежа приведено в разд. 4.3.

2.6. Пользовательская система координат

В AutoCAD'е введено понятие мировой системы координат (сокращенно МСК), под которой понимается некоторая условная система координат, принятая в качестве начальной системы отсчета. При построении на плоскости, например, выполнении чертежа, под МСК можно понимать систему координат, у которой плоскость XY совмещена с плоскостью построений (плоскостью чертежа), а начало находится в левом нижнем углу формата чертежа, и строить чертеж в этой системе.

При трехмерных построениях МСК – это система координат, у которой плоскость XY принимается в качестве горизонтальной, а за начало координат принимается точка, удобная для расчетов и задания координат. Например, если строится модель дома, то плоскость XY МСК – это плоскость земли, а начало координат – это левый нижний ближний угол дома. Если создается модель детали – то в качестве начала координат МСК удобно рассматривать угол стола, на котором модель условно расположена, плоскость стола – это плоскость XY МСК.

Работать в МСК не всегда удобно, поскольку в процессе построения она может оказаться не оптимальной. Например, при выполнении чертежа для каждой проекции удобно задать свою систему координат с началом в характерной точке проекции, а не отсчитывать координаты от левого нижнего угла формата.

Системы координат, создаваемые пользователем в процессе построений, называются **User Coordinate System** (Пользовательская система координат). Принято сокращенное обозначение UCS (ПСК). Создание ПСК осуществляется командой **`UCS`**. Эта команда имеет множество опций, из которых в черчении (построениях на плоскости) в основном необходимы опции **`Move`** или **`Origin`**, осуществляющие перенос начала координат в требуемую точку, применяется также опция **`Z`**, осуществляющая поворот осей XY вокруг оси Z. Остальные опции потребуются в трехмерной графике.

Текущая система координат определяется по пиктограмме ее осей. Признаком МСК является квадрат в начале координат (см. рис. 1.2, 1.3) пиктограммы, иначе, то есть в ПСК, квадрат отсутствует:

- **`ucs`** / **`w`** / – установлена МСК, виден квадрат в начале координат;
- **`ucs`** / **`Origin`** / 100,100 – начало координат перенесено в точку с координатами (100, 100) относительно предыдущей системы координат.

Квадрат в пиктограмме осей исчез. Это указывает, что система координат уже пользовательская, не мировая. Координаты точки 100,100, заданные в предыдущей системе координат, стали равными (0,0), как координаты нового начала координат.

Для работы с ПСК удобно пользоваться кнопками панели инструментов **UCS** (см. рис. 1.4, разд. 1.3).

Управление пиктограммой осей

Для удобства и наглядности работы рекомендуется задать режим, при котором пиктограмма осей, центр ее квадратика, разместится в начале координат. С этой целью выполните настройку:

- **View** (Вид) / **Display** (Отображение) / **Ucs Icon** (Знак ПСК) – возникло меню управления пиктограммой.

При указании в меню строки **Origin** (Начало) пиктограмма устанавливается в начало координат (если в этой точке пиктограмма размещается на экране). Если режим **Origin** не задан, пиктограмма помещается в левом нижнем углу экрана – это делают, когда пиктограмма мешает построениям. Пиктограмму можно отключить – строка меню **On** (Вкл). Система координат при этом не изменяется, лишь не отображаются ее оси. Работать с отключенной пиктограммой ПСК не рекомендуется.

В том же разделе меню указание строки **Properties** вызывает диалоговое окно, позволяющее задать вид пиктограммы осей, ее размеры, толщину и цвет.

С командной строки пиктограмма управляется командой **`UCSICON (ЗНАКПСК)`**.

2.7. Текст

Надписи на чертеже выполняются в соответствии с настройками, так называемого *текстового стиля*. Стиль включает в себя шрифт (конструкция букв) и его параметры: высоту, наклон, сжатие и др.

Настройка текстового стиля

Стиль можно создать или редактировать командой **STYLE**, которую можно вызвать из меню **Format** / **Text Style**. По умолчанию установлен стиль STANDARD, обладающий наиболее простым и грубым шрифтом. Его применять не рекомендуем. Для создания другого стиля:

- **style / New** (Новый) / ввести имя стиля / прокручивая список в окне **Font Name** (Шрифт), выбрать шрифт, уточнить его параметры **Font Style** (Начертание) и др., и посмотреть образец в окне просмотра / **Set Current** (Сделать текущим) / **Apply** (Применить**)**.

Для построения чертежа из множества шрифтов необходимо задать тип и параметры, близкие к чертежному. Это может быть шрифт *Romans,* желательно с углом наклона 15° и последующим приданием ему толщины (веса), курсивные шрифты *Arial* и *Arial Narrow*, *ISOCPEUR*. В русских версиях пакета могут поставляться шрифты *GOST type A* или *GOST type B*, которые в наибольшей мере соответствуют ГОСТ.

Среди параметров стиля есть высота шрифта **Height**. Рекомендуем задавать ее равной нулю. Это условность, подразумевающая, что при выполнении надписи данным стилем высоту можно будет каждый раз задать в момент выполнения надписи. Иначе, если не ноль, высота считается заданной в стиле.

Для других целей (дизайн, иллюстрации) можно выбрать более выразительный шрифт. В рисунке можно создать несколько гарнитур шрифта и переходить от одной к другой.

Выполнение надписей

Для выполнения надписи вызываем команду **DTEXT**:

- **Draw** (Черчение) / **Text** / **Single Line Text**.

Результат: в командной строке возникли опции формирования строки текста. По умолчанию предлагается указать начальную точку текста и выполнять надпись – это основной вариант. Выполним его:

- укажите начальную точку текста;
- на запрос <Высота> можно ввести значение с клавиатуры, или, перемещая курсор, задать ее наглядно, отследив высоту букв по длине “резиновой нити” и показаниям в статусной строке;
- аналогично (цифрой или отслеживанием) задайте угол наклона строки текста.

На экране возник прямоугольник, отражающий контур букв:

- вводите с клавиатуры текст и следите за ним на экране; для перевода строки нажмите Enter;
- укажите другую точку экрана и продолжайте ввод текста;
- для завершения ввода *дважды* нажмите <Enter>.

Другие опции команды **DTEXT** позволяют предварительно выбрать стиль (из ранее созданных), а также поместить текст нужным образом, например, вписать между двумя заданными точками. Изучите их самостоятельно, вспомнив, как вызвать справку по команде.

Для выполнения надписей большого объема удобной является команда **MTEXT (МТЕКСТ)**, вызываемая по имени, либо в том же меню, что и предыдущая команда, или указанием кнопки  панели инструментов **Draw**. Команда **MTEXT** позволяет в специальном диалоговом окне набрать и отредактировать текст, настроить его параметры.

Редактирование текста

Редактирование общих свойств текста: положение, масштабирование, цвет, слой, тип линии – выполняется как для всех графических объектов. Для редактирования содержания текста достаточно дважды щелкнуть левой кнопкой мыши по строке текста и внести изменения через специальное окно. Полное редактирование, включающее замену шрифта и изменение его параметров, можно выполнить командой **PROPERTIES**.

2.8. Штриховка

Штриховка применяется при выполнении разрезов и сечений на чертеже, а также в рисунках как элемент заполнения или заливки. Контур штриховки должен быть замкнутым, не иметь разрывов. Для выбора контура, как правило, достаточно указать точку внутри него или указать объекты, ограничивающие контур:

- создайте контур для штриховки, например, круг, эллипс, прямоугольник;
- **Draw** / **Hatch** (Штриховка) или укажите кнопку  **Hatch** панели инструментов;
- в возникшем диалоговом окне задайте тип штриховки, рядом посмотрите образец выбранной штриховки;
- укажите режим определения области штриховки **Pick Points** (Выбрать точки);
- щелкните на экране внутри контура штриховки.

Система выделила контур штриховки прерывистой линией. Можете добавить к выбору другие области, указав точку внутри них.

- Завершите выбор контура П-щелчком;
- в возникшем диалоговом окне укажите **Preview Hatch** (Образец);
- если штриховка неудачна, нажмите <Esc>, внесите коррективы, изменив образец, масштаб или угол наклона. После этого вновь выполните **Preview Hatch**;
- если результат устраивает, нажмите <Enter>.

Если вместо рисунка штриховка отображается сплошной заливкой, то она слишком плотная, и в диалоговом окне настройки нужно увеличить масштаб штриховки. Если штриховка редкая или отсутствует, ее масштаб следует уменьшить.

Если контур штриховки системой не выбран, или штриховка выходит за его границы, вероятно, контур имеет разрывы. Разрывы нужно найти при большом увеличении изображения и устранить.

Иногда в режиме **Pick Points** система не выявляет контур ввиду его сложной формы или, на сборочных чертежах, ввиду большой насыщенности чертежа. В этом случае воспользуйтесь следующими рекомендациями. Увеличьте изображение области штриховки на весь экран и повторно укажите точку внутри контура. Если это не помогает, выберите в окне штриховки другой режим задания контура – (кнопку) **Select Objects** и укажите линии, ограничивающие контур штриховки. В особо сложных случаях контур можно “поверх” обвести замкнутой полилинией (команда **PLINE**) и указать ее как контур штриховки. Сложный контур можно разбить на части, каждую из которых задать замкнутой полилинией.

Штриховка может быть ассоциативной, то есть привязанной к контуру. При изменении формы или положения контура такая штриховка изменяется соответствующим образом:

- начертите прямоугольник или круг; при выполнении штриховки в диалоговом окне настройки включите параметр **Associative** (Ассоциативная); после выполнения штриховки измените контур (“ручками”, перемещением, масштабированием) – штриховка отслеживает свой контур.
- Сотрите выполненную штриховку – она удаляется как единое целое.

Для редактирования специальных свойств штриховки (тип, масштаб, наклон) достаточно сделать по ней двойной левый клик и внести коррективы в диалоговое окно. Можно вызвать

команду **HATCHEDIT** из меню **Modify** (Изменить) / **Object** / **Hatch** или применить команду **PROPERTIES**. Можно указать штриховку, щелкнуть правой клавишей мыши и выбрать в контекстном меню **Hatch Edit** (Редактирование).

Общие графические свойства штриховки (цвет, тип линии, толщина, слой) редактируются как у всех объектов.

Для задач дизайна предусмотрены красивые градиентные заливки. Изучите их самостоятельно.

Более подробную информацию о выполнении и редактировании штриховки можно вызвать по кнопке **Help** (Справка) диалогового окна штриховки.

2.9. Тип линии

В чертеже, наряду со сплошными линиями, применяют линии других типов: штрихпунктирную (для проведения осей), штриховую (для невидимого контура), изредка другие. В пакете AutoCAD предусмотрен большой выбор типов линий. Могут быть созданы свои типы линий.

Тип линии рассматривается как свойство объекта, такое же, как цвет, толщина и др. Любой объект может быть выполнен различным типом линии. В новом рисунке первоначально доступна лишь сплошная линия. Другой тип линии нужно загрузить в рисунок один раз на все время работы с этим рисунком.

Для выполнения чертежа достаточно загрузить два дополнительных типа линии *Center* (Осевая) и *Hidden* (Невидимая). Можно загрузить и другие типы линий:

- **Format** (Формат) / **Linetype** (Тип линии) / в возникшем окне укажите **Load** (Загрузи) / в новом окне укажите образец нужной линии и **OK** / последовательно загрузите типы линий *Center* и *Hidden*;
- укажите образец одной из загруженных линий, например, *Center*;
- укажите вверху окна кнопку **Current** (Текущий) / **OK** – покиньте окно.

Итак, загружены новые типы линии, один из них установлен текущим:

- нарисуйте какие-либо объекты (отрезок, круг, полилинию) – объекты выполнены новым типом линии.

Изменить тип линии ранее созданного примитива удобно через панель инструментов **Properties** (Свойства объектов) (см. рис. 1.8).

Если прерывистая линия видна как сплошная, то нужно увеличить или уменьшить шаг линии. Для изменения шага всех линий чертежа:

- **Format** / **Linetype** / в возникшем окне укажите **Show Details** (Вкл подробности) / измените значение **Global scale factor** (Глобальный масштаб), задав его, например, равным 2 или 0.5 / **OK**.

Командой **PROPERTIES (Свойства)** предусмотрена возможность изменения шага каждой линии в отдельности.

2.10. Слои

Слой – это группа объектов, которой можно присвоить единый цвет, тип линии, одной командой изменять эти свойства у всех объектов группы, временно убирать группу с экрана. Посмотрите информацию по работе со слоями:

- **help** / **Содержание** / **User's Guide** (Главы пользователя) / **Create and Modify Objects** (Создание и редактирование объектов) / Свойства объектов / Работа со слоями …

Выполните:

- **Format** (Формат) / **Layer** (Слой) или кнопка *1* панели инструментов **Layers** (Слои) (рис. 2.4, *а*) – возникло окно настройки слоев (см. рис. 2.4, *б*). Рассмотрим это окно.

В центре окна находятся строки с именами слоев. Верхняя строка показывает наличие слоя с именем 0 (ноль) – это исходный, начальный слой, обладающий рядом особых свойств. Другие

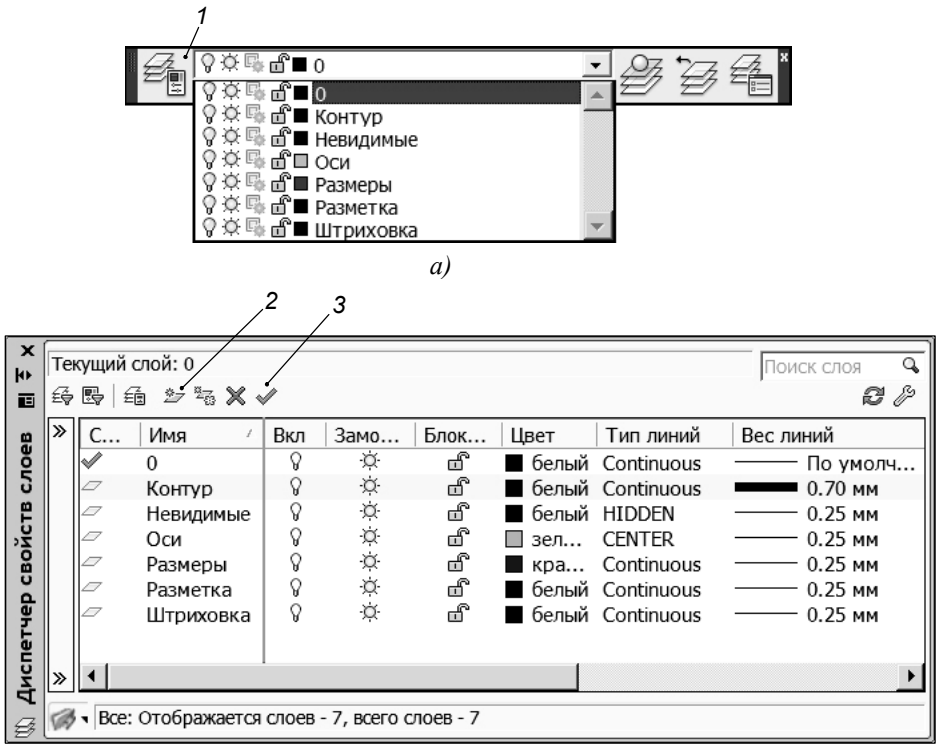
слои на момент создания нового рисунка могут отсутствовать. Приведены слои с именами *Контур, Невидимые, Оси*… . Эти слои созданы нами, их имена и настройка являются характерными для построения чертежа.

Для создания нового слоя укажите кнопку *2* – возникла строка нового слоя с именем *Layer...* Можете согласиться с предложенным обобщенным именем или ввести другое характерное имя.

Свойства слоев. Каждый слой имеет *Имя* (Name). Слой, на который в данный момент помещаются создаваемые объекты, называется *Текущим* (Current). Чтобы сделать слой текущим, нужно в окне настройки слоев указать строку слоя и кнопку *3*. Имя текущего слоя указано вверху настройки окна.

На строке каждого слоя после имени слоя перечислены его свойства. Слой может быть *включен* или *выключен*, *размерожен* или *замерожен*, разблокирован или его можно заблокировать. Объекты заблокированного слоя защищены от случайного нежелательного редактирования. Для изменения свойств слоя, например, его размораживания или разблокирования, необходимо указать значок свойства.

Слой имеет *цвет* (колонка **Color**), *тип линии* (**Linetype**), *толщину линии* (**Lineweight**), которые присваиваются объектам этого слоя. Для задания или изменения этих значений нужно указать их на строке слоя – возникает окно настройки этого параметра. Имеется еще ряд свойств слоя, они приведены в правой части окна настройки (переместите движок вправо), они применяются реже, изучите их самостоятельно.



а)

б)

Рис. 2.4. Управление слоями:
а – панель инструментов **Layers** (Слои); *б* – диспетчер слоев и слои, характерные для построения чертежа

Чтобы объекты слоя были на экране, слой должен быть включен и размерожен. Чтобы объекты исключить из работы, слой нужно заморозить. Если слой размерожен и выключен – объекты в работе, но их не видно, например, они закрывают расположенные за ними объекты при удалении невидимых линий командой **HIDE (СКРОЙ)**. Эта ситуация с объектами-призраками нужна крайне редко. Поэтому, пусть слои будут *всегда включены*, а для управления

видимостью будем их замораживать или размораживать. Хотя, можно применять и включение-отключение слоя. Кроме того, для работы с объектами слой должен быть разблокирован.

Помимо диалогового окна свойствами слоев удобно управлять посредством панели инструментов **Layers** (Слои) (см. рис. 2.4, *а*). Указав треугольник, раскрываем вниз список слоев текущего файла. На строке каждого слоя приведены знаки его основных свойств. Указание строки делает слой текущим, он перемещается в верхнюю строку списка. Указание знака включает или отключает свойство слоя.

Свойства объектов (см. разд. 1.13) – цвет и тип линии и толщина и др. – могут быть заданы как **ByLayer** (По слою). В этом случае объект будет иметь свойства того слоя, на котором он расположен. Если свойство указано иначе, например, цвет красный, то объект будет иметь это свойства независимо от свойств "своего" слоя.

2.11. Список свойств объекта

Пусть необходимо узнать координаты концов отрезка, толщину и имя слоя, которому он принадлежит. Эту и другую информацию можно вывести на экран по команде **LIST (СПИСОК)**:

- **list** / укажите какой-либо примитив на экране /.

Выведен список данных примитива. Для того чтобы вернуть экран в графический режим, нажмите клавишу <F2> .

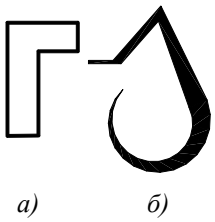
Свойства объекта можно прочесть и сразу отредактировать командой **PROPERTIES (СВОЙСТВА),** кнопка  панели инструментов **Standart**. Основные свойства можно прочесть и отредактировать, включив кнопку  **Quick Properties** (Быстрые свойства) в статусной строке (см. рис. 1.2, поз. *13*) и указав объект.

2.13. Сложные линии

AutoCAD обладает рядом линий с особыми свойствами, которые ускоряют построения и открывают новые возможности создания моделей и чертежей. Рассмотрим применение этих линий для построений на плоскости.

Полилиния

Полилиния может быть составлена из отрезков прямых или дуг окружности (рис. 2.5). Звенья могут иметь различную, в том числе плавно изменяемую по длине толщину. Полилиния применяется в тех случаях, когда составляющие ее звенья необходимо представить как единое целое, например, как единый контур объекта, контур штриховки или для особых условий редактирования, например, единообразного сопряжения в угловых точках, сглаживания.



а) *б)*

Рис. 2.5. Полилиния:
а – из линейных сегментов; *б* – из линейных и дуговых сегментов переменной толщины

Полилиния создается командой **PLINE (ПЛИНИЯ)**, её можно вызвать из меню **Draw** (Рисование) / **Polyline** (Полилиния) или указать кнопку панели инструментов  .

Воспроизведите пример замкнутой полилинии из линейных сегментов (см. рис. 2.5, *а*):

- **pline** / (<F1> – справка по команде) / укажите точки согласно рис. 2.5, *а* / **Close**.

Постройте характерную полилинию, имеющую три линейных и дуговой сегменты переменной толщины (см. рис. 2.5, *б*). Это может быть логотип фирмы:

- **pline** / 60,100 / **w** / 2 / 2/ @22<0 / **w** / 4 / 4 / @30,36 / **w** / 5 / 12 / @25,–65 / **a** (опция построения дугового сегмента)/ **w** / 0 / @52<170.

Узлы полилинии можно редактировать “ручками”:

- укажите полилинию, затем укажите одну из ручек и перетяните ее.

Редактирование всех параметров полилинии выполняется командой **PEDIT**. Вызовите команду **PEDIT** и наведите по ней справку.

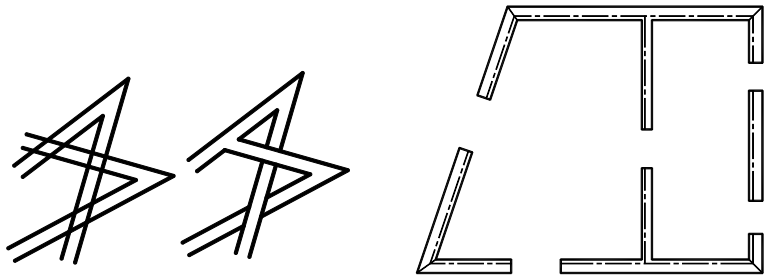
Для 3D-построений применяется полилиния, создаваемая командой **3DPOLY (3DПЛИНИЯ)**.

Мультилиния

Применяется (рис. 2.6), главным образом, при выполнении планов на строительных чертежах. Создается командой **MLINE (МЛИНИЯ)**. В зависимости от настройки команды **MLINE** мультилиния задается координатами своей верхней или нижней линии, либо координатами средней линии. Толщина мультилинии определяется опцией **Scale (Масштаб).**

Повторите изящный пример пересечения двух мультилиний (см. рис. 2.6, *а*):

- **mline** / опцией **Scale** задайте толщину линии / укажите вершины первой линии //;
- постройте вторую линию.



а) *б)*

Рис. 2.6. Мультилиния и ее редактирование:
а – редактирование пересечений; *б* – план помещения

Команда **MLEDIT** дает широкие возможности редактирования пересечений. Предусмотрено двенадцать вариантов пересечений. В нашем примере выполним два из них: открытое Т-образное (Open Tee) и два крестовых Closed Cross (Закрытый крест). При редактировании мультилинии следует указывать вблизи места пересечения. Последовательность указания определяет результат пересечения. Например, для Т-образного пересечения первой указывают линию, соответствующую вертикальной части буквы Т. При закрытом крестовом пересечении линия, указанная первой, окажется снизу:

- **mledit** / в возникшем диалоговом окне укажите тип пересечения / укажите мультилинии в месте их пересечения.

Команда **MLSTYLE** позволяет создавать мультилинии различного наполнения. Это могут быть дополнительные линии, в том числе линии разного типа и цвета, возможна заливка или штриховка внутренней части линии (под бетон, под кирпич). На рис. 2.6, *б* показана мультилиния, содержащая осевую (базовую) линию, смещенную к внутреннему контуру. Показаны также Т-образные пересечения линий и формирование разрывов (оконных и дверных проемов), выполняемые командой **MLEDIT.**

Подробнее о создании и редактировании мультилиний – см. справки по командам **MLEDIT** и **MLEDIT.**

Команда **EXPLODE** расчленяет мультилинию на отрезки прямых.

Сплайны

Сплайн – упругая линия, проведенная между заданными точками (рис. 2.7). Сплайны применяют при построении плавных линий сложной формы. В черчении, например, этой линией удобно строить линии обрыва изображений или разрезов:



Рис. 2.7. Сплайн

- **spline** / укажите несколько вершин сплайна / в завершение команды предлагается задать направления в конечных точках линии, можно согласиться с предлагаемыми вариантами, нажав три раза <Enter>, либо курсором указать направления касательных в начальной и конечной точках сплайна.

Сплайны удобно редактировать “ручками”. В полной мере редактирование сплайна осуществляется командой **SPLINEDIT**.

Области

Область (Region) – тип плоского объекта, обладающего рядом особых свойств. Области создают командой **REGION** для объединения линий в замкнутый контур, необходимый, например, для создания трехмерных объектов выдавливанием (команда **EXTRUDE**) или вращением (**ROTATE**).

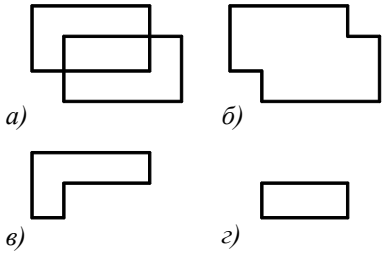


Рис. 2.8. Редактирование областей:
а – исходные области; *б* – объединение; *в* – вычитание; *г* – пересечение

Области можно складывать, вычитать, пересекать, формируя сложные контуры. Под пересечением понимается выявление общей части контуров. Рассмотрим простой пример.

- Командой **RECTANG** постройте два прямоугольника, пересекающих друг друга (рис. 2.8, *а*);

Преобразуйте их в области:

- **region** / укажите прямоугольники / – каждый из объектов стал “областью”.

Объединим области:

- **Modify** / **Solids Editing** / **Union** (Объединение) / укажите прямоугольники / – создана область с суммарными границами (см. рис. 2.8, *б*).

Отмените объединение и выполните вычитание и пересечение областей, применив команды **SUBTRACT** и **INTERSECT**:

- **subtract** / укажите прямоугольник (уменьшаемое) // укажите второй прямоугольник (вычитаемое) // – получена разность (см. рис. 2.8, *в*);
- отменив вычитание, выполните пересечение областей (см. рис. 2.8, *г*).

В область можно преобразовать любой плоский замкнутый объект – полилинию, круг, эллипс. Область можно создать из отрезков, дуг и других незамкнутых объектов, идеально (то есть заданием координат или применением объектной привязки) состыкованных в конечных точках и в итоге образующих замкнутый плоский объект. Если область не формируется, ищите разрывы в местах сопряжения. Признаком области является выделение ее как единого целого при указании.

Если к области применить команду **EXPLODE** (**РАСЧЛЕНИТЬ**), область распадается на составляющие ее плоские линии. Подробнее – см. справку по команде **REGION**.

2.14. Некоторые настройки пакета

Предусмотрена возможность настроить AutoCAD с учетом возможностей компьютера, особенностей выполняемых построений и личных вкусов. Для тех же целей можно создать новые панели инструментов, вкладки и панели ленты и т. д. Рассмотрим некоторые часто требуемые настройки.

Настройки, выполняемые командой OPTIONS

Команду **OPTIONS (НАСТРОЙКА)** можно вызвать, указав кнопку  (см. рис. 1.2, поз. *11*) и затем кнопку **Options** (Параметры), расположенную в нижней части раскрывшегося окна. Можно вызвать из главного меню **Tools** (Сервис) / **Options** (Настройка), можно по имени с командной строки, но проще – выполнив щелчок правой кнопкой мыши по экрану и указав нижнюю строчку в возникшем контекстном меню:

- **options** – возникло диалоговое окно настроек, содержащее ряд закладок (страниц).

Цвет экрана

Настройки экрана выполняют с закладки **Display** (Экран). Настроим цвет графической зоны экрана. Укажите закладку **Display**. В возникшем окне укажите кнопку **Colors** (Цвета). В новом окне в поле **Context** (Контекст) задайте группу параметров, подлежащих настройке – для задания цвета графической зоны укажите **Sheet** (Лист). Далее в окне **Window Element** (Элементы интерфейса) укажите **Uniform background** (Однородный фон). Укажите поле **Color** (Цвет) и в нем – один из основных цветов, рекомендуем белый цвет. Кроме того, указав нижнюю строку **Select Color** (Выбор цвета), вы попадаете в диалоговое окно, содержащее ряд закладок. Выбрав закладку **Index Color** (Номер цвета) можно назначить цвет по образцу из набора 256 цветов. Закладка **True Color** (Вся палитра) позволяет задать "истинный цвет", выбрав его из 16 млн. цветовых оттенков. Закладка **Color Books** позволяет выбрать цвет из стандартных палитр.

Максимальная контрастность и насыщенность изображения достигается при черном фоне и белых линиях чертежа (вспомните – доска и мел). Однако при построениях чертежа, для соответствия фона цвету бумаги и сохранения зрения (!), рекомендуем задавать цвет экрана белым.

Рассмотрим еще ряд часто выполняемых настроек экрана.

Размер перекрестия курсора мыши

Для контроля проекционной связи при выполнении чертежа рекомендуем задать курсор во весь экран. Для этого с закладки **Display** (Экран) в поле **Crosshair Size** (Размер перекрестия) следует установить движок в положение 80…100 (% экрана). Для 3D-построений рекомендуем короткий курсор размером 8…15.

Бесконечный лист или отображение страницы печати

При выполнении построений в пространстве листа это работа с видовыми окнами, форматирование чертежа (см. гл. 3 и последующие) – удобно иметь лист бесконечных размеров. Напротив, в ряде случаев листу удобно придать вид листа бумаги, на который выполняется печать чертежа или печать созданной композиции видовых окон с 3D-моделями.

Для бесконечного листа в закладке **Display**, в группе **Layout Elements** нужно отключить параметры **Display Printable Area** (Границы области печати) и два следующих за ним параметра.

Для отображения страницы печати эти параметры следует включить. Размеры страницы задают командой **PLOT (ПЕЧАТЬ)** при настройке печати (см. разд. 3.8).

Плавность линий

Если при построении кривой линии (дуги, окружности, сплайна) линия отображается на экране в виде ломаной, а окружность в виде многоугольника, значит действует экономичный режим отображения, предназначенный для увеличения скорости построений. Он предназначен для "слабых" компьютеров. При выводе на печать линии будут плавными. Для придания плавности на экране можно периодически применять команду **`REGEN (РЕГЕН)`**.

Современные компьютеры позволяют сразу строить плавные линии. Для повышения плавности нужно на закладке **Display** задать параметр **Arc and Circle Smoothness** (Сглаживание дуг и окружностей) не менее 1000 (можно до 10000).

Отображение строки закладок листа

При построениях нам часто потребуется переходить из пространства модели в пространство листа и наоборот. Это удобно делать, имея на экране строку закладок (см. рис. 1.2, поз. *б*), которая может оказаться отключенной. Поэтому в закладке **Display**, в группе **Layout Elements** рекомендуем включить параметр **Display Layout and Model Tabs** (вкладки Модель /Лист).

Режим правой клавиши мыши

Закладка **User Preferences** (Настройки пользователя) позволит определить, будет ли и в каких случаях выводиться контекстное меню в области рисования и определить другие особенности правой клавиши мыши.

Настройки при выборе объектов

Выполняя команды редактирования, вы можете заметить, что в одном случае (на одних компьютерах) выбираются все последовательно указанные прицелом объекты, в других случаях указание объекта приводит к отмене выбора предыдущего объекта. Во втором случае нужно при выборе нажать клавишу <Shift>. Закладка **Selection** (Выбор) позволяет настроить применение клавиши <Shift> при выборе объектов. Здесь же можно настроить размеры и цвет ручек и прицела. Нормой является размер прицела "в три щелчка" при перемещении движка настройки.

Подробно о всех настройках, выполняемых командой **`OPTIONS`** – см. справочную информацию по данной команде.

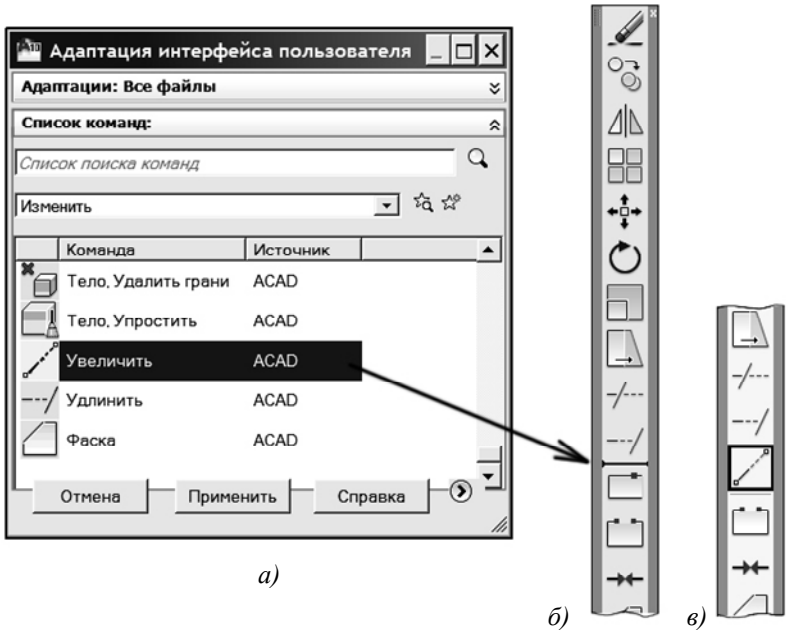


Рис. 2.9. Добавление кнопки к существующей панели инструментов:
а – окно с кнопками команд; *б* – редактируемая панель; *в* – добавленная кнопка

Дополнительные кнопки панелей инструментов

При выполнении построений может возникнуть необходимость многократного выполнения команды, не имеющей кнопки на существующих панелях инструментов. Каждый раз печатать имя команды или вызывать ее из главного меню долго. В этом случае к существующей панели можно добавить новую кнопку, вызывающую требуемую команду. Более того, можно добавить кнопку, которая будет вызывать целую панель инструментов. Кнопки всех команд и панелей поставляются вместе с пакетом.

Пример 1. Нам часто понадобится команда **`LENGTHEN (УВЕЛИЧИТЬ)`**, кнопка которой отсутствует на существующих панелях. Добавим кнопку этой команды в панель инструментов **Modify** (рис. 2.9):

- щелкните правой кнопкой мыши по панели **Modify**. В открывшемся окне укажите нижнюю строку **Customize** (Адаптация) / в окне **Customize User Interfase** (Адаптация интерфейса пользователя) в списке команд **Command List** найдите нужную команду и перетащите ее в панель инструментов / OK – закройте окно адаптации.

Пример 2. Добавим к панели **Standard** (Стандартная) кнопку, при указании которой будет раскрываться панель управления пользовательской системой координат ПСК. Это позволит быстро вызвать нужную опцию команды **`UCS (ПСК)`**. При этом на экране не потребуется постоянно держать панель инструментов ПСК (см. рис. 1.4):

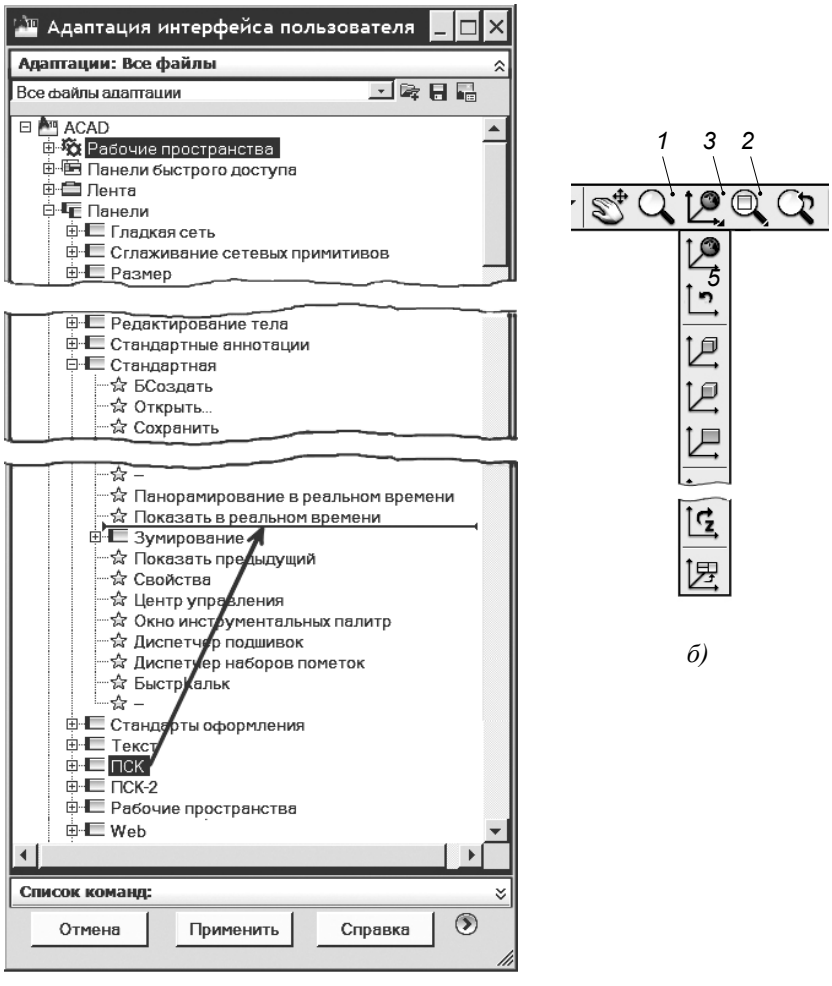


Рис. 2.10. Добавление кнопки ПСК к панели **Standard**:
а – перетаскивание строки ПСК в необходимое положение; *б* – раскрытие добавленной панели ПСК

- **cui** / в окне редактора адаптации интерфейса перейдите на вкладку **Customize** (Адаптация), укажите (рис. 2.10, *а*) направленную вниз стрелку на строке **Customizations In…** (Адаптации…) – раскрылся древовидный перечень инструментов;
- прокручивая перечень, найдите строку панелей инструментов **Toolbars** (Панели), раскройте его, щелкнув на значке "+" на строке панелей;
- в раскрывшемся перечне панелей, прокручивая окно, найдите строку панели, в которую устанавливаем новую кнопку – панель **Standard** (Стандартная);
- указав "+" на строке выбранной панели, раскройте список кнопок этой панели;
- в том же перечне панелей, ниже найдите строку добавляемой панели **ПСК** и перетащите ее в необходимое положение панели **Standard**, в нашем примере между строками “Показать в реальном времени” и “Зуммирование”;
- **Apply** (Применить).

В итоге (см. рис. 2.10, *б*) на панели инструментов **Standard** между кнопкой *1* (Показать в реальном времени) и кнопкой *2* (Зуммирование) добавлена новая кнопка *3*. При указании добавленной кнопки раскрывается панель ПСК.

Многочисленные примеры создания собственных элементов интерфейса – новых кнопок, панелей инструментов, вкладок лент, закладок палитр и др. приведены в разделе:

- **help** / Содержание / User’s Guide (Главы пользователя) / Руководство по адаптации / Адаптация пользовательского интерфейса / Адаптация элементов пользовательского интерфейса / …

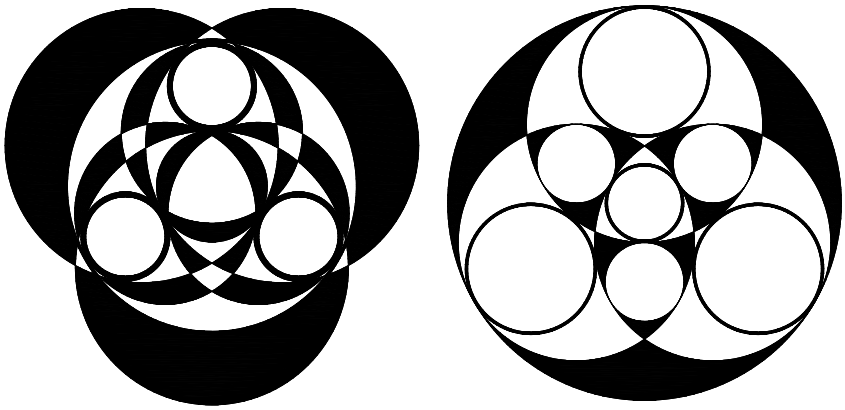
2.15. Геометрические узоры

В завершение главы рассмотрим две задачи из истории геометрии. Одна из них, задача Аполлония, дошла до нас из древней Греции. Вторая – шестугольник Паскаля – это средние века.

Круги Аполлония

Предлагаем вернуться к задаче Аполлония, то есть построению окружности, касательной к трем заданным окружностям (см. рис. 2.2, *в*). Найдите в интернете информацию об Аполлонии и его знаменитой задаче. Задача имеет в общем случае восемь решений.

Поскольку в AutoCAD заложен алгоритм решения этой задачи, нужно лишь уметь его применить. Предлагаем построить несколько геометрических узоров на основе задачи Аполлония.



а) *б)*

Рис. 2.11. Круги Аполлония

Узор 1 (рис. 2.11, *а*). Постройте правильный треугольник (команда **POLYGON**). Принимая вершины треугольника за центры, постройте три исходные окружности одного радиуса. Эти окружности не должны пересекаться между собой. Найдите все восемь окружностей Аполлония, касающихся трех исходных окружностей. Выполните штриховку областей, отсекаемых найденными окружностями. Соседние области должны иметь различную штриховку. Штриховка может быть одно- или многоцветная.

Узор 2 (см. рис. 2.11, *б*). Исходные окружности, как и в предыдущем примере, имеют центр в вершинах правильного треугольника. Их радиус определяется из условия касания окружности с противоположной стороной треугольника. В итоге каждая из исходных окружностей пересекает две другие. В остальном – как в предыдущем узоре.

Узор 3. Постройте узор, решив задачу Аполлония при произвольном, "неправильном" размещении исходных окружностей и различных значениях их радиуса. Эти окружности могут не пересекаться или пересекаться в различном сочетании. Однако, они не должны быть концентричными и их центры не должны располагаться на одной прямой, иначе задача Аполлония не имеет решения. В отличие от предыдущих двух примеров у каждого из вас получится свой узор. Здесь возможно множество изящных непредсказуемых вариантов.

Шестиугольник Паскаля

Решим задачу, требующую предельной точности построений, применения мультилинии и команд редактирования.

Постройте произвольный эллипс (рис. 2.12, *а*). Командой **LINE** или **PLINE** постройте шестиугольник, вершины которого должны принадлежать эллипсу. Для этого включите объектную привязку **Nearest** (Ближайшая). Вершины указывайте согласно их нумерации,

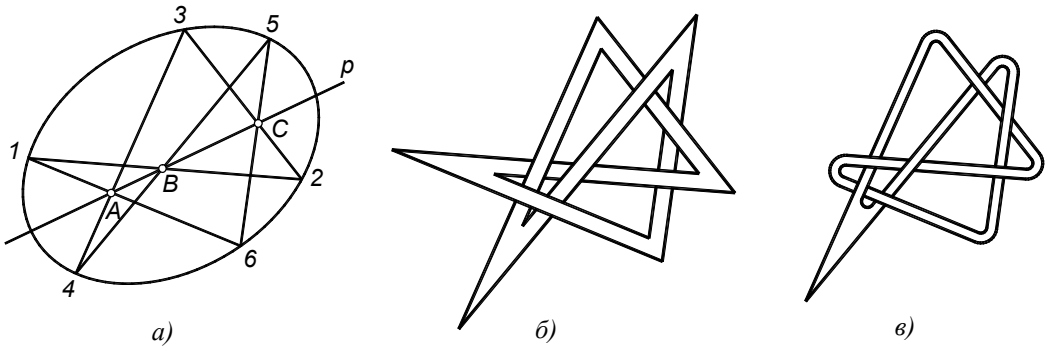


Рис. 2.12. Шестиугольник Паскаля

воспроизводя форму приведенного шестиугольника. Не стремитесь к его правильности или симметрии. Завершение шестиугольника должно быть выполнено с применением опции **Close** (**Замкнуть**).

Построенный шестиугольник обладает замечательным свойством: три точки пересечения его сторон, точки *A*, *B*, *C*, принадлежат одной прямой *p* – прямой Паскаля. Это свойство проявляется, если вершины шестиугольника принадлежат любой кривой второго порядка (в нашем примере – эллипсу) и составляет содержание теоремы Паскаля – одной из основных теорем проективной геометрии. AutoCAD воспроизводит это свойство со своей предельной точностью 10^{-8}.

Убедимся в истинности теоремы Паскаля:

- если вы построили прямую Паскаля *p*, то временно сотрите ее;
- **ucs** / 3 / применяя объектную привязку **Intersecton** (Пересечение), укажите точки *A, B, 1* – установлена система координат с началом в точке *A*, ось X системы направлена в точку *B*.

Определим координату точки *C* в установленной системе координат:

- **id (КООРД)** / применяя объектную привязку **Intersecton**, укажите точку *C* / <F2> – выведены координаты точки *C*.

Если вы аккуратно выполнили построения, то Y-координата точки *C* обязательно будет равна 0. Задайте точность измерения 10^{-8} (команда **UNITS**) и повторно определите Y-координату точки *C*, она по-прежнему будет равна 0. Следовательно, точка *C* принадлежит оси X или прямой *AB*, то есть точки *A, B, C* принадлежат одной прямой.

- Найдите в интернете информацию о Б. Паскале, который сформулировал эту теорему, когда ему было 18 лет.

Можете проверить теорему для окружности. Позднее, когда научитесь точно строить конические сечения, можете убедиться в истинности теоремы Паскаля для любой гиперболы или параболы.

Получим красивое дизайн-решение на основе шестиугольника Паскаля:

- перейдите на новый слой. Командой **MLINE** постройте единую замкнутую мультилинию по конечным точкам (привязка **Endpoint**) шестиугольника Паскаля. Ширину линии (опция **SCALE**) задайте в глазомерной пропорции (см. рис. 2.12, *б, в*). Применив команду **MLEDIT**, создайте пересечения линий, как переплетение бумажных лент. Варианты пересечения могут быть “через две” (см. рис. 2.12, *б*) или “через одну” (см. рис. 2.12, *в*).
- В завершение (см. рис. 2.12, *в*) примените команду **FILLET** для скругления сторон по внутренней стороне произвольным радиусом. Мультилинию нужно предварительно расчленить на отрезки (команда **EXPLODE**). Наружное скругление можно выполнить командой **OFFSET**, задав смещение, равным толщине ленты. Лишние линии следует обрезать командой **TRIM**.

Глава 3

Плоский контур

AutoCAD содержит обширный набор средств, делающих его идеальным электронным кульманом, автоматизирующим графические работы. В данной главе рассмотрены примеры построений на плоскости. Получаемые изображения могут быть одной из проекций чертежа или контуром для создания объемной модели, например, путем выдавливания или вращения.

3.1. Содержание работы

Выполняемое задание фактически является построением несложного чертежа по традиционной 2D-технологии.

Цель работы:

- Изучить команды построения и редактирования графических объектов AutoCAD'а при построении чертежа по 2D-технологии;
- технические средства, обеспечивающие точность и удобство построений: объектную привязку, слои, ПСК;
- простановку размеров на чертеже;
- основы оформления чертежа: типы линий, надписи, рамка и основная надпись (штамп);
- вывод чертежа на печать.

При выполнении задания важно уяснить понятия пространства модели и пространства листа и работу с ними при построении чертежа.

Порядок выполнения работы

1. Изучите (повторите) приведенные ниже примеры.

2. Постройте плоский контур в соответствии с полученным заданием.

3. Проставьте размеры элементов контура.

4. Представьте результат работы в виде чертежа.

Пример выполнения задания приведен на рис. 3.1. Многочисленные варианты заданий можно найти в литературе, например [3].

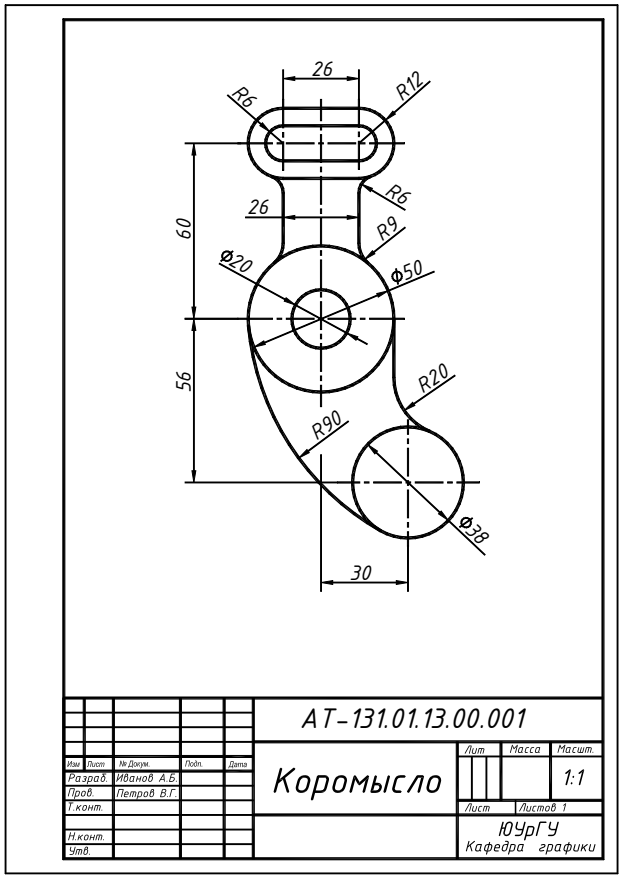


Рис. 3.1. Чертеж к заданию "Плоский контур"

3.2. Пространство модели и пространство листа при построении чертежа

Представьте, что между вами и создаваемой моделью помещен лист непрозрачного стекла. “Промывая” на стекле “видовые” окна, вы видите модель. При некоторой фантазии можно допустить, что в каждом окне модель видна при различном увеличении и с разной точки зрения. На листе-стекле можно делать надписи и рисовать, даже поверх изображения, которое видно через стекло. Приведенный пример помогает понять существование в AutoCAD'е двух режимов работы, один из них называется пространством модели, другой – пространством листа.

Пространство модели – трехмерное пространство, в котором создается модель объекта.

Пространство листа – это плоскость, соответствующая листу бумаги для получения распечатки. Связь между пространствами осуществляется через видовые окна, создаваемые на листе.

При построении чертежа по 2D-технологии под моделью следует понимать изображения, составляющие чертеж.

Наличие двух пространств делает возможным ряд вариантов выполнения чертежа. Применительно к простейшему чертежу плоского контура, содержащего одно изображение, выполненное в масштабе 1:1, эти варианты состоят в следующем:

– построить чертеж (модель) в пространстве модели и вывести на печать из пространства модели;

– построить чертеж в пространстве модели, на листе создать видовое окно, в котором отобразить чертеж. Печатать с листа;

– весь чертеж построить на листе.

Первый вариант был единственным до появления в 1991 г. одиннадцатой версии пакета (на сегодня последняя версия – 18.1 или AutoCAD 2011). Сегодня этот вариант применяется на начальном этапе освоения AutoCAD’а.

Пространство листа было добавлено в связи с появлением и развитием 3D-технологий. Вариант, с применением двух пространств (вариант 2), на сегодня является основным при построении чертежа, в том числе и для чертежа, выполненного по 2D-технологии. Мы его применим в данной главе для построения чертежа плоского контура.

Вариант формирования всего чертежа на листе (вариант 3) получает все большее распространение. Мы его применим для чертежей, выполненных по 3D-технологии. Более подробно варианты рассмотрены при построении чертежа, содержащего ряд изображений, выполненных в различных масштабах (см. разд. 4.4). Каждый из вариантов имеет свои преимущества и не лишен недостатков.

Внешним признаком активности пространства модели является вид пиктограммы ПСК. В пространстве модели она имеет вид осей координат (см. рис. 1.3). В пространстве листа пиктограмма имеет вид треугольника.

Существуют два варианта работы в пространстве модели. Первый – указать закладку **Model** (Модель) в строке закладок (см. рис. 1.2, поз. *6*). Второй вариант – указать закладку **Layout** (Лист) – осуществляется выход на лист. Затем указать кнопку **PAPER** (ЛИСТ) в строке состояния (см. рис. 1.2, поз. *7*). Происходит переход в пространство модели через видовое окно пространства листа.

Следует признать, что понятие пространств является непростым и усваивается с опытом их применения. Выполним упражнение, позволяющее понять взаимодействие пространств и работу с ними.

- Укажите закладку **Model** – пиктограмма осей должна принять вид осей, то есть вы в пространстве модели.
- Находясь в пространстве модели, начертите несколько простых объектов красным цветом – отрезки, окружности. Укажите любой из объектов – возникли “ручки”, то есть объекты доступны.
- Укажите закладку **Layout** – пиктограмма ПСК приняла вид треугольника, вы вышли на лист. Попробуйте указать какой либо объект из построенных в пространстве модели – они

недоступны, ибо курсор и объекты находятся в разных пространствах. Объекты – в пространстве модели, а курсор перемещается по листу (условно, по стеклу, поставленному перед ними). Покрутите ролик мыши – видны границы видового окна в пространство модели, где находятся объекты.

- ❑ Начертите на листе ряд объектов, придав им синий цвет. Указанием проверьте, что они доступны из пространства листа.
- ❑ Укажите кнопку PAPER в строке состояния или сделайте двойной клик левой кнопкой мыши – пиктограмма приняла вид осей, кнопка PAPER заменилась на MODEL, то есть вы перешли в пространство модели из листа. Объекты пространства модели (красного цвета) опять стали доступны, а объекты листа (синие) – недоступны.
- ❑ Для выхода из видового окна на лист укажите кнопку MODEL строки состояния или сделайте двойной левый клик вне рамки окна – вы вновь в пространстве листа.
- ❑ "Попрыгайте" из пространства модели в пространство листа и обратно, указывая закладки Model или Layout, или кнопку Model / **Layout** строки состояния.

Итак, при построении плоского контура будем придерживаться варианта, в котором чертеж строим в пространстве модели, а оформление чертежа и вывод на печать выполняем в пространстве листа.

3.3. Настройки для построения чертежа

Приступая к созданию модели или построению чертежа нужно выполнить ряд настроек. В процессе работы настройки можно корректировать и дополнять. Сейчас рассмотрим настройку интерфейса, пространства модели и пространства листа, создание слоев. Другие настройки, например, настройки размерных и текстовых стилей, приведем позднее.

- ❑ Загрузите пакет и откройте новый рисунок (см. разд. 1.1).

Настройка интерфейса

Мы работаем в режиме классического AutoCAD'а (см. разд. 1.1), где требуется настройка панелей инструментов. (Другие варианты интерфейса вы изучаете сами). Убедитесь, что на экране присутствуют основные панели: **Standard** (Стандартная панель инструментов), **Properties** (Свойства объектов), **Layer** (Слои), **Draw** (Черчение), **Modify** (Изменение). Если присутствуют другие панели, погасите их, освобождая экран. Расположите панели по краям экрана: первые три горизонтально в верхней части экрана, остальные – вертикально слева и справа. О работе с панелями инструментов см. разд. 1.3.

Шаг, сетка, лимиты

Эти параметры настраивают для каждого пространства раздельно. Настройки для пространства модели выполняют с учетом размеров модели. Пространство листа настраивают по размерам формата, на котором выполняют чертеж.

Настроим пространство модели для выполнения задания "Плоский контур":

- ❑ убедитесь, что активна закладка Model строки закладок или укажите ее – вы в пространстве модели;
- ❑ настройте шаг, равным 1, сетку с шагом 5 (см. разд. 1.8).

Задайте лимиты пространства модели как условные границы прямоугольной области, в которой размещается модель (изображение контура). Задание лимитов не является обязательным, но рекомендуется.

Для плоского контура размеры изображения ограничены областью ориентировочно 200×250 мм. Округлим их до размеров формата А4 и зададим как лимиты пространства модели:

- ❑ limits / 0,0 / 210,297;
- ❑ zoom / All (Покажи все) или кнопка *5* (см. рис. 1.10) – область лимитов растянута до размеров экрана.

Для наглядного отображения области лимитов достаточно в МСК включить сетку <F7>.

- О настройке пространства листа см. разд. 3.6.

Задайте слои

Назначение и работа со слоями рассмотрены в разд. 2.10. Сейчас понадобятся 4…5 новых слоев. Для их создания и настройки выполните:

- layer / в окне настройки слоев (см. рис. 2.4) создайте новые слои с именами *Контур*, *Оси*, *Размеры*, *Штамп*, *Окно*; присвойте слоям различный цвет; для слоя *Контур* установите толщину линии 0.5…0.8, для слоя *Оси* загрузите и установите тип линии Center, сделайте этот слой текущим / OK.

3.4. Контур "Коромысло"

Рассмотрим последовательность построения чертежа, показанного на рис. 3.1. Предполагаем, пакет загружен и предварительные настройки выполнены.

Разметка

Разметка предусматривает определение основных соотношений, проведение осей, вспомогательные построения и т.д. В рассматриваемом примере разметка сводится к построению осевых линий (рис. 3.2):

- включите режим ортогональных построений, указав кнопку **ORTHO** в статусной строке или нажав клавишу <F8> клавиатуры;

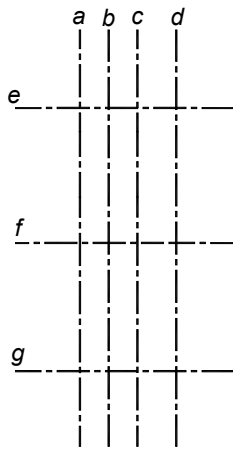


Рис. 3.2. Разметка осей



Рис. 3.3. Фрагмент панели **Layers**, где показан текущий слой *Оси*

- убедитесь, что текущим является слой *Оси* или установите его текущим (рис. 3.3);
- приблизительно по середине экрана командой **LINE**  проведите отрезки вертикальной *b* и горизонтальной *f* осевых линий (см. рис. 3.2). Длину отрезков можно задать произвольно, с запасом. Удобно для разметки применить конструктивные линии "бесконечной длины" – команда **XLINE**  .

Остальные оси можно размножить командой **COPY (КОПИРОВАТЬ)** или **OFFSET (ПОДОБИЕ)**. Применим второй вариант:

- offset или укажите кнопку  / задайте расстояние сдвига 60 / укажите горизонтальную ось *f* / укажите точку выше оси как направление создания подобной линии / – построена ось *e*;
- выполните правый клик (повтор предыдущей команды) / задайте расстояние 56 / вновь выберите ось *f* и укажите точку ниже этой оси / – построена ось *g*;
- на основе оси *b* постройте оси *a*, *c*, *d*, задав для первых двух смещение 13 (влево или вправо), а для третьей 30 (см. рис. 3.1).

Поочередно укажите построенные линии. По информации в панели инструментов **Properties** убедитесь, что линии обладают свойствами слоя, на котором они построены, то есть являются штрихпунктирными и имеют цвет этого слоя.

Элементы контура

Установите в качестве текущего ранее созданный слой *Контур*:

- в панели Layers найдите окно свойств текущего слоя (см. рис. 3.3). В нем указан текущий слой – сейчас это слой *Оси*, на котором выполнялась разметка. Укажите стрелку “вниз”, в раскрывшемся списке укажите строку с именем нужного слоя *Контур* – это имя должно остаться в окне после закрытия списка.

Начнем с построения контуров *m, n* – два прямоугольника со скруглениями (рис. 3.4). Для удобства задания размеров перенесем начало координат в точку пересечения осей *a* и *e*. Перенос осуществляется командой **UCS**, задающей так называемую *Пользовательскую систему координат* (ПСК, см. разд. 2.6). Точку пересечения осей нужно указывать с применением объектной привязки (см. разд. 2.4):

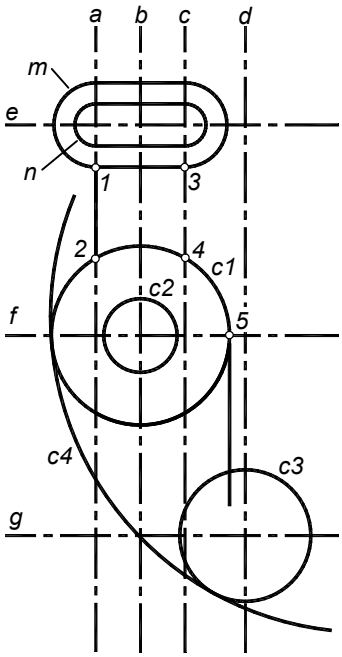


Рис. 3.4. Построение элементов контура

- **ucs / Origin** (Начало) или кнопка  / сочетание клавиш <Shift>+ПЩ (ПЩ – правая кнопка мыши) / в возникшем контекстном меню укажите привязку **Intersection** (Пересечение) / подведите курсор к пересечению осей *a* и *e*, дождитесь подтверждения объектной привязки и укажите (щелчок левой кнопкой мыши) точку пересечения – пиктограмма осей перешла в указанную точку. В этой точке сейчас находится начало координат 0,0.

Строим внутренний контур *n*:

- **rectang** (Прямоугольник) или кнопка  / F (опция **Fillet** – Скругление) / fillet radius (Радиус скругления): введите 6 / first corner point (Первый угол): –6,–6 / other corner point (Другой угол): задайте приращение координат, введя @32,12 – построен прямоугольник со скруглениями в угловых точках.

Наружный контур *m* создадим смещением внутреннего на 6 мм:

- **offset** / 6 – это величина смещения / укажите построенный прямоугольник *n* и точку вне его.

Построим концентричные окружности *c1*, *c2* и окружность *c3*, центры которых определены разметкой как точки пересечения осевых линий:

- **circle** (или кнопка ) / с объектной привязкой **Intersection** укажите центр окружности как пересечение осей *f* и *b* / *d* / 50 – построена окружность *c1* ∅50;
- создайте остальные две окружности ∅20 и ∅38.

Проверьте толщину линий созданных элементов:

- укажите кнопку  в статусной строке – элементы должны принять толщину, установленную на слое *Контур*. Для последующих построений рекомендуем отключить толщину линий, повторно указав ту же кнопку.
- Оставаясь на слое *Контур,* командой **LINE** постройте отрезки *1-2*, *3-4* (см. рис. 3.4). Точки нужно указывать с объектной привязкой **Intersection.**

Проведите вертикальный отрезок из точки *5*:

- **line** / укажите с объектной привязкой **Intersection** или **Quadrant** точку *5* / в режиме **ORTHO** переместите курсор вниз и укажите нижнюю конечную точку отрезка вблизи окружности *c3*, вне ее или внутри.

Сопряжения элементов контура

Плавные сопряжения элементов по окружности выполняются либо построением касательной окружности, для этого в команде **CIRCLE** имеются опции вычисления точек касания, либо командой **FILLET** (**СОПРЯЖЕНИЕ**).

Построим окружность *c4* радиусом 90 (см. рис. 3.1, 3.4), касательную к окружностям *c1* (∅50) и *c3* (∅38). Касательную окружность позднее обрежем, оставив только дугу сопряжения. Положение касательной окружности определяется точками указания сопрягаемых окружностей. Поэтому, если будет построена касательная окружность иного положения, чем на рис. 3.4, то измените точки указания:

- **circle / Ttr** (опция **Касательная, касательная, радиус**) / укажите точку в левом верхнем секторе окружности *c1* и точку в левом нижнем секторе окружности *c3* / задайте радиус 90.

Сопряжения в точках *1…4* выполним командой **FILLET**. В точках *1* и *3* команду нужно применить с опцией **No trim (Не обрезать**), а в точках *2* и *4* – с опцией **Trim**. Для сопряжения в точках *1*, *3* необходимо предварительно командой **EXPLODE** расчленить контур *m*:

- **explode** (кнопка ) / укажите контур *m* – контур распался на две дуги и два отрезка;
- **fillet** (кнопка ) / **R** (опция **Radius**) / 6 / **T** (опция, уточняющая режим сопряжения) / **N** – опция **No trim** (Не обрезать) / укажите отрезок и дугу скругленного прямоугольника в районе точки *1* / ПЩ – повтор команды / укажите отрезок и дугу в районе точки *3*;
- **fillet** / **R** / 9 / **T** / **T** / укажите окружность ∅50 рядом с точкой *2* и отрезок *1-2* / ПЩ / укажите окружность ∅50 рядом с точкой *4* и отрезок *3-4*;
- **fillet** / **R** / 20 / укажите отрезок рядом с точкой *5* и окружность ∅38 вблизи точки сопряжения.

Редактирование контура

Подрежем линии контура, применив команды редактирования **TRIM (ОБРЕЗАТЬ) и BREAK**:

- **trim** (кнопка ) / укажите в качестве режущих кромок окружности ∅ 50 и ∅ 38 // укажите окружность *c4* (R90) со стороны удаления.

Подрежьте осевые линии, они должны выступать за контур на 3…5 мм:

- **break**  / укажите точку в месте обрыва линии / укажите точку за линией со стороны обрыва.

Редактировать осевые линии можно "ручками":

- включите режим **ORTHO**;
- укажите линию – возникли ручки, переместите конечную ручку в нужное положение.

3.5. Основы простановки размеров

Простановка размеров на чертеже – это “почти искусство”. Размеры должны быть проставлены так, чтобы при изготовлении детали рабочий легко их находил на чертеже, и ему не нужно было производить каких-либо вычислений.

Согласно ГОСТ 2.307–68 количество размеров на чертеже должно быть минимальным, но достаточным для изготовления и контроля изделия. Не допускается повторять размеры одного и того же элемента на разных изображениях. Размерные линии предпочтительно наносить вне контура изображения. Выносные линии должны выходить за концы стрелок на 1…5 мм. Минимальное расстояние между параллельными размерными линиями должно быть 7 мм, а между размерной и линией контура – 10 мм. Необходимо избегать пересечения размерных и выносных линий.

Команды простановки размеров сосредоточены в главном меню **Dimension** (Размеры). Для удобства работы выведите на экран одноименную панель инструментов (рис. 3.5).

Сейчас приведем начальные сведения о простановке размеров, необходимые для построения чертежа плоского контура. В последующих главах эти сведения будут дополнены (см. разд. 4.4…4.6, 7.8).

Настройка размерных параметров. Размерный стиль

Простановка размеров начинается с настройки размерных параметров. К ним относятся величина стрелок, шрифт и высота размерного числа, отступ выносных линий от контура изображения, зазор между размерной линией и текстом, точность и др. Параметры объединены в *Размерный стиль*. Чертеж может содержать несколько размерных стилей. В новом рисунке содержится исходный размерный стиль, как правило, ISO-25, настройки которого не в полной мере соответствуют требованиям ГОСТ 2.307 на простановку размеров, поэтому необходим новый размерный стиль.

Размерный стиль с обязательными настройками

Взяв за основу исходный размерный стиль ISO-25, создадим несколько стилей для выполнения учебных заданий нашего курса. В первом стиле выполним настройки, необходимые в соответствии с ГОСТ 2.307:

- **`dimstyle`** или укажите кнопку  / возникло диалоговое окно **Dimension Style Manager** (Диспетчер размерных стилей) / укажите стиль ISO-25, который берем за основу / укажите кнопку **New** (Новый) / задайте имя нового стиля, например, 1 / **Continue** – возникло следующее диалоговое окно, в верхней части которого видны закладки по группам параметров;
- укажите закладку **Lines** (Линии) / в поле **Extension Lines** (Выносные линии) задайте **Extend Beyond Dim Lines** (Удлинение за размерную) 2…4, **Offset From Origin** (Отступ от объекта) 0 / **ОК**;
- укажите закладку **Symbols and Arrows** (Символы и стрелки) / задайте **Arrow Size** (размер стрелки) 4…5 / **ОК**;
- укажите закладку **Text** (Текст) / задайте **Text Style** (Стиль текста), указав в нем тип шрифта, близкий к чертежному (см. разд. 2.7) / установите **Text Height** (Высота шрифта) 3.5 или 5 – это стандартная высота шрифта для размеров / В поле **Text Placement** (Размещение текста) задайте **Vertical**: Above (Над линией), **Horizontal**: Centered (По центру), **Offset from**



Рис. 3.5. Панель инструментов простановки размеров **Dimension**

Dim Line (Отступ от размерной линии) 0.6…1 / В поле **Text Alignment** (Ориентация текста) задайте **Aligned with Dimension Line** (Вдоль размерной линии) / ОК;

- укажите закладку **Fit** (Размещение) / убедитесь, что установлены режим **Either Text or Arrows, Best Fit** (Либо текст, либо стрелки, оптимально) и **Beside the Dimension Line** (Перемещать размерную линию) / задайте режимы **Place Text Manually** (Размещение текста вручную) и **Draw Dim Line Between Ext Lines** (Размерная линия между выносными) / **ОК**.

При выполнении учебных заданий размерные числа будем округлять до 0.5 (позднее, в машиностроительных чертежах до 0.1):

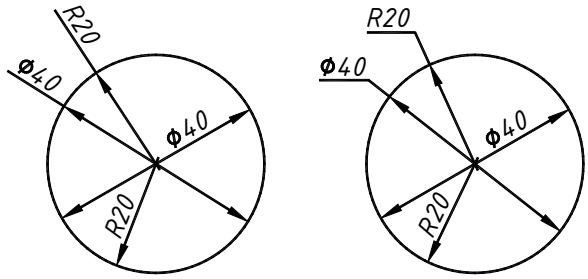
- укажите закладку **Primary Units** (Основные единицы) / **Precision** (Точность) – 0.0, **Round off** (Округление) – 0.5 / включите **Zero suppression** (Подавление нулей) **Trailing** (Хвостовые) / **ОК**;
- укажите **Set Current** / **ОК** – создан и установлен текущим новый размерный стиль.

Дополнительные настройки размерного стиля

На основе обязательного стиля создают необходимое количество стилей с дополнительными настройками. Дополнительные стили отражают различные варианты простановки размеров при сохранении обязательных настроек. Рассмотрим дополнительные настройки при простановке радиальных и диаметральных размеров, связанные с особенностями размещения размерного числа и размерных стрелок.

Созданный выше стиль 1 обеспечивает простановку размерного числа вдоль размерной линии, независимо от того, находится число внутри или вне окружности. Число можно вынести за окружность. Вынос осуществляется либо автоматически при малых размерах окружности, либо это делает пользователь, поскольку в стиле предусмотрена ручная корректировка положения числа. Если число вынесено за окружность, то стрелки также автоматически выносятся за окружность. Этим стилем на рис. 3.1 проставлены все радиальные размеры и диаметральный ∅20. Взяв за основу стиль 1 с обязательными настройками, создадим еще три размерных стиля простановки радиальных и диаметральных размеров.

Стиль 2 (рис. 3.6, *а*) проставляет число вдоль размерной линии, независимо от того, находится число внутри или вне окружности, но стрелки всегда остаются внутри окружности. Этим стилем на рис. 3.1 проставлены размеры ∅38, ∅ 50:



а) *б)*

Рис. 3.6. Варианты стиля простановки размеров: *а* – вынос числа на продолжение размерной линии; *б* – на горизонтальную полку

- **`dimstyle`** / укажите стиль 1 (это наш предыдущий стиль с обязательными настройками) / укажите кнопку **New** (Новый) / задайте имя нового стиля, например, 2 / **Continue**;
- укажите закладку **Fit** (Размещение) / задайте режимы **Text** (Текст) / **ОК** / **ОК**.

В стиле 3 (см. рис. 3.6, *б*) вынесенное число помещается на горизонтальную линию-выноску (полку), а внутреннее ставится над размерной линией. Для создания стиля 3 (см. рис. 3.6, *б*) возьмите за основу только что созданный стиль 2 и добавьте:

- в закладке **Text** (Текст) в поле **Text Alignment** (Ориентация текста) задайте **ISO Standard** (Согласно ISO**)** / ОК.

В стиле 4 во всех случаях число ставится на полку (см. рис. 3.8). Для этого стиля нужно за основу взять стиль 3 и добавить:

- в закладке **Fit** (Размещение) / задайте режимы **Text** (Текст) и **Over the Dimension Line, with Leader** (Строить выноску) / **ОК**.

Варианты простановки размеров. Ассоциативные размеры

Первый вариант – при выполнении команды простановки размера указывают две начальные точки выносных линий, а затем положение размерной линии. Второй вариант – после <Enter> выбирается объект, на который ставится размер, например, отрезок, и требуется указать только положение размерной линии. В обоих вариантах система считывает размер с изображения и выводит его значение в командную строку в виде предложения, заключенного в угловые скобки. При согласии с предложением достаточно указать положение размерной линии. Третий

вариант – при несогласии с предложением нужно задать опцию **Text**, набрать свой текст и далее указать положение размерной линии.

Размер может быть *ассоциативным*, то есть связанным с объектом. В этом случае при изменении объекта автоматически изменяется его размер (или размеры). Режим ассоциативности включается при задании системной переменной **DIMASSOC**=2, и отключается при 1. Проверим:

- **line** / начертите отрезок прямой;
- введите с командной строки: **DIMASSOC** / задайте 1 (обычно, это значение задано по умолчанию);
- **dimlinear** (**РЗМЛИНЕЙНЫЙ** или кнопка ) / правый щелчок мыши для выбора объекта / укажите отрезок / отведите курсор вверх или вниз и укажите положение размерной линии – проставлен *неассоциативный* горизонтальный размер отрезка;
- **DIMASSOC** / задайте 2;
- **dimlinear** / правый щелчок мыши / укажите отрезок / отведите курсор влево или вправо и укажите положение размерной линии – проставлен *ассоциативный* вертикальный размер отрезка;
- укажите отрезок и ручками измените его положение: переместите конечные точки или весь отрезок.

Горизонтальный размер, как неассоциативный остался на месте. Вертикальный размер, ассоциативный, отрабатывает изменение отрезка.

Примеры простановки размеров

Проставим ряд размеров контура согласно его чертежа (см. рис. 3.1):

- перейдите на слой *Размеры*;
- **dimlinear** / с объектной привязкой укажите концы верхней и средней горизонтальных осевых линий, отведите курсор влево примерно на 10...12 мм и укажите положение размерной линии – проставили размер 40;
- **dimcontinue** (размер продолженный, кнопка ) / укажите конец нижней горизонтальной оси / ПЩ – проставили размер 38.

Все радиальные и диаметральные размеры на рис. 3.1 поставлены без линий выносок. Поэтому применим стиль стиль 2 (см. рис. 3.6, *а*):

- **dimstyle** / настройте размерный стиль;
- **dimradius** (радиус, кнопка ) / укажите одну из дуг сопряжения и перемещением курсора определите положение размера и размерного числа;
- **dimdiameter** (диаметр, кнопка ) / укажите точку окружности / укажите положение размерной линии и размерного числа.

Подобным образом проставьте остальные размеры на чертеже плоского контура.

Редактирование размеров

Для изменения размерных параметров, например, величины стрелок или особенностей размещения стрелок и текста, нужно скорректировать настройку размерного стиля, которым проставлены размеры:

- **dimstyle** / выполните корректировку размерных параметров стиля – размеры данного стиля обновлены с новыми значениями размерных параметров.

Если требуется единообразно изменить размер стрелок, высоту шрифта и выступ выносных линий за размерные, например, все увеличить в 1.5 раза, то целесообразно не корректировать каждую настройку, а изменить глобальный размерный масштаб:

- **dimstyle** / укажите закладку **Fit** / **Use Overall Scale Of** (Глобальный размерный масштаб) 1.5.

Для редактирования размерного текста можно применить одну из команд: **DDEDIT, PROPERTIES**, **QUICK PROPERTIES.** Например:

- **Modify** (Редакт) / **Object (**Объект) / **Text** (Текст)/ указать редактируемый размер / в возникшем окне текстового редактора ввести новый текст / **ОК**.

Для изменения положения размерной линии, выносной линии или положения размерного числа применяют редактирование с помощью ручек:

- укажите какой-либо размер – возникли ручки;
- укажите нужную ручку и переместите ее в новое положение.

Широкие возможности редактирования геометрии размера и размерного текста дает команда **DIMEDIT (РЗМРЕД)**.

3.6. Оформление чертежа

Изображения чертежа созданы в пространстве модели. Завершать чертеж, то есть решать вопросы компоновки, масштабирования и окончательного оформления чертежа будем в пространстве листа (см. разд. 3.2).

Сейчас рассмотрим, как это сделать для простейшего чертежа, требующего лишь одно видовое окно. Таким является чертеж плоского контура, содержащий одну проекцию (изображение).

Чертеж может содержать несколько изображений. Тогда для него требуется несколько видовых окон с разной настройкой. Для многооконного чертежа сохраняется такой же выход на лист, настройки листа и вставка формата, рассмотренные в настоящем разделе. Однако настройки окон выполняются иначе (см. разд. 4.4).

Выход на лист. Настройка листа

Для перехода в пространство листа:

- в нижней части экрана, в строке закладок укажите закладку **Layout1**;
- если возникло окно настроек страницы листа, согласитесь с предложенными в окне настройками и ОК – покиньте окно.

Вы перешли в режим, предназначенный для оформления чертежа и вывода его на печать. В углу экрана показана пиктограмма ПСК, имеющая вид треугольника. Изображение видно из пространства модели через дежурное видовое окно.

- Удалите дежурное видовое окно. Для этого, находясь в пространстве листа, сдвиньте изображение так, чтобы стала видна рамка окна, и сотрите это окно – чертеж (модель) временно исчез;
- настройте шаг 1, сетку 5.

Далее нужно выбрать формат чертежа. О выборе формата см. разд. 4.4. Для чертежа плоского контура подходит (и по заданию требуется) формат А4.

После выбора формата желательно задать лимиты листа по размерам формата. Можно включить или отключить отображение страницы печати (см. разд. 2.15).

Построение рамки и штампа

Предположим, имеется файл с именем *a4.dwg*, содержащий рамку и основную надпись (штамп) формата А4. Тогда достаточно применить команду **INSERT(ВСТАВИТЬ):**

- создайте и сделайте текущим слой *Штамп*;

- **`insert`** / в диалоговом окне укажите **File** (Обзор) / найдите и укажите файл *a4* / **OK**;
- укажите точку вставки 0,0 / согласитесь с остальными предложениями диалогового окна / **ОК** – рамка и основная надпись вставлены на лист.

Если файла с форматом нет, то его нужно будет создать, взяв размеры штампа по ГОСТ 2.104–68, или найти файл, например, в интернете.

Открытие видового окна, масштаб и блокировка окна

Чтобы увидеть модель из пространства модели (в нашем случае вычерченный контур), нужно создать на листе новое видовое окно. Границы окна совместим с границами рабочей зоны чертежа. Новое видовое окно создается командой **`VPORTS (ВЭКРАН)`**:

- сделайте текущим слой *Окно*;
- **`-vports`** / в рабочей зоне чертежа укажите два противоположных угла создаваемого окна – возникло изображение модели;
- активизируйте созданное окно, например, дважды щелкните по нему левой кнопкой мыши или укажите кнопку **Paper** в статусной строке – перекрестие курсора должно перемещаться только внутри окна, а вне его границ принимать вид стрелки.

Масштаб чертежа определяется отношением истинных размеров объекта, задаваемых при его построении в пространстве модели, к размерам отображения на листе. В нашем примере нужен масштаб 1:1 (работа с другим масштабом требует некоторых дополнительных настроек и рассмотрена в разд. 4):



Рис. 3.7. “Быстрые свойства” видового окна

- активизируйте кнопку быстрых свойств (см. разд. 2.13) и, находясь на листе, укажите рамку видового окна – возникло окно быстрых свойств видового окна (рис. 3.7);
- задайте в окне необходимый стандартный масштаб, сейчас 1:1.

Далее, “провалившись в окно”, командой **`PAN`** панорамируйте (перемещайте) изображение внутри окна. Скорректировав изображение, вновь откройте окно быстрых свойств, убедитесь, что не нарушен масштаб отображения и заблокируйте окно от возможных нарушений масштаба:

- на строке “Показ блокированного” поставьте *Да*.
- Настройку масштаба видового окна и его блокировку можно выполнить также указанием кнопок строки состояния чертежа (см. рис. 1.2, поз. 7′) или командой **`PROPERTIES (ОКНОСВ)`**. Блокировать окно удобно через контекстное меню: указать рамку окна, выполнить правый клик, в возникшем контекстном меню указать строку **Display Locked / Yes** (Показать блокированные / Да).

У заблокированного окна можно ручками редактировать размеры окна, можно выполнять в нем построения. Командой **`MOVE`** можно перемещать на листе все окно с его содержимым. Однако для изменения масштаба отображения объектов окна или их панорамирования, окно необходимо разблокировать. Разблокирование выполняется теми же командами.

Для того, чтобы рамка видового окна была не видна, нужно заморозить слой, на котором она размещена.

3.7. Завершение чертежа

Осталось заполнить “штамп” и выполнить ряд корректировок.

Заполнение основной надписи

- Предварительно командой **STYLE** создадим стиль текста, задав в нем тип и параметры шрифта, близкие к чертежному (см. разд. 2.7).

Для заполнения основной надписи используем команду **DTEXT**:

- увеличьте область штампа на весь экран;
- **dtext** / укажите начальную точку / задайте высоту текста, например, 2.5, 3.5, 5, 7, 10 в зависимости от высоты заполняемой графы / <**Enter**> – согласитесь с горизонтальным положением строки / вводите текст / завершите ввод двойным нажатием <**Enter**>.

Если слово (фамилия) по длине не вмещается в графу, то примените опцию **Fit**:

- **dtext** / **Justify** (Выравнивать) / **Fit** (Подогнать) / укажите курсором начало и конец текста / установите высоту текста / введите текст //.

Если штамп предварительно заполнен, то целесообразно не переписывать надписи в его графах, а отредактировать, выполнив двойной левый клик по имеющейся надписи.

Корректировка толщины линий контура

Линии видимого контура должны иметь толщину 0.7…1 мм (см. разд. 2.2). Как правило, на момент построения толщина линий задана как *Bylayer* (по слою). Это свойство отображено в окне панели инструментов **Properties**. В этом случае требуемое значение толщины нужно задать командой **LAYER** в столбце **Lieight** диалогового окна, как толщину всех линий слоя, на котором выполнены линии контура.

Если толщина линий была задана каким-либо значением, например, 0.7, то она не зависит от свойств слоя и редактируется в окне панели инструментов **Properties** или командой **PROPERTIES** (см. разд. 1.14).

Толщина линий соответствует своему значению при просмотре только из пространства листа.

Корректировка шага прерывистой линии

Длина штриха осевой линии должна находиться в пределах 10…20 мм. Иначе необходимо скорректировать линейный масштаб. Для одновременного изменения шага всех прерывистых линий файла:

- Меню **Format** (Формат) / **Linetype** (Тип линии) / в возникшем окне укажите **Details** (Детали) / измените значение **Global scale factor** (Глобальный масштаб), задав его, например, равным 2 или 0.5 / **OK**.

Команда **PROPERTIES** позволяет задать шаг каждой линии в отдельности. Для этого в диалоговом окне команды нужно найти строку **Linetype Scale** и изменить приведенное значение масштаба.

3.8. Вывод чертежа на печать

Вывод на печать – это не только завершающая операция. Печатать нужно и промежуточные результаты, поскольку с экрана ошибки зачастую не воспринимаются. К тому же, замечания преподавателя лучше зафиксировать на бумаге.

Если к компьютеру подключен принтер, то печать выполняется непосредственно из AutoCAD’а. Если принтера нет, то нужно установить драйвер принтера, на котором предполагается распечатка, и вывести результаты из пакета в файл. Затем перенести файл на компьютер, к которому подключен принтер, и распечатать. Пакет AutoCAD на втором компьютере не нужен.

Вывод на печать рекомендуется выполнять из пространства листа, которое для этого и предназначено. В наших примерах это условие выполнено, так как объекты чертежа либо вынесены на лист, либо отображены на лист через видовые окна.

Рассмотрим пример распечатки чертежа на принтере, предназначенном для работы с форматом А4. Это большинство офисных и домашних принтеров. Предварительно:

- по виду пиктограммы ПСК (треугольник) убедитесь, что установлен режим листа или перейдите в этот режим;
- если принтер не поддерживает цветную печать, убедитесь, что подготовленный к печати чертеж выполнен черными линиями на белом фоне, иначе цветные линии будут передаваться как серые;
- включите кнопку  отображения толщины (веса) линий чертежа.

Чертеж формата А4

Настройка и вывод на печать выполняются командой **`PLOT (ПЕЧАТЬ).`** Ее можно вызвать из главного меню **File** (Файлы) / **Plot** (Печать), по кнопке  или с командной строки:

1. **`plot`** – возникло диалоговое окно **Plot**.

2. В правом нижнем углу окна **Plot** укажите стрелку – раскроется правая часть окна с дополнительными опциями.

3. В поле **Printer / Plotter** задайте принтер, на котором будет выполняться печать. Принтер можно найти в окне раскрывающегося списка поля **Name**.

4. Если печать предполагается на другом компьютере, то активизируйте кнопку **Plot to File** (Печать в файл).

5. В поле **Drawing Orientation (**Ориентация рисунка), расположенном в правой нижней части окна, установите **Portrait** (Портретная, Книжная).

6. В поле **Paper Size** (Размер бумаги) установите формат А4. В поле предварительного просмотра, где изображен лист бумаги, прочтите размеры листа, они должны быть 210 мм на 297 мм. Установив курсор на изображение листа бумаги, прочтите размер области печати.

Область печати всегда меньше, чем размер листа бумаги. Например, для принтера HP DeskJet 690C будет выведен размер области печати 201.6 × 276.2 мм. Учитывая, что высота внутренней рамки формата А4 составляет 287 мм, приходим к выводу, что чертеж формата А4 не может быть полностью напечатан на лист А4. Потребуется уменьшение в масштабе 276.2 : 287 = 1 : 1.04 или 0.96.

7. В поле **Plot Area** задайте область экрана, подлежащую выводу на печать. Для этого в списке **What to Plot** (Что печатать) укажите **Window** (Окно). Если этот выбор уже был ранее сделан, то укажите расположенную рядом кнопку **Window** для переопределения области печати. На экране охватите *внутреннюю* рамку формата.

Внутреннюю рамку нужно выбирать (охватить) независимо от того, каков формат чертежа: А4 или А3. Перед указанием углов рамки следует увеличить область отображения вблизи угла рамки. Указание нужно сделать *без объектной привязки*, снаружи линии рамки.

8. В поле **Plot scale** задайте масштаб печати. Для этого в поле **Scale** установите первоначально масштаб 1:1. В этом случае в окне отображения листа бумаги возникает красная полоса, сигнализирующая, что выводимый чертеж не размещается в области печати принтера. Поэтому в поле **Units** (ед. чертежа) введите значение 1.03…1.05, добиваясь исчезновения указанной красной полосы в окне предварительного просмотра.

Чем меньше введенное значение **Units**, тем ближе масштаб напечатанного чертежа к 1:1. При значении **units** равном 1.05 масштаб чертежа после вывода на печать составит 1:1.05, то есть 0.95. Таков вынужденный масштаб уменьшения при условии полного размещения чертежа на листе бумаги А4 на выбранном принтере. О печати строго в масштабе 1:1, см. ниже.

9. В поле **Plot Offset** задайте отступ чертежа по оси X равным 15…20 мм. Это обеспечит поле предусмотренное в левой части формата А4 (для подшивки чертежей в отчет).

10. Укажите кнопку **Preview** (Предварительный просмотр) в левом нижнем углу диалогового окна.

В окне просмотра убедитесь, что внутренняя рамка формата А4 полностью отображена на листе, при этом левое поле чертежа составляет приблизительно 20, а правое 5 мм. При выводе формата А3, который печатается на двух листах (см. ниже), правое поле контролируется по второй части чертежа. Кнопками управления, расположенными в верхней части окна просмотра, увеличив чертеж, проверьте передачу толщины линий. Для завершения просмотра укажите клавишу <Esc> – произошел возврат в диалоговое окно настройки печати.

Если просмотр выявил недостатки настройки печати, устраните их, переопределив настройки окна **Plot**, и повторите просмотр в окне **Preview**.

11. После завершения настроек укажите кнопку **Apply to Layout** (Применить к листу) – настройки будут сохранены и привязаны к текущей закладке листа. Иначе при печати второго чертежа из текущего файла, например, правой части формата А3, настройки печати придется повторить заново.

12. OK – чертеж отправлен на печать. Если был задан режим сохранения в файл, то откроется диалоговое окно, в котором следует задать директорию и имя файла.

Вывод в масштабе 1:1

Если даже небольшое уменьшение масштаба при выводе на печать нежелательно, то в п. 8 нужно задать масштаб 1:1. Распечатать придется на два листа с последующей их склейкой. Область печати на втором листе должна быть задана со смещением по оси Y, равным –10…–20.

Чертеж формата А3

Чертежи формата А3 мы будем выполнять в последующих заданиях. При использовании принтера с размером бумаги А4, чертеж А3 можно распечатать как минимум на двух листах, левом и правом. Повторите предыдущую последовательность действий – будет распечатана или сохранена в файл левая часть чертежа.

Для распечатки правой части вновь вызовите окно печати **Plot** и, *не изменяя области чертежа и масштаба*, задайте в поле **Plot Offset** смещение по оси X = –175…–185. Повторите предварительный просмотр, контролируя размещение на странице правой границы рамки формата чертежа.

Отправьте правую часть чертежа на печать или в файл. При выводе в файл задайте имя файла для правой части чертежа.

Вывод на печать из файла

Допустим, результаты были сохранены в файл с именем *name* (это полное имя файла, включающее расширение *plt* или *prn*). Для вывода этого файла на печать достаточно выполнить команду *"copy name /B prn" или "copy name /B LPT1:"*. Выполнить эту команду можно из окна команд *Windows* или из оболочки *Norton Commander* или ей подобной.

3.9. Другие примеры плоского контура

Рассмотрим ряд характерных примеров построения плоских изображений, полезных при выполнении как текущего, так и последующих контрольно-графических заданий.

Контур "Прокладка"

В AutoCAD'е имеются эффективные средства, ускоряющие построение изображений с повторяющимися элементами. Это команды **MIRROR** (**ЗЕРКАЛО**) и **ARRAY** (**МАССИВ**). Применение этих команд рассмотрим при построении прокладки (рис. 3.8).

Прокладка образована наружным и внутренним контурами. Наружный контур содержит два сектора m и прямоугольник n со скруглениями в углах. Секторы расположены симметрично относительно вертикальной оси, угол между осями секторов равен 60°. По углам прямоугольника выполнены четыре крепежных отверстия. Секторы и прямоугольник сопряжены дугами окружностей R12 и R22. Внутренний контур образован центральным отверстием со шлицевыми пазами.

- Выполните предварительные настройки как в предыдущем примере. В том числе проведите две взаимно перпендикулярные оси и установите ПСК в точку их пересечения.

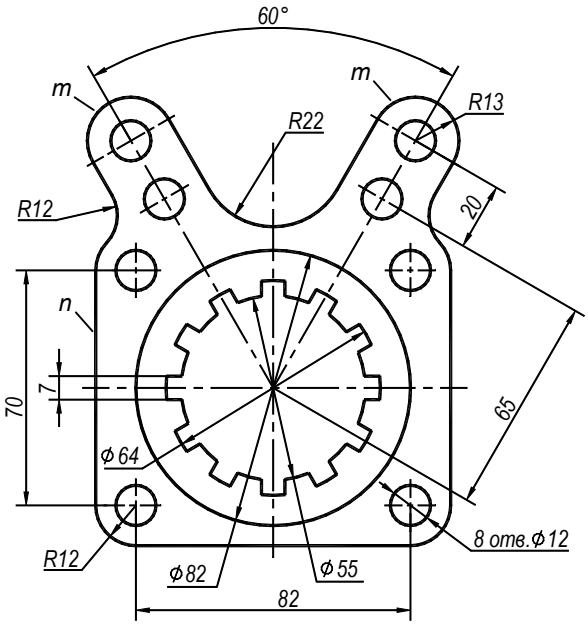
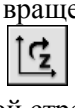


Рис. 3.8. Плоский контур *Прокладка*

Правый сектор. Построение сектора (рис. 3.9, *а*) существенно упрощается, если повернуть оси координат на 60°:

- **ucs / z** (опция вращения ПСК вокруг оси Z) или кнопка  / 60 – угол поворота против часовой стрелки;
- перейдите на слой *Оси*;
- **line** / 0,0 / 103,0 – построена продольная ось сектора;
- **line** / 85,–15 / 85,15 // 65,–7 / 65,7 / построены поперечные оси отверстий;
- перейдите на слой *Контур*;
- **circle** / 65,0 / 6 // 85,0 // – построены два отверстия радиусом 6, расположенные вдоль оси сектора;
- **pline** / 25,13 / 85,13 / a (опция **Arc** – Дуга) / @26<–90 / **L** (опция **Line**) / 25,–13 – построен наружный контур сектора.

Восстановите ПСК с горизонтальным положением оси X и началом в точке пересечения осей:

- **ucs / p** (опция **Prev** – предыдущая ПСК), кнопка  .

Левый сектор получим командой MIRROR зеркальным отображением правого относительно вертикальной оси (см. рис. 3.9, *б*):

- **mirror** или укажите кнопку  / выберите все элементы правого сектора, включая отверстия и их оси // с объектной привязкой **Endpoint** укажите конечные точки вертикальной оси //.

Наружный контур. В левой нижней части контура построим две концентрические окружности с осями (см. рис. 3.9, *а*); размножим эту группу элементов, создав из них прямоугольный массив командой **ARRAY (МАССИВ)**; проведем отрезки прямых, касательных к окружностям; выполним сопряжения контура дугами окружностей:

- **ucs / o** / –41, –35 – начало координат перенесено в центр отверстий;

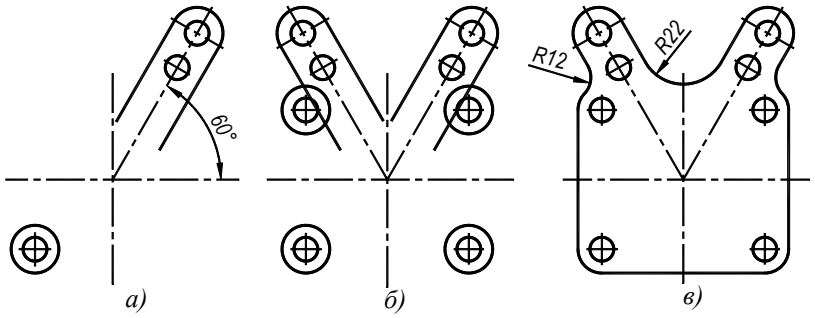


Рис. 3.9. Построение наружного контура прокладки:
а – исходные элементы; *б* – зеркальное отображение сектора
и массив отверстий; *в* – сопряжения

- на слое *Оси* постройте два отрезка – оси отверстий;
- вернитесь на слой *Контур* и постройте две окружности с центром в точке 0,0 радиусом 6 и 12;
- **array** или укажите кнопку  / задайте тип массива **Rectangular** (Прямоугольный) / выберите окружности и их оси / задайте количество рядов 2 / количество столбцов 2 / расстояние между рядами 70 / расстояние между столбцами 82 / **OK** – получено четыре группы отверстий (см. рис. 3.7, *б*);
- **line** / с объектной привязкой **Quadrant** или **Tangent** укажите сопрягаемые окружности / ПЩ – построен отрезок касательной прямой (см. рис. 3.9, *в*);
- постройте еще два касательных отрезка применительно к другим парам окружностей;
- **fillet** / **R** / 22 / укажите отрезки в месте их сопряжения дугой R22 // / **R** / задайте радиус 12 / укажите в левой части контура окружность и отрезок в месте их сопряжения дугой R12 // укажите такие же элементы в правой части контура;
- командами **TRIM** и **ERASE** удалите ненужные линии и сегменты контура.

Объединение сегментов наружного контура. Объединение необходимо для построения пространственного объекта, например, придания толщины путем выдавливания контура. Возможны два варианта объединения.

Объединение можно выполнить формированием области командой **REGION (ОБЛАСТЬ)** или объединением сегментов в единую полилинию командой редактирования полилиний **PEDIT (ПОЛРЕД)**:

- Сделайте текущим слой *Контур*; временно заморозьте слой *Оси*.

Создание области:

- **region (Область)**  / укажите сегменты наружного контура, можно сразу все выбрать рамкой – создана единая линия контура, ее цвет и толщина соответствуют слою *Контур*.

Признаком создания единой линии является появление в командной строке сообщения "1 Region created" (Создано: 1 область). При указании контура он выделяется как единая линия. Если объединения не произошло, найдите и устраните разрывы или пересечения элементов контура.

Второй вариант объединения – создание полилинии командой редактирования полилинии:

- **pedit (Полред)** / укажите один из сегментов контура / согласитесь с предложением преобразовать его в полилинию / **J** (опция **Join** – Добавление) / укажите остальные сегменты, рамкой /;
- разморозьте слой *Оси*.

Шлицевое отверстие. Построим профиль одного шлицевого паза, затем размножим его как круговой массив из 12 элементов (рис. 3.10):

- убедитесь, что ПСК имеет начало в точке пересечения осей и ось X расположена горизонтально;
- **circle** / 0,0 / **d (Диаметр)** / 64 // 0,0 / **d** / 55 – построены окружности наружной и внутренней поверхностей пазов (см. рис. 3.10, *а*);

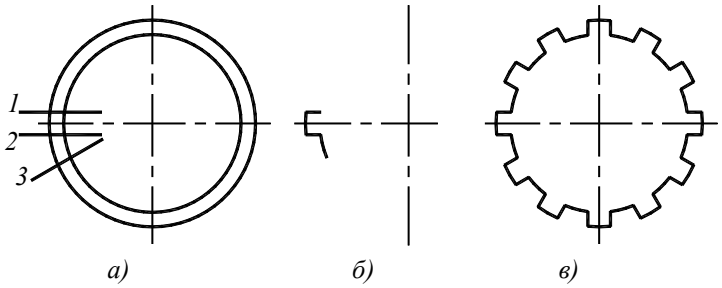


Рис. 3.10. Шлицевое отверстие: *а* – разметка; *б* – единичный паз; *в* – круговой массив

- **line** / –34,3.5 / –15,3.5 / – построен отрезок *1*;
- **copy** / укажите отрезок *1* // **Перемещение** / 0, –7 – это вектор перемещения – построен отрезок *2*;
- **copy** / вновь укажите отрезок *1* // **Перемещение** / 0,0 – построен дубликат отрезка *1*;
- **rotate** / укажите отрезок *1* или его дубликат // 0,0 / 30 – построен отрезок *3*;
- **trim** / Правый клик / укажите удаляемые сегменты – на экране должны остаться элементы, соответствующие профилю одного шлица – это две дуги и два отрезка (см. рис. 3.10, *б*);
- **array** / **Polar Array** (Круговой массив) / укажите элементы профиля одного шлица / 0,0 – центр массива / 12 – количество элементов массива / 360 – угол заполнения массива / режим **Rotate Items** (Поворачивать элементы) / **ОК** – построено шлицевое отверстие (см. рис. 3.10, *в*);
- **circle** / 0,0 / d / 82 – окружность Ø82;
- объедините элементы внутреннего контура в единую область или полилинию.

Контуры корпусной детали

Приводимые на рис. 3.11…3.13 контуры предназначены для построения корпусной детали, рассматриваемой в главе 18. В то же время они являются характерными, их форма качественно повторяется во многих деталях.

Контур основания

Особенностью контура на рис. 3.11 является сопряжение окружностей *c1* и *c2* дугой окружности *c3*, которая должна проходить через заданную точку *2*:

- постройте вертикальную и горизонтальную оси разметки и перенесите начало координат в точку их пересечения;
- **circle** / 26,21 / 9 – окружность *c1*;

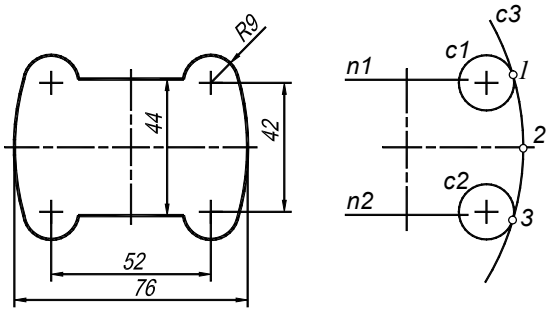


Рис. 3.11. Контур основания

- **circle** / 26, –21 / 9 – окружность *c2*;
- **circle** / **3P** (опция построения окружности по трем точкам) / для указания первой точки включите объектную привязку **Tangent** (Касательная), подведите курсор к окружности *c1* в ожидаемой точке касания, дождавшись подтверждения объектной привязки, укажите точку *1* / 38, 0 – это координаты точки *2* / третью точку окружности задайте так же, как первую точку – построена окружность сопряжения *c3*;
- командой LINE постройте горизонтальные отрезки *n1*, *n2* на расстоянии 22 мм от оси X;
- **trim** / Правый клик, что означает выбор всех линий в качестве режущих кромок / укажите сегменты окружностей и отрезков, подлежащие обрезке / – получена правая часть контура;
- зеркально отобразите правую часть контура относительно вертикальной оси разметки;
- объедините линии контура в область или полилинию (см. пример выше).

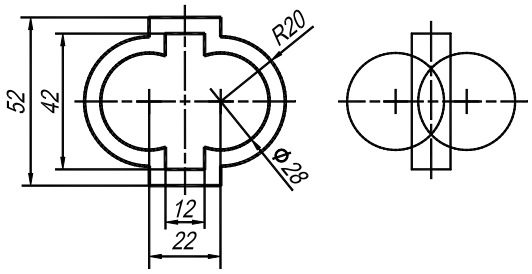


Рис. 3.12. Наружный и внутренний контур камеры

Контуры камеры

Построим внутренний контур (см. рис. 3.12), который формируется из двух окружностей и прямоугольника:

- постройте оси разметки и перенесите начало координат в точку их пересечения;
- circle / 11,0 / **D** (опция задания диаметра) / 28 – правая окружность;
- **circle** / –11,0 / **D** / 28 – левая окружность;
- **rectang** / –6,–21 – это левый нижний угол прямоугольника / **D** (опция **Dimensions** задания размеров) / **Length** (Длина): 12 / **Width** (Ширина): 42;
- **trim** // укажите сегменты окружностей и прямоугольника, подлежащие обрезке;

Для построения наружного контура учтем, что он смещен относительно внутреннего на постоянную величину 5 мм. Поэтому применим команду **OFFSET**, предварительно объединив сегменты внутреннего контура в единую полилинию. Объединять в область, в этом случае нельзя, поскольку команда **OFFSET** с областью не работает:

- объедините сегменты контура в единую полилинию (см. пример выше)**;**
- **offset** / смещение 5 / укажите внутренний контур и точку вне его.

Контур фланца

Контур образован дугами четырех окружностей и отрезками прямых линий, касательных к этим окружностям (см. рис. 3.13). Построив окружности по приведенным размерам, проводим касательные прямые:

- **line** / <Shift +ПЩ> / выберите привязку **Tangent** (Касательная) / подведите курсор к первой ожидаемой точке касания, дождитесь подтверждения объектной привязки и щелкните левой кнопкой мыши / подобным образом задайте вторую точку касания / – отрезок касательной построен;
- постройте еще три отрезка касательных прямых, два из них можно получить зеркальным отображением.

В завершение командой TRIM удалите внутренние сегменты исходных окружностей и командой **PEDIT** или **REGION** объедините сегменты контура.

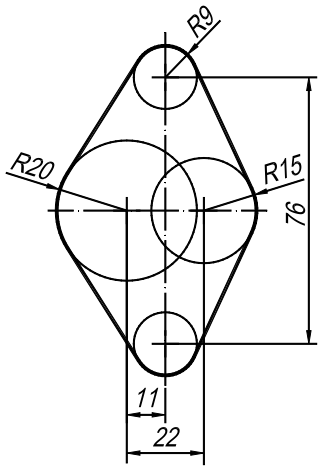


Рис. 3.13. Контур фланца

Крюк

Рассмотрим пример весьма сложных геометрических построений (рис. 3.14, *а*). Справившись с ними, можете считать, что техникой 2D-построений вы овладели.

Крюк содержит наружный и внутренний контуры, а также хвостовик с резьбой. Особенностью контуров являются многочисленные плавные сопряжения окружностей.

- Откройте новый файл. Выполните предварительные настройки, проведите две взаимно перпендикулярные осевые линии, установите ПСК в точку пересечения осей.

Строим наружный контур (рис. 3.14, *б*):

- **circle** / 0,0 / 16 – окружность *c1*;
- **circle** / 4,4 / 40 – окружность *c2*.

Для построения прямой *a*, применим команду XLINE, которая создает линию бесконечной длины, удобную для выполнения разметки. Позднее края этой линии можно обрезать, преобразовав ее в обычный отрезок **LINE**. Прямые *b* и *d* получим командой **OFFSET** последовательным смещением прямых на 14 и 24 мм:

- **xline** (конструктивная линия) / 0,0 / 4,4 – прямая *a*;
- **offset** / 14 – это величина смещения / укажите прямую *a* / укажите точку правее прямой *a* – построена прямая *b*;
- **offset** / 24 / укажите прямую *b* / укажите точку слева от прямой *b* – построена прямая *d*.

Строим верхнюю часть контура, примыкающую к хвостовику. Она определяется прямыми *e, f, g* и двумя окружностями *c3, c4*. Окружность *c3* касается отрезков *b*, *e* и окружности *c1*. Окружность *c4* имеет радиус 11 мм, касается отрезка *g* и окружности *c2*:

- **Draw (**Рисование) / **Circle** (Окружность) / **Tan, Tan, Tan** (Три точки касания) // укажите отрезки *b*, *e* и окружность *c1* вблизи предполагаемых точек касания – построена окружность *c3*.
- **circle** / **Ttr** (**Две точки касания и радиус**) / укажите отрезок *g* / укажите окружность *c2* вблизи предполагаемой точки касания / 11 (это радиус окружности) – построена окружность *c4*;

Переходим к построению "клюва", определяемого окружностями *c5, c6, c7*:

- **circle / Ttr /** укажите отрезок *d*, окружность *c1*, введите радиус 38 – построена окружность *c5*;
- **line** / –50,16 / в режиме **ORTHO** сместите курсор вправо и введите 30 / ПЩ – построен вспомогательный горизонтальный отрезок *h*;
- **circle / Ttr** / укажите отрезок *h*, окружность *c5*, введите радиус 6 – построена окружность *c6*;
- **circle / Ttr /** укажите окружность с6, окружность *c2*, введите радиус 38 – построена окружность *c7*;

В завершение удалите лишние сегменты контура:

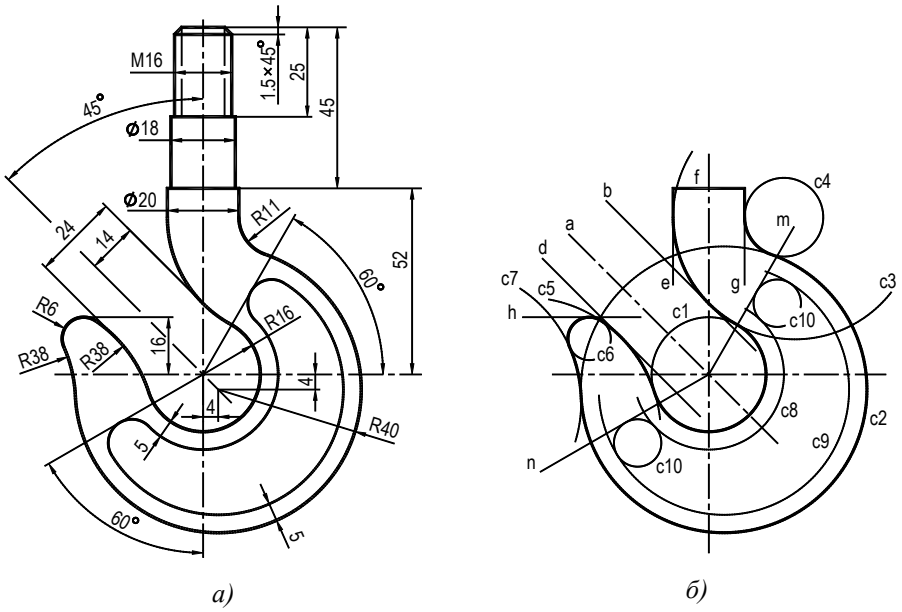
- **trim** / Правый клик / указывайте сегменты, подлежащие обрезке;
- **erase** / сотрите остальные лишние сегменты окружностей и отрезков.

Строим внутренний контур:

- **line** / 0,0 / @50<60 – вспомогательный отрезок *m*;
- **line** / 0,0 / @50<210– вспомогательный отрезок *n*;
- **offset** / 5 / укажите окружность *c1* / укажите точку вне окружности – построена окружность *c8*;

Далее командой **OFFSET** на основе окружности *c2* постройте окружность *c9*. Командой **CIRCLE** постройте две окружности *c10*, касательные к окружностям *c8*, *c9* и прямым *m* и *n*. Обрежьте и удалите лишние сегменты контура.

В завершение командой **PEDIT** или **REGION** объедините сегменты контуров. Самостоятельно постройте хвостовик с резьбой. Проставьте размеры, добавьте рамку формата А4 с основной надписью.



а) *б)*

Рис. 3.12. Контур “Крюк” (*а*) и его построение (*б*)

Глава 4

Чертеж детали. 2D-технология

Познакомившись с элементами интерфейса пакета AutoCAD, построением основных графических объектов, и выполнив условный учебный чертеж плоского контура, рассмотрим последовательность разработки “настоящего компьютерного” чертежа. Это рабочий чертеж несложной машиностроительной детали. Чертеж будем выполнять по традиционной 2D-технологии, в которой AutoCAD используется лишь как электронный кульман.

Построение 2D-чертежей это не только начальный этап освоения компьютерной технологии черчения. К 2D-технологии рационально обращаться при построении чертежей простых деталей, даже если владеешь несравнимо более мощной 3D-технологией.

4.1. Преимущества компьютерной технологии

Если вы хотя бы немного чертили на бумаге, вспомните огорчения, связанные с неправильным выбором формата чертежа или неудачной компоновкой, когда на ватмане не хватило места для дополнительного изображения или простановки размеров. В итоге чертеж, бывает, нужно строить заново.

Компьютерная технология устраняет подобные проблемы. Выполняя чертеж на компьютере, вы имеете большие возможности редактирования изображений, позволяющие в любой момент перенести, скопировать, удалить, изменить масштаб, заменить формат. В вашем распоряжении совершенный электронный рисовальщик, позволяющий провести безукоризненные линии, идеально выполнить надписи, упростить простановку размеров и т.д.

Следующее неудобство “бумажно-карандашной” технологии связано с применением масштаба при построении чертежа маленькой или, наоборот, большой детали: прежде чем нанести точку на чертеже, приходится постоянно умножать размер детали на масштаб. При выполнении “компьютерного” чертежа можно избежать этого осложнения. Уже известные вам средства позволяют отобразить на экран весь объект или его фрагмент любых размеров, больших или малых. Поэтому можно строить изображения в истинных размерах. Когда изображения построены, их можно легко привести к нужному масштабу и разместить внутри рамки необходимого формата.

И, наконец, AutoCAD может сам строить проекции, разрезы и сечения, определять видимость линий контура. Необходимо только создать объемную модель детали или узла и применить к ней соответствующие команды построения плоских изображений. Это современные 3D-технологии проектирования и черчения. Они будут рассмотрены в последующих разделах.

В этом разделе мы займемся традиционной технологией, согласно которой чертеж строит конструктор или проектировщик, сам, по черточкам создавая набор плоских изображений детали: ее виды, разрезы, сечения и другие необходимые для чертежа изображения. Реалистичная объемная модель объекта присутствует лишь в сознании конструктора. Этот традиционный подход сейчас называют 2D-технологией проектирования и построения чертежа. Теоретической основой 2D-технологии является начертательная геометрия.

Независимо от того, как получен чертеж – карандашом на бумаге или на компьютере, по 2D или 3D-технологии, он должен отвечать требованиям Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) к оформлению чертежа.

С учетом изложенных особенностей рекомендуем следующую последовательность построения чертежа в AutoCAD’е:

1) подготовительный этап – анализ формы детали и настройка режимов построения;
2) построение изображений в истинных размерах, то есть в масштабе 1:1;

3) масштабирование и компоновка построенных изображений внутри формата (рамки) чертежа;

4) простановка размеров;

5) завершение и оформление чертежа. Вывод на печать.

4.2. Подготовительный этап

Как правило, чертеж детали, выполняется на основе чертежа узла. В этом случае нужно мысленно выделить деталь из всего узла, представив ее пространственную форму и размеры. Чертеж может создаваться для уже имеющейся детали. И в этом случае нужно проанализировать форму, мысленно разбив деталь на геометрически простые элементы. На этой основе определяется содержание и формат создаваемого рабочего чертежа детали.

Анализ формы детали

Необходимо выявить, какие изображения должен содержать чертеж детали. Из них нужно выбрать главный вид, дающий наиболее полное представление о форме детали.

Деталь (рис. 4.1), для которой будем выполнять чертеж, состоит из пустотелого цилиндра с внутренней резьбой. Снаружи выполнен шестигранный фланец, по углам которого просверлены отверстия. Ребра фланца имеют притупления. Чертеж этой детали (рис. 4.2) должен содержать вид спереди – он же главный вид, вид сверху и два выносных элемента для пояснения отверстий, расположенных во фланце. Для выявления внутренней формы необходим фронтальный разрез, который ввиду симметрии детали следует совместить с половиной вида спереди.

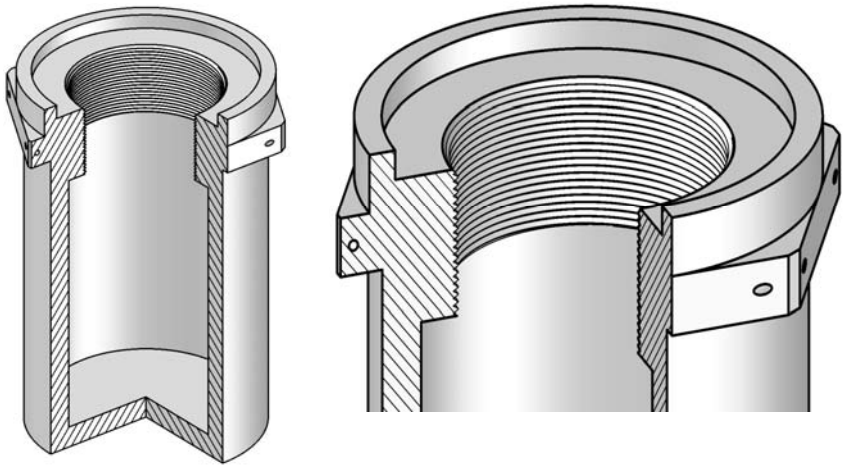


Рис. 4.1. К анализу формы детали

Предварительные настройки

Для построения чертежа повторите последовательность настроек, приведенную в разд. 3.3. Построения будут выполняться в истинных размерах, в пространстве модели. В связи с небольшими размерами детали в пространстве модели следует задать шаг привязки равным 1, шаг сетки 5 или 10. Изображения, составляющие чертеж, с учетом промежутков, необходимых для простановки размеров, можно разместить на прямоугольной области, шириной 200 и длиной 250 мм. Округлив эти размеры до размеров формата А4, зададим их в качестве лимитов – границ изображения.

Если деталь крупная, то рассматриваемые параметры необходимо увеличить. Например, при размерах порядка 1000 × 1000 мм, параметры настройки нужно увеличить в 10 раз: шаг 10, сетка 50, лимиты (0,0) и (4000, 3000). Если выполняется чертеж здания с размером строитель-

ной площадки 100 м на 30 м, то рекомендуется шаг 500 (мм), сетка 1000, лимиты по размеру площадки: 100000 на 30000. Соответственно для деталей малых размеров все параметры необходимо уменьшить.

Итак, для нашего чертежа:

- перейдите в пространство модели;
- задайте шаг 1 и сетка 5, лимиты (0,0), (210,297);
- создайте слои с именами *Оси, Тонкая, Контур, Размеры, Штриховка, Штамп, Окно* и настройте их свойства (см. разд. 2.10, рис. 2.4).

4.3. Построение изображений

Приведем рекомендации, позволяющие существенно ускорить построения и повысить их точность.

1. При наличии симметрии применяйте команду **MIRROR(ЗЕРКАЛО)**. Повторяющиеся объекты не стройте заново, а копируйте командами **COPY(КОПИРОВАТЬ)**, **ARRAY(МАССИВ)**. Для построения фасок и сопряжений примените команды **CHAMFER(ФАСКА)** и **FILLET(СОПРЯЖЕНИЕ)**.

2. Активно применяйте команды **TRIM (ОБРЕЗАТЬ)**, **EXTEND (УДЛИНИТЬ)**, **BREAK (РАЗОРВАТЬ)**. Для исправления ошибок – команды **MOVE (ПЕРЕНЕСТИ)**, **ERASE (СТЕРЕТЬ)**, **UNDO (ОТМЕНИТЬ)**.

3. Для каждого изображения чертежа установите оптимальную систему координат – команда **UCS(ПСК)**. Постоянно корректируйте ПСК в оптимальное положение.

4. Применяйте шаговую и объектную привязки, а также режим объектного слежения **OTRACK**.

Чертеж детали (см. рис. 4.2) следует начать с разметки осей, затем построить вид сверху, далее – вид спереди и выносные элементы. Ниже рассмотрены характерные моменты создания этих изображений. Обратите внимание на применение режима объектного слежения **OTRACK**, который позволяет строить точки чертежа на основе проекционной связи между видами (повторите раздел 2.5).

Все построения выполняем в истинных размерах, то есть в масштабе 1:1. Задание необходимого масштаба выполним позднее, при оформлении и компоновке чертежа.

Построение осей

- Клавишей <F8> включите режим ортогональных построений **ORTHO**.
- Клавишей <F9> включите шаг (см. разд. 1.8). Сделайте текущим слой *Оси*.
- Проведите отрезки вертикальной и горизонтальной осевых линий (рис. 4.3, *а*). Длину осей задайте “с запасом”. В дальнейшем оси обрежем “по месту”.

Вид сверху

Сейчас действует мировая система координат (МСК). Установим другую систему координат, удобную для построения вида сверху (см. рис. 4.3, *а*):

- **ucs** / **O** / с применением объектной привязки **Intersection** (Пересечение) укажите точку *1* пересечения осей – пиктограмма осей координат переместилась в указанную точку.

Строим элементы вида сверху – окружность ∅ 68 и шестиугольник, описанный относительно этой окружности:

- сделайте текущим слой *Контур* и увеличьте область вида сверху;
- **circle** / 0,0 / **d** / 68;

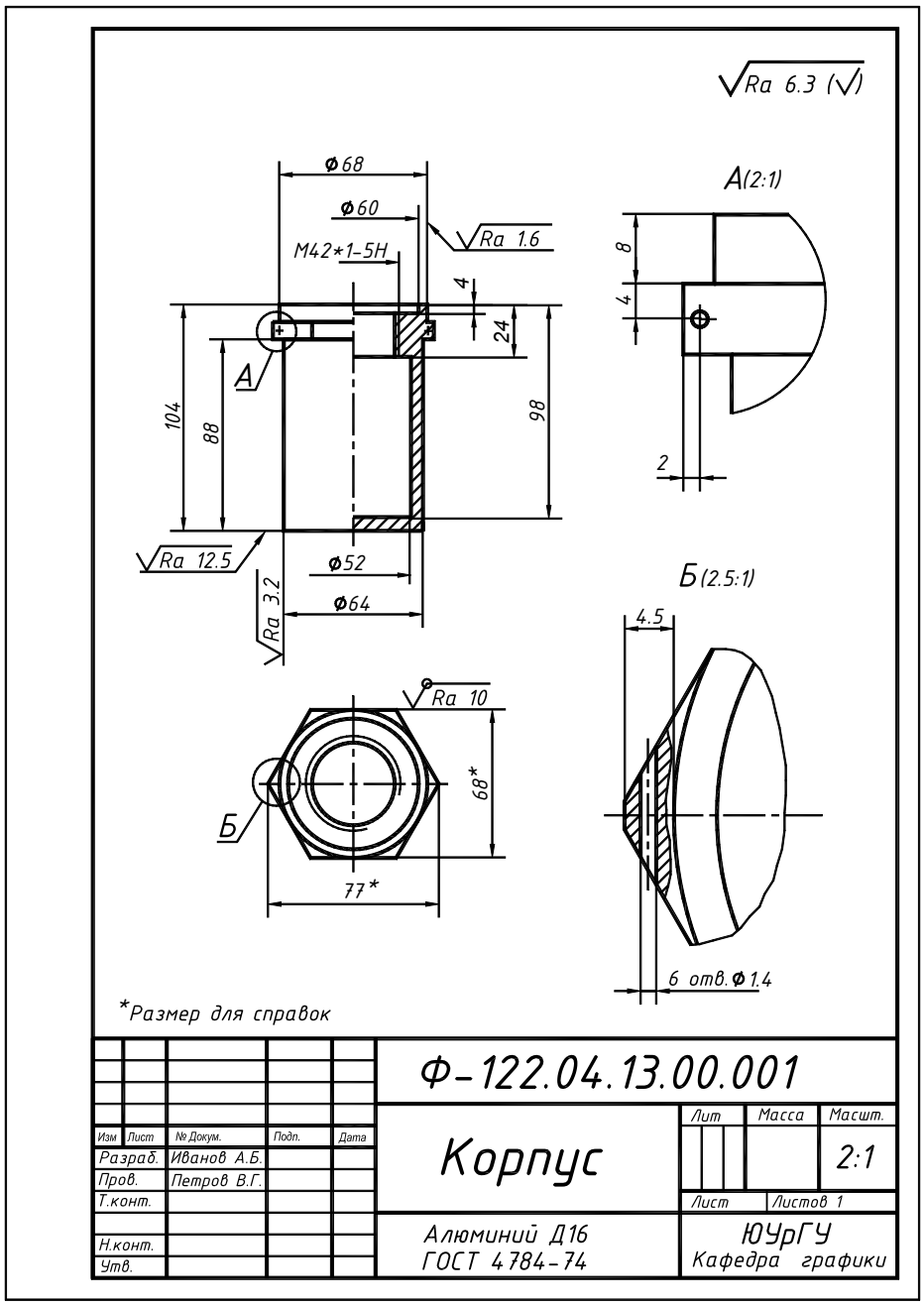


Рис. 4.2. Чертеж детали

- **polygon** / Количество сторон 6 / Центр 0,0 / Правый клик – в контекстном меню выберите опцию **Circumscribed about circle** (Вокруг окружности) / в режиме **ORTHO** переместите курсор вниз – отслеживается шестиугольник / 34 – радиус окружности.

Постройте на виде сверху еще две окружности, концентричные первой, ∅60 и ∅40 – это окружность впадин для резьбы М42.

Вид спереди в режиме объектного слежения

Задайте новую систему координат, удобную для построения наружного контура вида спереди. Для этого переместите начало координат вверх на 40…50 мм, новое начало координат обозначено как точка *2*:

- **ucs** / **o** / 0,50 – пиктограмма переместилась в точку *2* (см. рис. 4.3, *а*);

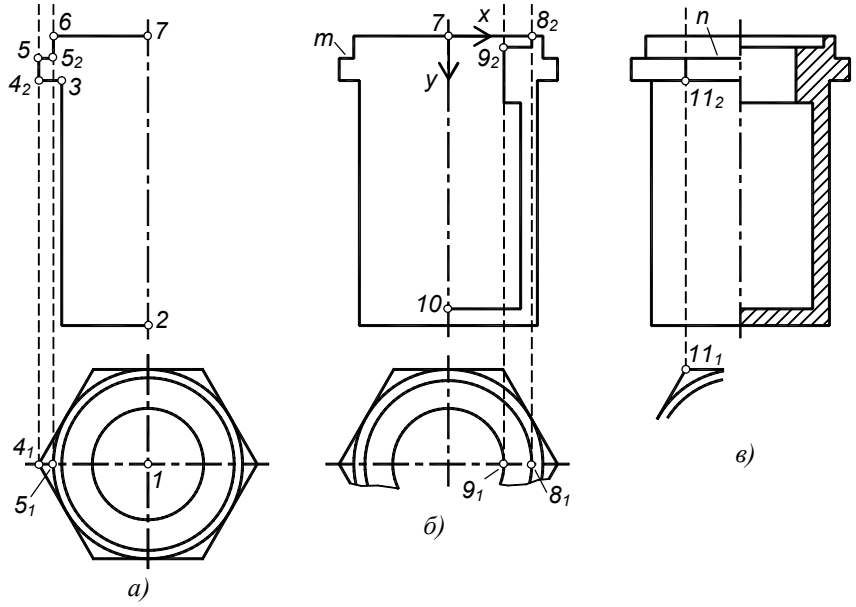


Рис. 4.3. Построение видов. Применение режима объектного слежения

- кнопками **ORTHO**, **OSNAP** и **OTRACK** включите режимы ортогональных построений, задайте постоянную объектную привязку **Endpoint** и **Intersection**, а также режим объектного слежения.

Строим левую половину наружного контура вида спереди. Координаты точек задаем на основе чертежа (см. рис. 4. 2). Построение начинаем с точки *2* (0,0):

- **line** / 0,0 / –32,0 / @0,88 – построена точка *3*.

Точка 4_2 в режиме объектного слежения:

- не прерывая команды (а если прервали, то дважды <Enter>), коснитесь курсором точки 4_1 вида сверху и переместите курсор вверх – тянется вертикальная линия слежения, при выходе на уровень точки *3* появится горизонтальная линия слежения / зафиксируйте точку 4_2 пересечения линий слежения левым щелчком мыши.

Завершение наружного контура:

- @0,8 – построена точка *5* / коснитесь курсором точки 5_1 вида сверху и переместите курсор вверх – тянется вертикальная линия слежения, при выходе на уровень точки 5_2 появится горизонтальная линия слежения, зафиксируйте точку 5_2 левым щелчком мыши / переместите курсор вверх, введите 8 / коснитесь точки *2*, переместите курсор вверх и зафиксируйте точку *7* на пересечении линий слежения – построена левая часть наружного контура вида спереди.

Строим внутренний контур вида спереди. Зададим удобную систему координат с началом в точке *7* и осью Y, направленной вниз:

- **ucs** / **O** / укажите точку *7* // x – поворот системы вокруг оси x / 180;
- коснитесь курсором точек *7* и 8_1, на пересечении линий слежения укажите точку 8_2 / переместите курсор вниз и введите 4 / коснитесь курсором точки 9_1 вида сверху, переместите курсор вверх, на пересечении линий слежения укажите точку 9_2.

Не прерывая команды, завершаем внутренний контур:

- курсор вниз, введите 20 / 26,24 / 26,98 / коснитесь курсором точки *7*, переместите курсор вниз, на пересечении линий слежения укажите точку *10*.

Для завершения вида спереди примените команду **MIRROR** (**ЗЕРКАЛО**) и получите правую половину контура (рис. 4.4, *б*). Постройте недостающие линий наружного и внутреннего контура (см. рис. 4.4, *в*). Здесь удобно применить команду **EXTEND** (**УДЛИНИТЬ**), задав в ка-

честве границы удлинения вертикальную осевую линию. Например, для построения отрезка *n* достаточно удлинить отрезок *m*.

Точку 11_2, задающую положение ребра шестигранника на виде спереди, постройте в режиме объектного слежения по проекционной связи с видом сверху, то есть на основе точки 11_1.

Выносной элемент

Выносной элемент – это дополнительное, увеличенное изображение какой-либо части детали, требующей пояснений формы. Для выполнения выносного элемента нужно скопировать поясняемую часть вида на свободное поле, увеличить изображение, провести линию обрыва и командой **TRIM (ОБРЕЖЬ)** удалить ненужную часть скопированного изображения, при необходимости дополнить изображение, разъяснив особенности формы увеличенной части чертежа.

В качестве примера рассмотрим построение выносного элемента *Б* (см. рис. 4.2 и рис. 4.4):

- скопируйте вид сверху в правую часть экрана (см. рис. 4.4, *а*);
- для удобства и точности построений увеличьте необходимую часть скопированного изображения, кнопка  .

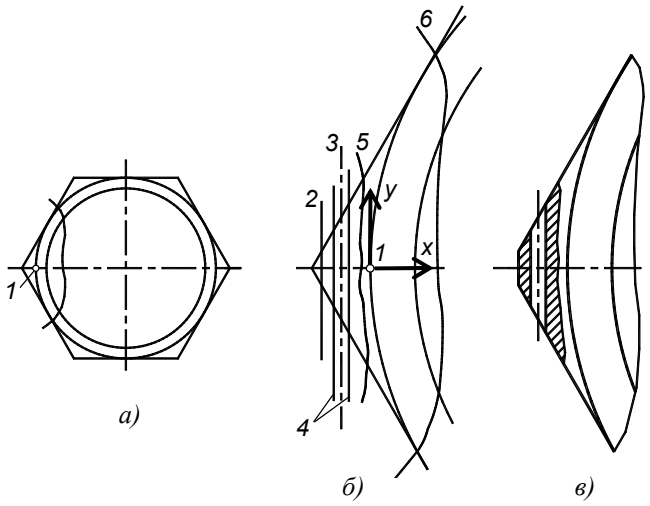


Рис. 4.4. Построение выносного элемента

Дополним изображение выносного элемента, показав притупление шестигранника и продольный контур отверстия ∅1.4 (рис. 4.4, *б*). Установим удобную для задания размеров систему координат с началом в точке *1*. Размеры смотрим по чертежу (см. рис. 4.2):

- **ucs** / **O** / с привязкой **Intersection** укажите точку *1*;
- **line** / –4.5, –10 / @0,20 – вертикальный отрезок *2*, контур притупления шестигранника;
- **offset** / 2 – величина смещения / укажите отрезок *2* / укажите точку справа от него – построен отрезок *3* осевой линии;
- постройте отрезки *4*, сместив отрезок *3* влево и вправо на 0.7.
- Полилинией (**PLINE**), короткими линейными сегментами, постройте границу местного разреза *5* и линию обрыва *6* – границу выносного элемента (рис. 4.5, *б*). Линии должны быть достаточно плавными. Линии также можно построить как сплайн-кривые (команда **SPLINE**).

Используем линию обрыва *6* для удаления ненужной части скопированного изображения и одновременно обрежем выступающие части самой линии, концы отрезков *2*, *4* линии *5* (см. рис. 4.5, *в*):

- **trim** / укажите линию обрыва и шестигранник // укажите линии, подлежащие подрезке – части окружностей, многогранника, концы линии обрыва, концы отрезков. Указывайте ту часть линий, которую нужно отрезать;
- построенные линии распределите по слоям: *Оси*, *Контур, Тонкая* (см. рис. 4.5, *в*).

4.4. Форматирование и компоновка

На данном этапе созданы все изображения чертежа, полностью раскрывающие форму детали (см. рис. 4.5). Изображения выполнены в истинных размерах, то есть в масштабе 1:1, и находятся в пространстве модели. Далее необходимо определить формат чертежа, проставить размеры и выполнить компоновку чертежа, то есть расположить изображения внутри рамки формата в необходимом масштабе. Подчеркнем, что масштабы изображений требуются различные.

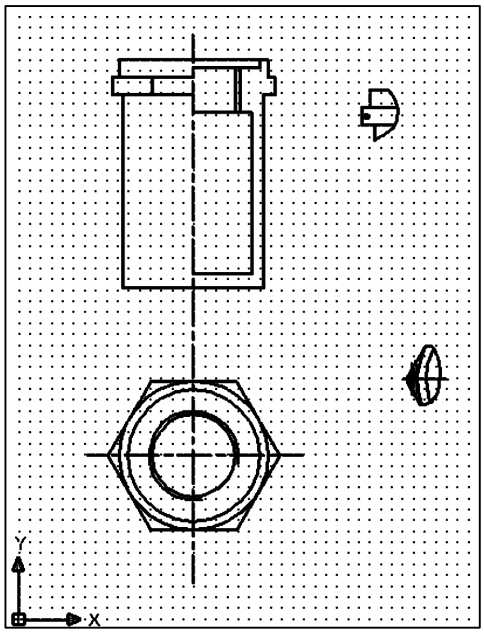


Рис. 4.5. Изображения чертежа перед его форматированием

Выбор формата

Формат, то есть габаритные размеры чертежа, выбирают из предусмотренных ГОСТ 2.301–68, учитывая количество, сложность и размеры изображений, необходимость их уменьшения или увеличения, количество размеров, которое предстоит поставить. Решение о выборе формата и масштабов не является критичным. “Примерив” один формат или масштаб, можно легко перейти к другому.

Для выбора формата можно рекомендовать следующие действия:

- перейдите в пространство модели, где находятся выполненные изображения;
- восстановите мировую систему координат (МСК) и выведите на экран сетку (клавиша <F7>).

Область, занятая сеткой (см. рис. 4.5), отражает лимиты чертежа, которые были настроены в соответствии с форматом А4 (210 × 297). Предполагаем, что этот формат можно применить к выполняемому чертежу. Видим, что для выделения места под размеры основные виды следует уменьшить, причем изображения видов достаточно крупные и позволяют выполнить такое уменьшение (ближайший масштаб уменьшения 1:2). Выносные элементы для их наглядного восприятия, напротив, по сравнению с истинными размерами нужно увеличить в 2 или 2.5 раза. Если позднее, при компоновке чертежа, наше предположение о размере формата не подтвердится, мы перейдем на следующий по величине формат А3.

Варианты масштабирования и компоновки

Значения масштаба должны соответствовать ГОСТ 2.302–68. Для нашего чертежа виды спереди и сверху нужно уменьшить вдвое, а выносные элементы увеличить в 2 или 2.5 раза.

Рассмотрим варианты масштабирования чертежа, содержащего несколько изображений, выполненных в различных масштабах. Вариант масштабирования влияет на настройки размерного стиля, то есть масштабирование и простановка размеров взаимосвязаны. Настройки размерных стилей выполняются заданием линейного и глобального масштабов.

Линейный масштаб – коэффициент, на который система умножает размер объекта, считываемый ею с изображения. Полученное произведение выводится в качестве размерного числа. Линейный масштаб предназначен для простановки истинных размеров объектов, для которых применено “физическое” масштабирование командой **SCALE (МАСШТАБ)**. Его задают как вели-

чину, обратную масштабу объекта. Например, если объекты уменьшены в два раза, то линейный масштаб для них нужно задать равным 2.

Глобальный масштаб увеличивает или уменьшает все размерные параметры: величину стрелок, шрифта, переход выносной линии за размерную, отступ размерного числа от размерной линии. Например, если величина стрелки задана 3 мм, то задав глобальный масштаб равным 2, получим стрелки величиной 6 мм. В той же мере изменятся и остальные размерные параметры.

Вернемся к вариантам масштабирования и компоновки чертежа и отметим их существенные признаки.

Вариант 1, "физический". Масштабирование изображений выполняется в пространстве модели. Изображения масштабируют командой **SCALE (МАСШТАБ)**, которая действительно изменяет размеры объектов (отсюда название "физический"**)**. Компоновка чертежа выполняется перемещением изображений командой **MOVE**.

Для простановки истинных размеров создают размерные стили с различным линейным масштабом. Линейный масштаб стиля устанавливают как величину, обратную масштабу изображения, к которому он применяется. Размерные параметры и глобальный масштаб во всех стилях задают одинаковыми.

Печать чертежа выполняется либо из пространства модели, либо чертеж выводится на лист через единственное видовое окно в масштабе отображения 1:1 и печатается с листа.

Вариант 2, оконный. Все изображения остаются в истинных размерах, как они и были построены. Каждое изображение выводится на лист через свое видовое окно. Масштаб изображения на чертеже задается как масштаб отображения видового окна. Компоновка чертежа выполняется перемещением видовых окон.

Размеры проставляют в пространстве модели. Для группы видовых окон одного масштаба создается свой размерный стиль. Сколько масштабов на чертеже – столько размерных стилей. Поскольку все изображения остаются в истинных размерах, то во всех стилях линейный масштаб задают равным 1.

Глобальный масштаб стилей задают как величину, обратную масштабу видового окна. Это обеспечивает постоянство размерных параметров по всему чертежу. Так, если окно увеличивает изображение в 2 раза, в том числе размерные стрелки и высоту шрифта, то глобальный масштаб для размерного стиля этого окна задают равным 0.5.

В связи с различным увеличением видовых окон для каждого окна необходим свой стиль штриховки.

Разновидность варианта 2 – применение аннотативных объектов, для которых происходит автоматическая корректировка параметров в зависимости от масштаба видового окна.

Вариант 3, на листе. Все построения выполняют на листе: создание изображений, их масштабирование и простановку размеров, компоновку и вывод на печать. Вариант полностью повторяет вариант 1, только на листе.

Вариант 4, комбинированный. Построения модели выполняют в пространстве модели в истинных размерах и отображают на лист через видовые окна в необходимом масштабе. Размеры ставят на листе (как на стекле), поверх изображений. Вариант основан на том, что объектная привязка действует из пространства листа на объекты пространства модели. В размерном стиле включают режим, благодаря которому система определяет масштаб отображения видового окна, поверх которого ставится размер. Величина размера объекта, измеренная на листе, автоматически делится на масштаб видового окна и выводится как размерное число. В итоге размеры ставятся как истинные. Достоинство варианта – единый размерный стиль для всего чертежа.

В этом варианте изображения и размеры находятся в разных пространствах. Для связи размеров с объектами размеры нужно ставить в режиме указания объекта либо применением объектной привязки. Кроме того, размеры должны быть ассоциативными.

Приведем более подробную последовательность действий для рассмотренных вариантов масштабирования.

“Физическое” масштабирование

- Перейдите в пространство модели, указав закладку **Model** (Модель) в строке закладок.

Начертите габаритный прямоугольник для выбранного формата. Для А4:

- **rectang** / 0,0 / 175, 232.
- Расположите масштабируемые изображения на разных слоях, для каждого масштаба – свой слой.
- Командой **MOVE** переместите изображения так, чтобы при масштабировании они не перекрыли друг друга. Можно временно вынести изображения за границы габаритного прямоугольника.
- Совместно масштабируем виды спереди и сверху. Зададим масштаб уменьшения 1:2:
- **scale** / выберите все элементы вида спереди и вида сверху, в том числе осевые линии этих изображений / в качестве базовой укажите точку, расположенную приблизительно в середине масштабируемого изображения / введите значение масштаба, равное 0.5 – виды уменьшены в два раза.

Подобным образом выполните масштабирование остальных изображений. Если что-то не получилось, примените несколько раз команду **UNDO (ОТМЕНИ)**. В нашем примере для выносного элемента *А* задайте масштаб 2, для элемента *Б* – масштаб 2.5.

После масштабирования, применив команду **MOVE**, разместите изображения внутри рамки формата. Для простановки размеров оставьте между изображениями и от изображений до рамки расстояние 20…30 мм.

Настройка линейного масштаба для простановки размеров

Создадим основной размерный стиль и ряд дополнительных. В основном стиле выполним настройки размерных параметров, общие для всего чертежа. Дополнительные стили создадим на базе основного, задав в каждом из них линейный масштаб, обратный величине масштаба изображения.

В нашем примере на чертеже (см. рис. 4.2) виды спереди и сверху выполнены в масштабе 1:2. При “физическом” варианте размеры объектов модели действительно уменьшены в два раза. Поскольку на чертеже нужны истинные размеры детали, при простановке размеров на этих видах линейный масштаб нужно задать равным 2. Для выносного элемента *А*, имеющего масштаб 2:1, значение линейного масштаба должно быть равным 0.5. Для элемента *Б*, масштаб которого 2.5:1, коэффициент линейного масштаба должен быть 0.4.

- Создайте *Стиль 1* с обязательными настройками (см. разд. 3.5) – это основной стиль.

Для создания дополнительного стиля с линейным масштабом 2:

- **dimstyle** / укажите стиль 1 / укажите кнопку **Now** (Новый) / задайте имя нового стиля, например, “Стиль 2” / **Continue** / закладка **Primary Units** (Основные единицы) / в поле **Measurement Scale** (Масштаб измерений) задайте **Scale Factor** (Масштаб) равным 2 / **OK** / **Set Current (Установить) / Close (Закрыть)**.
- Подобным образом создайте дополнительные стили с линейными масштабами 0.5 и 0.4.
- Перейдите на слой *Размеры*. Задавая соответствующий стиль, проставьте размеры.

Могут понадобиться еще ряд дополнительных стилей, например, для простановки диаметров как линейных размеров или размеров с односторонними стрелками (см. ниже разд. 7.8). Эти стили придется дублировать для каждого линейного масштаба.

- Выполните штриховку, единую для всех изображений чертежа.
- Завершите чертеж (см. разд. 3.7).
- Выйдите на лист, вставьте на лист рамку и штамп требуемого формата, создайте видовое окно по размерам чертежа с масштабом отображения 1:1 (см. разд. 3.6), в окне отобразите созданный чертеж.
- С листа отправьте чертеж на печать (см. разд. 3.8).

Оконный вариант масштабирования

- Расположите изображения на разных слоях, для изображения каждого масштаба – свой слой.
- Выйдите на лист, вставьте рамку и штамп формата А4 (см. разд. 3.6).
- Перейдите на слой *Окна*. Создайте видовые окна (см. разд. 3.6) по количеству масштабов. В нашем примере создайте три окна (рис. 4.6): окно 1 для видов спереди и сверху, окно 2 для выносного элемента *А* и окно 3 для элемента *Б*. В каждом окне оставьте только изображения этого окна. Остальные изображения скройте, избирательно заморозив или отключив их слои (о слоях см. разд. 2.10).
- Для каждого окна задайте масштаб отображения, равный требуемому масштабу изображения. Панорамированием внутри окна разместите изображение по центру окна. После этого заблокируйте окно (см. разд. 3.6 “Открытие видового окна, масштаб и блокировка окна”).
- Перемещая видовые окна командой **`MOVE`**, выполните компоновку чертежа.
- Заморозьте слой с рамками видовых окон.

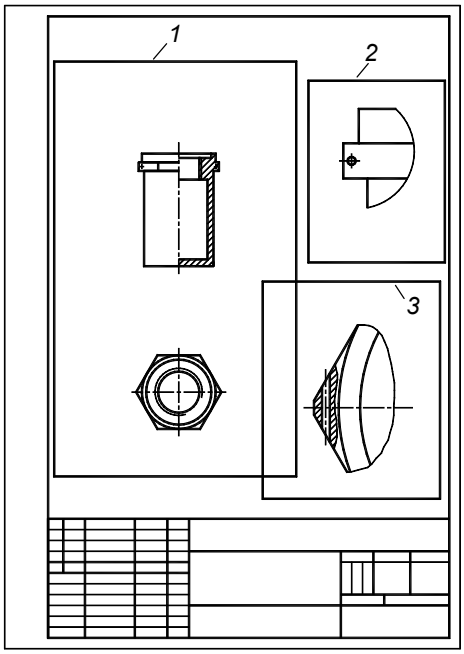


Рис. 4.6. Создание видовых окон для форматирования и масштабирования

Настройка глобального размерного масштаба

Настройка обеспечит постоянство размерных параметров (стрелок, высоты шрифта размерных чисел и т.д.) по всему чертежу. Она позволяет учесть различный масштаб отображения видовых окон.

- Создайте размерный стиль, имя *Стиль 1*, с обязательными настройками. В этом стиле линейный и глобальный масштабы должны быть равны 1 (см. разд. 3.5, стиль 1).

Взяв за основу *Стиль 1*, создайте ряд дополнительных стилей по количеству масштабов. В каждом из них задайте глобальный масштаб как величину, обратную масштабу отображения видового окна. Например, для видового окна с масштабом 1:2 нужно задать стиль с глобальным масштабом 2:

- **`dimstyle`** / укажите *Стиль 1* / укажите кнопку **Now** (Новый) / задайте имя нового стиля, например, “Стиль 2” / **Continue** / закладка **Fit** (Размещение) / в поле **Scale for Dimension Features** (Масштаб размерных элементов) задайте **Use Overall Scale Of** (Глобальный масштаб) равным 2 / **OK** / **Set Current (Установить) / Close (Закрыть)**.

Создайте дополнительные стили для всех окон. В каждом видовом окне на слое *Размеры* проставьте размеры, установив необходимый для окна размерный стиль. Если размеры не входят в границы окна, раздвиньте границы “ручками”, предварительно разморозив слой с рамками окон.

Чтобы обеспечить постоянный шаг штриховки для всех изображений, независимо от их масштаба, придется в каждом окне создать свою штриховку. Так, если окно увеличивает в 2 раза, то шаг или масштаб штриховки в этом окне нужно во столько же раз уменьшить.

- Завершите чертеж как в предыдущем варианте.

Для оконного варианта современным методом простановки размеров, выполнения штриховки и надписей является придание этим объектам аннотативных свойств (см. ниже разд. 4.5), что позволяет обходиться единым размерным стилем и стилем штриховки, независимо от масштаба видового окна.

Комбинированный вариант

Объекты находятся в пространстве модели, созданы в истинных размерах. На лист отображены через видовые окна с требуемым масштабом отображения. Простановка размеров выполняется на листе, поверх окон, с применением единого размерного стиля. В этом варианте достаточно создать один стиль для всех размеров.

За основу возьмем *Стиль1* с отработанными настройками (см. разд. 3.5, стиль 1):

- **`dimstyle`** / укажите *Стиль 1* / укажите кнопку **New** (Новый) / задайте имя нового стиля, например, "На листе" / **Continue** / закладка **Fit** (Размещение) / в поле **Scale for Dimension Features** (Масштаб размерных элементов) задайте **Scale Dimensions To Layout (**Масштаб размеров по листу) / **OK** / **Set Current** (Установить) **/ Close** (Закрыть)**.**

Задайте режим ассоциативных размеров (см. разд. 3.5):

- **`DIMASSOC /`** 2.

При простановке размеров в рассматриваемом варианте нужно либо применить опцию **`Select object (Выбрать объект)`**, входящую в команды простановки размеров, и указать объект, на который ставится размер, либо применить объектную привязку для указания точек объектов. Иначе связь размера с объектом не устанавливается. Опция **`Select object`** и объектная привязка в момент простановки размера с листа "добираются" до объекта, находящегося в пространстве модели.

Проведем тестирование комбинированного варианта:

- создайте на листе видовое окно (**`VPORTS`**), установите масштаб отображения окна равным 2;
- перейдите в окно и постройте в нем горизонтальный отрезок (**`LINE`**) длиной 30;
- вернитесь на лист. Новым размерным стилем, при **`DIMASSOC=`**2 и включенной объектной привязке **Endpoint** поставьте горизонтальный линейный размер отрезка – размерное число равно 30;
- отключите объектную привязку и вновь поставьте размер, приблизительно указав конечные точки отрезка – размерное число равно 60, то есть проставлен не истинный размер объекта, а размер его изображения на листе;
- переместите окно за его рамку (**`MOVE`**) – размер следует за отрезком;
- "провалитесь" в окно и ручками переместите отрезок или его вершины – размер на листе по-прежнему следует за отрезком.

Созданным размерным стилем, в рассмотренных условиях связи с объектом, можно ставить размеры поверх всех видовых окон чертежа, несмотря на их различные масштабы отображения. Размеры будут истинными и иметь одинаковые размерные параметры.

4.5. Аннотативные объекты (размеры и штриховка)

В оконном варианте простановка размеров выполняется внутри видового окна. С увеличением масштаба отображения видового окна размерные параметры (например, размер стрелок) также увеличиваются. То же относится к штриховке, ее шаг на листе также возрастает. Поскольку на чертеже нужно соблюдать постоянство размерных параметров и шага штриховки, приходится для видовых окон разного масштаба создавать разные размерные стили и стили штриховки.

Для сокращения количества размерных стилей и стилей штриховки применяют аннотативные размеры и штриховки. Они автоматически корректируют свои параметры с учетом масштаба видового окна. Поэтому для чертежа может быть достаточным один аннотативный размерный стиль и одна аннотативная штриховка.

Поясним существенные моменты режима аннотативности на примере простановки размеров.

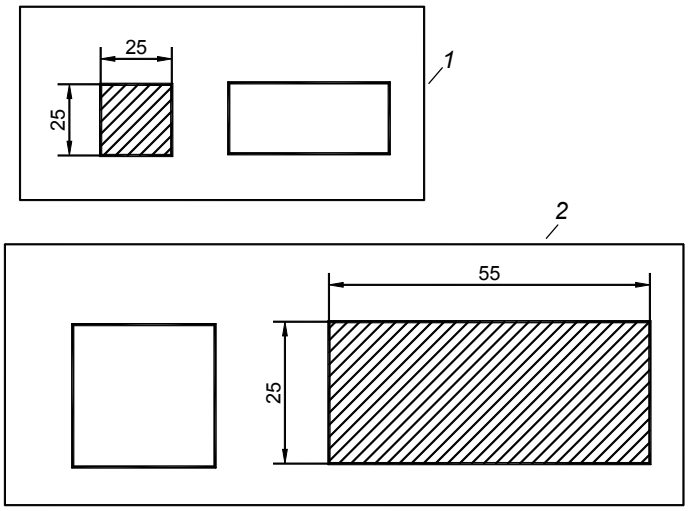


Рис. 4.7. Аннотативные размеры и штриховка:
1 – видовое окно 1:1; 2 – окно 2:1

- В пространстве модели постройте квадрат со стороной 25 и прямоугольник 50×25 (рис. 4.7). Пусть по требованиям чертежа квадрат нужно отобразить в масштабе 1:1, а прямоугольник в масштабе 2:1.
- Создайте на листе два видовых окна (см. разд. 3.6). В каждом окне отобразите оба объекта.
- С помощью кнопки быстрых свойств (рис. 3.7) задайте в окне *1* масштаб 1:1, аннотативный масштаб также 1:1, заблокируйте окно.
- В видовом окне *2* задайте масштаб отображения и аннотативный масштаб равными 2:1, заблокируйте окно.
- В статусной строке погасите кнопки  управления аннотативными свойствами (или убедитесь, что они погашены).

Создадим аннотативный размерный стиль. За основу возьмем *Стиль1* с отработанными настройками (см. разд. 3.5, стиль 1). Добавляем свойство аннотативности:

- **`dimstyle`** / укажите *Стиль 1* / укажите кнопку **New** (Новый) / задайте имя нового стиля, например, “Аннотативный 1” / активизируйте режим **Аннотативный** / **Continue** / **Set Current** (Установить) / Close (Закрыть)**.**
- В окне *1* созданным стилем проставьте размеры квадрата. Перейдите в окно *2* и тем же стилем проставьте размеры прямоугольника.

Обратите внимание на следующие особенности аннотативных размеров:

6) Размеры имеют одинаковые размерные параметры (стрелки, высоту шрифта и др.) независимо от масштаба отображения видового окна;

7) Размеры видны только в том видовом окне, в котором они были проставлены, например, размеры квадрата отображены только в окне *1*. Это происходит, несмотря на то, что размеры находятся на одном слое, включенном и размороженном в обоих окнах.

- Включите кнопку  – в видовых окнах появились все размеры, независимо от того, где они были проставлены.

Видно, что параметры размеров, перешедших из других окон, отличаются от требуемых значений.

- Отключите кнопку – “чужие” размеры исчезли.

Рассмотрим аннотативную штриховку.

- Перейдите в окно *1*, задайте штриховку, например, **Из линий** с шагом 3. Включите режим **Аннотативный**. Выполните штриховку квадрата.
- Перейдите в окно *2*. Задайте те же параметры штриховки, что в окне *1*, в частности, шаг 3, режим **Аннотативный**. Выполните штриховку прямоугольника.

Видим, что аннотативные свойства штриховки те же, что у аннотативных размеров.

При компоновке чертежа может потребоваться скорректировать масштаб отображения какого-либо видового окна, в котором уже выполнены аннотативные размеры и штриховка. Чтобы сохранить аннотативные свойства объектов окна, нужно первоначально активизировать кнопку  . Затем для этого окна можно задать новые значения масштабов отображения и аннотаций. Например, увеличим масштаб отображения окна *1*, в котором уже проставлены размеры и выполнена штриховка:

- скопируйте окно *1* на свободное место, включите кнопку  . Растяните "ручками" границы окна. В окне быстрых свойств (см. рис. 3.7) видового окна задайте масштабы равными 4:1.

Произошло увеличение изображения в соответствии с новым масштабом окна. Однако размерные параметры и шаг штриховки остались прежними.

Аннотативные свойства можно придать еще ряду объектов. Подробнее об аннотативных объектах см.:

- **help** / Руководство пользователя / Аннотирование чертежей / Работа с аннотациями.

Таким образом, для применения аннотативных режимов, достаточно:

1. включить аннотативный режим в настройке объектов (в размерном стиле, стиле штриховки …);

2. в настройках видовых окон установить равные между собой значения масштабов отображения и аннотативности.

4.6. Завершение чертежа

Чертеж завершайте в следующей последовательности. Из рассмотренных выше (см. разд. 4.4) вариантов компоновки и масштабирования выбираем оконный вариант (см. разд. 4.4 "Оконный вариант масштабирования", рис. 4.6). Похвально, если размерный стиль и стиль штриховки будут аннотативными, то есть едиными для всех окон (см. разд. 4.5, 4.8).

- Завершите простановку размеров. Размеры ставьте в видовых окнах.
- Выполните штриховку, корректировку толщины линий, шага прерывистой линии (см. разд. 3.7).
- Изобразите и обозначьте резьбу (см. ниже).
- Проставьте знаки шероховатости (см. ниже, разд. 4.7).
- Вставьте на лист рамку и штамп требуемого формата, заполните штамп (см. разд. 3.6).
- Распечатайте чертеж (см. разд. 3.8).

Новые варианты простановки размеров

Основы простановки размеров рассмотрены в разд. 3.5, 4.4. Чертеж детали (см. рис. 4.2) содержит ряд новых вариантов размеров. Во-первых, диаметры всех цилиндров (∅68, ∅64 и др.) поставлены как *линейные размеры*. Такой вариант в сравнении с простановкой диаметра на окружности (см. рис. 3.6) является предпочтительным.

Во-вторых, поставлены размеры с односторонней стрелкой (∅60, ∅52), применяемые при совмещении половины вида с половиной разреза. В-третьих, имеются два справочных размера (68*, 77*).

- О новых вариантах простановки размеров см. разд. 7.8.

Штриховка разрезов и сечений на чертеже

Штриховка разрезов и сечений выполняется в соответствии с ГОСТ 2.306–68. Тип штриховки назначается в зависимости от материала детали. Наклон штриховки как правило составляет 45^{o}. Расстояние между параллельными линиями штриховки – 2...4 мм. Параметры штриховки детали для всех ее изображений на чертеже должны быть одинаковыми.

Основы выполнения штриховки в AutoCAD'е – см. разд. 2.8. Для штриховки металлов можно установить **Type** (Тип) штриховки **Predefined** (*Предопределенный*), задать **Pattern** (Рисунок) ANSI31 с углом наклона **Angle** равным 0, или рисунком LINE с углом $\pm 45^{0}$. Для них следует задать **Scale** (масштаб штриховки) равным 0.75…1.

Для металлов также рекомендуем применить тип штриховки **User Defined** (Определенная пользователем), для которой явно задается угол $\pm 45^{0}$ и шаг штриховки (**Spacing**), равный 2…4.

Для штриховки неметаллов "в клеточку" можно применить ANSI37 или **User Defined**, указав в последнем случае поле **Double** (Двойная).

При задании шага штриховки нужно учитывать вариант масштабирования изображений. Так, если штриховка при масштабировании увеличивается вдвое, ее шаг следует задать вдвое меньше требуемого на чертеже значения. Для оконного варианта рекомендуется аннотативная штриховка.

Изображение и обозначение резьбы

Резьба изображается в соответствии с ГОСТ 2.311–68 сплошной тонкой линией, проведенной вдоль контура на расстоянии 0.8…1.5 мм от него. Это расстояние должно быть выдержано для всего чертежа независимо от масштаба изображений. Если, например, изображение при масштабировании увеличивается вдвое, то при построении линий резьбы их расстояние до контура следует задать вдвое меньше.

Пример изображения внутренней резьбы показан на рис. 4.2 на видах спереди и сверху. Для получения дуги, изображающей резьбу на виде сверху (см. рис. 4.2), нужно построить круг (**CIRCLE**), а затем разорвать его командой **BREAK** (**РАЗОРВАТЬ**) на одну четверть в произвольном секторе.

Резьбу требуется обозначить, то есть поставить ее размер. В нашем примере (см. рис. 4.2) обозначена резьба М42×1-5Н. Размер резьбы поставлен с односторонней стрелкой. Обозначение, проставляют либо с применением опции Text, либо последующим редактированием размерного числа. Об односторонних размерах см. разд. 7.8.

Выполнение надписей

Надписи на чертеже выполняют преимущественно командой DTEXT (Динамический текст), задав предварительно рекомендуемую гарнитуру шрифта (см. разд. 2.7). О заполнении основной надписи (штампа) см. разд. 2.7. Кроме того, следует обозначить виды, разрезы, сечения и выносные элементы в соответствии с порядком их обозначения по ГОСТ 2.305–68 (в нашем примере, см. рис. 4.2, требуется обозначить два выносных элемента). Для этих надписей высота шрифта должна превышать высоту размерных чисел и составлять 5…7 мм. Следует также выполнить надпись "**Размеры для справок*", помещаемую над штампом и имеющую высоту шрифта ту же, что и у размерных чисел, то есть 3.5…5 мм.

4.7. Знак шероховатости

Шероховатость поверхности оценивается по высоте микронеровностей в *мкм*. На чертеже шероховатость обозначается согласно ГОСТ 2.309–73. В учебных заданиях знак шероховатости выполняют упрощенно. Основной вариант простановки знака (рис. 4.8, *а, б*) содержит радикал, параметр измерения шероховатости *Ra* или *Rz* и численное значение этого параметра.

Размеры знака определяются высотой размерного шрифта. Для шрифта 3.5 размеры приведены на рис. 4.8, *в*. Радикал строят из отрезков или полилинией. Текстовые параметры – тем же

стилем, что и размерные числа. Знак в правом верхнем углу чертежа выполняется в 1.5 раза крупнее (см. рис. 4.2).

Построив один раз знак шероховатости, можно затем его копировать, при необходимости поворачивать, редактировать текстовые параметры.

Линию выноску, на которую в ряде пространственных положений устанавливается знак, следует выполнять как *мультивыноску* командой **MLEADER (МВЫНОСКА)**. Параметры мультивыноски задаются ее стилем, команда **MLEADERSTYLE (МВЫНОСКАСТИЛЬ)**.

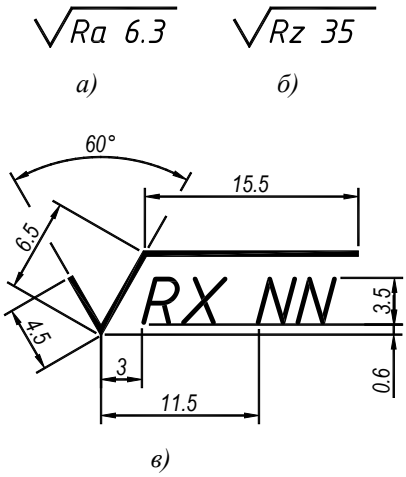


Рис. 4.8. Построение знака шероховатости: *а, б* – примеры простановки; *в* – размеры блока

4.8. Аннотативный блок с атрибутом

При большом объеме простановки знака шероховатости его целесообразно выполнить как блок.

Блок – это хранящийся в файле чертежа набор данных графических объектов. В состав блока могут входить любые графические примитивы, а также текст, называемый *атрибутом*. Для создания (определения) блока применяется команда **BLOCK (БЛОК)**, для отрисовки блока – команда **INSERT (ВСТАВИТЬ)**. Переопределение блока приводит к изменению изображений на всех его вставках. Применение блоков, содержащих большое количество примитивов, позволяет сокращать объемы файлов. Подробно о блоках см.:

- **help** / Руководство пользователя / Создание и редактирование объектов / Создание и использование блоков …

Рассмотрим создание блока на примере знака шероховатости (см. рис. 4.8). Блок содержит графические элементы, задающие радикал, и два атрибута. Первый атрибут задает параметр измерения шероховатости: *Ra* или *Rz*. Второй атрибут задает значение параметра.

Создадим блок для шрифта 3.5. Впоследствии размеры изображения блока (его вставку) можно масштабировать. Блоку придадим аннотативность, тогда его размеры не будут зависеть от масштаба увеличения видового окна.

Построим радикал по размерам (см. рис. 4.8, *б*):

- перейдите на слой *Размеры*; выйдите на лист;
- **line** / 0,0 / 4.5<120 // 0,0 / 6.5<60 / @15.5<0 – построен знак радикала;

Создаем атрибуты командой **ATTDEF (АТОПР)**. Команду можно вызвать из меню **Draw** (Рисование) / **Block** (Блок) / **Define Attributes** (Задание атрибута):

- создайте текстовый стиль (см. разд. 2.7) для простановки размеров на чертеже. Его же применим для атрибутов блока. Рекомендуем в стиле задать курсивный шрифт *ISOCPEUR,* его высота должна быть задана 0;
- **attdef** – возникло диалоговое окно **Attribute Definition** (Определение атрибута) / в поле **Tag** (Название атрибута) – введите *RX* / **Prompt** (Подсказка) – введите *Параметр* / **Default** (Значение по умолчанию) – введите Ra / в поле **Insertion Point** (Точка вставки) выключите **On-screen** и задайте X 3.2; Y 0.6; Z 0 / в поле Text Settings (Параметры текста) задайте **Text Style** (Текстовый стиль) – раскройте вниз список и укажите в нем стиль текста, включите режим **Annotative** (Аннотативный), **Text Height** (Высота текста) – задайте 3.5 / **OK** – в радикале появился первый атрибут *RX* (см. рис. 4.8, *б*);
- **attdef** / в поле **Tag** (Название атрибута) – введите *NN* / **Prompt** (Подсказка) – введите *Значение* / **Default** (Значение по умолчанию) – введите 6.3 / в поле **Insertion Point** (Точка ставки) задайте X 11.5; Y 0.6; Z 0 / остальные настройки как для первого атрибута / **OK** – в радикале появился второй атрибут *NN*;
- при необходимости скорректируйте положение атрибутов командой **MOVE**.

- Объединяем радикал и два атрибута в блок:
- задайте объектам цвет **ByLayer** (По блоку), сделайте текущим слой Размеры;
- **block** – возникло окно **Block Definition** (Определение блока) / в поле **Block name** введите имя блока, например, *Знак* / в поле **Base Point** (Базовая точка) задайте X 0; Y 0; Z 0 / кнопка **Select Objects** (Выбор объектов) – укажите на экране элементы радикала и два атрибута, первым *RX* / Режим **Retain** (Оставить) / включите режим **Annotative** (Аннотативный) / **OK** – блок создан.

Тестируем созданный блок. Первоначально вставим (отрисуем) блок на листе.

- **insert** – в диалоговом окне **Insert** (Вставка блока) раскройте список (треугольная стрелка вниз) имеющихся в файле блоков и укажите имя блока, в нашем примере *Знак* – в окне справа появился образец блока / согласитесь с остальными настройками / **OK** – на экране возник образец блока, перемещаемый курсором мыши за вершину радикала;
- установите знак в место его простановки на чертеже;
- введите значения атрибутов.

При вставке блока в командной строке возникают подсказки и предложения по умолчанию, заданные в свойствах атрибутов. В нашем блоке они имеют вид:

```
Введите значения атрибутов
Параметр <Ra>: Rz
Значение <6.3>: 35
```

Согласившись с предложениями по умолчанию, в угловых скобках получите знак (см. рис. 4.8, *а*). Задав *Параметр* равным *Rz*; *Значение 35* – получим второй пример (см. рис. 4.8, *б*).

Продолжаем тестировать блок. Создайте два видовых окна с масштабами отображения 1:1 и 2:1. Вставьте в каждом из них созданный блок. Убедитесь, что размеры вставленных знаков одинаковы и не зависят от масштаба видового окна. Это проявляются аннотативные свойства блока.

Для редактирования блока его можно переопределить, то есть создать заново. Можно применить редактор блоков и редактор атрибутов, которые вызываются из контекстного меню блока (указать вставку блока и выполнить правый щелчок мыши).

Часть 2. ОСНОВЫ 3D-ГРАФИКИ

Глава 5

Средства трехмерной графики

Трехмерная компьютерная графика позволяет создать пространственную реалистичную модель проектируемого объекта. Объектами моделирования являются детали, узлы машин, здания. Трехмерная графика AutoCAD'а обладает возможностями наглядной фотореалистичной визуализации, позволяя воспроизводить материалы, моделировать свет и тени. Развитие трехмерной графики привело к появлению 3D-технологий проектирования, согласно которым чертежи, необходимые для изготовления объектов, получают на основе созданных моделей почти в автоматическом режиме.

В данной главе рассматриваются ключевые, минимально необходимые приемы работы с трехмерными объектами AutoCAD'а, освоив которые можно будет перейти к построению моделей и их чертежей.

- Загрузите пакет и начните новый рисунок.

5.1. Среда для пространственных построений

В AutoCAD'е предусмотрено два пространства построений – пространство модели, в котором создаются (и "существуют") пространственные объекты, и пространство листа, предназначенное для оформления и вывода изображений на печать (см. разд. 3.2).

Прежде, чем приступить к построению модели, необходимо выполнить настройки интерфейса (см. разд. 3.3) и каждого пространства, обеспечивающие удобство, точность и наглядность построений.

Настройка пространства модели

Построения в пространстве модели ведутся в истинных размерах моделируемых объектов. С учетом размеров модели настраиваются шаг перемещения курсора, отображаемая на экране сетка, лимиты.

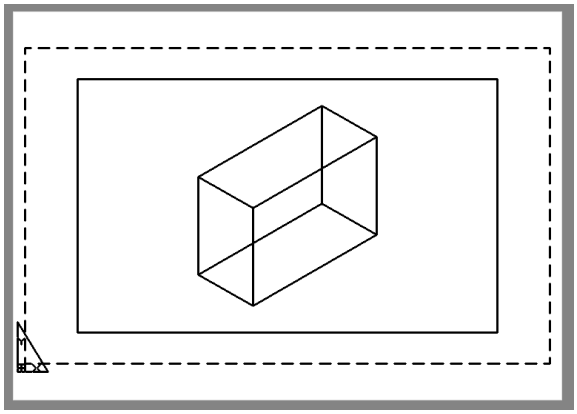
Лимиты чертежа – это условные границы пространства, на котором допускается выполнять построения. Лимиты задаются двумя противоположными углами прямоугольника. По умолчанию лимиты выключены. Если их включить, то система будет сигнализировать и не допускать построений при выходе за границы этого прямоугольника. В любой момент лимиты можно переопределить, включить или выключить.

Предположим, что моделируемые объекты имеют небольшие размеры и могут быть размещены на площадке длиной 170 мм и шириной 150 мм – это характерные размеры для выполняемых заданий. Тогда настройки пространства модели следующие (см. разд. 3.3):

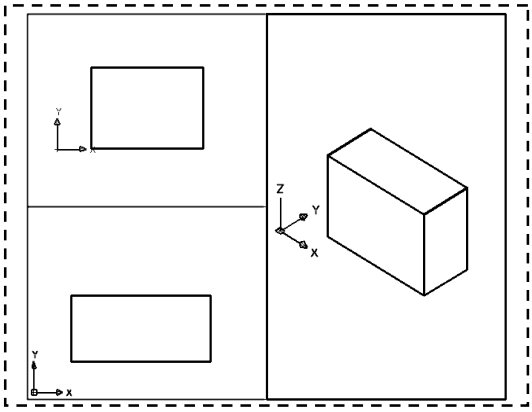
- укажите закладку **Model** в строке закладок – активизировано пространство модели;
- задайте шаг 1 и сетку 5;
- задайте лимиты 0,0 / 170,150;
- `zoom / All` – отобразите область, ограниченную лимитами, на экран;
- клавишей <F7> или кнопкой **GRID** включите сетку – часть экрана, соответствующая области лимитов, покрыта сеткой. Отключите сетку теми же кнопками.

Построим параллелепипед длиной 100, шириной 35 и высотой 70 мм:

- **Draw** (Рисование) / **Modeling** (Моделирование) / **Box** (Ящик) / 30,30 – это координаты левого ближнего нижнего угла / @100,35,60 – координаты противоположного угла в режиме приращений.



а)



б)

Рис. 5.1. Отображение параллелепипеда
а – в дежурном видовом окне пространства листа;
б – в конфигурации трех видовых окон

Параллелепипед построен, но его объем не воспринимается, так на экране отображается вид сверху. Зададим наглядное аксонометрическое изображение в изометрии:

- View (Вид) / 3D Views (3D Виды) / SW Isometric (ЮЗ Изометрия) – получено изображение (рис. 5.1, *а*).

Настройка пространства листа

Настройки пространства листа предусматривают знание формата, на который предполагается вывод на печать. Сейчас зададим эти настройки предварительно, предполагая печать на горизонтально расположенную страницу формата А4. Позднее настройки можно скорректировать на любой другой формат. О выполнении настроек листа см. разд. 3.6:

- перейдите на лист, закладка **Layout** (Лист);
- задайте шаг 1 и сетку 5, лимиты 0,0 / 297,210 / zoom / All.

После перехода на лист на экране отображен ранее построенный параллелепипед, видимый через дежурное окно из пространства модели; пиктограмма осей в левом нижнем углу экрана имеет вид треугольника (см. рис. 5.1, *а*).

В зависимости от действующих настроек может быть отображена страница листа, внутри которой прерывистой линией показана область печати. Отображение страницы и области печати могут понадобиться при выводе на печать. Сейчас и всегда, на этапе построения модели, отображение страницы и области печати рекомендуем отключить (см. разд. 2.15).

Создание новых видовых окон

Для наглядности отобразим на листе сразу три проекции объекта: вид спереди, вид сверху и изображение в аксонометрии. Это достигается созданием композиции видовых окон.

Дежурное видовое окно (см. рис. 5.1, *а*) следует удалить, а в место него создать новые окна (см. рис. 5.1, *б*). В зависимости от настроек границы дежурного окна могут быть видны, но могут совпадать с границей графической области экрана и быть невидимыми:

- erase / укажите рамку окна. Если рамка окна не видна, сдвиньте  изображение так, чтобы рамка стала видна, и удалите окно.

После удаления окна экран чист, поскольку в листе “не прорезаны” видовые окна в пространство модели. Подчеркнем, что с моделью (параллелепипедом) ничего не произошло. Она по-прежнему находится в пространстве модели. Убедиться в том, что модель “жива”, можно, указав закладку **Model**. После этого вновь вернитесь на лист, указав **Layout** (Лист).

Для создания трех новых видовых окон для видов спереди, сверху и аксонометрии выполните:

- **View** (Вид) / **Viewports** (Видовые экраны) / **New** …(Новые ВЭ) / в диалоговом окне укажите вариант **Three**: **Right** (Три окна, большое окно справа) / в поле **Setup** (Режим) введите режим **3D** / **OK** / на экране укажите два противоположных угла, близких к углам границы области печати или <Fit> – вписать в границы экрана.

Возникли три видовых окна с заданными направлениями взгляда. Внутри каждого окна видны одни и те же объекты пространства модели (см. рис. 5.1, *б*).

5.2. Трехмерные solids-объекты. Построение и редактирование

Существует два вида трехмерных объектов AutoCAD’а – сетевые и твердотельные. Сетевыми объектами строят модели поверхностей в виде бесконечно тонкой пленки. Их применяют для поверхностей сложной формы (напр., см. разд. 12.2 “Геликоиды”, разд. 13.4 “Эвольвентный геликоид”), в задачах теоретического плана или в программировании.

Твердотельные объекты воспроизводят тела с равномерной плотностью материала (их еще называют “сплошные”, “тела” или “solids”). Из этих объектов создают модели деталей и узлов машин, что составляет основу нашего курса. В связи с этим основное внимание уделим твердотельным объектам, для которых будем применять термин “solids-объекты”.

О работе с solids-объектами см. также:

- **`help`** / Руководство пользователя / Работа с 3D-моделями / Создание 3D-моделей. Редактирование 3D-моделей.

Solids-объекты общего назначения

- Выведите панель инструментов **Modeling** (Моделирование) (рис. 5.2).

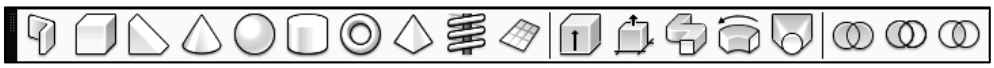


Рис. 5.2. Часть панели инструментов **Modeling** (Моделирование)

Панель **Modeling** отражает основные варианты создания solids-объектов. Имеется набор solids-объектов общего назначения (набор геометрических примитивов, базовые тела). Это (см. кнопки панели слева направо или сверху вниз): полителo (удобно для создания стен зданий),

параллелепипед (в русской версии *Ящик*), трехгранная призма (*Клин*), конус, сфера, цилиндр, тор и пирамида Следующие группы кнопок показывают, что solids-модели можно создать вращением или перемещением плоского контура. Solids-модели можно объединять, вычитать, пересекать, формируя объекты сложной формы. Solids-модели можно получить из сетевых объектов. Эти возможности мы рассмотрим позднее.

Для solids-объектов и моделей на их основе предусмотрены широкие возможности: их можно разрезать, строить сечения, создавать оболочки с поверхности модели, перемещать и вращать грани и ребра, придавать им разный цвет, материал, выполнять измерения (вес, центр тяжести, моменты инерции, площадь поверхности) и т.д.

Важнейшим достоинством solids-моделей, особенно с учетом задач нашего курса, является возможность автоматического построения их проекций – видов, разрезов, сечений, составляющих основу чертежа.

Построение solid-примитивов

Первый solid-объект (геометрический примитив) вами уже построен. Это параллелепипед, созданный командой **BOX**. Его параметры вводились с командной строки (см. выше). Изучая возможности создания solid-объектов, построим параллелепипед и другие объекты в более наглядном режиме динамического ввода.

- Перейдите в пространство модели через окно вида сверху. Для этого укажите кнопку **PAPER** (Лист) в статусной строке и укажите область окна вида сверху.

Для перехода в окно можно просто дважды щелкнуть левой кнопкой мыши по области этого окна. В итоге пиктограмма ПСК должна принять вид осей координат. Рамка активного видового окна (вида сверху) должна выделиться толстой линией. Курсор перемещается внутри выбранного окна.

- Включите режим динамического ввода <F12> или  (см. разд. 2.1).
- В панели инструментов **Modeling** укажите кнопку с изображением куба.

Рядом с курсором отслеживаются его координаты с подсказкой “Первый угол”.

- Укажите точку угла основания параллелепипеда / переместите курсор – отслеживается прямоугольник основания параллелепипеда с размерами / в нужный момент укажите правый дальний угол основания / перемещайте курсор – тянется отрезок, длина которого будет принята за высоту параллелепипеда, и выводится его размер. Зафиксируйте высоту указанием второй точки отрезка – параллелепипед построен.

Повторим построение параллелепипеда. Но сейчас придадим ему требуемые размеры, вводя их значения с клавиатуры. Пусть левый нижний ближний угол имеет координаты 30.5, 30, 25. Длина параллелепипеда 100, толщина 35, высота 60. Построение выполним в окне аксонометрии:

- Перейдите в окно аксонометрии, включите режим динамического ввода;
- **erase** – сотрите предыдущие объекты;
- **box** / – в области курсора возникли окна для динамического ввода координат;
- введите 30.5 и нажмите клавишу <Tab> – значение X-координаты введено в первое окно, в конце числа поставлен замок, курсор перешел во второе окно;
- введите 30 <Tab>, введите 25 <Enter> – угловая точка задана.

Появились поля задания длины и толщины, продолжаем ввод размеров:

- введите 100 <Tab>, введите 35 <Tab> <Enter>.
- Возникло поле задания высоты, введите 60 <Enter> – параллелепипед построен.

Постройте еще ряд solids-объектов: клин, конус, сферу и др., по порядку расположения их кнопок на панели **Modeling.**

Построения можно выполнять в любом из видовых окон. Плоскость основания объектов задается параллельной плоскости видового окна, а высота – перпендикулярно ей:

- перейдите в окно вида спереди и постройте конус или цилиндр.

Редактирование геометрии solids-объектов ручками

Общие свойства solids-объектов: цвет, тип и толщина линии, слой – редактируются как у всех объектов (см. разд. 1.14, 2.9, 2.10).

Для редактирования геометрии solids-объектов предусмотрено три варианта: ручками, на уровне подобъектов и командой **SOLIDEDIT(РЕДТЕЛ)**. Сейчас рассмотрим редактирование ручками.

- Укажите один из созданных solids-объектов – возникли ручки, перемещая которые можно редактировать форму объекта.

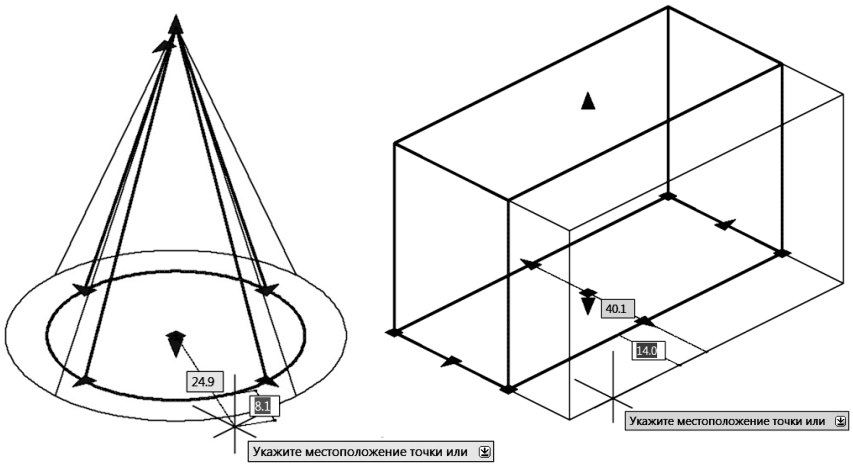


Рис. 5.3. Ручки редактирования solids-объектов

Количество ручек и их назначение индивидуально для каждого объекта. Чем проще объект, тем больше предусмотрено возможностей его редактирования, то есть больше ручек редактирования. Ручки рекомендуется применять в режиме динамического ввода.

Рассмотрим в качестве примера редактирование параллелепипеда и конуса (рис. 5.3):

- постройте параллелепипед и конус;
- включите режим динамического ввода <F12>;
- укажите параллелепипед – возникли ручки, треугольные и квадратные.

Перемещение треугольной ручки приводит к перемещению одной грани. Перемещение квадратной ручки – к перемещению двух граней. Рассмотрим редактирование на примере треугольной ручки:

- коснитесь курсором одной из ручек – возникли связанные с ней размеры объекта. Коснитесь курсором других ручек и посмотрите все размеры параллелепипеда;
- укажите треугольную ручку передней грани и перемещайте ее – вместе с ручкой перемещается грань. Рядом с указанной ручкой видны два окна динамического ввода. В одном отслеживается величина перемещения, в другом – размер объекта (толщина);
- следя за показаниями в окнах динамического ввода, укажите положение перемещаемой грани – грань зафиксирована.

Зададим величину перемещения с клавиатуры, например, 20 мм:

- вновь переместите ручку передней грани. Обратите внимание на то, что значение в поле приращений активно (выделено). Нажимая <Tab>, переключайте активность полей. При активном поле приращений введите с клавиатуры значение, например, 20 и <Enter> – выполнено перемещение грани на указанную величину.

Переместим верхнюю грань так, чтобы высота параллелепипеда стала равной 100 мм:

- укажите ручку верхней грани. Клавишей <Tab> переключите ввод в динамическое окно размера (высоты), введите с клавиатуры требуемое значение 100;
- <Esc> – сброс ручек.

Выполните редактирование конуса:

- укажите конус – возникли ручки окружности основания и вершины;
- управляя ручками, измените радиус и высоту конуса на требуемые приращения или до требуемых значений;
- ручкой, расположенной вблизи вершины, преобразуйте конус в усеченный, добавив верхнее основание.

5.3. Наглядная визуализация

Предусмотрены три варианта наглядной визуализации AutoCAD'а: удаление невидимых линий, быстрое тонирование (закраска) и фотореалистичная визуализация. Сейчас рассмотрим первые два варианта, поскольку их применяют в процессе построения модели.

Удаление невидимых линий

Выполняется командой **HIDE(СКРЫТЬ)**, которая позволяет получить каркасные изображения с удаленными линиями невидимого контура (линиями заднего плана). Применим ее к параллелепипеду:

- перейдите в окно аксонометрии;
- **View** / **Hide** (Вид / Скрыть) – невидимые ребра и грани исчезли (см. рис. 5.1, *б*).

После применения команды **HIDE** изображение в видовом окне заблокировано, его нельзя панорамировать или увеличивать (уменьшать). Для восстановления изображения, в том числе удаленных линий, нужно выполнить команду **REGEN (РЕГЕН)**:

- **View** / **Regen** (Вид / Регенерировать).

Команда **HIDE** является исторически первым средством наглядной визуализации. Она в статическом режиме воспроизводит настройки стиля визуализации **3D Hidden** (см. ниже). Имеется ряд дополнительных возможностей этой команды. Изучите справку по команде.

Стандартные стили тонирования

Познакомимся с основным вариантом наглядной визуализации – это быстрое тонирование (его еще называют закраской). Предусмотрен набор стандартных стилей визуализации и возможность создания новых стилей. Работа со стилями возможна через главное меню **View** (Вид) / V**isual** S**tyles** (Визуальные стили). Удобно применять панель инструментов (рис. 5.4).

Для изучения быстрого тонирования:

- постройте два-три объекта, например параллелепипед, конус, сферу. Придайте им различные цвета кроме черного. Расположите объекты во взаимном пересечении;
- перейдите в окно аксонометрии;
- выведите на экран панель *Visual Styles* (Визуальные стили).



Рис. 5.4. Панель инструментов **Visual Styles** (Визуальные стили)

Стиль **2D Wireframe** (2D каркас) – кнопка первая слева или сверху – это обычный режим экрана, применяется для отмены тонирования, полученного другими стилями. Далее следуют четыре стандартных стиля. Из них при построении моделей, в основном, будем применять стиль **3D Hidden** (3D скрытый) – создает каркасное изображения с удаленными линиями невидимого контура и **Realistic** (Реалистичный) – объекты раскрашиваются в соответствии с цветом граней модели. Дизайнерам понравится стиль **Conceptual** (Концептуальный). Последняя кнопка панели **Visual Styles** позволяет создать новый стиль.

- Визуализируйте объекты, поочередно задавая стандартные стили визуализации.
- Восстановите обычный режим экрана, указав кнопку стиля **2D Wireframe** (2D каркас).

Новый визуальный стиль – Металл

Рассмотрим пример создания нового стиля визуализации, который, например, позволит передать свойства металлической поверхности и повысить наглядность создаваемых моделей:

- перейдите в видовое окно визуализации модели (в нашем примере – в окно аксонометрии);



Рис. 5.5. Настройка стиля визуализации

- **`visualstyles`** (или укажите кнопку  панели **Visual Styles**) – возникло окно **Visual Styles Manager** настройки стилей визуализации (рис. 5.5).
- В верхней части окна приведены слайды стандартных стилей визуализации. При указании сайда в основной части окна отображаются параметры настроек выбранного стиля.

Для изменения режима визуализации можно внести корректировки в один из стандартных стилей. Однако эти корректировки сохранятся только в текущем файле, кроме того, будет изменен стандартный стиль, что нежелательно.

Создадим новый стиль с новым именем и сохраним его для дальнейшего применения. Здесь возможны два варианта начальных действий.

Первый вариант: выбрать стандартный стиль, наиболее подходящий для вновь создаваемого. В нашем примере это стиль **Realistic** (Реалистичный). Скопировать слайд выбранного стиля на свободное место окна слайдов (нажать <Ctrl>, указать слайд и перетащить его). Задать имя нового стиля (правый клик мыши по новому слайду, в контекстном меню указать строку изменения имени стиля…).

Второй вариант:

- укажите кнопку поз. *1* , расположенную под слайдами – возникло диалоговое окно задания имени стиля. Задайте имя, например, *Металл* – рядом со слайдами стандартных стилей появился слайд нового стиля. В основной части окна возникли обобщенные настройки стиля, близкие к стилю **Realistic** (Реалистичный).

Подготовив новый стиль, необходимо внести коррективы, основная из них в нашем примере – замена цвета граней:

- в группе **Materials and Color** (Материалы и цвет) укажите строку параметра **Face Color Modes** (Режим цвета грани), и в раскрывающемся списке вместо режима **Normal** (Обычный) задайте режим **Monochrome**;
- в полосе инструментов, расположенной под слайдами, укажите кнопку поз. *2*.

Выполнена визуализация модели в соответствии с новыми настройками стиля визуализации. Поверхности модели придан цвет серебристого алюминиевого сплава.

Для увеличения металлического блеска поверхности повысим интенсивность “дежурного” освещения, действующего при отсутствии специально-созданных источников света:

- укажите кнопку *4*, затем в строке **Highlight intesity** (Интенсивность подсветки) задайте значение в интервале 5…70.

Варьируя цвет **Monochrome color**, можно передать свойства различных металлов, проверьте.

Обратите внимание на множество параметров, определяющих стиль визуализации. Параметры позволяют настроить цвет граней и ребер, интенсивность освещения, передать материалы, тени, сделать объекты в необходимой мере прозрачными и многое другое.

Например, изучите возможность корректировки толщины и цвета ребер и очерковых линий:

- изменяйте параметры в полях **Edge Settings** (Параметры ребер) и **Fast Silhouette** Edges (Кромки быстрых силуэтов), после каждой корректировки указывайте кнопку поз. *2;*
- лучший результат оставьте в настройках, включив их в новый стиль.

В диспетчере визуальных стилей новый стиль сохраняется только в текущем файле. Для внешнего сохранения стиля следует открыть инструментальные палитры (см. разд. 1.4), в них – палитру визуальных стилей, или создать новую палитру. Затем указать кнопку *3* – в инструментальной палитре возникает знак сохраняемого стиля. Можно перетащить слайд сохраняемого стиля в палитру. Стиль становится доступным из других файлов.

Полную информацию о быстром тонировании и стилях визуализации см.:

- **help** / Руководство пользователя / Управление видами чертежей / Изменение видов / Тонирование модели…
- Восстановите режим **Face Color Modes**, задав его **Normal**.

Режим наглядной визуализации, будь это стандартный или новый стиль, рекомендуем установить только в окне аксонометрии. В окнах ортогональных проекций рационально оставить обычные каркасные изображения.

5.4. Направление взгляда и навигация

Предусмотрены три варианта задания направления взгляда (или, согласно принятой терминологии, задания точки зрения и вида): задание *стандартного* вида, задание вида по координатам точки наблюдения, осмотр моделей в динамичном режиме.

Стандартные виды

Стандартные виды устанавливаются командой **VIEW (ВИД)**, но удобнее пользоваться одноименной панелью инструментов (рис. 5.6). Это шесть ортогональных видов, по граням куба (спереди, сверху, слева …) и четыре изометрии (из восьми возможных). Команда **VIEW** позволяет сохранить вид, присвоив ему имя. По этому имени той же командой в необходимый момент вид можно восстановить.

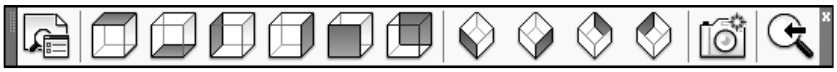


Рис. 5.6. Панель инструментов View (Вид)

Точка зрения с заданными параметрами

Предусмотрен ряд команд задания точки зрения и вида. Команда **VPOINT (ТЗРЕНИЯ)** – устанавливает вид по координатам точки наблюдения. Команда **CAMERA(КАМЕРА)** передает вид из фотокамеры с заданными параметрами. В наибольшей мере нам понадобится команда **DDVPOINT (ДИАЛТЗРЕН)**, задающая вид в соответствии с угловыми параметрами вектора взгляда.

Обратимся к команде **DDVPOINT**:

- перейдите в видовое окно, в котором выполняется настройка вида, например, пусть это будет окно аксонометрии (см. рис. 5.1, *а*);

- **View** (Вид) / **3D Views** (3D вид) / **Viewpoint Presets** (Настройка точки зрения) – возникло диалоговое окно, содержащее две диаграммы (рис. 5.7).

Левая диаграмма показывает угол между проекцией вектора взгляда на плоскость XOY и осью X, правая – наклон вектора к плоскости XOY.

На момент открытия диалогового окна в нем показаны параметры текущей точки зрения. Так, значения на рис. 5.7 соответствуют изометрии (см. рис. 5.1, *а*). Для задания другого вида нужно ввести новые значения, указывая курсором точки на диаграммах внутри соответствующих секторов или внутри круга. Можно ввести значения в окна, расположенные под диаграммами. Например, установим ортогональную диметрию (рис. 5.9, 5.12):

- задайте на левой диаграмме угол к оси X ≈ 250° или 290°, на правой – угол с плоскостью XY ≈ 19°.

По умолчанию параметры точки взгляда задаются в мировой системе координат, но можно по кнопке **Relative to UCS** перейти в режим, при котором углы задаются в ПСК. Кнопка **Set to Plan View** позволяет задать вид в плане текущей ПСК.

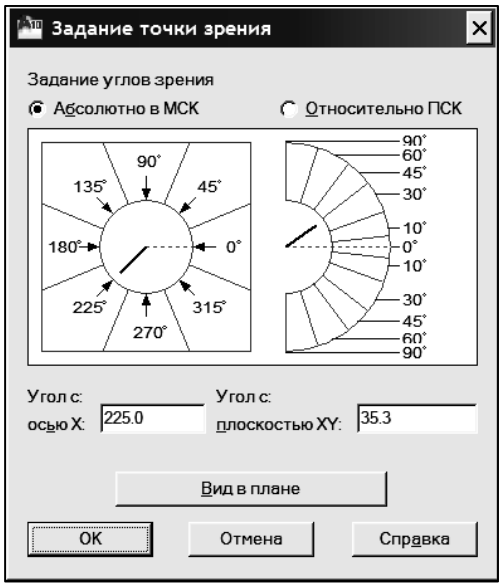


Рис. 5.7. Диалоговое окно настройки точки зрения

Орбита

Орбита – средство, позволяющее динамично и в реальном времени осмотреть объект. Осматривать можно сразу все объекты видового окна, но лучше, для экономии ресурсов и для наглядности, предварительно выбрать лишь необходимые объекты. Система автоматически назначает центр и радиус вращения. Движение управляется перемещением курсора мыши. Навык управления формируется быстро.

Существует три режима орбиты: **Constrained Orbit** (Зависимая орбита), **Free Orbit** (Свободная орбита), **Continuous Orbit** (Непрерывная). Варианты сосредоточены в меню **View** (Вид) / **3D Orbit** (Орбита). Удобно пользоваться панелью инструментов **Orbit** (Орбита) или панелью **3D Navigation** (3Dнавигация).

Зависимая орбита

Термин “зависимая” указывает, что на траекторию осмотра объекта наложены кинематические зависимости для простого и наглядного управления перемещением.

- Перейдите в пространство модели через одно из видовых окон. Если имеется окно аксонометрии, то перейдите в него и создайте в нем тонированное изображение объектов. Установите МСК.
- Вызовите панель инструментов *Orbit* (Орбита) (рис. 5.8).
- Укажите первую (левую) кнопку панели *Orbit* – активизирован режим зависимой орбиты. Прижмите левую клавишу мыши и перемещайте курсор.



Рис. 5.8. Панель инструментов **Orbit** (Орбита)

Происходит осмотр объекта. Наложенные зависимости проявляются в том, что ось Z МСК совершает плоскопараллельное перемещение, отображаясь на экран в виде вертикального отрезка.

- <Esc> – зафиксировать точку зрения.

Если на экране присутствует группа объектов, то укажите один из них и повторите осмотр только этого объекта.

Если при осмотре объекты “убегают” за границы видового окна, нужно правым щелчком мыши вызвать контекстное меню и указать опцию **Enable Orbit AutoTarget** (Включить

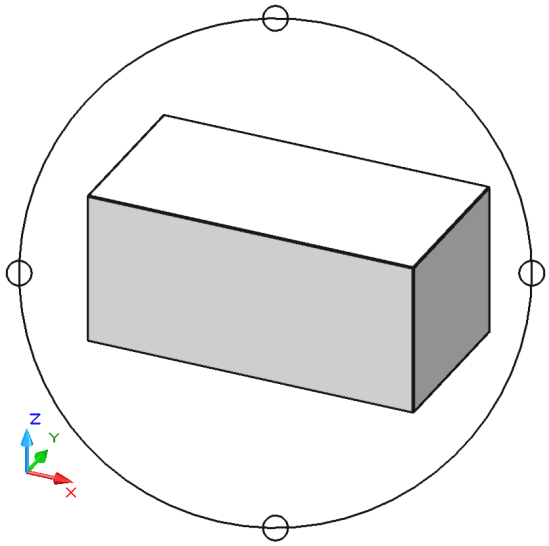


Рис. 5.9. Орбитальное кольцо свободной орбиты **3DORBIT**

автоприцел орбиты). Вращение будет происходить вокруг центра выбранной группы объектов. Иначе оно происходит вокруг центра видового окна.

Поскольку зависимая орбита является наиболее распространенным инструментом навигации, предусмотрен упрощенный вариант его вызова. Достаточно нажать <Shift> и ролик мыши. Причем, это можно сделать во время выполнения других команд, не прерывая их. Такой режим команды называется *прозрачным*. Он предусмотрен и для многих других команд управления изображением.

Свободная орбита

❑ Укажите вторую кнопку панели *Orbit* – активизирован режим свободной орбиты.

На экране возникло орбитальное кольцо (рис. 5.9). Исторически термин **Orbit** возник как восприятие космонавта, осматривающего землю (объект) в окно иллюминатора. Перемещение курсора *внутри* кольца воспроизводит движение наблюдателя вокруг объекта без собственного вращения (корабль вращается, космонавт неподвижен). Перемещение курсора *вне* круга соответствует вращению наблюдателя при неподвижной точке наблюдения – объект в окне лишь поворачивается, облета вокруг него не происходит (космонавт вращается внутри корабля около иллюминатора). Если поместить курсор в один из четырех кружков орбитального кольца, а затем перемещать курсор, то будет воспроизводиться облет *строго* по экватору или меридиану.

❑ Проверьте указанные возможности задания точки наблюдения, перемещая курсор внутри круга, вне его, а также “полетайте” по экватору и меридиану.

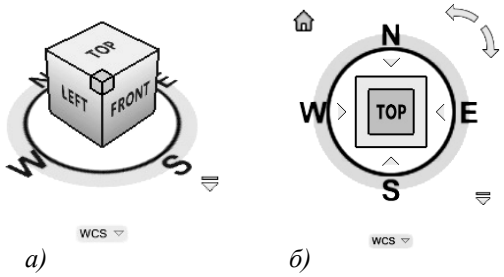
Контекстное меню, вызываемое во время выполнения орбиты правой кнопкой мыши, содержит многочисленные опции. Так, опции **Parallel** или **Perspective** позволяют установить аксонометрическую или перспективную проекцию, опция **Preset Views** – установить стандартные виды (сверху, спереди, слева, изометрию и др.), опция **Reset View** восстановит вид, при котором вы начали подбирать точку наблюдения.

Непрерывная орбита

Укажите третью кнопку панели **Orbit.** Прижмите левую кнопку мыши и, не отпуская ее, переместите курсор в направлении вращения. Перемещайте с ускорением, наращивая скорость. Отпустите кнопку мыши – началось вращение объектов в соответствии с заданной орбитой и скоростью. Для остановки вращения нажмите <Esc>.

Видовой куб

ViewCube (Видовой куб) – это новый инструмент навигации, появившийся, начиная с версии AutoCAD 2009. Видовой куб (рис. 5.10) размещается, как правило, в верхнем правом углу видового окна при включении любого визуального 3D стиля. Вид куба соответствует точке зрения видового окна. На гранях куба отображаются названия ортогональных проекций (сверху, слева, спереди и т.д.). Указание грани, ребра или угла куба устанавливает в окне один из фиксированных видов.



а) *б)*

Рис. 5.10. Инструмент **ViewCube** (Видовой куб): *а* – в аксонометрической проекции; *б* – в ортогональной проекции

Чтобы задать произвольную точку зрения, нужно указать куб и вращать – он действует как зависимая орбита. Под кубом расположено дополнительное средство – компас, с помощью которого также можно управлять навигацией.

Куб можно настроить: выбрать размер, прозрачность или переместить в другой угол, включить-отключить компас. Командой **NAVVCUBE (НАВВКУБ)** куб можно включать или убрать с экрана:

- задайте в видовом окне один из визуальных стилей тонирования – появился видовой куб. Если куба нет, включите его командой **NAVVCUBE;**
- указывая грани, ребра и вершины куба, переключайте фиксированные виды;
- прижмите куб левой кнопкой мыши и поворачивайте его, наблюдая вращение объектов;
- прижмите компас левой кнопкой мыши и вращайте его – происходит вращение объектов в горизонтальной плоскости.
- Выполните правый щелчок по кубу – возникло контекстное меню, укажите в меню строку **Параметры…** – возникло диалоговое окно настроек, изучите их.

Штурвал

Инструмент **SteeringWheels** (Штурвал) предназначен для быстрого доступа к командам управления изображением и навигации. Вызывается командой **NAVSWHEEL (НАВШТУРВАЛ)** или кнопкой **SteeringWheels** (Штурвалы) в строке состояния (см. рис. 1.2, поз. *7*). Представляет собой набор панелек с названиями команд (рис. 5.11). Прижав указателем мыши одну из панелей, выбираете соответствующую команду:

- перейдите в видовое окно;
- укажите кнопку  в строке состояния – появился штурвал, перемещающийся вслед за курсором;
- правым щелчком вызовите контекстное меню и задайте **Full Navigation Wheel** (Суперштурвал) (рис. 5.11);
- указывая секторы-панели штурвала, вызовите команды навигации и примените их к объектам. Например, укажите сектор **Pan** (Панорамирование) и переместите объект или сектор **Orbit** (Орбита), и осмотрите объект и др.;
- в контекстном меню вызовите варианты миништурвалов и изучите их действие;
- вновь вызовите контекстное меню штурвала и укажите строку **SteeringWheel Settings** (Параметры штурвала) – изучите диалоговое окно настроек штурвала.



Рис. 5.11. Инструмент **SteeringWheels** (Штурвал) в режиме Суперштурвал

5.5. Объектная привязка в пространстве

Напомним, что объектная привязка позволяет задать точку объекта по ее качественному признаку, например, как точку пересечения прямых линий, середину или конец отрезка, центр сферы и др. Предусмотрен постоянный и разовый режимы привязки (см. разд. 2.4). Рассмотрим применение объектной привязки в трехмерных построениях.

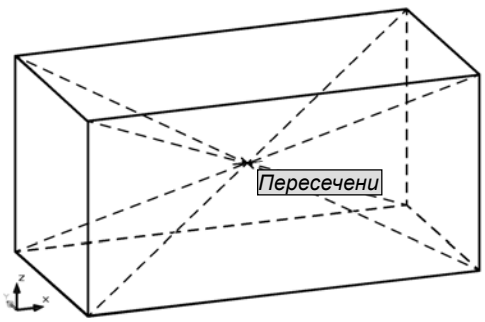


Рис. 5.12. Диагонали параллелепипеда и точка их пересечения

Построить диагонали параллелепипеда и точку их пересечения

Диагонали (рис. 5.12) проводятся из конечных точек ребер параллелепипеда, поэтому понадобится привязка **Endpoint** (Конечная). Для выявления

точки пересечения диагоналей нужна привязка **Intersection** (Пересечение). Привязки зададим постоянными, так как они понадобятся несколько раз:

- сделайте правый клик по кнопке **OSNAP** / в контекстном меню укажите **Settings** (Настройка) / в диалоговом окне выберите привязки **Endpoint** и **Intersection** / **OK**;
- укажите кнопку **OSNAP** в статусной строке;
- **`line`** / подведите курсор к одной из вершин параллелепипеда и задержите его – должен возникнуть прицел привязки и появиться имя привязки, после этого укажите "пойманную" точку;
- подведите курсор к противоположной вершине и повторите действия – диагональ построена;
- вновь **`line`**, стройте остальные три диагонали;
- задайте маркер точки: меню **Format** / **Point Style** (Формат / Стиль точки), в диалоговом окне укажите символ "крестик", задайте размер маркера в 5…8%. Задайте красный цвет;
- **`point`** / поймайте в прицел место пересечения диагоналей и дождитесь сообщения, подтверждающего, что построенные диагонали в пространстве действительно пересекаются / укажите точку пересечения;
- внесите корректировки в визуальный стиль **3D Hidden**, добавив в него отображение скрытых ребер штриховой линией (см. выше *Новый визуальный стиль*, разд. 5.3);
- примените новый стиль к видовому окну – результат показан на рис. 5.12.

5.6. Пользовательская система координат в трехмерных построениях

Понятия мировой (МСК) и пользовательской (ПСК) систем координат было рассмотрено в разд. 2.6. В трехмерных построениях ПСК задает плоскость построений, относительно которой ведется создание объектов, выполняются команды редактирования, определяются координаты.

Пространственные построения связаны с постоянным переопределением плоскости построений. Это может быть, например, параллельный перенос плоскости и начала координат в новую точку пространства, поворот плоскости построений относительно пространственной оси, задание плоскости по трем точкам. В связи с этим команда **`UCS (ПСК)`** имеет многочисленные опции для трехмерной работы. Управлять ПСК удобно с помощью панели инструментов **UCS** (см. рис. 1.4).

Изучите раздел справочной информации по ПСК и методам ее применения:

- **`help`** / Руководство пользователя / Создание и редактирование объектов / Средства обеспечения точности / Координаты и системы координат (ПСК) / Задание плоскостей видов чертежа в 3D (ПСК) …

Пиктограммы осей

Система координат отображается на экране с помощью пиктограммы осей. Стрелки в пиктограмме могут быть заданы двумя отрезками (рис. 5.13, *в*, *д*) или в виде конусов (см. рис. 5.13, *а, б, г, е*). Варианты пиктограмм задаются командой **`UCSICON (ЗНАКПСК)`**, которая дополнительно позволяет определить размер, цвет и толщину линий пиктограммы (см. разд. 2.6).

Пиктограмма содержит большой объем информации о системе координат, которую она отображает. Например, отсутствие оси Z указывает, что в видовом окне установлена одна из ортогональных проекций (см. рис. 5.13, *а-в*), иначе, если ось показана, задана аксонометрия (рис. 5.13, *г – е*).

Если в аксонометрии точка наблюдения находится над плоскостью XY, то в пиктограмме Z-ось показана сплошной линией (см. рис. 5.13, *г, д*). Если взгляд из-под плоскости XY, то Z-ось показана прерывистой (см. рис. 5.13, *е*).

Крестик в пиктограмме на пересечении осей указывает точку начала координат (см. рис. 5.13, *а, в, д*). Если крестик отсутствует, то пиктограмма не отслеживает начало координат, она смещена в левый нижний угол видового окна (см. рис. 5.13, *б, е*). Это имеет место в двух случаях: либо режим контроля начала координат отключен командой **UCSICON**, либо пиктограмма не помещается в том месте, где находится начало координат. В последнем случае достаточно сместить изображение, и пиктограмма станет на место начала координат.

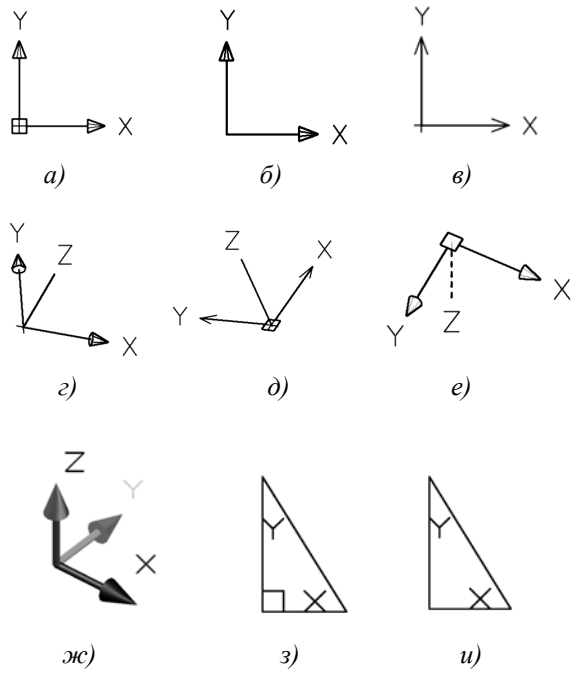


Рис. 5.13. Варианты пиктограммы осей координат

Пиктограмма показывает, является ли действующая система координат мировой (т. е. исходной) или пользовательской (заданной пользователем). Мировая система в пиктограмме обозначается квадратом на пересечении осей (см. рис. 5.13, *а, д, з*).

Например, расшифруем пиктограмму (см. рис. 5.13, *д*): действует мировая система координат (квадрат на пересечении осей), пиктограмма находится в начале координат (крестик на пересечении осей), в видовом окне установлена аксонометрия, причем взгляд на плоскостьXY направлен сверху (Z-ось показана сплошной линией).

Пиктограмма на рис. 5.13, *ж* возникает в режиме любого 3D визуального стиля или динамичного осмотра 3DORBIT. Треугольная пиктограмма (рис. 5.13, *з, и*) соответствует пространству листа.

Выполните настройку, при которой во всех видовых окнах пиктограмма установится в начало координат ПСК, действующих в этих окнах:

- **ucsicon / All / Origin**.

Работа с ПСК в нескольких видовых окнах

При выполнении построений в видовых окнах, как правило, устанавливают различные системы координат, оптимальные для каждого окна. Эти системы являются независимыми друг от друга. Установка в видовых окнах независимых систем координат появилась с версии ACAD2000. Возможна настройка, когда в двух или более окнах (в том числе во всех) поддерживается единая ПСК.

Яркость пиктограммы

При активизации видового окна пиктограмма в этом окне выделяется ярким цветом; это подчеркивает, что система данного окна стала активной. В других окнах пиктограммы бледные за исключением тех окон, где система координат та же, что в активном окне. Например, на рис. 5.1, *б* показано (посмотрите также на экран своего компьютера), что на виде сверху и в аксонометрии действует мировая система (виден квадрат на пересечении осей), в окне вида спереди – пользовательская, параллельная плоскости вида.

- Перейдите в оно вида сверху – пиктограмма этого окна и окна аксонометрии яркая, в окне вида спереди – бледная.
- Перейдите в окно вида спереди – яркость пиктограмм поменяется местами.

Передача ПСК из окна в окно

Часто возникает необходимость в текущем видовом окне, где настроен оптимальный вид, применить систему координат, ранее настроенную в другом видовом окне. Для этого нужно приравнять систему координат одного окна системе другого окна, группе окон или всем сразу,

применив опцию **Apply** (Применить) команды **UCS**. При последующих построениях системы координат в видовых окнах по-прежнему остаются независимыми.

Примеры применения ПСК и объектной привязки

Построим композицию, содержащую параллелепипед, конус и полусферу (рис. 5.15, 5.16). Ее создание потребует совместного применения ПСК и объектной привязки.

Основу композиции составляет параллелепипед. Размеры остальных объектов зададим по отношению к нему в глазомерной пропорции. Продолжаем работать в трех видовых окнах. Пиктограмма ПСК должна отслеживать начало координат. Кроме того:

- в окне аксонометрии установите режим визуализации *3D Hidden*. В окнах ортогональных проекций сохраните обычный режим визуализации *2D Wireframe* (2D каркас);
- постройте параллелепипед по размерам: длина 100, ширина 35 и высота 60 мм (см. разд. 5.1, 5.2).

Построить конус на верхней грани параллелепипеда

Для построения объекта в пространстве сначала задают плоскость построений как ПСК. В рассматриваемой задаче плоскость построений для конуса – это верхняя грань параллелепипеда (рис. 5.14). Для ее задания начало координат ПСК перенесем в одну из вершин верхнего основания параллелепипеда, совместив плоскость XY с этой гранью:

- включите постоянно действующую объектную привязку **Endpoint** (Конточка);
- перейдите в окно аксонометрии;
- кнопка  *(*или **ucs** / **Or**) / подведите курсор к ближней вершине верхнего основания – дождитесь подтверждения объектной привязки / укажите захваченную вершину.

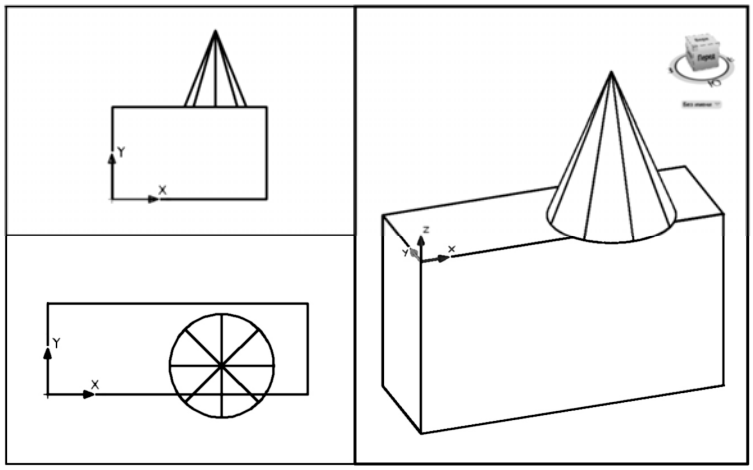


Рис. 5.14. Построение конуса на верхней грани параллелепипеда

В окне аксонометрии пиктограмма “прыгнула” на верхнюю грань параллелепипеда, показав положение новой системы координат. В остальных окнах системы координат не изменились, но пиктограммы в них стали бледными.

Характерной ошибкой при задании ПСК является указание вершины без объектной привязки. В этом случае лишь будет казаться, что пиктограмма находится на верхней грани. На самом деле она будет далеко за объектом. Увидеть это можно, изменив точку зрения:

- оставаясь в окне аксонометрии, осмотрите объект орбитой (<Shift> + Ролик) и убедитесь, что ПСК действительно установлена в точку верхней грани.

Передадим систему координат из окна аксонометрии в окно вида сверху:

- убедитесь, что активно окно аксонометрии, систему которого мы берем за основу;

- ❑  (или **ucs** / **Apply** – **Применить**) / перейдите в окно вида сверху / правый клик.

На виде сверху пиктограмма переместилась в вершину параллелепипеда. Пиктограммы на виде сверху и в аксонометрии яркие, что подчеркивает равенство систем этих видовых окон. В окне вида спереди, где система координат иная, пиктограмма бледная.

Строим конус на верхней грани параллелепипеда:

- ❑ перейдите в окно вида сверху;
- ❑ отключите объектную привязку, иначе она может мешать, захватывая вершины параллелепипеда;
- ❑ **cone** или кнопка  панели **Solids** (см. рис. 5.2) / включите динамический ввод, укажите центр основания конуса / переместите курсор – прорисовывается основание конуса, задайте его размер (в глазомерной пропорции) как на рис. 5.14, перейдите в окно вида спереди или аксонометрии и задайте высоту конуса.

Построить полусферу на передней грани параллелепипеда

Зададим ПСК так (см. рис. 5.15), чтобы плоскость XY совместилась с передней гранью параллелепипеда. Для этого применим опцию, задающую ПСК по трем точкам. Объектную привязку в этот раз будем задавать как разовую (см. разд. 2.4):

- ❑ перейдите в окно аксонометрии;
- ❑  (или **ucs** / 3) / на запрос системы о положении начала координат выполните <Shift > + Правый клик мыши, в контекстном меню укажите **Endpoint** (Конечная), поймайте в прицел точку *1* и после подтверждения привязки укажите эту точку;
- ❑ на следующие запросы в том же окне укажите точки *2* и *3*, каждый раз вызывая объектную привязку.

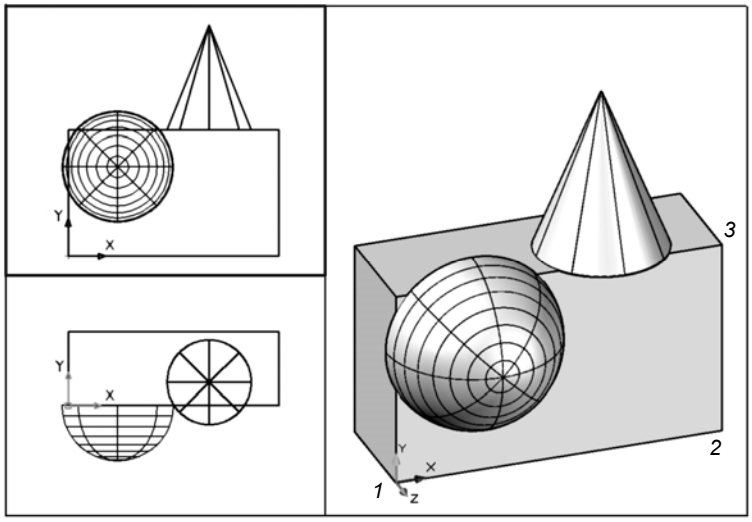


Рис. 5.15. Построение полусферы на передней грани параллелепипеда

В окне аксонометрии пиктограмма указала положение новой системы координат, в остальных остались прежние ПСК. Дальнейшие построения сферы сейчас можно выполнять в окне аксонометрии. Однако лучше это сделать в окне вида спереди. Для этого передадим ПСК, установленную по передней грани параллелепипеда, из окна аксонометрии в окно вида спереди:

- ❑ по перемещению курсора убедитесь, что вы в окне аксонометрии;
- ❑ **ucs** / **Apply** / перейдите в окно вида спереди / правый клик мыши.

Для построения полусферы сначала построим сферу, затем отрежем ее половину. Сферу задайте так, чтобы она выступала за габариты параллелепипеда (рис. 5.15):

- ❑ убедитесь, что активно окно вида спереди, или перейдите в него, убедитесь, что объектная привязка отключена, иначе она будет цеплять курсор за вершины параллелепипеда;

- **sphere** или  / укажите точку центра сферы / перемещая курсор, задайте радиус сферы.

Построена сфера. Ее половина погружена в параллелепипед. Погружение видно в окнах видов сверху и аксонометрии.

Отрежем половину сферы, задав плоскость XY в качестве режущей плоскости. Разрез выполняется командой **SLICE(РАЗРЕЗ)**:

- вновь включите постоянную объектную привязку **Endpoint** клавишей <F3>;
- перейдите в окно аксонометрии;
- **slice** / укажите сферу / Правый клик – переход к заданию трех точек секущей плоскости / с применением объектной привязки укажите три вершины передней грани параллелепипеда / опция **Both** (оставить обе части разрезанной сферы).

Сфера разрезана на две половины. Осталось удалить заглубленную полусферу:

- **erase** / укажите удаляемую полусферу – задача решена, композиция построена.

В окне аксонометрии посмотрите созданную композицию при различных стилях визуализации. Начните со стиля *Металл*, созданного вами ранее (см. разд. 5.3), затем присвойте телам различные цвета и примените реалистичный или концептуальный стили.

Проекционная связь между видовыми окнами

Проекционная связь не является обязательным условием работы с 3D-моделью, в отличие от ручной технологии или начертательной геометрии. Поэтому в процессе построений в AutoCAD'е проекционная связь между видовыми окнами ортогональных проекций постоянно нарушается. В нашем примере (см. рис. 5.14) отсутствует проекционная связь между окнами видов спереди и сверху.

Для придания законченной композиции свойств чертежа и с учебной целью проекционную связь следует восстановить (рис. 5.15). Это можно сделать приближенно "вручную", применив команды **ZOOM**  и **PAN**  (см. разд. 1.15) или в автоматическом режиме, точно, применив команду **MVSETUP** (см. разд. 11.5). Сейчас связь установим приближенно с глазомерной точностью. Командой **ZOOM** подберем в окнах одинаковый масштаб отображения, затем командой **PAN** переместим изображения до их проекционного совмещения:

- перейдите в окно вида спереди как главного вида чертежа;
- **ZOOM** / выполните увеличение или уменьшение изображения в окне вида спереди до границ окна;
- **pan** / переместите изображение в окне вида спереди на середину окна;
- перейдите в окно вида сверху;
- **zoom** / задайте длину изображения в окне вида сверху, как в окне вида спереди;
- **PAN** / переместите изображение в окне вида сверху до восстановления проекционной связи – результат должен быть как на рис. 5.15.

5.7. Динамическая ПСК

Чтобы построить объект, необходимо предварительно задать плоскость построений как плоскость XY системы координат (ПСК). В приведенных выше примерах ПСК устанавливалась в нужное положение на грани параллелепипеда применением команды **UCS(ПСК).**

В версии AutoCAD 2007 появился новый режим – динамическая ПСК. В этом режиме, при наведении указателя мыши на плоскость грани, грань распознается системой и автоматически становится плоскостью XY. Выбрать можно только видимую грань, поэтому предварительно нужно задать соответствующую точку зрения. Режим действует только во время выполнения команды, после завершения команды система координат восстанавливается в исходное

положение. Включение-отключение режима осуществляется указанием кнопки (см. рис. 1.2, поз. *13*) или клавишей <F6>.

Рассмотрим примеры применения динамической ПСК.

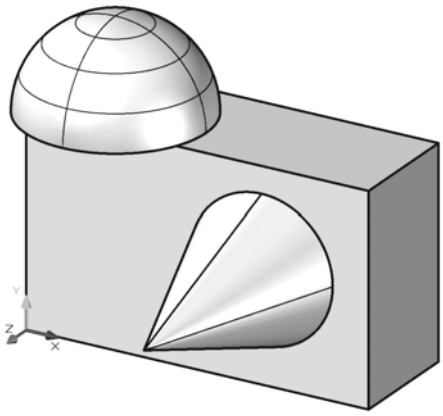


Рис. 5.16. Редактирование композиции

Построить конус на передней грани параллелепипеда

- **erase** – сотрите ранее построенный конус на верхней грани (см. рис. 5.15).

Строим конус (см. рис. 5.16). Положение ПСК может быть произвольным, при построении она будет задана в динамическом режиме:

- включите режим динамической ПСК <F6>;
- перейдите в окно аксонометрии;
- **cone** / укажите каждую из трех видимых граней параллелепипеда.

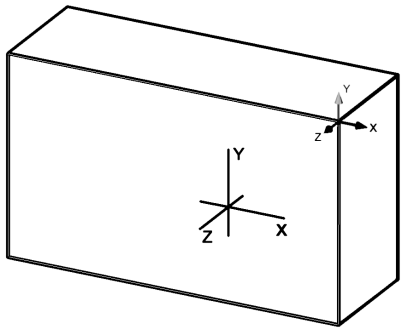


Рис. 5.17. Режим динамической системы координат

У грани (рис. 5.17), указанной во время выполнения команды при включенном режиме динамической ПСК, подсвечены ребра. По концам курсора обозначены оси координат. Видно, что оси XY установлены в плоскости грани. Основная пиктограмма также перемещается на грань.

Продолжим строить конус:

- наведите курсор на переднюю грань – рёбра грани подсветились, это указывает, что грань найдена и ПСК установлена в ее плоскости;
- укажите центр конуса и постройте его.

По ортогональным видам убедитесь, что конус установлен на передней грани.

Переместить полусферу на верхнюю грань параллелепипеда.

Подчеркнем, что сферу нужно *переместить* с передней грани (см. рис. 5.15) на верхнюю (см. рис. 5.16), а не строить заново. Рассмотрим один из вариантов решения, в котором сферу скопируем в ПСК передней грани и вставим в ПСК верхней грани:

- перейдите в окно аксонометрии, убедитесь, что в этом окне ПСК установлена по передней грани или установите ее по трем точкам (см. рис. 5.16);
- **Edit** (Редакт) / **Copy with Base Point** / с объектной привязкой **Center** укажите базовую точку в центре полусферы / укажите полусферу – объект скопирован в буфер памяти;
- активизируйте функцию динамической ПСК <F6>;
- <Ctrl + V> – объект вызван из буфера памяти;
- наводите поочередно курсор мыши на грани параллелепипеда – ребра грани подсвечиваются, вставляемая полусфера разворачивается по плоскости грани;
- окончательно переведите курсор на верхнюю грань и левым щелчком мыши зафиксируйте положение полусферы;
- сотрите исходную полусферу.

5.8. Построение тел выдавливанием и вращением

До сих пор мы строили базовые тела-примитивы: ящик, конус и т.д. Можно сформировать тела выдавливанием плоского контура командой **EXTRUDE(ВЫДАВИТЬ)** и вращением контура на заданный угол вокруг заданной оси командой **REVOLVE(ВРАЩАТЬ)**. Эти команды можно вызвать, указав соответственно кнопки  панели инструментов **Modeling** (Моделирование). Рассмотрим примеры создания моделей с использованием этих команд.

Построим плоский замкнутый контур и применим к нему команды **EXTRUDE** и **REVOLVE:**

- перейдите в окно вида спереди;
- **line** / 0,0 / 55,0 / 20,55/ 20,25 / **close** – контур создан (рис. 5.18, *а*).

Преобразуем созданный контур в область, эта операция необходима для построения тел:

- **region** / выделите все отрезки созданного контура / – создана область;
- укажите область – она должна выделиться как единое целое, иначе имеются дефекты контура (зазоры, перекрытия), которые нужно устранить.

Приступим к построению объемных фигур. Команда **extrude** позволяет выдавить контур перпендикулярно его плоскости, или с пирамидальностью (конусностью), или по произвольной траектории. Рассмотрим первые два варианта:

- **copy** – сделайте две копии области, смещая каждую на 100 мм вправо;
- **extrude** / укажите первую область / 40 – это высота выдавливания. Получена призма (см. рис. 5.18, *б*);
- **extrude** / укажите вторую область / **t** – опция **Taper angle** (Угол выдавливания) / 15 – угол в градусах между образующими и перпендикуляром к плоскости контура / 40 – высота выдавливания. Построен многогранник (см. рис. 5.18, *в*).

Для создания тела вращения необходимо задать ось вращения. Ось не должна пересекать контур вращения:

- начертите в плоскости контура вертикальный отрезок оси вращения (см. рис. 5.18, *а*)**;**

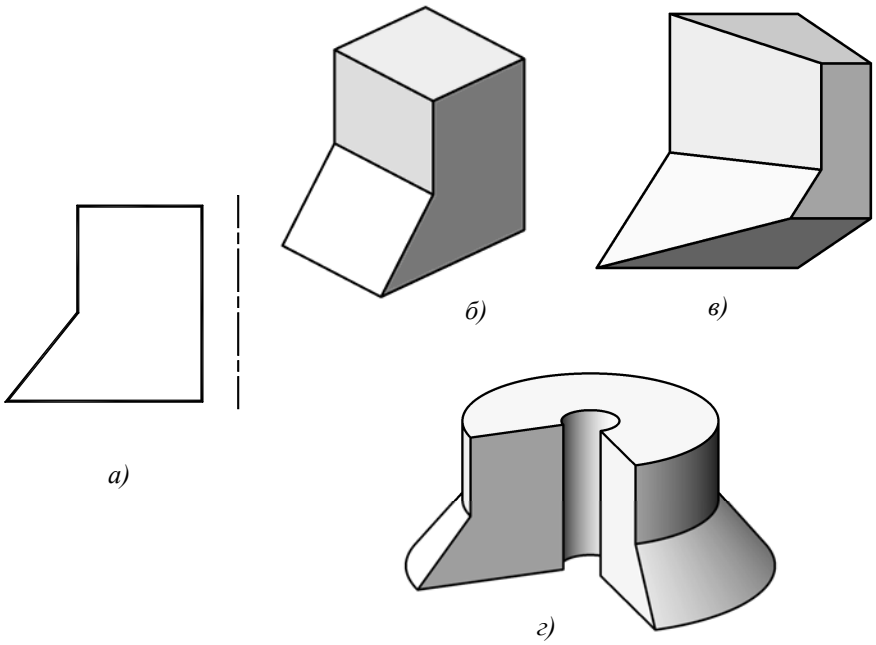


Рис. 5.18. Построение моделей командами **EXTRUDE** и **REVOLVE:**
а – плоский контур; *б, в* – модели, полученные выдавливанием;
г – тело вращения

- **revolve** / укажите контур вращения / с объектной привязкой **Endpoint** (Конечная) или **Nearest** (Ближайшая) укажите две точки оси вращения / 270 – угол вращения в градусах.

Получено незамкнутое тело вращения (см. рис. 5.18, *г*). Задав угол равным 360°, получим полное тело вращения. Если задать другую ось вращения (например, горизонтальную), то получите новую поверхность. Поэкспериментируйте.

- Рассмотрите полученные модели, перейдя в окно аксонометрии и вызвав орбиту.

5.9. Построение и редактирование командой PRESSPULL

Команда **PRESSPULL (ВЫДАВГРАНЬ)** позволяет создать solid-модели выдавливанием (вытягиванием) плоского контура перпендикулярно его плоскости. В команде **PRESSPULL,** в отличие от команды **EXTRUDE,** система сама находит контур – достаточно указать точку внутри него. Можно указать грань модели – ребра грани будут приняты за границы контура. Грань или построенный в грани контур можно вытягивать наружу или внутрь, формируя выступы или отверстия.

Вызвать команду **PRESSPULL** можно по кнопке  панели инструментов **Modeling** (Моделирование). Команда **PRESSPULL** появилась, начиная с версии AutoCAD 2007. Ввиду широкого применения этой команды для нее предусмотрены "горячие клавиши", то есть ее можно вызвать, нажав в AutoCAD 2010 последовательно <Ctrl + Shift + E> (в предыдущих версиях <Ctrl + Alt>) и, удерживая клавиши, указать точку внутри контура.

Создадим в качестве примера модель из контура, ограниченного окружностью и отрезками прямых:

- в окне вида сверху постройте окружность радиусом 20 и два отрезка, проходящие через точку окружности (рис. 5.19, а);
- **presspull** / укажите точку внутри контура – границы контура найдены и выделены прерывистой линией;
- перемещая курсор, следите за формированием объекта.

Высоту можно зафиксировать левым щелчком мыши или ввести ее значение. В нашем примере:

- введите 40 – высота вытягивания (см. рис. 5.19, *б*).

Изменим форму полученной модели, применив команду **PRESSPULL** для вытягивания боковых граней (см. рис. 5.19, *в*):

- **presspull** / укажите мышью точку на передней грани – грань выделена / перемещая курсор, потяните грань внутрь фигуры и задайте глубину 10;
- повторите те же действия для второй боковой грани, вытянув ее наружу на 10.

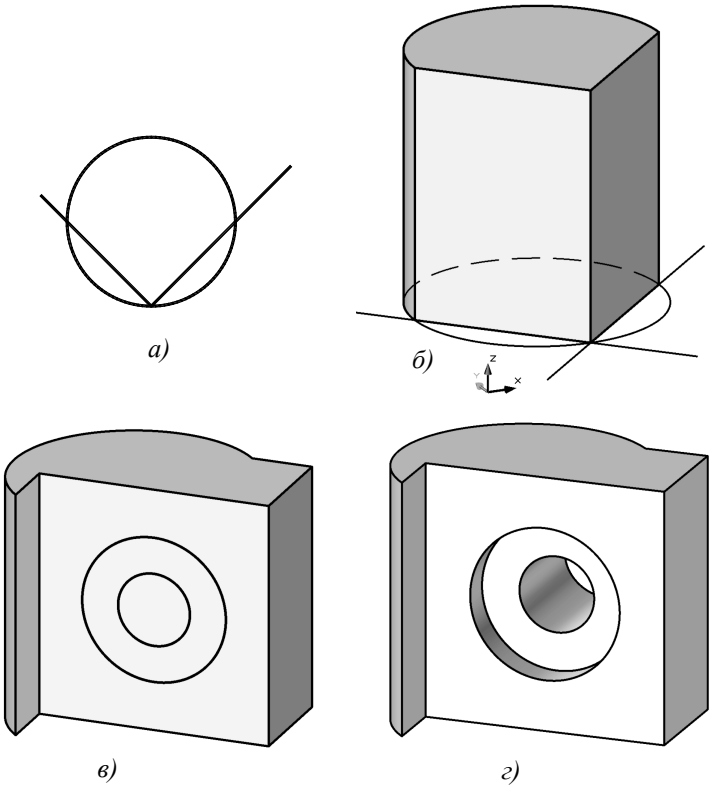


Рис. 5.19. Построение модели командой **PRESSPULL:**
а – плоский контур; *б* – вытягивание контура;
в – вытягивание граней; *г* – ступенчатое отверстие

К полученной фигуре добавим ступенчатое отверстие, перпендикулярное передней грани. Центр отверстия зададим в центре этой грани. Первоначально построим две концентричные окружности как контуры выдавливания, затем применим к ним команду **PRESSPULL**:

- задайте постоянно действующими привязки **Midpoint** (Середина) и **Center** (Центр). Включите режимы объектного слежения, динамической ПСК и динамического слежения;
- **circle** / установите курсор на переднюю грань, дождитесь, чтобы грань стала выделенной / коснитесь середины верхнего ребра выделенной грани и середины правого ребра той же грани, перемещайте курсор к центру грани – возникли линии слежения, на пересечении которых обозначена точка, укажите эту точку как центр окружности / введите 6 – радиус;
- постройте вторую окружность радиусом 12 мм;
- **presspull /** установите курсор в область внутренней окружности и перемещайте его, когда отверстие станет сквозным, сделайте левый клик;
- осмотрите орбитой модель и убедитесь, что получено сквозное отвестие;
- **presspull /** установите курсор в область второй окружности, сдвиньте его и, убедившись в формировании отверстия, введите – 6;
- задайте один из наглядных стилей визуализации и осмотрите модель.

5.10. Редарование тел на уровне подобъектов

К подобъектам относятся грани, ребра и вершины тел, а так же исходные формы, образующие составные тела. Для выбора подобъектов необходимо предварительно нажать клавишу <Ctrl>. После этого их можно переносить, вращать, масштабировать, изменять цвет.

Рассмотрим редактирование тел на уровне граней и кромок на примере “ящика” и операции переноса подобъектов (рис. 5.20):

- постройте параллелепипед, задайте любой 3D стиль визуализации, например **3D-Hidden**;
- включите режим динамического ввода;
- выполните правый клик. В контекстном меню укажите строку *Фильтр выбора подобъектов* и далее строку *Грань*;
- нажмите <Ctrl> и, удерживая ее, укажите произвольную точку редактируемой грани, в нашем примере точку верхней грани *1* (см. рис. 5.20, *а*) – грань подсветилась, в ее середине появилась круглая ручка;

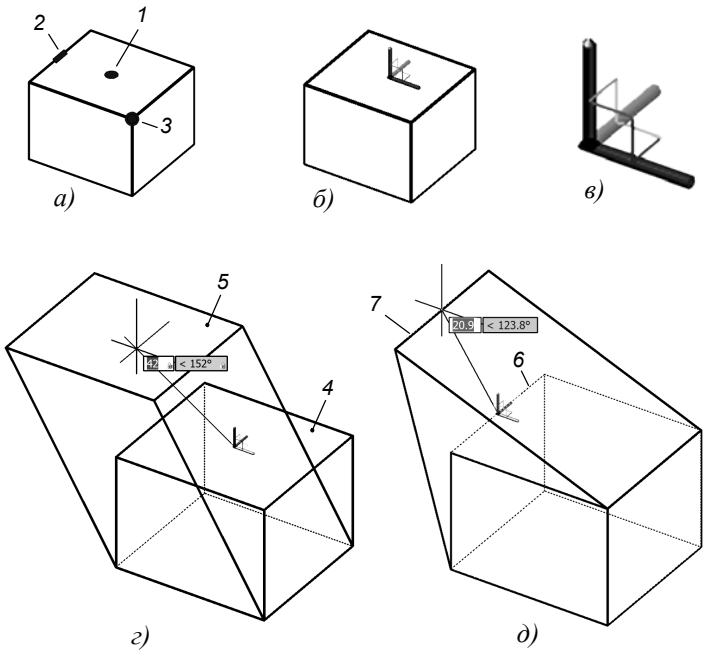


Рис. 5.20. Редактирование на уровне подобъектов: *а* – ручки подобъектов; *б, в* – гизмо перемещения; *г* – перемещение грани; *д* – перемещение ребра

- отпустите <Ctrl> и задержите курсор на этой ручке – появилась тройка осей.

Оси появляются только в 3D стиле визуализации и предназначены для удобного управления перемещением. Это так называемое ”гизмо перемещения” Начало осей ”гизмо” расположено в указанной ручке (рис. 5.20, *б*). Указав одну из осей (см. рис. 5.20, *в*), зададим

ортогональное перемещение в ее направлении. При указании квадрата между осями XY становится возможным произвольное перемещение грани в этой плоскости. Выбрав один из квадратов, расположенных между другой парой осей, получим перемещение грани в плоскости этого квадрата.

Зададим перемещение выбранной верхней грани *4* во фронтальной плоскости (см. рис. 5.20, *г*):

- укажите квадрат между осями ZX – он принял желтый цвет. Прижмите левую кнопку мыши и перемещайте грань, наблюдая результат в окнах видов сверху и спереди. Убедитесь, что перемещение происходит только в плоскости ZX.

В окнах динамического ввода отслеживаются полярные координаты перемещения. Введите необходимые значения, например:

- 42 <Tab> 152 <Tab>. Плоскость переместилась в положение *5*.

Для перемещения ребра или вершины нужно повторить те же действия, что для грани: задать 3D стиль визуализации, выбрать фильтр и указать ребро или вершину – появляется ручка ребра *2* или вершины *3* (см. рис. 5.20, *а*), установить на ручку курсор и дождаться "гизмо". По "гизмо" задать вариант перемещения и перемещать подобъект. Ввести координаты перемещения или зафиксировать положение щелчком левой кнопки мыши.

Применяя редактирование на уровне подобъектов можно существенно видоизменять объект. Так, перемещением граней, ребер и вершин можно строгий куб превратить в "фантастический" многогранник (рис. 5.21).

В составных моделях к подобъектам относятся так же образующие их исходные формы. Так, в примере (см. рис. 5.19), выбрав отверстия, можно изменить их размеры, перенести или удалить. Проверьте.

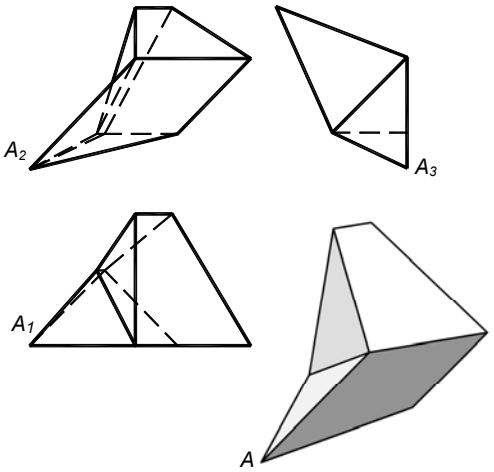


Рис. 5.21. Преобразование куба на уровне подобъектов

Подробно о редактировании на уровне подобъектов см.:

- **help** / Руководство пользователя / Работа с 3D-моделями / Редактирование 3D-моделей / Использование ручек и гизмо для изменения 3D-моделей. Изменение подобъектов 3D-тела …

5.11. Редактирование тел командой SOLIDEDIT

В сравнении с рассмотренными выше средствами редактирования solid-объектов (ручками или на уровне подобъектов) команда **SOLIDEDIT (РЕДТЕЛ)** имеет дополнительные возможности. Она позволяет в большей мере править геометрию, редактировать цвет граней и ребер, копировать их, создавать оболочки на основе тел и др. Команда надежнее, чем рассмотренные выше средства, работает со сложными объектами. К команде можно обратиться через меню **Modify** (Редактировать) / **Solid Editing** (Редактирование тел), но лучше пользоваться одноименной панелью инструментов (рис. 5.22).

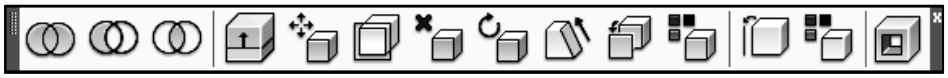


Рис. 5.22. Часть панели инструментов **Solid Editing** (Редактирование тел)

Рассмотрим некоторые возможности команды. Для получения информации по команде:

- **solidedit /** <F1> – возник раздел справочной информации по возможностям команды.

Перемещение и поворот граней

Приведем пример трансформации куба (рис. 5.23) в причудливый объект, полученный преобразованием его граней командой **SOLIDEDIT.** Перед выполнением команды модель нужно развернуть орбитой так, чтобы редактируемые грани или ребра стали видимыми – это даст возможность их выбрать указанием.

- Постройте solid-куб со стороной 50 (см. рис. 5.23, *а*).

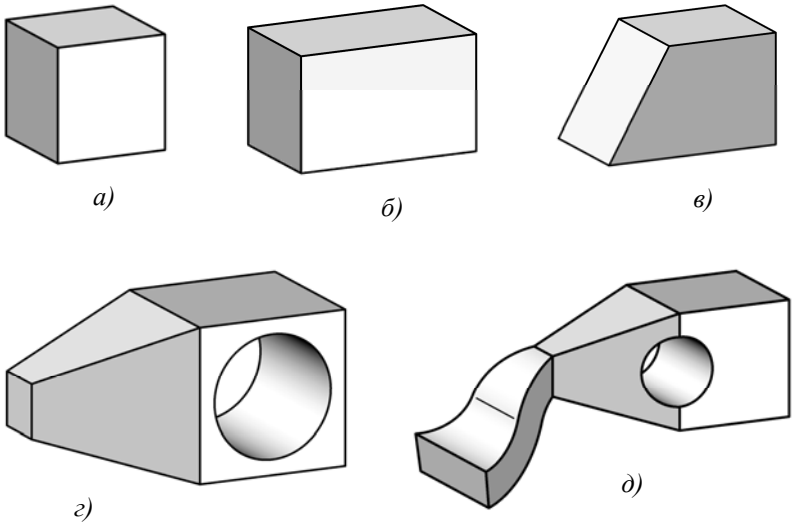


Рис. 5.23. Преобразование куба командой **SOLIDEDIT**: *а* – исходный куб; *б* – перемещение грани; *в* – поворот грани; *г* – выдавливание грани по прямой; *д* – выдавливание грани по кривой и перемещение отверстия

Переместим одну из граней куба, преобразовав его в параллелепипед. Для перемещения грани перпендикулярно ей самой применяют опцию **OFFSET** (Сместить). Задавая положительные значения, получим смещение наружу, при отрицательных – внутрь тела. Опцию можно вызвать из меню **Modify** / **Solid Editing** / **Offset** или с командной строки **SOLIDEDIT / Face / Offset,** или кнопкой панели **Solid Editing**:

-  / укажите одну из видимых граней куба – она выделится прерывистым контуром / задайте перемещение равным 20…30 – куб преобразован в параллелепипед (см. рис. 5.22, *б*);

Для поворота грани (см. рис. 5.22, *в*) в команде **SOLIDEDIT** предусмотрена опция **ROTATE**:

-  / укажите грань, например, левую / <Enter> – опция **2 points** / применив объектную привязку **Endpoint**, укажите две точки оси поворота – нижнее ребро выбранной грани / 30 – угол поворота в градусах, произошел поворот грани.

На рис. 5.23, *г* показан результат применения опции **EXTRUDE**  к левой грани куба. Если угол выдавливания отличен от нуля – образуется пирамида. При выдавливании круглой грани (основание цилиндра) образуется конус.

Дополнительные возможности редактирования граней видны из сопоставления рис. 5.23, *г* и *д*. Применение опции **OFFSET** к цилиндрической поверхности предварительно выполненного отверстия позволило уменьшить его диаметр. Опцией **MOVE**  отверстие с середины грани перемещено так, что его центр совпал с центром ребра. Левое основание пирамиды опциями **EXTRUDE** / **PATH** выдавлено по предварительно созданной криволинейной траектории, после чего образовавшиеся боковые сегменты развернуты опцией **ROTATE** на угол $\pm 30^0$.

- Повторите пример, приведенный на рис. 5.23, *д* или реализуйте свой вариант преобразования куба.

Редактирование цвета граней и ребер

Придание граням объекта различного цвета повышает его наглядность. Для редактирования цвета граней необходимо применить к solid-объекту команду **SOLIDEDIT** с опцией **FACE** / **COLOR**:

- установите в видовом окне стиль визуализации **Realistic** (Реалистичный);
-  / укажите одну или несколько граней куба или другого solid-объекта, задайте номер цвета, например, цвет 1 (красный) – изменен цвет граней.

Редактировать можно сразу несколько граней, выбирая их опциями **REMOVE, ADD** (Удалить, Добавить).

Опция **EDGE** / **COLOR** позволяет подобно грани изменить цвет ребер solid-модели.

- Постройте куб, придав его граням и ребрам различные цвета.

5.12. Составные тела

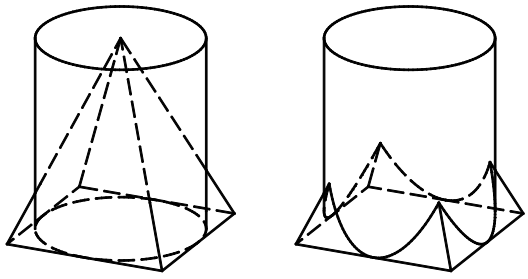
Составные тела создают из двух и более тел с использованием команд: **UNION (ОБЪЕДИНЕНИЕ)**, **SUBTRACT (ВЫЧИТАНИЕ)** и **INTERSECT (ПЕРЕСЕЧЕНИЕ)**. Команды можно найти в меню **Modify** (Редактировать) / **Solid Editing** (Редактирование тела) или в панелях инструментов **Modeling** (Моделирование) (см. рис. 5.2) или **Solid Editing** (Редактирование тел) (см. рис. 5.22).

Команда **UNION** создает единый объект из нескольких частей. При объединении формируется линия пересечения. Построим модель объединением цилиндра и четырехгранной пирамиды (рис. 5.24.):

- перейдите в окно аксонометрии, установите МСК.

Строим исходные тела (**см.** рис. 5.24, *а*):

- **cylinder**  / укажите центр нижнего основания / 25 – радиус основания / 60 – высота цилиндра;
- **pyramid**  / **S** - опция **Sides** / 4 – количество сторон основания / с привязкой **Center** укажите центр основания пирамиды в центре основания цилиндра / 25 – радиус вписанной окружности / 60 – высота пирамиды.



а) *б)*

Рис. 5.24. Объединение тел:
а – исходные тела: пирамида и цилиндр;
б – результат объединения

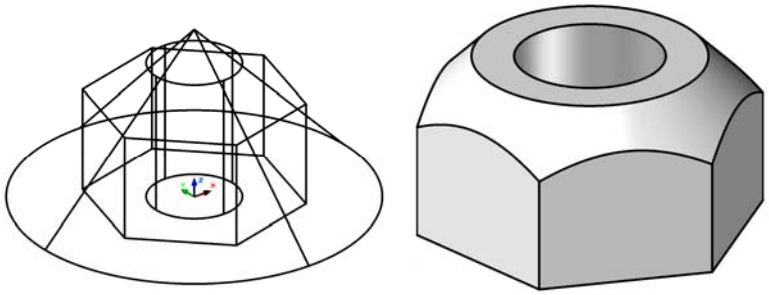
Объединяем тела:

- присвойте телам различный цвет: цилиндру синий и пирамиде зеленый. Установите текущим красный цвет;
- **union**  / укажите объединяемые элементы / – тела объединены в один объект, построена линия пересечения **(**см. **рис**. 5.24, *б*);
- в окне аксонометрии установите реалистичный стиль визуализации.

Обратите внимание, что тела сохранили свой цвет (синий и зеленый), а линия пересечения построена текущим цветом (красным).

Команда **SUBTRACT (ВЫЧИТАНИЕ)** позволяет создавать отверстия, пазы или углубления. Команда **INTERSECT (ПЕРЕСЕЧЕНИЕ)** оставляет общую часть выделенных тел.

В качестве примера применения команд **SUBTRACT** и **INTERSECT** создадим модель распространенного резьбового изделия – гайки (рис. 5.25). Это будет теоретическая модель. Реальная модель приведена в разд. 12.2. Боковая поверхность гайки (поверхность “под ключ”) – это шестигранная призма. Ее можно создать выдавливанием правильного шестиугольника командами **EXTRUDE** или **PRESSPUL.** Мы построим призму как усеченную пирамиду, задав верхнее основание равным нижнему. Отверстие в гайке (для нарезания резьбы) получим *вычитанием* цилиндра. Наружная фаска гайки образуется *пересечением* шестигранной призмы и конуса. Строим исходные тела (см. рис. 5.25, *а*):



а) *б)*

Рис. 5. 25. Модель, полученная вычитанием и пересечением тел:
а – исходные тела: призма, цилиндр, конус;
б – модель гайки

- **pyramid** / **S** / 6 / 0,0 – центр основания / **I** – опция **Inscribed** (Вписать в окружность) / 75 – радиус окружности / **T** – опция **Top radius** / 75 – радиус верхнего основания / 75 – высота;
- **cylinder** / 0,0 – центр основания / 32 – радиус основания / 100 – высота;
- **cone** / 0,0 – центр основания / 125 – радиус основания / 125 – высота.

Формируем отверстие вычитанием цилиндра из призмы:

- **subtract**  / укажите призму / Правый клик / укажите цилиндр – получено отверстие в призме.

Снимем наружную фаску пересечением призмы и конуса:

- **intersect**  / укажите пересекаемые тела: призму и конус – получена коническая фаска на призме.

Гайка построена (см. рис. 5.25, *б*). Обратите внимание на возникшие линии пересечения конуса и призмы – это гиперболы.

Исходные тела являются подобъектами составного тела; их можно выделить при нажатой клавише <Ctrl> и отредактировать как подобъекты (см. разд. 5.10). Можно редактировать грани, в том числе и криволинейные (фаску) командой **SOLIDEDIT** (см. разд. 5.11).

- Применив команды редактирования, измените размеры гайки: диаметр отверстия, высоту гайки и величину фаски.

5.13. Тесты для самоконтроля

Прежде, чем в следующих главах перейти к построению сложных и громоздких моделей машиностроительных деталей и узлов, предлагаем выполнить ряд геометрических моделей теоретического плана. Это своеобразные тесты на усвоение материала, ваши способности и пространственное мышление. Тесты сопровождаются краткими пояснениями.

Два тора в зацеплении как звенья одной цепи

Тест (рис. 5.26) достаточно прост. В окне вида сверху постройте тор, применив команду **TORUS** (кнопка  панели инструментов **Modeling)**. Скопируйте этот тор, сместив его вправо.

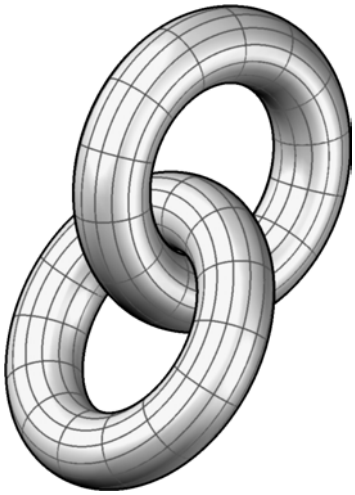


Рис. 5.26. Два тора в зацеплении

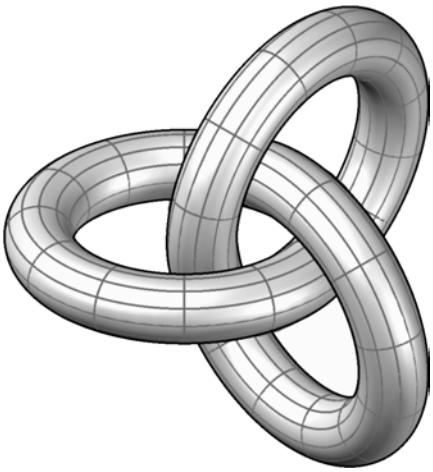


Рис. 5.27. Псевдоповерхность Эшера

Перейдите в окно вида слева, где ПСК установлена по виду, и поверните копию на 90°. В окне аксонометрии орбитой подберите точку зрения.

Псевдоповерхность Эшера

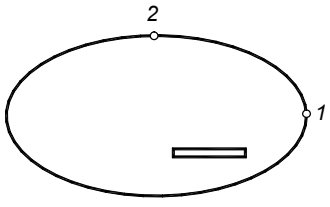
Поверхность Эшера (рис. 5.27) – это непрерывная каналовая поверхность, изображение которой можно часто встретить в рекламных проспектах. Построить эту поверхность в объеме сложно [10]. Однако можно расположить три одинаковых тора так, что они создадут иллюзию этой поверхности.

В окне вида сверху постройте тор. В окне вида слева поверните его вокруг центра на 45…60°. Вернитесь в окно вида сверху и создайте круговой массив из трех торов. Подберите центр вращения, добиваясь в окне вида сверху требуемого изображения.

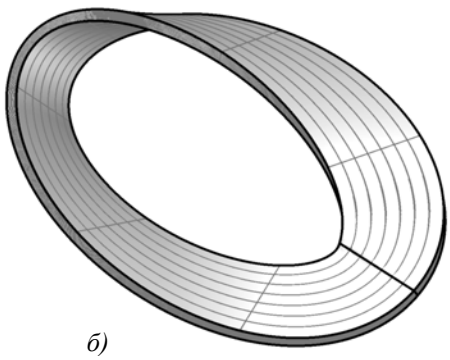
Лента Мебиуса

Эта поверхность (рис. 5.28) обладает “магическими” свойствами: двигаясь по ней и не переходя через край, можно перейти на ее обратную сторону. Поверхность воспроизводит полоску бумаги, концы которой перекручены на 180° и склеены.

Для построения ленты применим команду **`SWEEP(СДВИГ)`**, которая формирует solid-объект перемещением произвольной линии по произвольному незамкнутому контуру. В любой плоскости постройте эллипс и прямоугольник, соблюдая пропорции (рис. 5.28, *а*). Увеличьте изображение в области точки *1*, и командой **`TRIM`** выполните микроразрыв эллипса. Далее:



а)



б)

Рис. 5.28. Лента Мебиуса

- **sweep** (кнопка  панели инструментов **Modeling**) / укажите перемещаемый контур (прямоугольник) / **T** – опция **Twist** (Закручивание) / 180 – угол поворота контура / укажите траекторию (эллипс) – лента построена.

"Ручками" корректируйте ленту в месте состыковки, совместив ее начальное и конечное сечения. Для демонстрации "магических" свойств ленты командой **SOLIDEDIT** присвойте сторонам ленты различный цвет и убедитесь, что в месте стыка происходит изменение цвета, то есть нижняя сторона переходит в верхнюю, а на обратной стороне – наоборот.

Повторно постройте ленту, выполнив микроразрыв в точке *2* – образуется другая лента. Поэкспериментируйте с различными траекториями и различными профилями ленты. Чтобы убедиться, что лента обладает свойствами solid-объекта, "просверлите" в ней отверстие.

Звезда

Многогранник (рис. 5.29) получен выдавливанием граней усеченного куба.

- Постройте solid-куб синего цвета со стороной 50. Включите постоянно действующую объектную привязку **Midpoint** и **Endpoint**;
- **slice** / укажите куб / укажите средние точки трех ребер, имеющих общую вершину / укажите какую-либо вершину с *противоположной* стороны секущей плоскости – срезана пирамидальная часть куба;

Срежьте куб в области остальных семи вершин – получен многогранник, содержащий квадратные и треугольные грани (рис. 5.29, *а*).

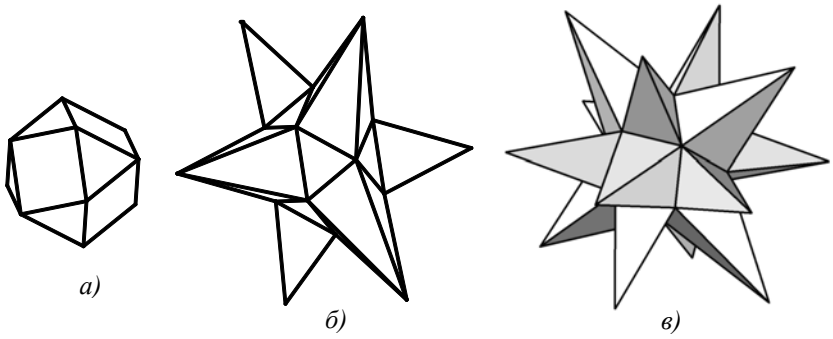


Рис. 5.29. Построение звездчатого многогранника:
а – усеченный куб; *б* – выдавливание четырехугольных граней; *в* – выдавливание треугольных граней

Выдавите квадратные грани "на пирамиду". Предварительно командой **SOLIDEDIT** присвойте этим граням красный цвет. Затем той же командой с опцией **Extrude** выдавите их на высоту 75 с углом выдавливания 14 (рис. 5.29, *б*).

Выдавите треугольные грани, задав для них высоту выдавливания 65, угол 9.5 (рис. 5.29, *в*). Задайте стиль визуализации **Realistic**. Осмотрите звезду орбитой. Задайте непрерывное вращение. Красиво!?

Рифовый узел

Узел [12] (рис. 5.30), получен командой **SWEEP(СДВИГ)** при перемещении окружности по весьма сложной траектории. Траекторию построим как сплайн-кривую по 21 точке:

- **spline** / вводите координаты точек согласно таблице 5.1/ завершите ввод, трижды нажав <Enter>.

Получена сплайн-кривая. Проверьте ее:

- **list** / укажите сплайн-кривую.

В текстовом окне выведены координаты точек сплайна. После сообщения ”Number of fit points (Количество определяющих точек) 21:” приведены координаты введенных точек сплайна. Сверьте их с данными таблицы. В случае выявления ошибки отредактируйте вершины “ручками”, перемещая их или вводя требуемые координаты.

На свободном месте в любой плоскости постройте контур сдвига – окружность. Радиус окружности задайте в пределах 2…2.4. Нижняя граница – из условий наглядности. Верхняя – определена экспериментально. При ее превышении начинается самопересечение solid-объекта, что для команды **SWEEP** недопустимо. Выполните команду **SWEEP**, указав контур и траекторию.

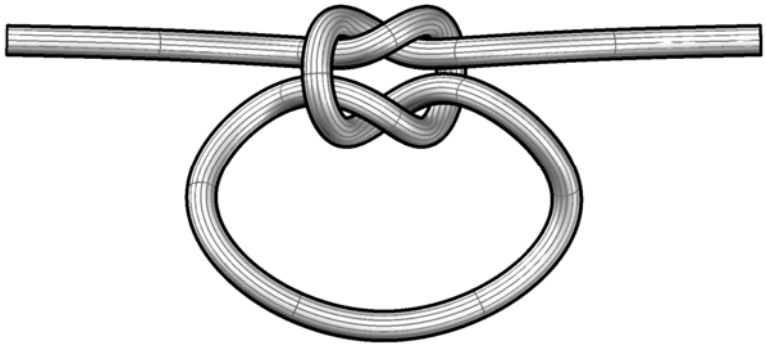


Рис. 5.30. Рифовый узел

Таблица 5.1.

Координаты вершин сплайн-кривой

№	Координаты	№	Координаты	№	Координаты
1	–62,12,0	8	0,0,10	15	–7,–3,0
2	–30,11,–5	9	–18,2,–10	16	–11,6,10
3	–13,10,–10	10	–30,–13,0	17	–8,15,0
4	0,12,10	11	0,–35,0	18	0,12,–10
5	8,15,0	12	30,–13,0	19	13,10,10
6	11,6,–10	13	15,3,10	20	30,11,5
7	7,–3,0	14	0,0,–10	21	62,12,0

Глава 6

Построение пространственной модели

В этой главе и гл. 7 рассмотрено выполнение первой работы задания “Проекционное черчение”. *Цель работы* – изучить основы построения чертежа по 3D-технологии, в частности, построение пространственной модели, простых видов и разрезов, аксонометрических проекций. Эта работа интересна тем, что деталь, для которой создается чертеж, необходимо предварительно сконструировать, проявив фантазию в сочетании с пространственным мышлением и здравым смыслом. В данной главе приведен начальный этап выполнения работы – построение модели. Получение чертежа – в главе 7.

6.1. Содержание работы

Дано: один из основных видов: вид спереди или сверху, и габаритный прямоугольник на месте второго вида (рис. 6.1).

Требуется:

1) сконструировать деталь, соответствующую заданным изображениям, и построить ее пространственную модель;

2) построить чертеж детали, применив 3D-технологию.

Чертеж должен содержать:

а) виды спереди, сверху, слева;

б) два простых разреза (фронтальный или горизонтальный и, обязательно, профильный) и местный разрез;

в) размеры;

г) аксонометрическое изображение детали с разрезом;

д) чертеж оформить в соответствии с требованиями ЕСКД (Единой Системы Конструкторской Документации) и ГОСТ и вывести на печать.

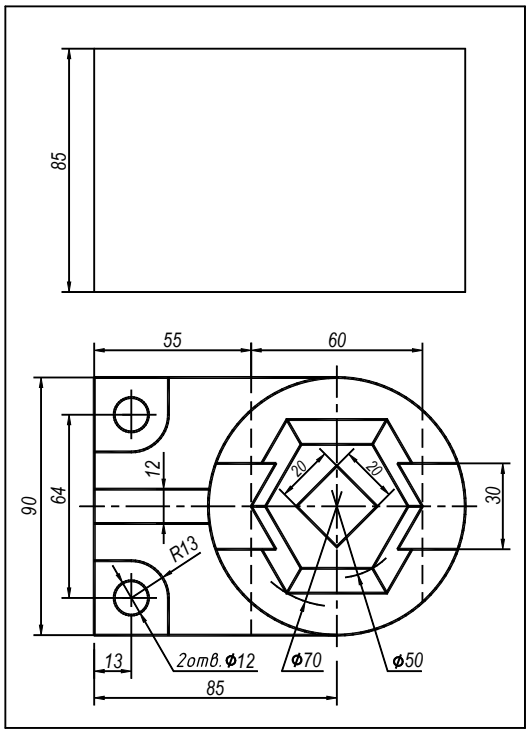


Рис. 6.1. Исходные данные работы “Виды, простые разрезы, аксонометрия”

На рис. 6.1 приведены исходные данные одного из вариантов задания. Ниже рассмотрено выполнение этого варианта задания. Результатом работы является чертеж детали (рис. 7.2).

Задание следует выполнять в последовательности, соответствующей изложенным выше требованиям, то есть сначала построить модель, затем выполнить виды, разрезы и т.д. Для этого изучите приведенный пример выполнения, желательно повторить его, затем, по аналогии, выполняйте свой вариант задания.

6.2. Конструирование детали

Так как одна ортогональная проекция, заданная в исходных данных, не определяет однозначно форму детали, то возникает множество вариантов решения задачи о конструировании ее формы. При конструировании руководствуйтесь следующими рекомендациями.

1. Необходимо предложить такое решение, при котором деталь содержит отверстия, пазы, углубления, требующие на чертеже применения разрезов (а не строить “башни” без внутренних элементов).

2. Каждая линия, заданная на исходном изображении, должна на детали соответствовать очерку какого-либо геометрического элемента или линии пересечения элементов детали. Нужно учесть, что сплошная линия отражает видимый контур, а штриховая – невидимый. В то же время сконструированная деталь не должна содержать элементов, которые приводили бы к дополнительным линиям видимого или невидимого контура в сравнении с исходным изображением.

3. Представьте форму разрабатываемой детали как совокупность простых геометрических элементов. Ими могут быть призма, цилиндр, сфера, конус, тор, то есть те примитивы, которые предусмотрены в AutoCAD. Более сложные элементы представьте как тела, получаемые вращением или выдавливанием плоского контура. Модель детали формируется путем объединения (команда **UNION**), вычитания (**SUBTRACT**) или пересечения (**INTERSECT**) созданных элементов.

4. Для корректировки формы модели примените команды редактирования. Это команда **SLICE** (**РАЗРЕЗ**), позволяющая отрезать плоскостью часть элемента, команды **FILLET (СОПРЯЖЕНИЕ)** и **CHAMFER (ФАСКА)**, команда **SOLIDEDIT (РЕДТЕЛ)** редактирования твердотельной модели, позволяющая, в частности, перемещать или поворачивать грани модели. Применяйте редактирование на уровне подобъектов.

5. Применяйте новые эффективные возможности построения и редактирования solid-моделей, основанные на выдавливании контура или граней командой **PRESSPULL (ВЫДАВГРАНЬ)**.

6. Предложите несколько вариантов модели и выберите из них оптимальный. Не рекомендуется излишне усложнять форму модели (помните, что вам ее чертить).

7. Модель первоначально отразите в виде аксонометрического рисунка, основываясь на школьном курсе черчения и рисования, и согласуйте с преподавателем. После этого приступайте к ее построению как solid-объекта AutoCAD.

Не стройте “башен”

Первое интуитивное решение, как правило, возникающее у студента, это создание “башен”. Студент собирает модель как из кубиков в детстве, наращивая элементы вверх (рис. 6.2). Окружности в исходных данных воспринимаются как цилиндры, многогранники как призмы. Возникающие модели громоздки, не реальны как корпусные детали. Они не интересны и с учебной точки зрения, поскольку содержат минимум внутренних элементов, не вызывающих необходимость построения разрезов.

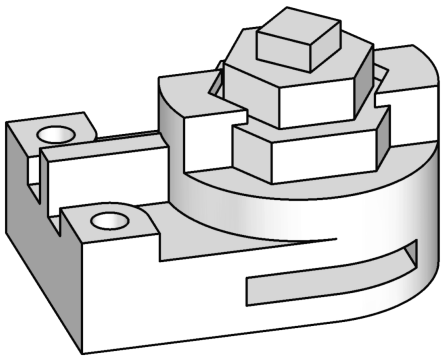


Рис. 6.2. Пример неудачной модели типа “башни”

Совершенствование модели направлено на замену наружных элементов внутренними, на переход от проецирующих цилиндров к конусам и сферам, от призм к пирамидам.

Рассмотрим варианты конструирования модели для исходных данных, приведенных на рис. 6.1.

Из множества возможных решений на рис. 6.3 и рис. 6.4 показаны три варианта. Существенным отличием между ними является наличие наружной пирамиды (см. рис. 6.3, *а*), цилиндра с пирамидальным отверстием (см. рис. 6.3, *б*), наличие сферы (рис. 6.4). Имеется и ряд других отличий. Еще один, четвертый вариант модели приведен на рис. 6.12.

В зависимости от уровня подготовки студент при создании своей модели может ориентироваться на любой из вариантов, кроме варианта на рис. 6.2. Оптимальным следует считать вариант на рис. 6.4. Вариант на рис. 6.12 излишне сложен.

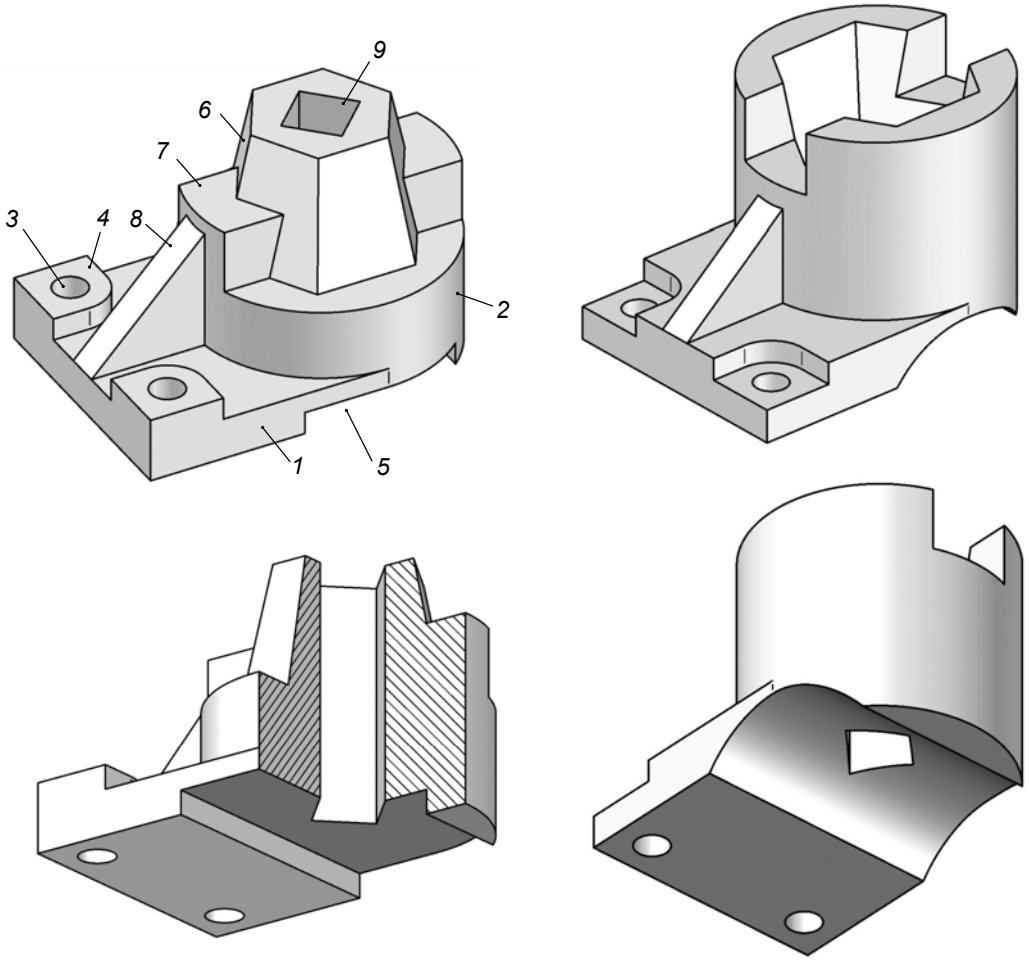


Рис. 6.3. Варианты модели

Анализируя приведенные модели и разрабатывая свою, сопоставьте форму модели с исходными данными задания. Для каждой линии исходных данных найдите соответствующий ему элемент и линию контура модели. Решите также обратную задачу: для каждого элемента модели найдите соответствующие ему линии контура в исходных данных.

Вариант с наружной пирамидой

По этому варианту деталь (см. рис. 6.3, *а*) содержит основание *1* длиной 85, представляющее собой параллелепипед. Основание примыкает к цилиндру *2*. Длина всей модели составляет 130 мм, ширина 90 мм; цилиндр имеет ∅90 мм. Высота основания в задании не указана. Ее значение принято равным 15 мм, что позволяет при высоте всей модели, заданной 85 мм, разместить на основании другие элементы.

В левой части основания выполнены два сквозных крепежных отверстия *3*. Их диаметр согласно заданию составляет ∅12 мм. В месте этих отверстий основание усилено двумя пластинами *4*.

В нижней части основания выполнен П-образный паз *5*, определяемый штриховыми линиями в исходных данных. Ширина паза 60 мм.

На верхнем основании цилиндра помещена правильная усеченная шестигранная пирамида *6*. Основаниями пирамиды являются шестиугольники, вписанные в окружности ∅70 и ∅50. С двух сторон к пирамиде примыкают призмы *7*, у которых одна из граней выполнена воедино с цилиндром *5*.

К цилиндру *2* и призме *7* примыкает так называемое ребро жесткости *8* – тонкая клиновидная призма, которая, согласно исходным данным, имеет толщину 12 мм.

Деталь имеет сквозное квадратное призматическое отверстие *9*, проходящее через пирамиду 6 и цилиндр и выходящее в паз *5*. Сторона квадрата равна 20 мм.

Недостаток варианта – нагромождение элементов вверх и малое количество внутренних элементов,

Вариант с пирамидальным отверстием

Этот вариант (см. рис. 6.3, *б*) геометрически является более интересным, чем предыдущий. Высота цилиндра *2* увеличена до 85 мм. Вместо наружной пирамиды *6* в цилиндре выполнено пирамидальное отверстие. Внешние призмы *7* заменены призматическими пазами в цилиндре, выходящими во внутреннюю поверхность пирамиды. В основании *1* вместо пластин *4* предусмотрены углубления для “утапливания” головок крепежных болтов, вставляемых в отверстия *3*.

Изменена форма паза *5* в нижней части основания. Этот паз выполнен цилиндрическим.

В остальном, вариант соответствует предыдущему: по прежнему имеется ребро жесткости *8* и сквозное квадратное отверстие *9*.

Вариант со сферой

В качестве окончательного варианта (см. рис. 6.4) рассмотрим модель, дополненную полусферой, установленной на верхнем основании цилиндра. Диаметры сферы и цилиндра равны, поэтому сферическая поверхность плавно сопрягается с цилиндрической. В сфере и цилиндре, как и в предыдущем варианте, выполнено пирамидальное отверстие.

Пересечение наклонных граней пирамиды со сферой приведет к возникновению на виде сверху эллипсов, не предусмотренных заданием. Чтобы исключить эти эллипсы, пирамидальное отверстие в верхней части дополнено призматическим отверстием, причем основание призмы совпадает с верхним основанием пирамиды.

Предложен третий вариант паза в основании – ступенчатый (в отличие от П-образного и цилиндрического в предыдущих вариантах).

Преимущества окончательного варианта – в разнообразии форм, возникновении интересных линий пересечения, необходимости геометрических вычислений (см. ниже).

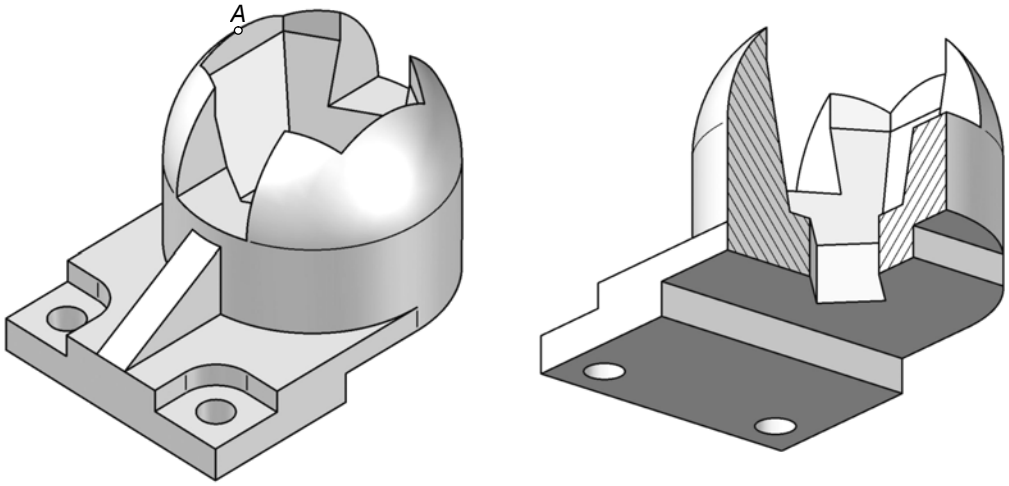


Рис. 6.4. Окончательный вариант модели

6.3. Создание нового файла с прототипом

Прежде, чем приступить к построению модели или чертежа, необходимо выполнить ряд настроек, подробно рассмотренных в разд. 3.3, 5.1. Для сокращения времени, затрачиваемого на выполнение типовых настроек, следует применять прототипы. Прототип – это файл-заготовка, шаблон, настройки которого передаются во вновь создаваемый файл. Имеется большой набор фирменных прототипов. Для выполнения учебных заданий кафедры рекомендуем применять кафедральный прототип – файл *proto.dwt*, в котором уже выполнена большая часть настроек, учитывающих специфику заданий. При отсутствии *proto.dwt* рекомендуем применять наиболее близкий по содержанию фирменный прототип *acadiso.dwt.*

Для создания файла на основе прототипа:

- загрузите пакет, указав его ярлык;
- выполните <Ctrl> + <N> или меню File (Файл) / New (Создать) / в открывшемся диалоговом окне Select template (Выбор шаблона) проверьте, что задан тип файла *dwt*, найдите и задайте в качестве прототипа либо кафедральный прототип *proto.dwt*, а при его отсутствии – фирменный прототип *acadiso.dwt* / OK – создан новый файл.

Если был задан кафедральный прототип, то в новом файле автоматически выполнены все необходимые настройки. В частности, экран разбит на видовые окна, в которых заданы основные виды, задан шаг, лимиты, настроен размерный и текстовые стили. Иначе выполните полный объем настроек согласно разд. 3.3 и 5.1.

- Чтобы проверить настройки, постройте какой-либо параллелепипед (**BOX**) или начните строить модель согласно заданию (рис. 6.5).

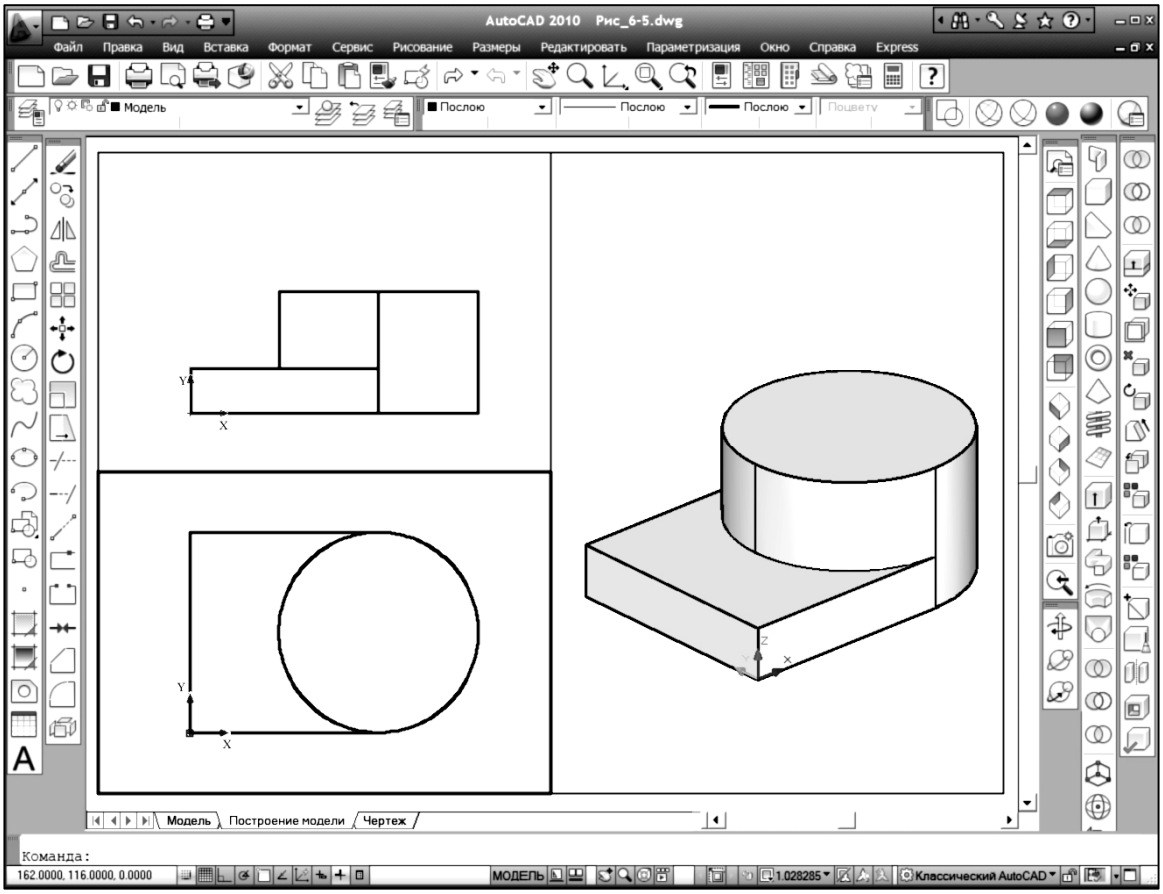


Рис. 6.5. Вид экрана после выполненных настроек и начало построения модели

6.4. Разметка модели. Геометрические вычисления

После формирования образа детали (см. рис. 6.4) приступаем к созданию ее реалистичной модели как объекта AutoCAD. Сначала необходимо выполнить разметку. В простейшем случае разметка сводится к построению осей симметрии модели. Но могут потребоваться вспомогательные геометрические построения для определения некоторых размеров создаваемой модели, так называемые *геометрические вычисления*.

Рассмотрим разметку и геометрические вычисления, необходимые для построения модели, показанной на рис. 6.4.

Центр сферы

В верхней части детали (рис. 6.6) находится сфера ∅90. Точка *A* является верхней точкой модели и имеет высоту 85 мм (см. рис. 6.1). Та же точка является и верхней точкой окружности сечения сферы гранью призматического паза. Сечение паза – правильный шестиугольник, вписанный в окружность ∅70. Требуется найти высоту *H* центра сферы, точку *S*.

Задача может быть решена аналитически. Из треугольников *1-2-3* и A′-*B*-*S*′ вида слева следует:

$A'B = r \cdot (\cos 30); \quad S'B = \sqrt{R^2 - (A'B)^2}; \quad H = h - S'B$.

При значениях $r = 35; \quad R = 45; \quad h = 85$ получим *H*= 51.7397.

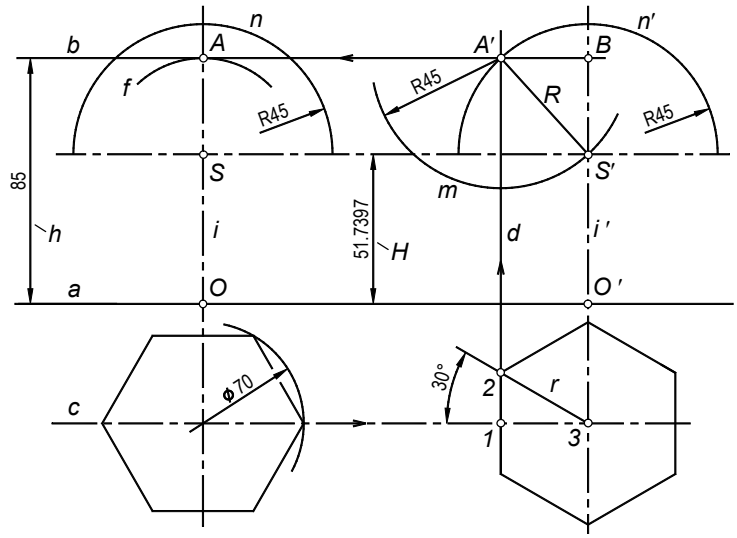


Рис. 6.6. Определение точки *S* центра сферы

Однако, работая в AutoCAD’е, проще и нагляднее выполнить геометрические построения, воспроизводящие действия циркулем и линейкой. Только эти инструменты в AutoCAD’е имеют несоизмеримо более высокую точность, которая задается командой **UNITS (ЕДИНИЦЫ)** и может достигать восьмого знака после запятой. Циркуль – это команды **CIRCLE (КРУГ)**, **ARC (ДУГА)**, линейка – команды **LINE (ОТРЕЗОК)**, **XLINE (ПРЯМАЯ)**.

Геометрические построения (вычисления) можно выполнить в любой плоскости (в любой ПСК), в любом видовом окне, в пространстве модели и на листе. В нашем примере, где определяется *высота* точки *S* центра сферы, построения выполним в окне вида спереди. Примем, что точка *O* как центр основания модели расположена в начале координат ПСК этого окна:

- создайте слой *Разметка* и установите его текущим;
- перейдите в пространство модели через окно вида спереди;

- указав в статусной строке кнопку , разверните активное видовое окно на весь экран;
- включите режим **ORTHO**.

Строим оси видов сверху, спереди, слева:

- **line** / 0,–80 / курсор вверх / 180 // – построена ось *i* вида спереди;
- **offset** / 140 / указать отрезок *i* / указать точку справа – построена ось *i ′* вида слева;
- **line** / –60,0 / курсор вправо / 250 – отрезок *a*;
- **offset** / 85 / указать отрезок *a* / указать точку сверху – построен отрезок *b,* ограничивающий модель сверху;
- **offset** / 40 / указать отрезок *a* / указать точку снизу – построен отрезок *c* как ось вида сверху.

Выполняем построения на виде слева. Строим шестиугольник призмы:

- **polygon** / 6 – количество сторон / с привязкой **Intersection** указать точку 3 / **Inscribed (Вписанный)** / 35 – радиус окружности – построен шестиугольник;
- **rotate** – поверните шестиугольник на 90º вокруг его центра;
- из точки *2* стройте вертикальный отрезок *d*;
- из точки *A′* пересечения отрезков *b, d* постройте окружность *m* (команда **circle**) радиусом 45.

Искомая точка *S′* находится на пересечении *m* с осью *i′* – задача решена. Дополнительно:

- с помощью горизонтальных отрезков, проведенных из точек *S′, A′,* постройте точки *S* и *A* на виде спереди;
- из точки *S* радиусом *SA* постройте окружность *f* – это сечение сферы гранью призмы, окружность *f* понадобится в дальнейших построениях;
- постройте окружности *n* и *n′* очерка сферы;
- поставьте вертикальный размер высоты *H* найденной точки *S*. При правильных построениях значение должно составить 51.7397.

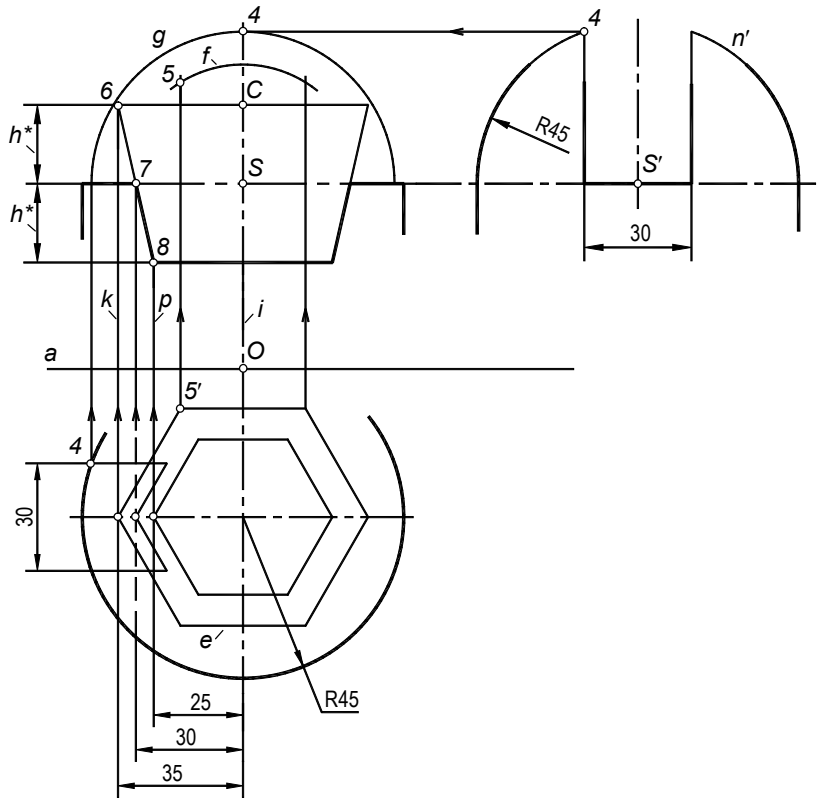


Рис. 6.7. Определение точки С центра основания пирамиды и высоты пирамиды Н*

Разметка пирамиды

Целью этого геометрического расчета (рис. 6.7) является определение точки *C* центра основания пирамиды и высоты этой пирамиды *2h**. Условие расчета: средняя точка бокового ребра пирамиды, точка *7*, должна находиться в плоскости экватора сферы. Размеры оснований пирамиды заданы (см. рис. 6.1).

Дополним построения предыдущего расчета, продолжив их на слое *Разметка*. Из предыдущего расчета (см. рис. 6.6) понадобятся оси *i*, *i′*, точка *S* центра сферы, окружности *f* , *n′*, шестиугольник *e*. Построения на виде слева предназначены лишь для наглядности, их можно не выполнять:

- построим на видах сверху и слева границы призматического паза, имеющего ширину 30 мм;
- на виде спереди построим окружность *g* сечения сферы гранями паза. Радиус окружности определим по проекционной связи – точка *4*;
- построим вертикальные отрезки *k, p,* сместив ось сферы *i* (команда **OFFSET**) соответственно на 35 и 25 мм;
- по проекционной связи на основе точки *5′* найдем точку *5* окружности *f*;
- определим высоту *h** искомой точки *C* так, чтобы она была ниже точки *5*, а соответствующая ей точка *6* не выходила за очерк окружности *g*. Значение *h** зададим “круглой” цифрой 22 мм относительно центра сферы *S*.

В итоге, с учетом симметрии, определяем высоту пирамиды равной 44 мм.

Вертикальная разметка. Ребро жесткости

Высоты элементов модели задают, исходя из общих представлений о форме корпусных деталей. Высоты, рекомендуемые для создаваемой модели, приведены на рис. 6.8, *а*. При их назначении учтена ранее определенная высота точки *S* (см. рис. 6.6). В остальном, высоты назначены весьма произвольно, их значения округлены до целого, четного.

Ребро жесткости, как правило, имеет форму прямоугольного треугольника. В нашей

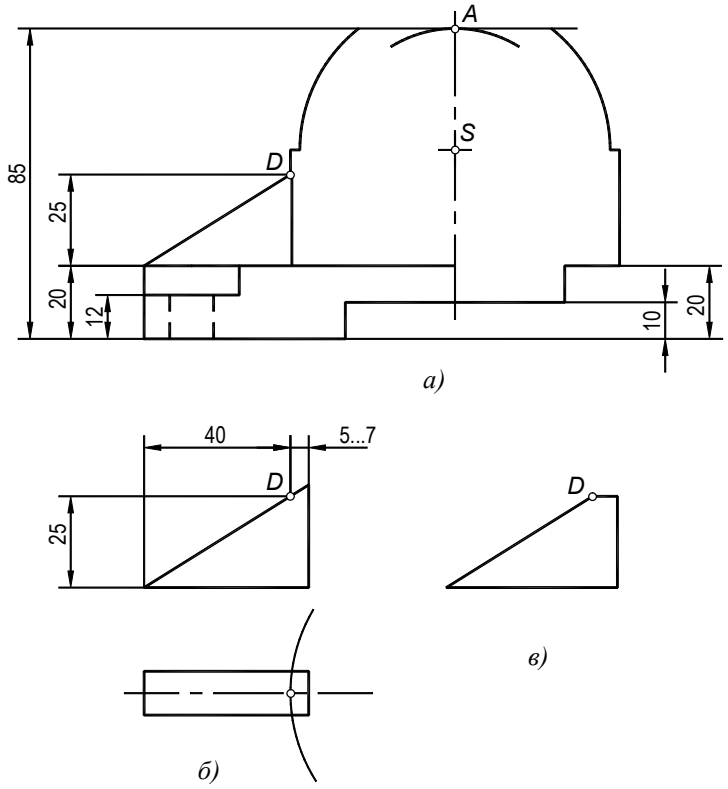


Рис. 6.8. Вертикальная разметка модели:
а – высота элементов; *б, в* – варианты контура ребра жесткости

модели высота точки *D* (см. рис. 6.8) как высота ребра принята равной 25 мм. Длина внешней части ребра 40 мм определена исходными данными модели (см. рис. 6.1). Длину ребра нужно увеличить так, чтобы оно полностью внедрилось, погрузилось в элемент, к которому примыкает – в цилиндр. В нашем примере длину достаточно увеличить на 5…7 мм.

Погружаемая часть ребра может быть продолжением ее наклонной грани (см. рис. 6.8, *б*). В этом случае в пересечении ребра с цилиндром возникает дуга эллипса. Форма ребра с дополнительной горизонтальной гранью (см. рис. 6.8, *в*) приведет в пересечении с цилиндром к возникновению дуги окружности.

6.5. Формирование модели из примитивов общего назначения

В этом разделе рассмотрим традиционный вариант построения модели. В нем модель собирается из объемных элементов, выполненных как solids-примитивы общего назначения (цилиндр, призма, сфера и др.). В следующем разделе приведены новые возможности, на основе команды **PRESSPULL**. В том варианте преимущественно применяется выдавливание контуров и граней. Традиционный вариант более нагляден. Новый – более эффективен.

Приступим к созданию объемных элементов модели и на их основе формированию всей модели. Сначала построим элементы наружной формы и объединим их, получив наружную заготовку. Затем построим элементы внутренней формы и вычтем их из наружной заготовки, создавая в ней пазы и отверстия.

Наружные элементы

Элементами внешней формы модели являются параллелепипед основания, цилиндр, сфера, ребро жесткости (см. рис. 6.4). Создадим их как solid-объекты:

- переходим в окно аксонометрии. Устанавливаем систему координат МСК;
- **box**  / 0,0 – точка 1/ 85,90,20 – точка *2*. Построен параллелепипед основания (рис. 6.9, *а*);
- **cylinder**  / задать центр основания цилиндра, указав точку *3* с объектной привязкой **Midpoint**, или ввести координаты 85,45 / задать радиус основания, указав с привязкой **Endpoint** точку *4* или ввести значение 45 / высота 51.74 – это значение, определенное разметкой (см. рис. 6.6), – построен цилиндр (см. рис. 6.9, *в*);

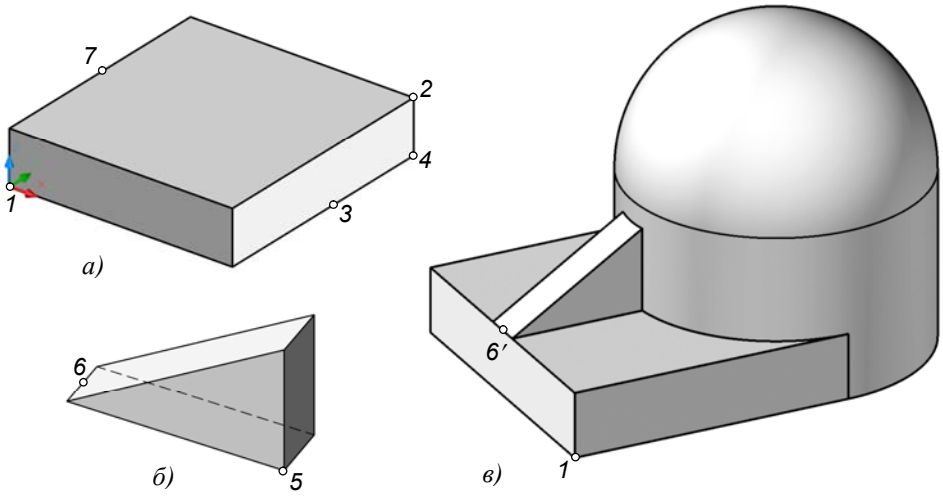


Рис. 6.9. Построение наружной формы модели:
а – основание; *б* – клин ребра жесткости;
в – наружная форма

- **sphere**  / центр сферы – с объектной привязкой **Center** указать центр верхнего основания цилиндра / радиус 45 – построена сфера.

Для создания ребра жесткости применим команду построения клина. Клин создадим на свободном месте, затем переместим в необходимое положение. Размеры клина (см. рис. 6.8): длина 40, толщина 12, высота 25:

- **wedge** (Клин)  / укажите произвольную точку *5* на свободном месте / @–40,12,25 – построен клин (см. рис. 6.9, *б*).

Удлиним ребро жесткости для внедрения в цилиндр. Для этого переместим его вертикальную грань на 5 мм, сохранив при этом угол наклона клина:

- **solidedit**  / **face** / **offset** / укажите вертикальную грань клина / 5;
- **move** / укажите клин ребра жесткости / укажите точки *6* и *6′*, применив для каждой объектную привязку **Midpoint** – ребро встало на место.

Объединяем наружные элементы:

- **union**  / укажите созданные элементы / – получен единый объект как наружная заготовка модели (см. рис. 6.9, *в*).

Внутренние элементы

Формируем элементы, вычитание которых из наружного объема модели создаст в ней предусмотренные отверстия и пазы.

Создадим крепежные отверстия и углубления в основании под головки крепежных болтов (см. рис. 6.4). Для углублений построим элемент, контур которого определен контуром углубления. Для отверстий построим цилиндр как образ сверла. Зеркально отобразим эти объекты относительно продольной оси модели и вычтем их из наружной формы.

Построения выполняем в окне аксонометрии, в МСК (рис. 6.10):

- для того, чтобы наружная форма не мешала построениям, переместите ее на отдельный слой и временно его заморозьте;
- **pline** / 0,0 / 26,0 / @0,13 / **Arc** – опция построения дугового сегмента полилинии / 13,26 / **Line** – опция построения линейного сегмента полилинии / 0,26 / **Close** – построен замкнутый контур *1* (рис. 6.10, *а*);
- **extrude**  / укажите контур *1* / 40 – построен элемент *2* высотой 40, высота задана "с запасом";
- **move** / укажите элемент *2* // 0,0,12 – элемент *3* поднят вверх на 12 мм;
- **cylinder** / 13,13 – центр нижнего основания цилиндра / 6 – радиус цилиндра / 40 – высота цилиндра "с запасом". Построен цилиндр *3*;
- **mirror** / укажите элементы *2*, *3* / 0,45 – первая точка продольной оси модели *а* / в режиме **ORTHO** укажите точку справа от первой / / – построены симметричные объекты *2′*, *3′*.

Строим элементы, формирующие центральное отверстие и паз в модели. Отверстие содержит шестигранную пирамиду *4* (см. рис. 6.10, *б*), сверху к ней примыкает шестигранная призма *5*, снизу – четырехгранная призма *6*. Построения выполняем в системе координат, начало которой установлено в центр сферы:

- **ucs** / **w** / **ucs** / **o** / с объектной привязкой **Center** укажите центр сферы;
- включите режим **ORTHO**, переместите курсор вдоль оси X;
- **pyramid**  / **Sides** – количество сторон / 6 / 0,0, –22 – точка центра нижнего основания

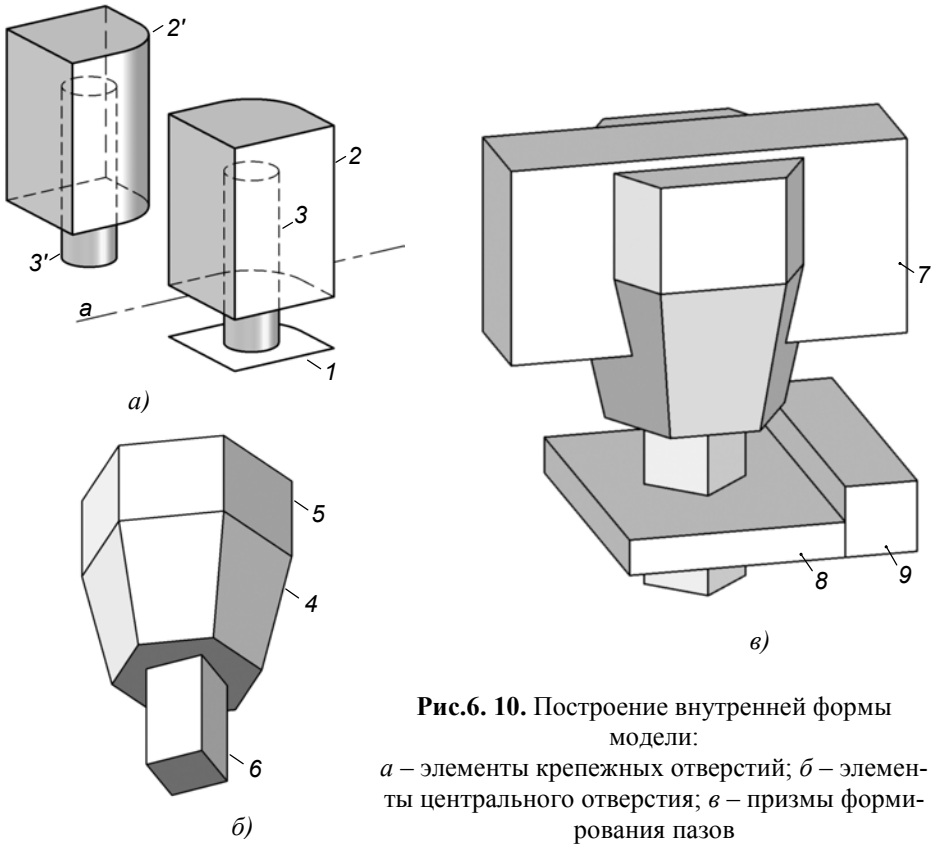


Рис.6. 10. Построение внутренней формы модели:
а – элементы крепежных отверстий; *б* – элементы центрального отверстия; *в* – призмы формирования пазов

пирамиды / **Inscribed** – опция вписания основания в окружность / 25 – радиус описанной окружности нижнего основания / **Top radius** – опция задания параметров верхнего основания усеченной пирамиды / 35 – радиус описанной окружности верхнего основания / 44 – высота пирамиды;

При необходимости поверните пирамиду вокруг оси Z:

- **rotate** / укажите пирамиду / 0,0 / 90 – выполнен поворот пирамиды в необходимое положение.

Создаем шестигранную призму над пирамидой, причем, основание призмы равно верхнему основанию пирамиды. Призму создадим выдавливанием верхнего основания пирамиды:

- **solidedit** .  / **face** / **extrude** / 30 – высота выдавливания с запасом / 0 – угол выдавливания // – над пирамидой достроена призма.

Строим четырехгранную призму, расположенную под пирамидой. Основанием призмы является квадрат со стороной 20 мм. Можно построить этот квадрат и выдавить его (команды **POLYGON**, **EXTRUDE**). Однако, в нашем примере проще построить призму как частный случай пирамиды. Начало координат ПСК по-прежнему остается в центре сферы:

- **pyramid** / **Sides** / 4 / 0,0 / **Circumscribed** – опция вписанной окружности / 10 – радиус вписанной окружности верхнего основания / **Top radius** / 10 – радиус вписанной окружности нижнего основания / –55 – высота вниз, “с запасом”.

Для формирования паза в сфере строим параллелепипед *7* (см. рис. 6.10, *в*). Ширина параллелепипеда равна ширине паза, то есть 30 мм, длину и высоту зададим “с запасом”, они должны превышать диаметр сферы:

- **box** / –55, –15 / 55,15,55 – построен параллелепипед *7*.

Для формирования ступенчатого паза в основании построим два параллелепипеда *8*, *9*, высоту первого параллелепипеда, определяющего первую ступень паза, согласно разметке примем равной 10 мм, высоту второй ступени и второго параллелепипеда – равной 20:

- **ucs** // – переход в МСК; ucs / o / 55,0 – перенос начала координат;
- **box /** 0,0 / 60,90,10 // 60,0 / 80,90,20 – построены параллелепипеды *8*, *9*.

Вычитание внутренних элементов

- Разморозьте слой с элементами наружной формы;
- **subtract** (Вычитание)  / укажите объединенную наружную форму / укажите все элементы внутренней формы / – модель построена (см. рис. 6.4).

6.6. Формирование модели выдавливанием контуров и граней

Модель можно создать гораздо эффективнее, за меньшее количество операций, применив команду **PRESSPULL (ВЫДАВГРАНЬ)** (см. разд. 5.9). Рассмотрим этот вариант, повторно построив модель.

Постройте основание модели как плоский контур (рис. 6.11, *а*) для последующего выдавливания:

- перейдите в окно вида сверху. Проверьте, что установлена МСК. Постройте окружность *c* центром в точке (0,0) радиусом 45. Постройте квадрат *p* (**POLYGON**), вписанный в окружность ∅20 с вершинами на координатных осях. Постройте три отрезка контура прямоугольной плиты: **line** / 0,–45 / @–85,0 / @ 0,90 / 0,45 //;
- перенесите ПСК в точку *A*. Постройте окружность *c′* ∅12 с центром в точке (13,13). Постройте контур *m*: **pline** / 26,0 / @0,13 / **Arc** / 13,26 / **Line** / 0,26 //. Зеркально отобразите *c′*, *m* относительно горизонтальной оси основания;
- восстановите МСК. Постройте два отрезка *n*, *n′*, задающих контур паза в основании. Отрезки постройте на расстоянии 30 по обе стороны от начала координат.

Формируем наружную поверхность модели. Для этого выдавим элементы контура основания, каждый на свою высоту. Граница контура выявляется системой путем сканирования из точки, расположенной внутри него. Точку внутри контура можно указать произвольно. Чтобы не дробить контур, линии, пересекающие его, нужно временно удалить (перенести на новый слой и “заморозить”):

- перейдите в окно аксонометрии; перенесите на новый слой и “заморозьте” квадрат *p* и отрезки *n*, *n′* (см. рис. 6.11, *б*). Оси симметрии следует также заморозить;
- **presspull** / укажите произвольную точку *1* внутри окружности *c* – контур окружности выделился как найденный контур выдавливания / переместите курсор – видно формирование цилиндра / введите высоту 51.74 – цилиндр построен (см. рис. 6.11, *в*);
- **presspull** / указав точку *2*, выдавите контур основания на высоту 20;
- **presspull** / укажите точку *3* и выдавите выявленный контур на высоту 12 – одновременно сформировано крепежное отверстие ∅12;
- повторите последние действия для точки *4*.

Добавляем сферу радиусом 45:

- **sphere** / с объектной привязкой **Center** укажите центр верхнего основания цилиндра / 45.
- **union** / объедините все полученные наружные элементы модели.
- Формируем паз в нижней части основания:
- орбитой поверните модель так, чтобы стала видна нижняя плоскость основания (см. рис. 6.11, *г*);

- разморозьте слой, на котором были спрятаны квадрат *p* и отрезки *n*, *n′* – эти линии должны появиться на основании;
- **presspull** / укажите точку *5* и выдавите контур на высоту –100 (высота задается в этом случае как отрицательная величина, поскольку направлена от наблюдателя) – возникло сквозное квадратное отверстие в цилиндре и сфере;
- **presspull** / укажите точку *6* и выдавите контур на высоту –10 – возник П-образный паз в основании;
- **presspull** / укажите точку *7*, выдавите контур на высоту –20 – добавлена ступень паза.

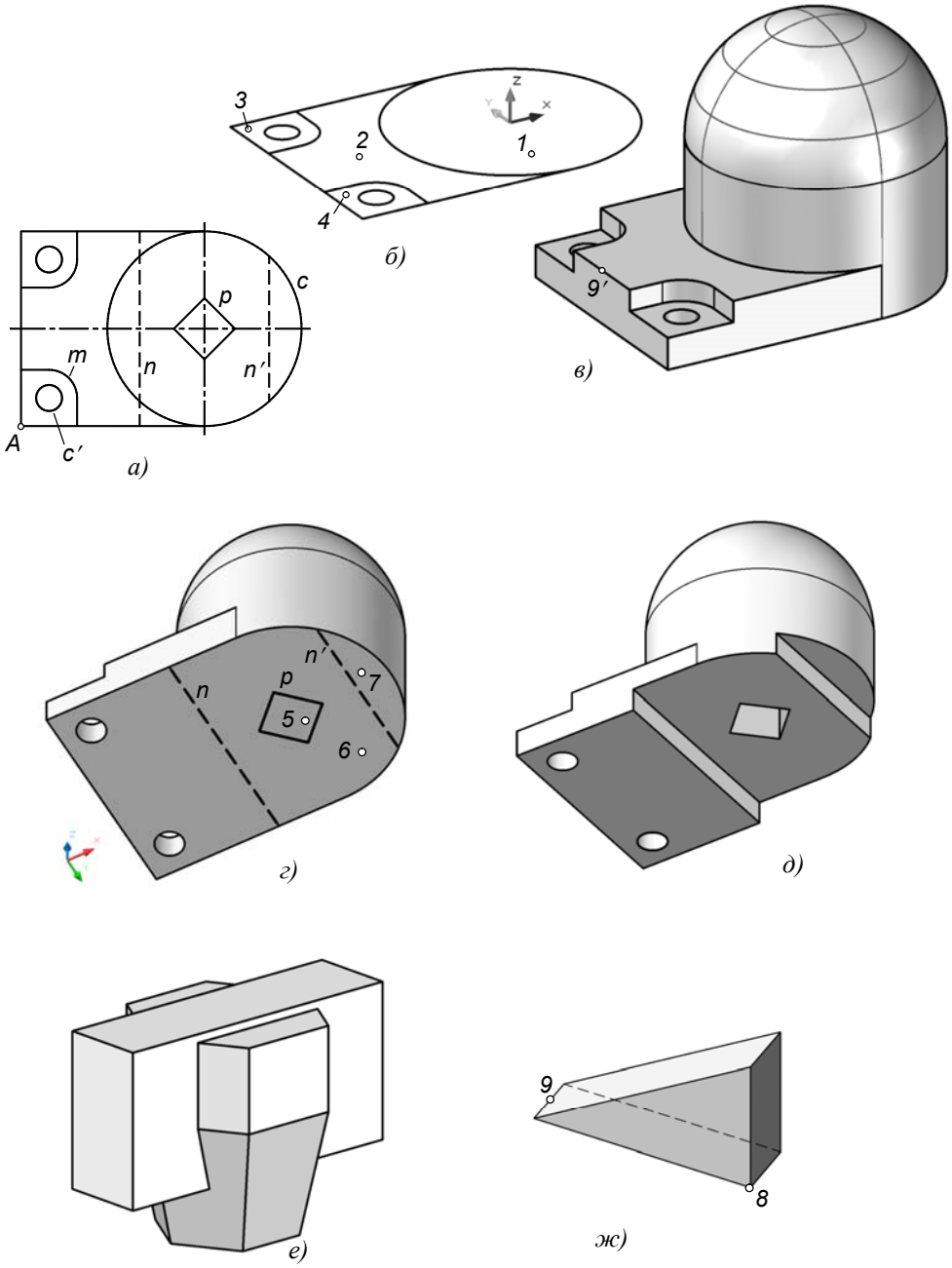


Рис. 6.11. Построение модели (новые возможности):
а–д – построение командой presspull; *е* – внутренние элементы; *ж* – ребро жесткости

Завершение модели не отличается от предыдущего варианта. Для формирования внутренних элементов модели необходимо создать пирамиду и призму и вычесть их из наружного объема, сравните рис. 6.11, *е* и рис. 6.10, *б, в*. Для добавления ребра жесткости – создать клин, сравните рис. 6.11, *в, ж* и рис. 6.9, *б*, *в*.

6.7. Редактирование модели

Что делать, если возникла необходимость дополнить или исправить созданную модель, если обнаружена ошибка пространственной формы модели, ее несоответствие заданным условиям?

При обнаружении ошибки в текущем сеансе работы, то есть, если вы не выгружали пакет, можно применить откатку  и вернуться к моменту работы, предшествующему неверному шагу. Затем заново выполнить отмененные действия. Однако при откатке может пропасть и полезная часть работы. Поэтому модель нужно редактировать.

Редактирование основано на применении команд **SOLIDEDIT (РЕДТЕЛ)** (см. разд. 5.11, рис. 5.21), **PRESSPULL (ВЫДАВГРАНЬ)** (см. разд. 5.9), **SLISE (РАЗРЕЗ)**, редактировании на уровне подобъектов (см. разд. 5.10).

Рассмотрим пример редактирования созданной модели (см. рис. 6.4), на котором продемонстрируем широкие возможности корректировки пространственной формы. Корректировка (рис. 6.12) выполнена так, чтобы сохранить требования к форме модели, приведенные в задании (см. рис. 6.1): вид сверху модели и ее высота остались прежними.

В результате редактирования форма модели существенно изменилась (рис. 6.12, *а*). Полусфера заменена на цилиндр *1*, при этом сохранены внутренняя пирамида *2*, призма *3* и паз *4*. Одна сторона цилиндра срезана наклонной плоскостью *5*, проходящей через ребра *6* и *2*. Изменена форма основания – его верхние грани *7*, *7′* повернуты вокруг ребра *8*. Изменена форма ребра жесткости – его грань *9* стала параллельной граням *7*, *7′*. Одно из углублений под крепежные элементы заменено на выступ *10*. Изменена форма нижней части основания (см. рис. 6.12, *б*) – перемещены грани *11*, *12* (впадина стала выступом), добавлена наклонная грань *13*. Корректировку можно продолжать бесконечно, не нарушая условий задания.

Последовательность редактирования формы следующая.

Первоначально срежем полусферу и заменим ее цилиндром. Важно при этом сохранить внутреннюю пирамиду, половина которой неизбежно срезается вместе с полусферой (см. рис. 6.12, *в*). Срез выполняем командой **SLISE**, горизонтальной плоскостью на уровне грани *4* основания паза. В цилиндре, оставшемся ниже плоскости среза, сохранилась половина пирамидального отверстия.

Командой **SOLIDEDIT** с опцией **Offset** грань *4* поднимем на 22 мм (см. рис. 6.12, *г*). Для этого нужно установить направление взгляда так, чтобы перемещаемая грань *4* была видна, затем выполнить:

- **solidedit**  / **Face** / **Offset** / указать точку на перемещаемой грани / задать длину перемещения, равную 22.

Опция **Offset** перемещает грань перпендикулярно самой себе. При этом “наследуется” геометрия модели. В нашем примере при перемещении грани *4* в положение *4′* сохраняется направление граней пирамиды. В результате перемещения построен цилиндр и восстановлена внутренняя пирамида до уровня ее верхнего основания *2*, *2′*.

Далее, той же командой **SOLIDEDIT**, но с опцией **Extrude** верхнее основание цилиндра *4′* поднимем до уровня 85 мм высоты всей модели (рис. 6.12, *д*). Эта опция *не обеспечивает* наследование внутренней формы, а “просто” перемещает грань в нужном направлении. В нашем примере это привело к восстановлению внутренней шестигранной призмы *3*.

Построением вспомогательного параллелепипеда (см. рис. 6.10, параллелепипед *7*) с последующим его вычитанием восстановлен призматический паз шириной 30 мм.

Часть цилиндра срезана (команда **SLICE**) наклонной плоскостью, проведенной по двум точкам ребра *6* и точке ребра *2′* – сформировалась наклонная грань *5*, пересекающая цилиндр по эллипсу.

Командой **SOLIDEDIT** с опцией **Rotate** выполнен поворот граней *7* и *7′* вокруг ребра *8* на угол 20º.

Ребро жесткости скорректировано за два приема. Командой **SOLIDEDIT** с опцией **Extrude** (можно **Move**) грань *9* перемещена вверх на расстояние *AB* (см. рис. 6.12, *е, ж*). Затем командой **SOLIDEDIT** с опцией **Rotate** выполнен поворот этой грани вокруг оси *BC*.

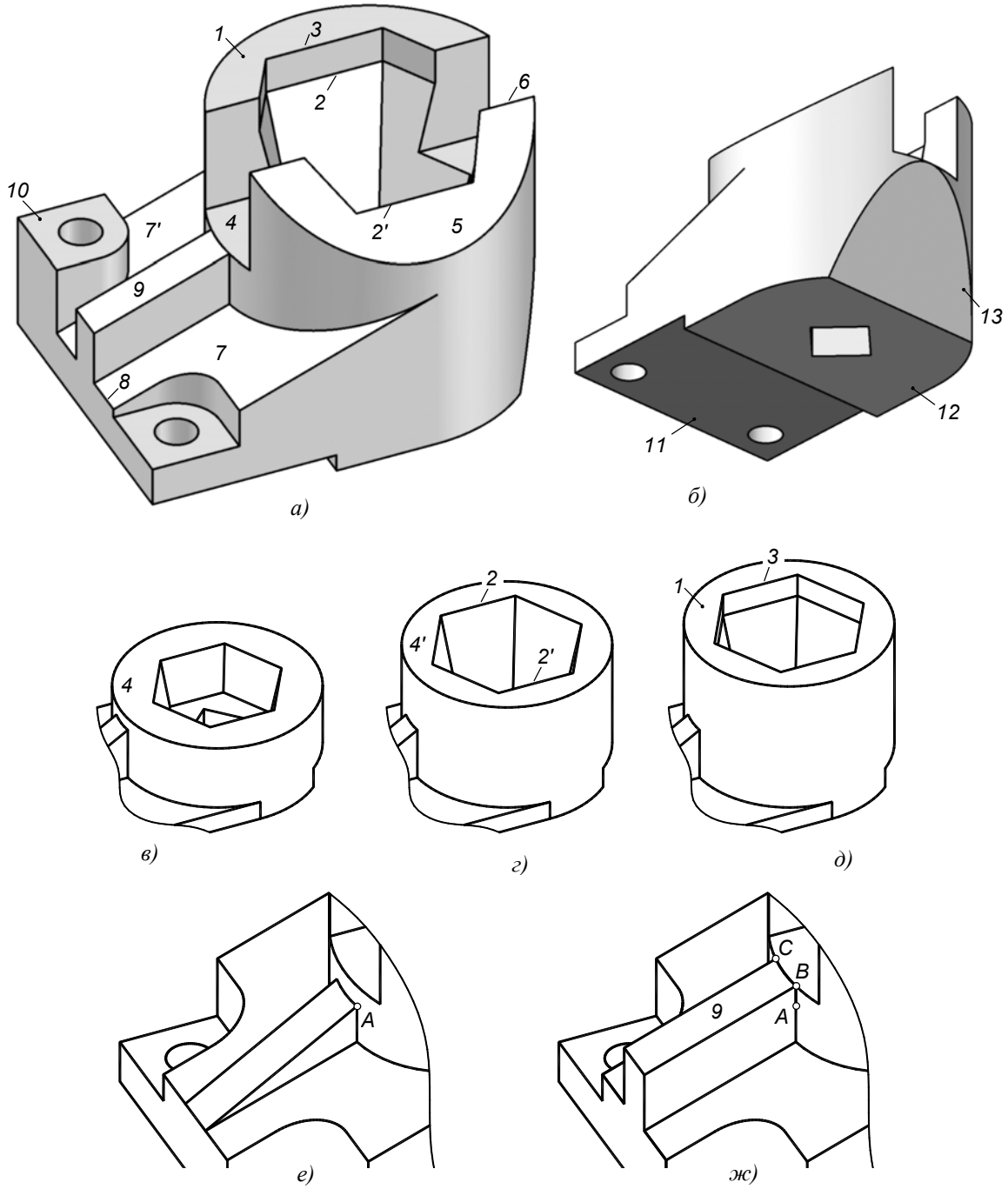


Рис. 6.12. Редактирование модели:
а, б – скорректированная модель; *в–д* – замена полусферы цилиндром; *е, ж* – корректировка ребра жесткости

Угол поворота определен геометрическим построением и задан так, что грань *9* стала параллельной грани 7.

Для перемещения граней *11*, *12* нижней части основания (рис. 6.12, *б*) можно применить команду **SOLIDEDIT** с одной из рассмотренных выше опций перемещения, однако лучше применить команду **PRESSPULL**. Для формирования среза *13* нужно первоначально выровнять грань паза, которая была на этом месте в исходной модели, до уровня грани *12*. Затем применить команду **SLICE**.

Выступ *10* также удобно формировать командой **PRESSPULL**, переместив грань углубления вверх на высоту 55 мм.

Рассмотренные приемы редактирования на основе перемещения и вращения граней являются наиболее применимыми. Но кроме них существует множество других приемов редактирования формы solid-модели. Например, при существенных нарушениях формы можно отрезать часть модели командой **SLICE** и заменить ее новым solid-объектом с последующим объединением модели. В сложных случаях часть детали можно удалить вычитанием параллелепипеда, "вбирающим в себя" удаляемый объем. Неправильно выполненные паз или отверстие можно "заглушить" параллелепипедом или цилиндром, а затем прорезать заново. Отверстие можно удалить командой **SOLIDEDIT** с опцией **Delete.**

Так что, допустив ошибку формы, не спешите заново строить модель. В большинстве случаев ее можно отредактировать.

Глава 7

Виды, простые разрезы, аксонометрия

После того, как создана пространственная solid-модель детали, приступим к построению ее чертежа. Изображения, необходимые для чертежа, формируются на основе модели почти автоматически, применением ряда команд. Но в полной мере AutoCAD чертеж не строит, им нужно "руководить". Поэтому кратко приведены основные правила создания и оформления чертежа в соответствии с существующей системой стандартов.

7.1. Некоторые положения ЕСКД

При построении чертежа необходимо следовать требованиям Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) [2, 5, 9, 13], которая определяет требования к выполнению и оформлению чертежа. Рассмотрим некоторые из них, связанные с построением изображений на чертеже.

Согласно ГОСТ 2.305–68 изображения предметов на чертеже создают методом ортогонального проецирования. В качестве изображений могут быть виды, разрезы, сечения. *Вид* – изображение обращенной к наблюдателю видимой части поверхности предмета. *Разрез* – изображение предмета, мысленно рассеченного одной или несколькими плоскостями. *Сечение* – изображение фигуры, получающейся в плоскости сечения предмета.

Виды, полученные проецированием на шесть граней куба (предмет располагается внутри куба), называются *основными*. Из них наиболее часто применяются вид спереди (главный вид), сверху и слева. Остальные основные виды – справа, снизу и сзади. Виды, полученные при проецировании на другие плоскости, не параллельные основным плоскостям проекций, называют *дополнительными*.

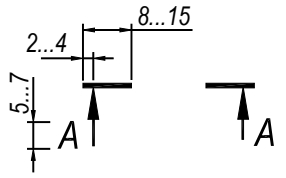


Рис. 7.1. Обозначение плоскости разреза или сечения

Разрезы разделяются на *простые*, полученные одной секущей плоскостью, и *сложные*, полученные несколькими плоскостями. Если секущая плоскость параллельна плоскости проекций, то разрез носит название данной плоскости, например, горизонтальный, фронтальный, профильный разрезы. Эти разрезы могут быть расположены на месте соответствующих основных видов. Если вид и простой разрез являются симметричными фигурами с общей осью симметрии, то рекомендуется в одном изображении соединять половину вида с половиной разреза. Разделяющей линией служит ось симметрии, т.е. штрихпунктирная линия.

Разрез обозначают, например, А–А. Положение секущей плоскости указывают *разомкнутой* линией (рис. 7.1). Если секущая плоскость совпадает с плоскостью симметрии предмета, а изображение разреза расположено на месте одного из основных видов, то разрез и секущую плоскость не обозначают.

Разрез, служащий для выяснения устройства предмета лишь в отдельном, ограниченном месте, называется *местным*. Местный разрез ограничивается на виде сплошной тонкой волнистой линией.

7.2. Образец выполнения задания

Рассмотрим чертеж детали (рис. 7.2), модель которой приведена выше (см. разд. 6, рис. 6.4). Подобный чертеж Вы должны получить для своей детали. Отметим, как изложенные выше требования ЕСКД и требования к заданию (см. разд. 6.1) учтены при выполнении этого чертежа.

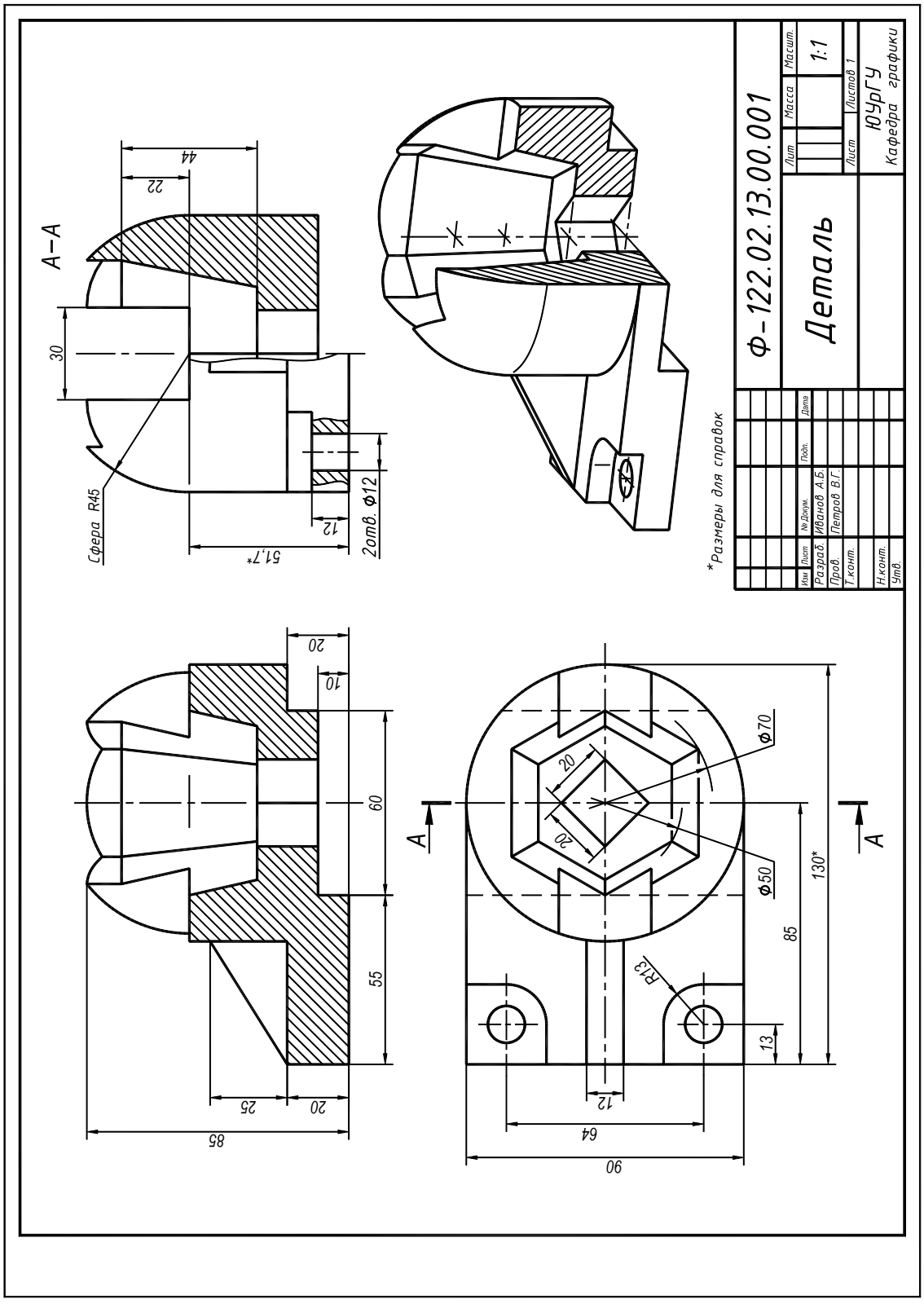


Рис. 7.2. Чертеж к заданию “Виды, простые разрезы, аксонометрия”

Чертеж выполнен на формате А3 и содержит четыре изображения: виды сверху, слева, аксонометрию и полный фронтальный разрез на месте вида спереди. Вид слева совмещен с профильным разрезом. Имеется местный разрез, проставлены размеры. Выполнена рамка чертежа и основная надпись.

Подчеркнем, что с учебной целью выполнение четырех названных изображений в данном задании является обязательным, даже если какое-либо из них, например, профильный разрез, не дополняют форму детали. В ряде вариантов, в зависимости от формы модели вместо фронтального может потребоваться горизонтальный разрез, причем эти разрезы могут быть полными, как на рис. 7.2, или совмещенными с половиной соответствующего вида.

Деталь на чертеже расположена так, что вид спереди (как главный вид) в наибольшей мере, в сравнении с остальными видами, раскрывает форму детали. Для передачи внутренней формы выполнен полный фронтальный разрез, который помещен на место вида спереди. Поскольку секущая плоскость этого разреза совпадает с фронтальной плоскостью симметрии детали и разрез выполнен на месте вида спереди, то данный разрез на чертеже не обозначен. Положение его секущей плоскости подразумевается “по умолчанию”.

Обратите внимание, что на фронтальном разрезе ребро жесткости не заштриховано, хотя оно попало в секущую плоскость. Это особенность выполнения разрезов: тонкие элементы в продольном разрезе показываются не заштрихованными.

На месте вида слева выполнено комбинированное изображение, состоящее из половины вида слева и половины профильного разреза. С учетом требований ЕСКД половина вида находится в левой части, а половина разреза – в правой. Совмещение произведено по осевой линии. Поскольку секущая плоскость не является плоскостью симметрии детали, то плоскость и изображение этого разреза обозначены. Найдите на виде сверху разомкнутую линию А–А и соответствующее обозначение разреза над его изображением.

Чтобы показать, что крепежные отверстия основания являются сквозными и цилиндрическими, потребовался еще один разрез, так как секущие плоскости двух предыдущих разрезов не проходят через эти отверстия. С этой целью выполнен местный разрез на виде слева. Найдите его на чертеже.

7.3. Варианты автоматизированного построения 3D-чертежа

По 3D-технологии AutoCAD сам, автоматически строит плоские изображения solid–модели, то есть ее проекции – виды, разрезы, сечения, составляющие основу чертежа. Предусмотрено три варианта их построения.

“Исторически” первый вариант – применение команды **SOLPROF (Т-ПРОФИЛЬ)**, которая строит проекцию, содержащую все линии видимого и невидимого контура. Недостаток варианта в том, что команда **SOLPROF** не создает разрезы. Их приходится выполнять самостоятельно на основе полученных линий контура.

Второй вариант – применение команд **SOLVIEW (Т-ВИД)** и **SOLDRAW (Т-РИСОВАНИЕ)**, которые совместно формируют требуемые для чертежа плоские отображения модели: ее виды и разрезы со штриховкой, – а также размещают эти изображения на специальных слоях, что делает удобным дальнейшую корректировку чертежа.

Третий вариант – применение команд **FLATSHOT (ПЛОСКСНИМОК)** и **SECTIONPLANE (СЕКПЛОСКОСТЬ)**. Это новые команды, которые появились, начиная с версии AutoCAD 2007. Они обладают современным интерфейсом и расширяют возможности 3D-технологии построения чертежа.

В данной главе основное внимание уделено второму варианту, то есть применению команд **SOLVIEW, SOLDRAW**. Этот вариант рекомендуем применить при выполнении первой работы настоящего задания. В следующей главе рассмотрены возможности новых команд **FLATSHOT** и **SECTIONPLANE** и показано их применение к выполнению рассматриваемой работы, то есть построению видов, простых разрезов и аксонометрии. “Продвинутые” пользователи могут сразу перейти к этой главе и выполнить задание на основе новых команд.

7.4. Построение проекций командами *SOLVIEW + SOLDRAW*

Применение команд **SOLVIEW + SOLDRAW** сегодня является наиболее распространенным вариантом создания чертежа по 3D-технологии. Эти команды применяются совместно.

Алгоритм применения команд SOLVIEW + SOLDRAW

Команды работают только в пространстве листа. Последовательность создания проекций solid-модели следующая:

1) создать на листе *исходное* видовое окно в пространство модели, либо выбрать для этой роли одно из ранее созданных окон;

2) к исходному окну применить команду **SOLVIEW**, задав в качестве опции команды вариант создаваемого изображения (вид в плане, ортогональный вид, простой разрез или дополнительный вид) – будет создано специальное видовое окно;

3) к специальному окну применить команду **SOLDRAW** – в этом окне будет получена требуемая проекция;

4) доработка и редактирование построенных проекций, в частности, создание комбинированных изображений, местных разрезов и т.д., то есть тех изображений, окончательное создание которых в автоматическом режиме не предусмотрено;

5) вынос проекций на лист для завершения чертежа – это не обязательный, но рекомендуемый этап.

Рекомендуется следующая схема (рис. 7.3) и последовательность построения проекций и разрезов: от исходного окна (см. рис. 7.3, *д*) к специальным окнам, содержащим вид сверху (см. рис. 7.3, *г*), вид спереди и фронтальный разрез (см. рис. 7.3, *а*), вид слева (см. рис. 7.3, *б*) и профильный разрез (см. рис. 7.3, *в*).

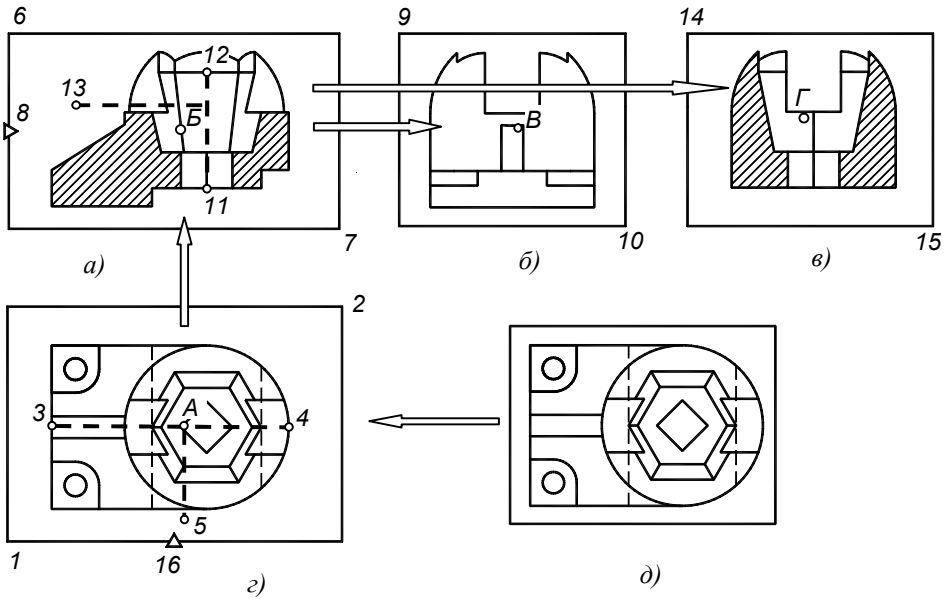


Рис. 7.3. Схема построения основных видов и простых разрезов

Если чертеж содержит несколько видов и разрезов, то, создав командой **SOLVIEW** одно специальное окно, можно сразу довести его командой **SOLDRAW** и перейти к построению следующей проекции. Однако можно создать командой **SOLVIEW** все необходимые для чертежа специальные окна, а затем командой **SOLDRAW** воедино довести их до проекций.

Дополнительные настройки для построения чертежа

Для чертежа можно создать новый файл, скопировав в него через буфер памяти готовую модель из файла, в котором она была создана. В этом случае новый файл будет разгружен от всех предварительных построений, сопровождавших создание модели: они останутся в старом файле. Такой прием – перенос полезной части работы в новый файл – помогает и в тех случаях, когда возникла трудно устранимая или малопонятная ошибка. “Ошибки” оставляют в старом файле, и продолжают работать в новом. В новом файле необходимо выполнить все настройки заново (см. разд. 3.3, 5.1, 6.3), либо создать его на основе прототипа с подготовленными настройками (кафедральный прототип *proto.dwt*, см. разд. 6.3).

Если работа продолжается в файле, в котором была создана модель, можно продолжать работу на прежнем листе. Однако для разгрузки листа рекомендуем создать второй лист с именем, например, *Чертеж.*

Рекомендуем также переименовать первый лист, назвав его, например, *Построение модели* (см. рис. 6.5).

Для создания нового листа или переименования существующего можно применить один из вариантов:

- правый клик мыши по одной из существующих закладок **Layout.** В контекстном меню указать строку **New layout (**Новый лист);
- правый клик по кнопке **Quick View Layouts** (Быстрый просмотр листов) статусной строки;
- команда **`LAYOUT`** или меню: **Insert** (Вставка) / **Layout** (Лист) / **New Layout** (Новый лист).

Далее выполните настройку нового листа как и первого листа, то есть удалите дежурное видовое окно, настройте в нем лимиты по формату А3 и отобразите их на экран (см. разд. 5.1).

Если работа продолжается в “старом” файле, то в пространстве модели необходимо оставить только модель, для которой создается чертеж. Остальные объекты нужно либо удалить, либо поместить на отдельные слои и *глобально* заморозить. Иначе они будут отображаться на создаваемых изображениях чертежа.

Задайте тип штриховки, которая будет применена при автоматическом выполнении разрезов. Если не сделать эту настройку, то штриховка будет выполнена последней примененной в текущем сеансе работы штриховкой, либо штриховкой по умолчанию *Angle* (Угол). Ведите с командной строки имя системной переменной:

- **`HPNAME`** / *ansi31* – это тип штриховки металлов.

Если работа выполняется на основе кафедрального прототипа *proto.dwt* (см. разд. 6.3), то большая часть настроек в нем уже выполнена. Нужно ими воспользоваться.

Исходное видовое окно

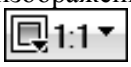
Исходное окно – это видовое окно на листе, на основе которого при построении чертежа создаются специальные видовые окна проекций. Для каждой проекции может понадобиться свое исходное окно. С другой стороны, одно окно может послужить исходным для получения нескольких проекций. Роль исходного окна может выполнить как обычное видовое окно, так и специальное окно от ранее созданной проекции. Например, специальное окно вида спереди используют как исходное для построения вида слева или профильного разреза.

Как правило, первым исходным окном является окно вида сверху. Если в файле такое окно уже было создано при построении модели, его можно использовать как исходное. Но лучше на новом чистом листе создать это окно заново и поместить его внизу экрана, справа (см. рис. 7.3, *д*). Размеры исходного окна желательно задать так, чтобы деталь отобразилась в нем в масштабе создаваемого чертежа или близком к нему. В нашем задании – это истинный масштаб 1:1.

Итак, для создания исходного окна вида сверху:

- **`-vports (-ВЭКРАН)`** / на экране укажите левый нижний угол создаваемого окна / @ 160, 130 – это размеры окна;
- перейдите через созданное окно в пространство модели (двойной левый клик по окну);

- **view (ВИД) / Top (Сверху)** или укажите кнопку  панели инструментов **View**;
- убедитесь, что в новом окне ПСК установлена по плоскости окна, иначе установите систему координат "по виду": **ucs/v** или укажите кнопку  панели инструментов **UCS** (ПСК);
- задайте в создаваемом окне масштаб отображения, при котором модель будет занимать основную часть окна.

Масштаб отображения видового окна можно задать приближенно командой **ZOOM** (кнопка ), визуально контролируя размеры изображения. Лучше задать его точно, в нашем случае равным 1, указав кнопку **Viewport Scale**  в статусной строке, либо применив команду **PROPERTIES (ОКНОСВ)**, либо: **zoom / Scale / 1XP** (XP – суффикс, указывающий на задание масштаба отображения по отношению к листу).

Если изображение не помещается в видовом окне, то примените панорамирование  , а если этого недостаточно, то выйдите на лист и "ручками" увеличьте рамку окна.

Таким образом, создано исходное видовое окно, которое послужит основой для формирования видов и разрезов командами **SOLVIEW** и **SOLDRAW**.

Проекция вида сверху

На втором этапе, после создания или выбора исходного окна командой **SOLVIEW** создают специальное видовое окно. При этом указывают, какая проекция должна быть получена в этом окне. Внешне специальное окно не отличается от обычных видовых окон: в нем видна исходная пространственная модель. Однако только на основе этого окна возможен следующий этап – получение проекции.

На следующем, третьем этапе трехмерное изображение модели в специальном видовом окне командой **SOLDRAW** преобразуют ("доводят") в плоское изображение.

Команды **SOLPROF**, **SOLVIEW** можно вызвать из меню **Draw** (Рисование) / **Modeling** (Моделирование) / **Setup** (Подготовка), но проще их вызывать по имени с командной строки.

Для построения проекции вида сверху на основе исходного окна, в котором этот вид установлен, применим команду **SOLVIEW** с опцией **Ucs**. С этой опцией команда создает вид в плане ПСК, мировой или текущей:

- перейдите в исходное окно и убедитесь, что в нем установлена МСК или ПСК по виду окна;
- **solview** / **ucs** / то есть текущая ПСК / задайте масштаб 1 / укажите положение центра вида (точка *A* на свободном месте листа, см. рис 7.3, *г*) – возникло изображение с центром в указанной точке, изображение можно перемещать, указывая новое положение точки *A* / <Enter> – утвердите положение вида / создайте рамку видового окна, указав два противоположных угла рамки, например, точки *1* и *2* / присвойте окну имя, например, *top* или *Вид Сверху*.

В итоге создано новое видовое окно (см. рис. 7.3, *г*). В окне видна модель, дан вид сверху. "Доведем" окно, то есть построим в нем вид сверху как проекцию модели:

- **soldraw** / укажите рамку только что созданного специального окна вида сверху /.

В окне построена проекция – вид сверху. Слой с исходной solid-моделью (и сама модель) избирательно заморожен в данном окне.

Новые слои команды Solview

Команда **SOLVIEW** создает новые слои, на которых последующая команда **SOLDRAW** автоматически размещает линии формируемой проекции. Созданные слои можно посмотреть в окне управления слоями, например, командой **LAYER** или, раскрыв список слоев панели инструментов **LAYERS**.

Имя каждого созданного слоя начинается с имени, присвоенного в процессе выполнения команды **SOLVIEW**. Далее следует префикс, отражающий назначение слоя.

В рассмотренном выше примере при выполнении команды **SOLVIEW** было задано имя *top*. В итоге созданы слои: *top-VIS* для размещения на нем линий видимого контура проекции, *top-HID* для линий невидимого контура и *top-DIM* для простановки размеров на виде сверху.

При построении разреза создается еще один слой с префиксом *HAT* для линий штриховки. Для рамок видовых окон системой создан слой *Vports*.

Такая организация слоев позволяет управлять отображением проекций, например, заморозив слой с префиксом *HID,* можно отключить линии невидимого контура. Задавая свойство слоя, можно назначать линиям проекций различный цвет, тип линий и толщину.

Ортогональные проекции

Для построения ортогональных проекций нужно применить команду **SOLVIEW** с опцией **Ortho.** В качестве исходного видового окна для вида спереди берется окно вида сверху (см. рис. 7.3, *г, д*). Вид слева можно получить на основе окна вида спереди или окна фронтального разреза (см. рис. 7.3, *а*). Его можно построить на основе окна вида сверху, но полученное изображение потребуется повернуть на 90^0.

При построении ортогонального вида команда **SOLVIEW** потребует задать направление проецирования. Направление задается путем указания рамки исходного видового окна со стороны наблюдателя. В месте указания автоматически отображается треугольный маркер. Так, для вида спереди потребуется указать точку *16*, а для построения вида слева – точку *8* (см. рис. 7.3, *а, г*).

В рассматриваемом нами примере вид спереди не требуется, на его месте выполняется полный фронтальный разрез (см. ниже). Если же в вашем варианте задания требуется создать вид спереди, то выполните:

- **solview** / **Ortho** / укажите точку *16* на нижней стороне рамки окна вида сверху (см. рис. 7.3, *г*) / задайте масштаб вида равным 1 / укажите точку *Б* как центр окна вида / клавиша <Enter> или правый клик – утвердите положение окна / укажите угловые точки *6* и *7* / введите имя, например, *front*;
- **soldraw** / укажите рамку созданного окна вида / – в окне построен вид спереди как плоское изображение – проекция.

Для создания вида слева:

- **solview / Ortho** / укажите точку *8* на левой стороне рамки окна вида спереди (см. рис. 7.3, а) / задайте масштаб вида равным 1 / укажите точку *В* как центр окна вида слева (см. рис. 7.3, б) / <Enter> / укажите угловые точки *9* и 1*0* / задайте имя, например, *left* / – создано специальное окно для вида слева;
- командой **SOLDRAW** завершите построение проекции вида слева.

Ортогональные виды можно построить, применив команду **SOLVIEW** с опцией **UCS (**вместо опции **Ortho**), так же как вид сверху (см. выше). В качестве исходного окна в этом варианте следует выбрать видовое окно, в котором установлен требуемый вид, то есть для вида спереди – окно вида спереди и т.д.

Простые разрезы

Простые разрезы создаются командой **SOLVIEW** с опцией **Section**. Исходное окно назначается так же, как при построении ортогональных проекций.

При построении разреза команда **SOLVIEW** требует указать секущую плоскость. Так как плоскость разреза может быть только проецирующей, то требуется указать лишь две ее точки. Их можно задать с помощью объектной привязки как характерные точки модели. Если секущая плоскость параллельна одной из плоскостей проекций, то достаточно задать одну точку с объектной привязкой, а для задания второй сместить курсор в режиме **ORTHO** и указать произвольную точку.

Для построения фронтального разреза детали (рис. 7.3, *г*) можно в окне вида сверху с объектной привязкой **Midpoint** (Середина) указать точку *3* и с привязкой **Quadrant** – точку *4*. Возможны другие варианты: указать центр окружности цилиндра с привязкой **Center** или конечную точку одного из ребер сечения пирамиды. Можно указать одну из названных точек, затем в режиме **ORTHO** указать любую точку справа или слева от нее. Тип штриховки должен быть заранее определен значением системной переменной **HPNAME**.

Итак, для построения фронтального разреза:

- **solview / Section** / задайте положение секущей плоскости, для этого активизируйте исходное окно вида сверху, включите объектную привязку **Midpoint** и укажите точку *3*, затем с привязкой **Quadrant** – точку *4* (см. рис. 7.3, *г*), либо примените другие варианты задания секущей плоскости / переместите курсор вниз и укажите точку *5*, определив тем самым направление проецирования / задайте масштаб нового изображения равным 1 / переместите курсор вверх и укажите точку *Б* как центр окна фронтального разреза (см. рис. 7.3) прямоугольник видового окна, указав точки *6* и *7* / введите имя, например, *front_s* /.

В итоге создано специальное окно для фронтального разреза. Созданы четыре новых слоя, имена которых начинаются с имени, введенного при выполнении команды, а префиксы соответствуют назначению слоя, как это было сказано для окна вида сверху. Например, слой *front_s-Vis* – для последующего размещения на нем линий видимого контура формируемого разреза.

"Доведем" видовое окно, то есть завершим построение в нем разреза модели:

- **soldraw** / укажите рамку созданного окна / – построен разрез, выполнена его штриховка.

Для построения профильного разреза:

- **solview** / **S** / задайте положение секущей плоскости, для этого активизируйте окно вида спереди, включите объектную привязку **Midpoint** (Середина) и укажите точки *11* и *12* (см. рис. 7.3, *а*) / переместите курсор влево и укажите точку *13* / задайте масштаб нового изображения равным 1 / переместите курсор вправо и укажите точку *Г* – центр окна профильного разреза (см. рис. 7.3, *в*) / <Enter> / определите прямоугольник видового окна, точки *14* и *15* / присвойте окну имя, например, *left_s* / – создано окно для профильного разреза;
- **soldraw** / укажите рамку созданного окна / – построен разрез, выполнена его штриховка.

Итак, построены все требуемые для чертежа виды и разрезы. Изображения размещены в видовых окнах. В этих окнах слой с исходной solid-моделью автоматически избирательно заморожен, то есть содержатся только линии, образующие созданные проекции, модель отсутствует.

Если сечения разрезов заштрихованы неприемлемым типом штриховки или штриховка отсутствует (это возможно, если заранее не задали образец штриховки *ansi31* в переменной **HPNAME**), скорректируйте штриховку:

- **hatchedit** (команду можно вызвать из меню **Modify** (Редакт) / **Object** (Объект) / **Hatch (**Штриховка**)** или двойной левый клик по редактируемой штриховке) / укажите штриховку и в открывшемся диалоговом окне скорректируйте ее параметры /.

Если требуется построить разрез плоскостью общего положения, то предварительно необходимо в окне установить вид вдоль секущей плоскости, после чего эта плоскость становится проецирующей и можно применить команды **SOLVIEW+SOLDRAW**.

7.5. Вынос проекций на лист

Проекции модели, составляющие основу ее чертежа, созданы и находятся в пространстве модели. Для получения чертежа (см. рис. 7.2) требуется построить изображение, содержащее половину вида слева с половиной профильного разреза, построить местный разрез, проставить размеры, разместить проекции внутри рамки формата и др.

Известны четыре варианта построения чертежа (см. разд. 4.4 “Варианты масштабирования и компоновки”). Оконный вариант (вариант 2) предусматривает продолжение работы над проекциями в пространстве модели, в тех же видовых окнах, в которых проекции были созданы. Этот вариант применительно к 3D-технологии рассмотрен в разд. 11.5.

В текущей и двух последующих работах мы применим вариант 3. По этому варианту проекции выносятся из пространства модели на лист, и все работы по редактированию масштабированию и компоновке чертежа производятся в единой плоскости листа. Вынос проекций на лист, хотя и потребует дополнительных трудозатрат, в последующем существенно упрощает простановку размеров и оформление чертежа.

Выносимые на лист проекции как весь чертеж в окончательном виде будем размещать на том же листе, на котором находятся видовые окна. Можно создать новую, третью страницу листа и на ней завершать чертеж (о создании листа – см. выше, разд. “Дополнительные настройки…”).

Вынос на лист через буфер обмена

Это наиболее простой вариант выноса проекций, применимый только к видовым окнам, в которых плоскость проекции параллельна МСК, в нашем примере таким является окно вида сверху:

- активизируйте окно вида сверху – двойной левый клик мыши по области окна;
- убедитесь, что в активном окне ПСК параллельна плоскости вида. Иначе установите ее таковой (**`ucs/v`**);
- укажите кнопку  стандартной панели инструментов / выберите рамкой все линии, образующие проекцию / – линии, составляющие изображение, скопированы в буфер обмена;
- перейдите на лист, указав закладку этого листа / укажите кнопку  той же панели – появился след изображения, перемещаемый вслед за курсором / укажите точку вставки изображения, поместив его на свободное место экрана – изображение вынесено на лист.

Вынос на лист созданием блока

В общем случае, для выноса изображения из видового окна на лист, следует применить “вынос через блок”. Напомним (см. разд. 4.8), что *блок* – это хранящийся в файле набор данных графических объектов, занесенных в этот блок. Сформируем блок из линий, составляющих выносимую на лист проекцию. Затем перейдем на лист и вставим блок на листе:

- активизируйте видовое окно, из которого проекцию выносим на лист. Убедитесь, что ПСК в этом окне параллельна плоскости вида или установите ее (**`ucs / v`**);
- **`block (БЛОК)`** / в диалоговом окне создания блоков задайте имя блока, например, 1 / указав кнопку **Pick Point (**Укажи точку**)**, задайте точку вставки, например, левый нижний угол проекции / указав кнопку **Select Objects (**Выбери объекты), выберите все линии, заключаемые в блок / задайте режим **Retain (**Сохранить), при котором создается блок и сохраняется исходный объект / ОК – в файле создан блок из всех линий видового окна;

- перейдите на лист;
- **insert (Вставить)** / в диалоговом окне задайте имя вставляемого блока / ОК / на экране укажите точку вставки изображения.

Повторите указанные действия для остальных окон, то есть переведите на лист изображения всех созданных видов и разрезов. Изображения в первом приближении разместите подобно тому, как были размещены их видовые окна (см. рис. 7.3).

После выноса на лист проекции в пространстве модели можно удалить для уменьшения объема файла. Удаление можно делать в процессе создания каждого блока, задав вместо **Retain** режим **Delete**. Можно удалить и видовые окна, свою роль в создании проекций они выполнили.

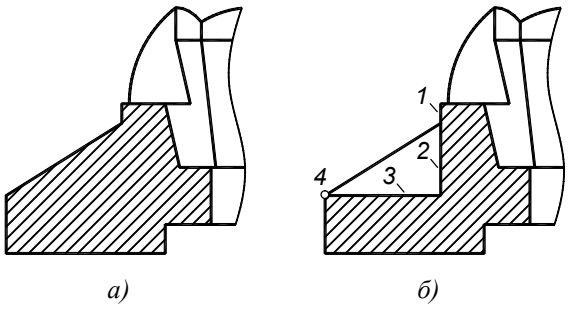


Рис. 7.4. Удаление штриховки ребра жесткости:
а – исходное изображение; *б* – после редактирования

7.6. Редактирование изображений

Изображения, которые AutoCAD построил в автоматическом режиме, могут требовать редактирования (доработки) для приведения их в соответствие с ГОСТ и ЕСКД. Так, для чертежа рассматриваемой детали необходимо на фронтальном разрезе удалить штриховку с ребра жесткости, создать изображение, содержащее половину вида слева, совмещенную с половиной профильного разреза, и построить местный разрез.

Ребро жесткости

Согласно ГОСТ 2.305–68 тонкие стенки, например, ребра жесткости в продольных по отношении к ним разрезах показывают не заштрихованными. Это повышает наглядность чертежа.

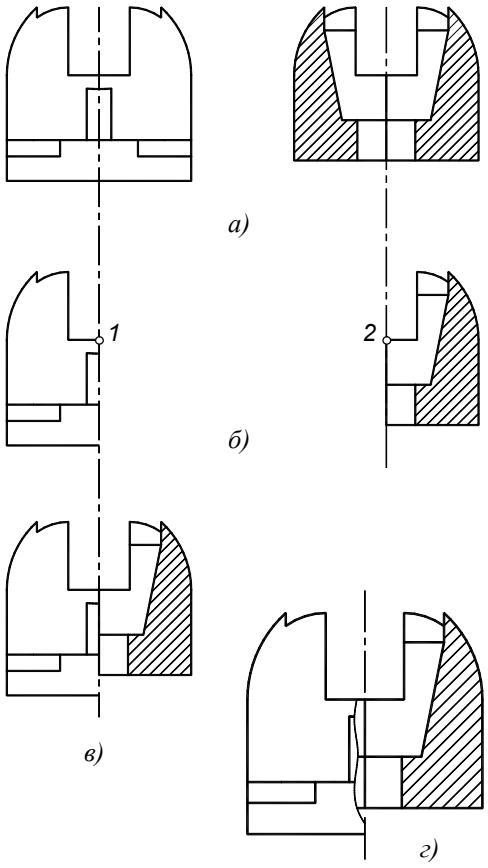


Рис. 7.5. Совмещение половины вида с половиной разреза:
а – исходные изображения вида и разреза;
б – удаление половины каждого изображения;
в – совмещение изображений;
г – отображение внутреннего ребра модели

При автоматическом построении разреза AutoCAD выполняет штриховку воедино для всего разреза, в том числе выполняет штриховку ребер жесткости. В нашем примере деталь имеет ребро жесткости, разрезаемое вдоль. AutoCAD, “не зная” указанного выше требования, показывает на фронтальном разрезе ребро жесткости заштрихованным (рис. 7.4, *а*). Необходимо стереть (**ERASE**) всю штриховку разреза, построить контур ребра и заново выполнить штриховку, не включая ребро в контур штриховки. Контур ребра (рис. 7.4, *б*), отрезки *2*, *3*, можно создать на основе имеющихся линий контура. Отрезок *2* является продолжением (команда **EXTEND**) отрезка *1*, отрезок *3* в режиме **ORTHO** проведен из точки *4*. Осталось удалить (**TRIM**) лишние сегменты линий и заново выполнить штриховку разреза.

Совмещение половины вида с половиной разреза

Совмещение выполняют с целью повышения информативности изображений и сокращения их количества на чертеже. Пример построения изображения, совмещающего половину вида слева с половиной профильного разреза, показан на рис. 7.5. Обратите внимание, что на совмещенном изображении вид выполняется в левой части, а разрез в правой:

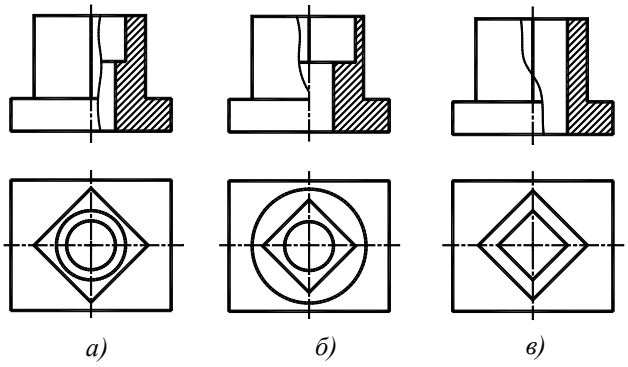


Рис. 7.6. Совмещение половины вида и половины разреза при наличии ребра, расположенного по оси симметрии: *а* – наружное ребро; *б* – внутреннее ребро; *г* – два ребра, наружное и внутреннее

- на исходных изображениях вида и разреза (см. рис. 7.5, *а*) проведите вертикальные оси симметрии, применяя для этого режим **ORTHO** и объектную привязку **Midpoint** (Середина);
- командами **TRIM** и **ERASE** удалите часть вида, расположенную справа от оси, и часть изображения разреза слева от оси (см. рис. 7.5, *б*). Если изображения являются вставками блоков (при указании выделяются как единое целое), их нужно предварительно расчленить (**EXPLODE**);
- поскольку штриховка разреза выполнена воедино для всего разреза, то ее следует удалить;
- совместите подготовленные части изображений, например, перенесите изображение разреза до совмещения с видом (**MOVE**). В качестве базовой точки перемещения с объектной привязкой укажите точку *2*, а в качестве второй точки – точку *1* (см. рис. 7.5, *б, в*);
- выполните штриховку для правой части разреза.

Как правило, совмещение изображений выполняется по осевой линии. Если с осью симметрии совпадает проекция ребра призмы или пирамиды, на чертеже необходимо пояснить, к какой части изображения относится ребро: к виду или разрезу. Для этого проводят линию обрыва, смещая границу вида и разреза так, чтобы пояснить видимость ребра. Изображения совмещаются по линии обрыва.

В рассматриваемом примере в модели имеется внутреннее ребро пирамиды и призмы, которое совпадает с осью симметрии вида слева и профильного разреза. Поэтому созданное совмещенное изображение было дополнено (см. рис. 7.5, *г*) линией обрыва, которая расширила область разреза.

На рис. 7.6, *а* показан фрагмент чертежа некоторой модели, у которой на *наружной* поверхности имеется ребро призмы, совпадающее с осью симметрии проекции. Чтобы подчеркнуть принадлежность ребра к виду, проведена линия обрыва, смещенная вправо от оси и расширяющая область вида. На рис. 7.6, *б* ребро находится на *внутренней* поверхности модели, поэтому проведена линия обрыва, смещенная влево и расширяющая область разреза. На рис. 7.6, *в* дан пример совмещения, когда ребро есть и *на наружной и на внутренней* поверхности модели.

Линия обрыва проводится как тонкая сплошная волнистая линия чертежа. Для ее построения применяют команду **PLINE (ЛОМАНАЯ)** или **SPLINE (СПЛАЙН)**. Линию сначала проводят с некоторым запасом (рис. 7.7, *а*), затем подрезают по контуру командой **TRIM**. Линии контура совмещаемых изображений удлиняют до линии обрыва (**EXTEND**) или обрезают по этой линии (**TRIM**).

Местный разрез

Местный разрез предназначен для выявления на чертеже внутренней формы небольших по размеру элементов модели. Разрез наносится на изображение одного из видов, ограничивается линией обрыва и дополняется штриховкой материала.

В рассматриваемом примере (см. рис. 7.2, рис. 7.7) местный разрез необходим для выявления формы крепежных отверстий, поскольку другими разрезами она не раскрыта (например, не ясно, сквозные это отверстия или лишь углубления в основании). Это разрез может быть выполнен на виде спереди (см. рис. 7.7, *а*) или виде слева (см. рис. 7.7, *б*).

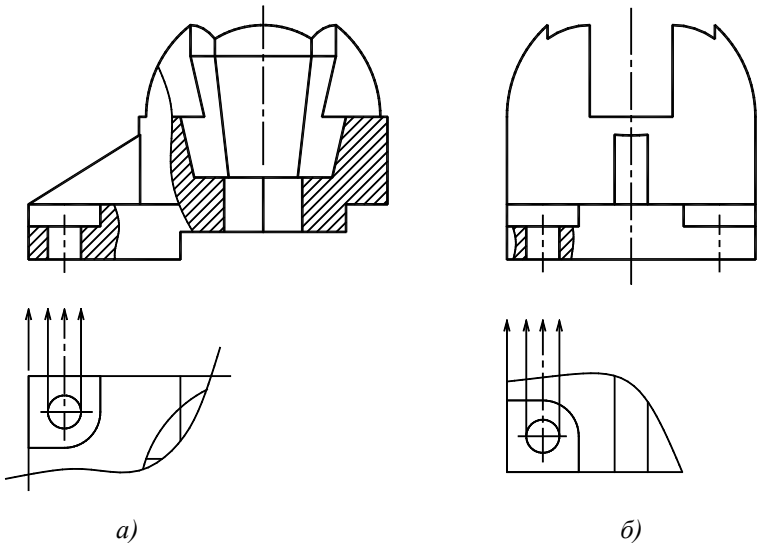


Рис. 7.7. Варианты и техника выполнения местного разреза: *а* – на месте вида спереди; *б* – на месте вида слева;

Контур вскрываемого элемента (отверстия) для местного разреза можно построить различным образом:

1) создать вид модели (**SOVIEW+SOLDRAW**) с линиями невидимого контура, а затем перевести необходимые линии со слоя невидимых линий, имеющего префикс *-HID* на слой видимых линий, префикс *-VIS*;

2) построить разрез по оси вскрываемого отверстия, ограничить область полученного изображения линией обрыва и совместить с изображением вида;

3) дополнить вид линиями внутреннего контура, построив их на основе проекционной связи другими ранее полученными изображениями.

Последний вариант является оптимальным для построения местного разреза элементов простой формы. На виде спереди (см. рис. 7.7, *а*), контур отверстия можно построить на основе линий проекционной связи с видом сверху. Для нанесения местного разреза на вид слева (см. рис. 7.7, *б*) можно скопировать фрагмент вида сверху и установить его в проекционной связи с поворотом на 90º.

На рис. 7.7, *а* показано построение еще одного разреза, *совмещенного* с видом спереди и вскрывающего пирамидальное отверстие модели. Техника его построения та же, что и для местного разреза. Тот же пример поясняет, что нельзя наносить изображение одного разреза на другой, между ними должна быть область вида.

Местные и совмещенные разрезы не обозначаются, то есть их положение подразумевается формой модели и логикой чертежа.

7.7. Компоновка чертежа

После того, как изображения чертежа созданы и отредактированы, разместим их внутри рамки формата А3 (рис. 7.8). Выбор этого формата продиктован размерами изображений.

Вставьте на лист рамку и основную надпись формата А3:

- **Insert (Вставка)** / в диалоговом окне укажите **Browse** (Обзор), найдите файл *a3.dwg* / OK;
- укажите точку вставки – это может быть произвольная точка на листе / согласитесь с остальными предложениями диалогового окна / OK.

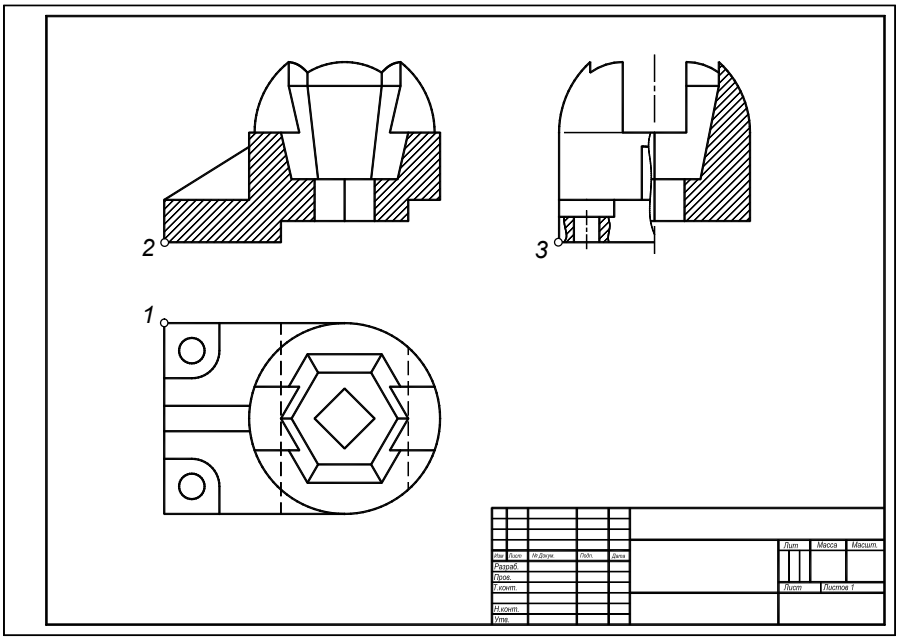


Рис. 7.8. Размещение основных изображений внутри рамки формата

Если изображения проекций были расчленены на линии, то перед компоновкой их целесообразно временно конвертировать в блоки и перемещать как единое целое. Иначе при перемещении проекций их можно разрушить. Для конвертирования:

- **`block (Блок)`** / в диалоговом окне создания блоков задайте имя блока, например, 5 / **Pick Point** (Укажи точку) – задайте точку вставки, указав, например, левый нижний угол конвертируемой проекции / **Select Objects** (Выбери объекты) – выберите все линии, заключаемые в блок; задайте режим **Convert to block** (Преобразовать в блок) / **ОК** – создан блок из всех линий видового окна;
- проверьте, что из линий проекций создан блок. Для этого укажите проекцию – она должна выделиться как единое целое.

Далее командой **`MOVE`** перемещаем подготовленные изображения. Для обеспечения проекционной связи следует применить объектное слежение (см. также разд. 2.5, рис. 2.3):

- включите объектную привязку **Endpoint** (Конечная) и объектное слежение – кнопка  .

Первым переместим изображение вида спереди, как главного вида чертежа:

- **`move`** / выберите все линии изображения / переместите его в положение как на рис. 7.8.

По отношению к главному виду разместим остальные проекции. Перемещаем вид сверху:

- **`move`** / выберите все линии вида верху / укажите в качестве базовой точку *1* / коснитесь курсором конечной точки *2* / переместите курсор вниз – должна возникнуть вертикальная прерывистая линия слежения / укажите на линии слежения итоговое положение вида сверху.

Подобным образом перемещаем изображение вида слева, указав в качестве базовой точку *3*, а точки слежения – точку *2*:

Проекционной связи можно также добиться применением точечных фильтров или вспомогательных вертикальных и горизонтальных линий. Последующие перемещения проекций на чертеже нужно выполнять в режиме **ORTHO**, сохраняя установленную проекционную связь.

Если проекции были конвертированы в блоки, то после завершения компоновки их нужно расчленить (**`EXPLODE`**).

7.8. Простановка размеров

Основы простановки размеров рассмотрены выше (см. разд. 3.5, 4.4…4.6). Рассмотрим дополнительные сведения по простановке размеров, необходимые для выполнения рассматриваемого задания.

Размеры, приводимые на чертеже, должны отражать форму детали и технологию ее изготовления. В данной учебной работе будем придерживаться геометрического метода простановки размеров, учитывающего, в основном, только форму. Модель рассматривают, состоящей из простых геометрических фигур. Для каждой фигуры задают размеры, определяющие ее форму и положение. Например, параллелепипед задается тремя размерами формы (длина, ширина, высота); цилиндр – двумя размерами (диаметр окружности основания и высота), сфера – одним. Положение каждой фигуры определяется еще как минимум тремя размерами, например, XYZ-координаты угла параллелепипеда или центра сферы. Кроме того, нужны размеры, определяющие взаимосвязь между фигурами, они называются *координатными*; размеры габаритов всей детали – *габаритными*.

В рассматриваемом задании размеры ставим на листе. Поскольку изображения выполнены в истинных размерах, то линейный масштаб размерного стиля равен 1. Глобальный масштаб также равен 1, поскольку все размеры проставлены в едином пространстве, на листе. При применении кафедрального прототипа *proto.dwt* (см. разд. 6.3) размерный стиль для основных размеров передается из прототипа, где он уже настроен.

Размеры на совмещенных изображениях вида и разреза

Размеры, относящиеся к виду, ставят со стороны вида, а размеры, относящиеся к разрезу – со стороны разреза. Это правило поясняется на рис. 7.9, *а*, где показан вариант простановки размеров на совмещенном изображении вида слева и профильного разреза А-А (основной вариант – см. рис. 7.2). Размеры 12, 51.7, 85 и R45 относятся к видимому контуру проекции и проставлены со стороны вида, остальные размеры относятся к внутренним элементам и показаны со стороны разреза.

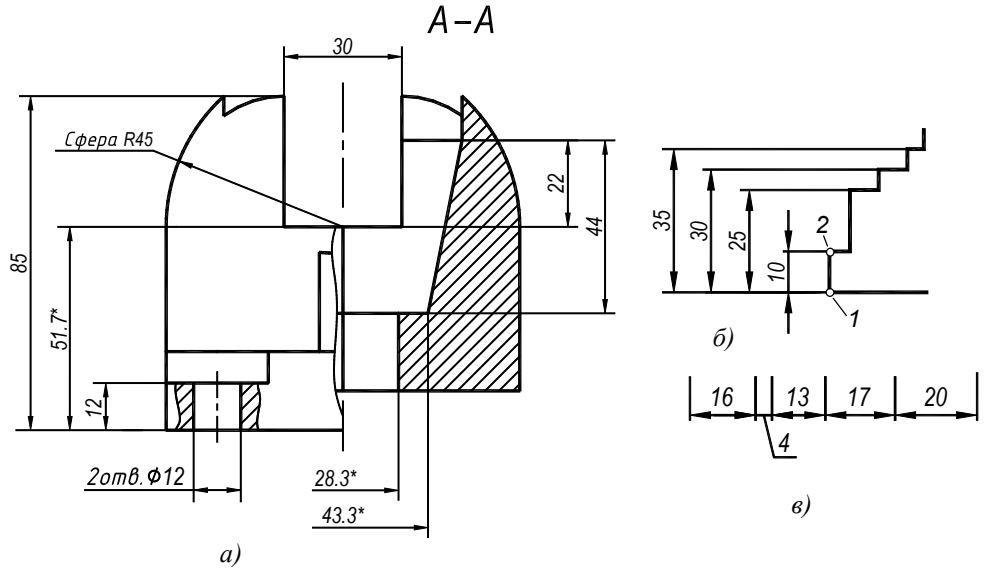


Рис. 7.9. Примеры простановки размеров
а – на совмещенном изображении вида и разреза; *б* – размеры от общей базы;
в – размеры цепочкой

Размерные цепи

С технологической точки зрения предпочтительна простановка размеров от общей базы (рис. 7.9, б). Для таких размеров вместо команды **DIMLINEAR (РЗМЛИНЕЙНЫЙ)** целесообразно применить команду **DIMBASELINE (РЗМБАЗОВЫЙ)**. Для последовательной цепочки (рис. 3.9, в) предназначена команда **DIMCONTINUE (РЗМЦЕПЬ)**.

Для простановки размеров от базы нужно в размерном стиле задать расстояние между параллельными размерными линиями, затем командой **DIMLINEAR** проставить первый размер, указав первой выносную линию, соответствующую базовой линии, то есть точку *1*, затем точку *2*. Для остальных размеров цепи достаточно применить команду **DIMBASELINE**, указывая по одной точке каждого размера:

- **dimstyle** или укажите кнопку  панели инструментов **Dimensions** (Размеры) / укажите закладку **Lines and Arrows** (Линии и стрелки) / задайте параметр **Baseline Spacing** (Интервал, задающий расстояние между размерными линиями в базовых размерах) равным 8…10 мм.

Примером размеров от общей базы являются вертикальные размеры 12, 51.7, 85 (рис. 7.9, *а*), проставленные от основания детали. Рассмотрим их простановку. Ставим первый размер 12:

- **dimlinear** / укажите (привязка **Endpoint**) точку нижней базовой выносной линии / укажите точку второй верхней выносной линии / отведите курсор на 7 . . .12 мм влево от контура и укажите положение размерной линии.

Последующие размеры от той же базы, например, размер 51.7:

- **dimbaseline** (кнопка ) / укажите верхнюю точку размера – размер проставлен.

Примером цепочки последовательных размеров являются горизонтальные размеры 55 и 60 на главном виде (рис. 7.2):

- **dimlinear** / проставьте первый размер цепочки 55;
- **dimcontinue** (кнопка ) / укажите правую точку второго размера цепочки 60 – проставлен размер на продолжении предыдущего.

Диаметр как линейный размер

Диаметр цилиндра или конуса рекомендуется проставлять на изображении, где показаны их образующие, а не на окружности основания. Примером является размер крепежных отверстий ∅12 (см. рис. 7.9, *а*). Размер проставляется командой **DIMLINEAR**, но требуется добавить символ ∅. Поскольку символ отсутствует на клавиатуре, то для него предусмотрена кодировка, состоящая из группы символов %%C, где C – латинским шрифтом.

Рассмотрим простановку линейного размера ∅12:

- **dimlinear** / укажите две точки начала выносных линий / **t** (опция **Текст**) / введите с клавиатуры %%C12 / укажите положение размерной линии.

Если требуется дополнительно указать количество отверстий, как на рис. рис. 7.9, *а*, то следует ввести: 4*отв*. %%C12.

Можно применить редактирование размера (см. разд. 3.5 “Редактирование размеров”). Для этого первоначально проставить линейный размер в обычном режиме **DIMLINEAR**, без указания дополнительных символов и надписей, а затем добавить их, применив к проставленному размеру одну из команд: **DDEDIT, DIMEDIT, PROPERTIES**, **QUICK PROPERTIES** (быстрые свойства). Например, при редактировании к размерному тексту можно добавить обозначение сферы, получив размер с текстом O*R45* либо *Сфера R45* (см. рис. 7.9, *а*).

Если чертеж содержит много диаметральных линейных размеров, для которых необходим знак ∅, рационально создать новый размерный стиль, в котором на закладке **Primary Units** (Основные единицы) в поле **Prefix** (Префикс) ввести код знака ∅, то есть *%%C*.

Размеры с односторонней стрелкой

Размеры с односторонней стрелкой выполняют в тех случаях, когда одна размерная точка подразумевается, но на изображении отсутствует или недоступна. Главным образом, такие размеры применяют на разрезах, совмещенных с видом. Недоступная точка размера подразумевается по симметрии относительно оси совмещения. На рис. 7.9, *а* – это размеры 28.3, 43.3.

Для получения одностороннего размера применением команды **MIRROR (ЗЕРКАЛО)** временно постройте элементы, позволяющие указать отсутствующую размерную точку. Далее возможны два варианта действий.

Первый вариант – расчленение размера. Проставить обычный двухсторонний размер, затем командой **EXPLODE** расчленить размер на отрезки прямых, стрелки и текст и удалить лишние графические элементы. Этот вариант прост, однако расчлененный размер перестает быть особым примитивом и не подлежит дальнейшему редактированию размерным стилем. Вариант рекомендуется при небольшом количестве подобных размеров на чертеже. Чтобы размер сразу получился расчлененным, нужно предварительно задать системную переменную **DIMASSOC**=0.

Второй вариант – создание нового размерного стиля. В настройке параметров стиля необходимо подавить вторую (по порядку указания) выносную линию и вторую стрелку. Создадим такой стиль:

- **dimstyle** / в диалоговом окне существующих стилей укажите тот, которым выполняются размеры чертежа, он будет взят за основу / **New** (Новый) / Задайте имя нового стиля / **Continue** (Продолжить);
- откройте закладку **Lines** (Линии), в поле **Dimension Lines** (Размерные линии) задайте **Suppress Dim Line 2** (Удалить размерную линию 2), в поле **Extension Lines** (Выносные линии) задайте **Suppress Ext Line 2** (Удалить выносную линию 2) / ОК / **Set Current** (Сделать текущим) / **Close** (Закрыть).

Ставьте размер новым стилем, первой укажите точку, со стороны которой размерная часть остается.

В завершение в каждом из вариантов не забудьте удалить элементы, временно созданные для нахождения второй размерной точки.

Справочные размеры

Справочными называют размеры, являющиеся следствием других размеров, определяющих форму детали. Справочные размеры наносят на чертеж для наглядности. Например, в нашей модели (см. рис. 7.2) ее длина 130 является справочным размером как следствие (сумма) координатного размера 85 и радиуса сферы и цилиндра 45. Диагональ квадрата, размер 28.3 (см. рис. 7.9, *а*), также является справочным размером, поскольку определяется размером стороны квадрата 20 мм.

Высота центра сферы 51.7 – также справочный размер, поскольку он зависит от размеров высоты модели 85, радиуса сферы 45 и размеров шестигранного призматического отверстия. Этот размер при построении модели был предварительно определен геометрическим построением (см. разд. 6.4) как следствие указанных размеров.

Справочные размеры отмечают знаком *, например 130*. Проставить знак * можно в режиме редактирования размерного текста (см. выше). Если таких размеров много, следует создать новый размерный стиль, в котором на закладке **Primary Units** ввести знак * в поле **Suffix**.

При наличии на чертеже справочных размеров над основной надписью (над штампом) чертежа выполняют надпись **Размеры для справок*.

- Перейдите на слой *Размеры* и проставьте размеры на чертеже.

7.9. Построение аксонометрической проекции

Назначение аксонометрии – наглядность изображения. В отличие ортогональных видов чертежа, в аксонометрии деталь проецируют так, чтобы грани не вырождались в прямые линии, а ребра не вырождались в точки. Сравните по чертежу, приведенному на рис. 7.2, аксонометрическое изображение модели с ее ортогональными видами спереди, сверху, слева. Одного аксонометрического изображения достаточно для восприятия пространственной формы модели, тогда как по ортогональным видам чертежа необходимо одновременно анализировать как минимум два изображения.

Ортогональные виды чертежа просты в построении и по ним легко выполнить измерения детали. Аксонометрические же проекции при их высокой наглядности более сложны в реализации, особенно при традиционной технике их построения по 2D-технологии (карандашом на бумаге или линиями на компьютере). По 3D-технологии построение аксонометрических изображений автоматизировано. (Орбита – это аксонометрия в реальном времени). Нужно только подобрать выигрышную точку зрения.

Применение аксонометрических изображений на чертежах ограничено искажением размеров модели. В аксонометрии размеры изображения отличаются от размеров модели, причем степень отличия (коэффициент искажения) зависит от угла проецирования модели. Поэтому аксонометрию строят с иллюстративной или учебной целью. На машиностроительных и строительных чертежах ее, как правило, не приводят.

В наших заданиях требуется построение аксонометрии и размещение ее на чертеже наряду с ортогональными видами (см. рис. 7.2 и образцы последующих работ).

Аксонометрические виды

В зависимости от направления проецирования может быть получено бесконечное множество аксонометрических изображений разной степени наглядности. Ряд аксонометрических проекций, сочетающих наглядность и простоту построения (карандашом на бумаге), стандартизованы в ГОСТ 2.317–69. К ним, в частности, относятся наиболее распространенные аксонометрические проекции – ортогональная изометрия и ортогональная диметрия.

В 3D-компьютерном моделировании модель можно увидеть с любой точки зрения, вращая ее (точнее, вращаясь вокруг нее) с помощью команд **3DFOrbit**  и **3DORBIT**  (кнопки панели инструментов **Orbit**). Следовательно, можно получить изображение требуемой наглядности, в том числе и указанные выше стандартные аксонометрические и ортогональные проекции.

При построении аксонометрии модель связывают с декартовой системой координат и проецируют вместе с ней. Проекции осей декартовой системы образуют аксонометрические оси.

Ортогональная изометрия

Характеризуется тем, что грани модели, параллельные координатным плоскостям декартовой системы, наклонены к плоскости проекции (плоскости экрана) под одним и тем же углом. Происходит равномерное уменьшение размеров изображения по всем направлениям аксонометрических осей.

Ортогональная изометрия – распространенная аксонометрическая проекция при “ручной” технике построений как наиболее простая аксонометрия. Эта проекция имеет недостаток: при отображении куба ближнее и дальнее ребра куба совпадают, что приводит к снижению наглядности при отображении моделей с кубическими элементами. По указанной причине в рассматриваемом задании применение ортогональной изометрии не рекомендуется.

В AutoCAD предусмотрены пространственные точки зрения, обеспечивающие четыре варианта ортогональной изометрии. Для их построения отобразите в видовом окне пространственную модель и выполните команду **VIEW (ВИД)** или укажите одну из кнопок  панели инструментов **View**.

Ортогональная диметрия

Это аксонометрическая проекция, в которой размеры модели по двум аксонометрическим осям уменьшаются в равной мере, а по третьей – уменьшаются иначе. В стандартной ортогональной диметрии принято уменьшение по третьей оси вдвое по сравнению с первыми двумя. На рис. 7.10 *а, б* показан куб в двух вариантах стандартной ортогональной диметрии. Длины отрезков *1-2* и *1-4* равны между собой, длина отрезка *1-5* вдвое меньше каждого из предыдущих. Данная проекция более наглядна, чем ортогональная изометрия. В задании рекомендуется применять ортогональную диметрию.

Для задания вида (см. разд. 5.5. "Точка зрения с заданными параметрами"), соответствующего ортогональной диметрии, создайте видовое окно и перейдите в пространство модели. Модель нужно расположить так, чтобы ее длинная сторона была направлена вдоль оси X мировой системы координат (МСК). Далее выполним команду **DDVPOINT (ДИАЛТЗРЕН)** или из главного меню: **View** (Вид) / **3D Views** (3М Виды) / **Viewpoint Presets** (Настройка точки зрения).

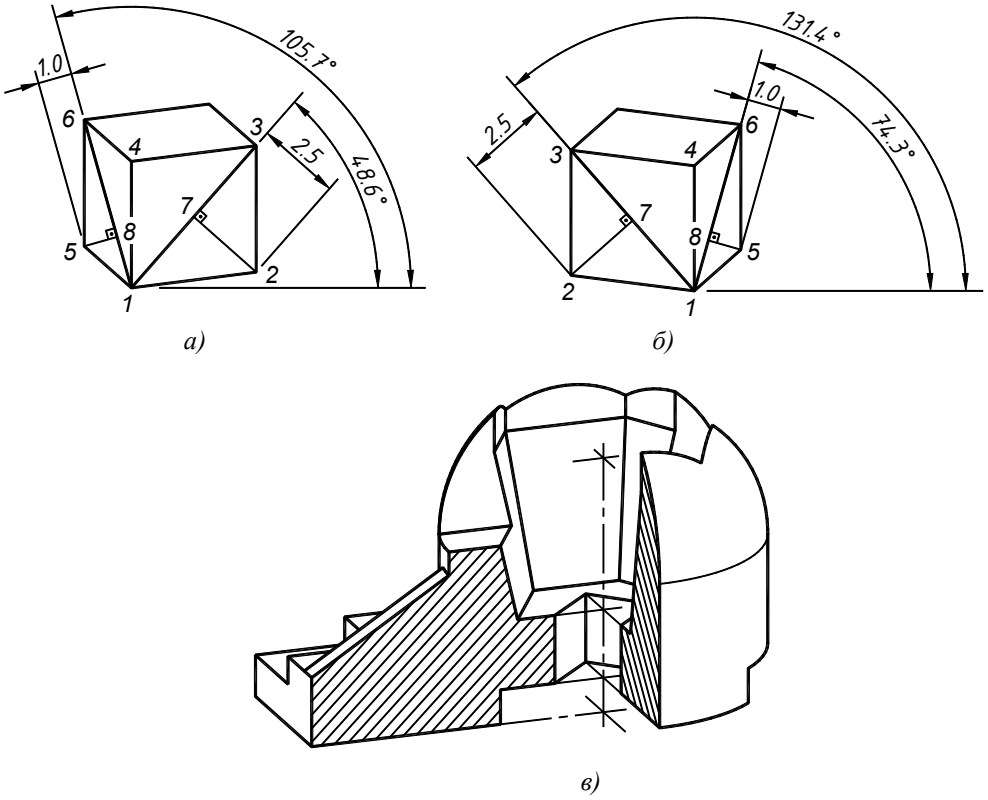


Рис. 7.10. Стандартная ортогональная диметрия:
а, *б* – варианты проекции и параметры штриховки сечений;
в – проекция модели с разрезом

В открывшемся диалоговом окне (см. рис. 5.7) содержатся две диаграммы, позволяющие установить направление взгляда. Левая диаграмма задает угол вектора взгляда к оси X МСК, правая – угол к горизонтальной плоскости XOY:

- на левой диаграмме задайте угол, равный 249.33° или 290.67°, это приведет соответственно к варианту *а* или *б* (см. рис. 7.10);
- на правой диаграмме установите угол 19.44°.

На рис. 7.2 приведена ортогональная диметрия модели, соответствующая углу ≈290°, на рис. 7.10, *в* – углу ≈250°.

Пространственная “физическая” модель разреза

Для передачи внутренней формы модели аксонометрическое изображение выполняют с пространственным разрезом, например, удалением ближней к наблюдателю четверти модели (рис. 7.2, 7.10, *в*). Возможны два варианта построения такого разреза. Первый вариант условно назовем “физический разрез”. Второй вариант – *псевдоразрез*, как новая возможность последних версий AutoCAD (см. разд. 8).

“Физический” разрез выполняют с применением команды **SLICE.** Он приводит к изменению пространственной модели, поэтому перед выполнением разреза модель необходимо сохранить как копию модели или копию файла. Далее разрежем модель двумя плоскостями на четыре части:

- установите систему координат ПСК по плоскости основания модели, направив ось X вдоль основания и поместив начало координат в точку пересечения режущих плоскостей (см. рис. 7.10, *в*);
- **slice** / укажите модель / **ZX** (опция, задающая разрез плоскостью ZOX) // – согласитесь с предложениями выполнить разрез через начало координат и сохранить обе стороны модели.

В результате модель разрезана вдоль на две части, на ее поверхности видна линия – след секущей плоскости. Аналогично выполните поперечный разрез ближней части:

- **slice** / укажите ближнюю половину модели / **YZ** //;
- **erase** – удалите ближнюю четверть модели или "спрячьте" ее на отдельный слой, заморозив его;
- **union** – объедините оставшиеся три четверти модели;
- выполните наглядную визуализацию модели с удаленной частью.

Тот же результат можно получить путем вычитания из модели параллелепипеда, размеры которого соответствуют удаляемому объему.

Аксонометрия “физического” разреза. Команда SOLPROF

После задания видовой точки, соответствующей требуемой аксонометрии, модель с удаленной частью необходимо спроецировать на плоскость, параллельную плоскости экрана:

- установите ПСК по плоскости вида: **UCS** / **v** или кнопка  панели инструментов **UCS** (ПСК);

Далее можно получить проекцию командами **SOLVIEW** (с опцией **UCS**) + **SOLDRAW**. Однако в этом случае проще применить еще не рассмотренную нами команду **SOLPROF**, которая создает проекцию solid-модели на плоскость экрана:

- **solprof** / укажите модель / **Y** – согласитесь с предложением создать плоское изображение / **Y** –согласитесь с предложением разместить линии видимого и невидимого контура на разных слоях / **N** – откажитесь от предложения удалить линии сопряжения – построена аксонометрическая проекция;
- **layer** / в открывшемся окне **Layer Properties Manager** убедитесь, что образовалось два новых слоя с первыми буквами *PH* и *PV*. На слое *PH*... находятся невидимые линии созданной аксонометрической проекции, на слое *PV*… – ее видимые линии;
- избирательно заморозьте *PH*-слой и слой, на котором находится модель – в видовом окне получена проекция, содержащая только линии видимого контура;
- перенесите изображение из видового окна на лист через буфер обмена или через блок (см. разд. 7.5);
- вынесенное на лист изображение расчлените командой **EXPLODE**.

Штриховка сечений в аксонометрии

Примем, что деталь выполнена из металла, штриховка которого имеет наклон 45^0. Если выполнить штриховку под данным углом непосредственно на гранях модели, то в аксонометрии наблюдатель увидит штриховку под другим углом. То же относится и к шагу штриховки. Будучи одинаковым при штриховке различных граней модели, в аксонометрии шаг искажается. Чем больше наклонена грань к плоскости вида, тем в аксонометрии наклон штриховки больше и штриховка плотнее.

Наглядность аксонометрического изображения требует передать штриховку с учетом ее искажений, возникающих при проецировании модели на плоскость проекции. Определить угол и шаг штриховки для произвольной аксонометрической проекции можно следующим образом (рис. 7.10, *а*, *б*):

- построить в пространстве модели куб, расположив его грани параллельно осям МСК;
- построить проекцию куба командой **SOLPROF** и вынести ее на лист;
- в проекции куба провести диагонали (*1-3*) и (*1-6*), соответствующие направлению штриховки граней;
- провести отрезки *(2-7)* ⊥ (*1-3*) и и (*5-8*) ⊥ (*1-6*), длины этих отрезков соответствуют шагу штриховки;
- масштабировать проекцию так, чтобы шаг штриховки фронтальной грани (*2-7*) стал равным требуемой величине, например, 2.5 мм;
- простановкой размеров измерить параметры штриховки и задать их при штриховке граней проекции.

Параметры штриховки, определенные указанным методом, для стандартных проекций следующие. В ортогональной изометрии угол наклона штриховки во фронтальной плоскости сечения равен 60°, в профильной 120°. Шаг штриховки в этих плоскостях одинаковый.

В ортогональной диметрии по варианту, показанному на рис. 7.10, *а, в*, наклон штриховки во фронтальной плоскости ≈49°, в профильной ≈106°. По варианту, показанному на рис. 7.10, *б*, и на чертеже модели (см. рис. 7.2) наклон во фронтальной плоскости ≈131°, в профильной ≈74°. В обоих вариантах при шаге штриховки во фронтальной плоскости, равном 2.5 мм, в профильной плоскости получаем значение шага ≈1.

Пример штриховки в ортогональной диметрии сечения, образованного фронтальной секущей плоскостью, для металлических материалов:

- **bhatch** (кнопка  панели инструментов **Draw**) / в открывшемся диалоговом окне установите в поле **Type** (Тип штриховки) значение **User Defined** (Определенную пользователем), **Angle** (Угол) 49°, **Spacing (**Шаг) 2.5 / укажите кнопку **Pick Points** (Выбор точки) / укажите точку внутри контура сечения – контур должен выделиться пунктирной линией / **Preview** – предварительный просмотр штриховки / <**Esc**> или <**Enter**> соответственно для уточнения или принятия штриховки.

Завершение чертежа и вывод его на печать – см. разд. 3.7, 3.8.

Глава 8

Новые возможности построения чертежа по 3D-технологии

Начиная с версии AutoCAD 2007, появились новые команды: **FLATSHOT (ПЛОСКСНИМОК)** и **SECTIONPLANE (СЕКПЛОСКОСТЬ)**, являющиеся альтернативой рассмотренным выше командам **SOLPROF**, **SOLVIEW+SOLDRAW** (см. разд. 7). Основное преимущество новых команд – современный интерфейс и меньший объем промежуточных построений. Новые команды работают с solid-моделями, поверхностями, сетями, областями, блоками и внешними ссылками.

В этом разделе мы рассмотрим основные возможности новых команд на примере построения видов и простых разрезов для solid-модели, также созданной в предыдущем разделе. Дополнительные примеры построения сложных разрезов приведены в последующих разделах.

8.1. Построение проекций командой *FLATSHOT*

Команда **FLATSHOT** создает проекцию объектов на плоскость, перпендикулярную направлению текущего вида (взгляда), другими словами, на плоскость экрана видового окна. Это могут быть виды сверху, спереди и др., а также ортогональные аксонометрические проекции. Изображение создается в плоскости XY текущей системы координат. Можно, например, установить вид спереди и горизонтальную систему координат. Изображение вида спереди будет получено в горизонтальной плоскости.

Команда **FLATSHOT** создает проекцию всех объектов. Поэтому перед ее применением объекты, которые не нужны в создаваемом изображении, следует расположить на замороженном или отключенном слое.

Команда **FLATSHOT** позволяет через свое диалоговое окно настраивать свойства линий, образующих проекцию, в частности, подавлять или строить линии невидимого контура, задавать их цвет и тип линии. Линии созданной проекции объединены в блок, помещенный на текущий слой.

Например, для создания проекции вида сверху и размещения ее в горизонтальной плоскости:

- переходим в видовое окно вида сверху, где отображена проецируемая модель и установлена система WCS (МСК);
- **flatshot** – возникло диалоговое окно настроек;
- настройки линий видимого контура **Foreground Lines** (Фоновые линии) оставляем без изменений, это сплошная линия черного цвета;
- для линий невидимого контура **Obscured Lines** (Погашенные линии) задаем режим **Show** (Показать), тип линии **Hidden**; желательно задать цвет, отличающийся от цвета линий видимого контура;
- включаем отображение касательных линий сопряжения **Include Tangential Edges**;
- соглашаемся с остальными предложенными настройками;
- кнопка **Create** (Создать) / укажем на экране точку вставки проекции рядом с моделью / согласимся со всеми предлагаемыми параметрами вставки.

Если линии невидимого контура или линии сопряжения не нужны, соответвующие им режимы следует отключить.

В итоге, в горизонтальной плоскости создано плоское изображение – вид сверху, линии которого объединены в блок.

8.2. Вынос блоков проекций на лист

Новые команды **FLATSHOT** и **SECTIONPLANE** создают проекцию в виде вставки блока. Чтобы убедиться в этом укажите проекцию, сгенерированную указанными командами, – она выделится как единое целое. Выполните команду LIST и вновь укажите проекцию. В текстовом окне прочтите информацию об указанном объекте, что это BLOCK REFERENCE (Вставка блока). Там же приведено имя блока, например, Block Name: "A$C07784171". Ту же информацию можно найти в окне быстрых свойств **Quick Properties** (Быстрые свойства) и в окне свойств, выводимых командой **PROPERTIES** (см. разд. 2.13).

При построении чертежа на листе (см. разд. 7.5), а этот вариант мы рекомендуем применять в наших заданиях, блок проекций нужно вынести на лист для размещения внутри рамки формата. В полной мере сохраняется возможность выноса на лист через буфер памяти. Однако, учитывая, что проекция уже оформлена как блок, проще и надежнее выполнить вставку блока на лист командой **INSERT**:

- находясь в пространстве модели, где сгенерирована выносимая проекция, командой LIST определите имя блока. Достаточно запомнить две последние цифры в имени;
- перейдите в пространство листа;
- **insert** / в верхней части диалогового окна раскройте список имеющихся в файле блоков, укажите вставляемый блок / OK – закройте окно, виден образ проекции, перемещаемой курсором / укажите положение проекции на экране.

8.3. Возможности команды *SECTIONPLANE*

В результате действия команды можно получить три типа изображений: 3D-псевдоразрез, 3D-блок как копию псевдоразреза или плоские 2D-изображения модели.

3D-*псевдоразрез* – это 3D-изображение модели, разделенное секущими плоскостями. Термин “псевдо” подчеркивает, что разрез временный, быстро переопределяемый и в любой момент может быть отменен с восстановлением исходной модели.

3D-блок – это копия псевдоразреза, которая является самостоятельным объектом и сохраняется при отключении или перенастройке псевдоразреза. При расчленении (**EXPLODE**) 3D-блока остается solid-модель с “физическим” (см. выше разд. 7.8) 3D-разрезом.

Плоские 2D-изображения – это виды, разрезы или сечения, предназначенные для чертежа модели. Разрезы могут быть простые и сложные. Возможно создание совмещенных изображения вида и разреза. Плоские изображения генерируются как блоки в плоскости текущей ПСК. Блоки дорабатывают и перемещают в плоскость и рамку чертежа.

Изображение выполняется в два этапа, разделенных во времени. На первом этапе создается так называемый “объект-сечение” (ОС), задающий положение секущих плоскостей. На втором этапе выбирается тип изображения, выполняется настройка линий изображения и генерирование изображений на экране.

Основным элементом ОС является прозрачная секущая плоскость, включающая линию сечения (прямую или ломаную). ОС формируется либо вручную, либо автоматически. В ручном режиме указывают точки, вершины ломаной линии. В автоматическом – указывают грань, параллельно которой строят вид или разрез, либо задают имя вида (см. разд. 9.5).

ОС имеет три режима отображения: секущая плоскость, контур сечения и объем сечения. Доступ к режимам открывает левый клик на ручке *Меню* линии сечения.

Команда формирует изображение модели, заключенное внутри контура ОС. Если ОС пересекает модель одним звеном секущей плоскости, создается простой разрез (рис. 8.1). Если ОС не пересекает модель, создается вид (рис. 8.2). Если одно звено ОС расположено перед моделью, а второе его пересекает, создается составное изображение из вида и разреза (рис. 7.13, 8.3, 9.11). Задав ОС, пересекающим модель по ломаной линии, получим ступенчатый или ломаный разрез (О сложных разрезах см. разд. 9.6 и 10.2).

Направление видов или разрезов устанавливается перпендикулярными плоскости ОС. Так, задав ОС в горизонтальной плоскости, получим разрез плоскостями, перпендикулярными

горизонтальной плоскости, например, фронтальный или профильный разрезы. Для построения горизонтального разреза или вида сверху ОС нужно создать во фронтальной плоскости.

Во всех изображениях внешняя по отношению к ОС часть модели либо скрывается, либо отображается иным образом, чем часть модели, заключенная внутри ОС (цветом, типом толщиной линий, разные слои). Как правило, внешнюю часть скрывают.

Команда **`SECTIONPLANE`** позволяет управлять всеми свойствами (цвет, тип линии, толщина и слой) линий формируемых 2D- и 3D-изображений. Линии можно отображать или подавлять. В частности, можно отображать линии заднего плана и получать разрезы. При подавлении этих линий формируются сечения. Предусмотрена настройка всех параметров штриховки сечений. Рассмотрим примеры с ручным построением ОС (Об автоматическом режиме см. разд. 9.5).

8.4. Построение простого 2D-разреза командой *SECTIONPLANE*

Рассмотрим пример создания фронтального разреза как плоского 2D-изображения, предназначенного для построения чертежа модели.

Создание объекта-сечения

Переходим в окно вида сверху (рис. 8.1), где установлена МСК (или устанавливаем этот вид и систему координат):

- **`sectionplane`** / **`Draw section`** (Вычертить сечение) / укажите точки *1* и *2*, задающие секущую плоскость / укажите точку *3* как произвольную точку в направлении разреза – получена замкнутая линия ОС;
- укажите полученную линию ОС – возникли ручки;
- перемещая треугольные ручки, корректируем ОС, добиваясь его формы как на рис. 8.1.

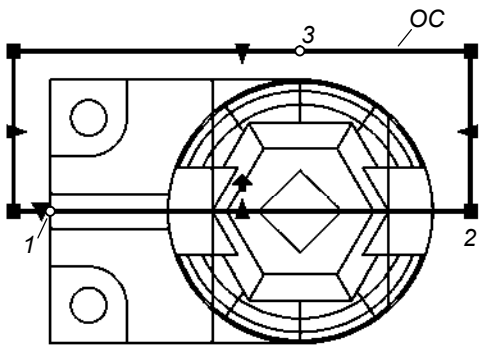


Рис. 8.1. Объект-сечение ОС для построения простого разреза командой SECTION-PLANE

Точки *1* и *2* линии сечения могут быть заданы вводом координат или объектными привязками. Например, для точки *1* – привязка **Midpoint**, для точки *2* горизонтально перемещаем курсор в режиме **ORTHO**.

Если точки, к которым при построении ОС производится привязка, находятся на разных уровнях по высоте, может возникнуть необходимость к каждой точке применить координатный фильтр *.xy*, отбрасывающий ее z-координату. В противном случае возможен перекос *ОС*.

Настройка параметров разреза

В нашем примере предусмотрим размещение линий на двух слоях: линии контура сечения и видимого контура поместим на слое “1”, линий штриховки – на слое “2”. Невидимые линии строить не будем. Толщины линий и цвет зададим “По слою”:

- укажите линию ОС. По правой кнопке мыши вызовите контекстное меню;
- в меню выбираем **Live section settings** (Параметры псевдоразреза) – возникло диалоговое окно **Section Settings** (Параметры сечения).

В диалоговом окне **Section Settings**:

- укажите кнопку **2D-section / elevation block creation settings** (Параметры 2D-блока сечения / вида, фасадов);
- в группе параметров **Intersection Boundary** (Контур пересечения) – настроим линии контура сечения: **Layer** (Слой) – 1, **Color** (Цвет), **Linetype** (Тип линий) и **Lineweight** (Вес, толщина линий) – **BYLAYER** (ПОСЛОЮ);

- в группе **Intersection Fill** (Заливка, штриховка сечения) зададим **Face Hatch** (Параметры штриховки грани) – **Select hatch (**Выбрать), **User defined** (Из линий), **Angle** (Угол штриховки) – 45°, **Hatch spasing** (Интервал штриховки) – 2, Слой – 2, остальные параметры – **BYLAYER** (ПОСЛОЮ);
- в группе **Background Line** (Фоновые линии, линии за секущей плоскостью) установим отображение **Show** (Видимые) – **Yes, Hidden Line** (Скрытые) – **No**;
- в группе **Cut-away Geometry** (Геометрия разреза) отключим отображение объекта, расположенного перед секущей плоскостью: **Show** – **No, Hidden Line** – **No**;
- в группе **Curve Tangtncy Line** (Касательные) отключим отображение линий плавного сопряжения поверхностей: **Show** (Видимые) – **No**;
- закрываем диалоговое окно **Section Settings** – **OK**.

Завершение разреза

На основе выполненных настроек создаем изображение разреза. Устанавливаем ПСК в плоскость чертежа. Решаем, что проекция нужна в горизонтальной плоскости, и переходим в окно вида сверху, установив в нем МСК.

Вызываем контекстное меню команды **SECTIONPLANE** (указав линию ОС и нажав правую кнопку мыши). В контекстном меню выберем пункт **Generate 2D/3D section** (Создать 2D/3D сечение). В возникшем диалоговом окне **Generate Section / Elevation** (Создание сечения/вида) поставим флажки **2D Section / Elevation** (2D разрез/фасад), **Include all object** (Включить все объекты), **Insert as new block** (Вставить как новый блок). Далее **Create** (Создать). На экране указываем точку вставки. Согласимся со всеми предлагаемыми параметрами вставки блока. В итоге возникло изображение разреза (см. рис. 7.3, *а*).

Как и при использовании “старых” команд, изображение, как правило, требует доработки. В нашем примере необходимо удалить штриховку ребра жесткости. Доработать разрез можно в редакторе блоков (правый клик по созданному блоку, в контекстном меню указать **Block Editor**, указать и отредактировать угол наклон штриховки, изменив его знак) или построениями после расчленения (**EXPLODE**) блока (см. разд. 7.5).

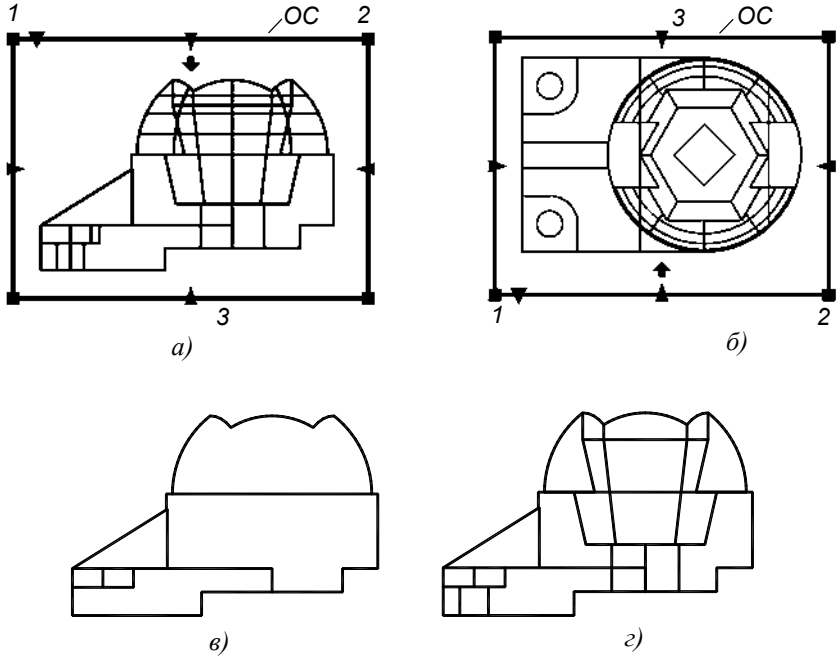


Рис. 8.2. Построения видов командой SECTIONPLANE:
а – объект-сечение (ОС) для вида сверху; *б* – ОС для вида спереди;
в, *г* – варианты создания вида спереди

8.5. Построение видов командой *SECTIONPLANE*

Для построения вида объект-сечение ОС не должен пересекать модель. Построение ОС выполняют в плоскости, перепендикулярной создаваемому виду. Например, для создания вида сверху (рис. 8.2, *а*):

- перейти в окно вида спереди; установить ПСК по виду, включить режим **ORTHO**;
- **`sectionplane`** / **`Draw section`** (Вычертить сечение) / укажите точки *1* и *2* над моделью / укажите точку *3* под моделью – получена замкнутая линия ОС.

Далее следует повторить действия, приведенные выше для получения простого разреза: указать ОС, вызвать контексное меню, выполнить настройки разреза и блока, вставить блок в плоскость ПСК. Затем блок отредактировать и вставить в чертеж.

Для построения вида спереди ОС нужно построить в окне вида сверху (рис. 8.2, *б*).

Линии видимого и невидимого контура при построении видов командой **`SECTIONPLANE`** отображаются одинаково, разделение их цветом, типом линии или по слоям не предусмотрено. Линии невидимого контура можно лишь полностью отключать (рис. 8.2, *в*) или полностью отображать (рис. 8.2, *г*).

Дополнительные возможности и примеры построения видов командой **`SECTIONPLANE`** приведены в разд. 9.5 (см. рис. 9.10).

8.6. Совмещение половины вида и половины разреза командой *SECTIONPLANE*

Рассмотрим создание плоского 2D-изображения (см. рис. 7.5, *в*), совмещающего половину вида слева с половиной профильного разреза А-А. Объект сечение в этом случае задается ломаной линией (рис. 8.3), одно звено которой *1-2* вынесено перед моделью и приводит к получению вида, второе звено *3-4* пересекает модель, приводя к построению разреза.

Для создания ОС переходим в окно вида сверху, где установлена МСК (или устанавливаем этот вид и систему координат) вызываем команду и указываем точки *1*…*5*. В нашем примере точку *1* задаем как произвольную точку, расположенную перед моделью со стороны вида. Для точки *2* включаем режимы **ORTHO** и **OTRACK**, первоначально с привязкой **Midpoint** указываем точку *2′* и горизонтально перемещаем курсор до захвата точки *2*. Точку *3* задаем как центр сферы с привязкой **Center**. Точку *4* задаем относительно точки *3* в режиме **ORTHO**. Точку *5* указываем как произвольную точку, расположенную справа от модели:

- **`sectionplane`** / **`Draw section`** (Вычертить сечение) / указываем точки *1*, *2*, *3*, *4*, задающие составную секущую плоскость / указываем точку *5* – получена замкнутая линия объекта-сечения ОС;
- перемещая треугольные ручки, корректируем контур ОС, добиваясь его формы как на рис. 8.3.

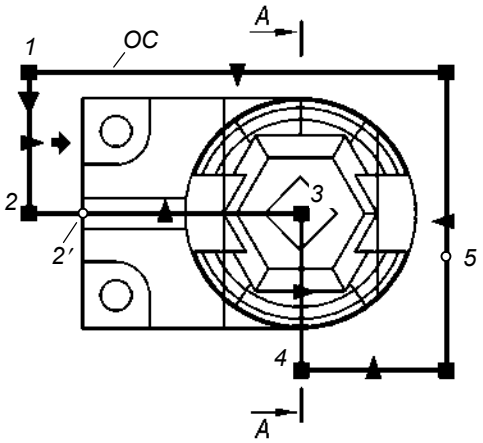


Рис. 8.3. Объект-сечение ОС команды **`SECTIONPLANE`** при построении совмещенного изображения вида слева и разреза

Далее выполняем приведенные выше действия, как при построении простого разреза (см. выше разд. “Настройка параметров разреза” и “Завершение разреза”). В итоге получено изображение как на рис. 7.5, *в*. Окончательная доработка изображения – см. выше разд. 7.6.

Наглядный пример построения совмещенного изображения приведен в разд. 9.5 (см. рис. 9.11).

8.7. Построение 3D-разрезов командой *SECTIONPLANE*

Наряду с плоскими изображениями – проекциями разрезов команда **SECTIONPLANE** создает их 3D-модели. Первоначально создается 3D-псевдоразрез. По нему формируется 3D-блок этого разреза. Далее можно создать плоские аксонометрические изображения 3D-блока для чертежа модели.

Рассмотрим последовательность действий для построения аксонометрии разреза (рис. 8.4), в котором удалена ближняя к наблюдателю четверть модели.

Построение 3D-псевдоразреза

Воспользуемся ОС, созданным для построения совмещенного изображения половины вида с половиной разреза, или строим его повторно:

- **sectionplane** / постройте ОС (рис. 8.3).

Выполним настройки 3D-псевдоразреза:

- укажите линию ОС. По правой кнопке мыши вызываем контекстное меню;
- в меню выбираем **Live section settings** (Параметры псевдоразреза) – возникло диалоговое окно **Section Settings** (Параметры сечения).

В диалоговом окне **Section Settings** (Параметры сечения):

- укажите кнопку **Live section settings** (Параметры псевдоразреза);
- повторим настройки, как при выполнении простого разреза (см. выше разд. “Настройка параметров разреза”).
- закрываем диалоговое окно **Section Settings** – **OK**.

Для окончательного построения разреза еще раз вызываем контекстное меню команды **SECTIONPLANE** и выберем пункт **Activate live sectioning** (Активировать формирование псевдоразрезов). В итоге в видовом окне аксонометрии возникает псевдоразрез как каркасное изображение модели с удаленной ближней четвертью и штриховкой сечений.

Для повышения наглядности псевдоразреза (рис. 8.4) примените один из визуальных стилей наглядной визуализации (см. разд. 5.3). В этом случае визуализируются и секущие плоскости разреза.

Построение 3D-блока

- укажите линию ОС. По правой кнопке мыши вызываем контекстное меню;
- в меню выбираем **Live section settings** (Параметры псевдоразреза) – возникло диалоговое окно **Section Settings** (Параметры сечения).

В диалоговом окне **Section Settings**:

- укажите кнопку **3D section block creation settings** (Параметры создания блоков 3D разрезов);
- повторите настройки, как при выполнении простого разреза (см. выше разд. “Настройка параметров разреза”).
- закрываем диалоговое окно **Section Settings** – **OK**.
- Вновь вызываем контекстное меню **SECTIONPLANE** и указываем строку **Generate 2D/3D Section.** В возникшем диалоговом окне **Generate Section/Elevation** (Создание сечения/вида) включаем

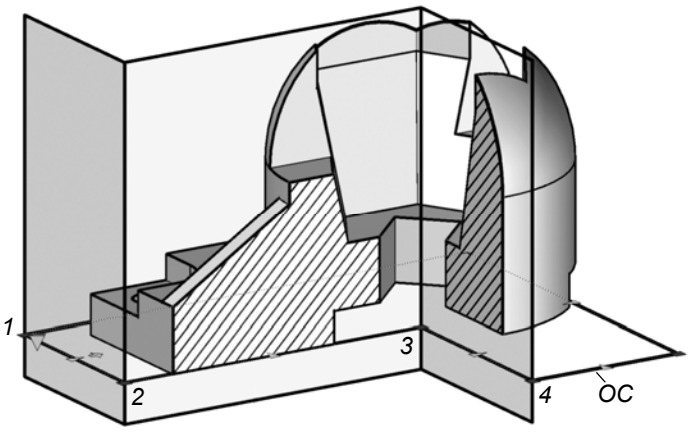


Рис. 8.4. 3D-псевдоразрез

3D Section (3D разрез), **Include all object** (Включить все объекты), **Insert as new block** (Вставить как новый блок). Далее **Create** (Создать). Указываем точку вставки на свободном месте. Согласимся со всеми предлагаемыми параметрами вставки блока. В итоге возникло изображение 3D-разреза (см. рис. 7.10, *в*).

Обращаем внимание, что на гранях 3D-разреза штриховка формируется с единым углом наклона (рис. 8.4), а не встречно, как требуется стандартом. Изменить наклон штриховки можно ее редактированием в редакторе блоков, см. ниже разд. 8 8. Можно расчленить блок (**EXPLODE**) – он преобразуется в solid-объект с "физическим разрезом" и нанесенной на грани сечений штриховкой. Далее отредактировать угол наклона штриховки.

Аксонометрия разреза

Построение аксонометрии разреза, то есть его плоского 2D-изображения, можно выполнить в следующей последовательности: создать 3D-псевдоразрез, сгенерировать на его основе 3D–блок, отредактировать блок, взорвать блок – остается solid-модель с физическим разрезом. Далее установить необходимую точку зрения и применить новую команду **FLATSHOT** либо "старую" команду **SOLPROF**.

В полученном изображении штриховка теряется. Поэтому ее нужно выполнить заново уже на плоском изображении (см. выше разд. 7.9).

8.8. Редактирование блоков проекций

Редактор блоков позволяет редактировать объекты внутри блока. Рассмотрим пример редактирования наклона штриховки внутри блока 3D-разреза:

- укажите блок 3D-разреза, затем выполните правый клик – возникнет контекстное меню блока;
- в контекстном меню укажите строку **Block Editor** (Редактор блоков) – откроется редактор блоков;
- в окне редактора блоков выполните двойной левый клик по редактируемой штриховке – возникнет окно настройки свойств штриховки;
- для одной из плоскостей разреза угол штриховки следует увеличить на 90. Например, если при построении разреза угол штриховки для всех граней был задан равным 45, то при редактировании в одной из плоскостей его следует изменить на 135 или –45.

В редакторе блоков можно выполнить и другие виды редактирования, применив все команды редактирования и построения. Так, при редактировании блоков проекций характерным примером редактирования является восстановление контура ребра жесткости и удаление его штриховки, добавление линии обрыва для уточнения ребра, попавшего на ось симметрии, добавление штриховки в аксонометрию разреза.

Закончив редактирование, сохраните внесенные изменения и укажите кнопку **Close Block Editor**. Внесенные изменения сохранятся в блоке и во всех его вставках.

Глава 9

Ступенчатый разрез. Наклонное сечение

Приступим к выполнению второй работы задания "Проекционное черчение". *Целью работы* является более подробное изучение техники построения чертежа по 3D-технологии, в частности, особенностей построения *сложного ступенчатого разреза* и *наклонного сечения*.

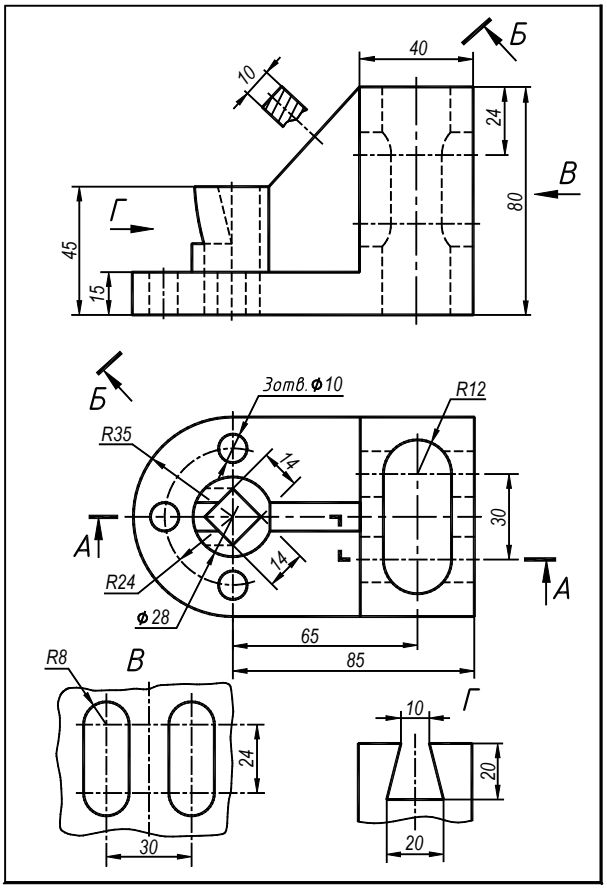


Рис. 9.1. Исходные данные работы ”Ступенчатый разрез. Наклонное сечение”

9.1. Содержание работы

Дано: два изображения детали – виды спереди и сверху, на которых заданы положения секущих плоскостей для сложного ступенчатого разреза А–А и наклонного сечения Б-Б.

Кроме разреза и сечения исходные данные могут содержать и другие изображения. Так, для примера, показанного на рис. 9.1, приведены местные виды В и Г, а также вынесенное сечение.

Требуется: построить чертеж по 3D-технологии. Чертеж должен содержать:

1) заданный ступенчатый разрез на месте одного из основных видов;

2) два других основных вида;

3) профильный разрез, совмещенный с видом слева;

4) необходимые местные и дополнительные виды и местные разрезы;

5) истинный вид наклонного сечения;

6) размеры;

7) аксонометрическое изображение детали со ступенчатым разрезом;

8) чертеж оформить в соответствии с требованиями ЕСКД и вывести на печать.

Пример выполнения работы приведен на рис. 9.4.

9.2. Особенности построения ступенчатого разреза

Разрез называют *сложным*, если он выполнен несколькими секущими плоскостями. Сложные разрезы объединяют полезную информацию нескольких простых разрезов. Их применяют для сокращения количества изображений на чертеже.

Сложный разрез называется *ступенчатым*, если образующие его секущие плоскости параллельны между собой. При выполнении ступенчатого разреза применяют две и более секущие плоскости, которые проходят через внутренние элементы детали – отверстия, пазы, углубления и т.п. Положение секущих плоскостей отмечается на чертеже разомкнутой линией. На рис. 9.1 ступенчатый разрез А–А задан двумя плоскостями, на рис. 9.2 – тремя.

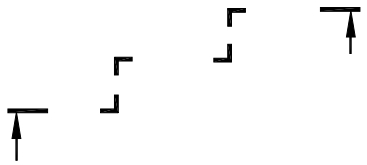


Рис. 9.2. Задание ступенчатого разреза при трех секущих плоскостях

На начальном и конечном штрихах линии сечения ставят стрелки, указывающие направление взгляда. Места перехода от одной секущей плоскости к другой отмечают изломами линии сечения. Размеры крайних штрихов по 8…15 мм (см. рис. 7.1). Штрихи излома линии выполняют длиной 3…5 мм.

На крайних штрихах линии сечения, с ее наружной стороны, ставят обозначение разреза. На начальном и конечном штрихах разомкнутой линии, на расстоянии 2…3 мм от внешнего конца, ставят стрелки, указывающие направление взгляда, и прописные буквы, обозначающие разрез. Линии стрелок должны быть тонкими, стрелки и высота буквы по величине в 1,5…2 раза больше, чем на размерах данного чертежа. Буквы проставляются с наружной стороны относительно стрелок. Толщина линии сечения (1…1,5) S, где S – толщина сплошной основной линии чертежа.

На рис. 9.3 поясняется формирование ступенчатого разреза для детали, заданной на рис. 9.1. Часть детали, расположенную перед секущими плоскостями следует мысленно отбросить, а то, что получается в секущей плоскости и расположено за ней, нужно показать на разрезе. Изображения в параллельных секущих плоскостях совмещают в единое изображение. Линии совмещения изображений на разрезе не показывают.

Обратимся к чертежу детали (см. рис. 9.4). Найдите секущие плоскости и изображение ступенчатого разреза А–А. Он выполнен на месте вида спереди. Обратите внимание, что ребро жесткости детали в этом разрезе показано без штриховки.

На чертеже в соответствии с заданием выполнены наклонное сечение Б–Б, профильный разрез В–В, совмещенный с половиной вида слева, и аксонометрическое изображение. Проставлены размеры. Чертеж выполнен на формате А3 и оформлен в соответствии с требованиями ЕСКД.

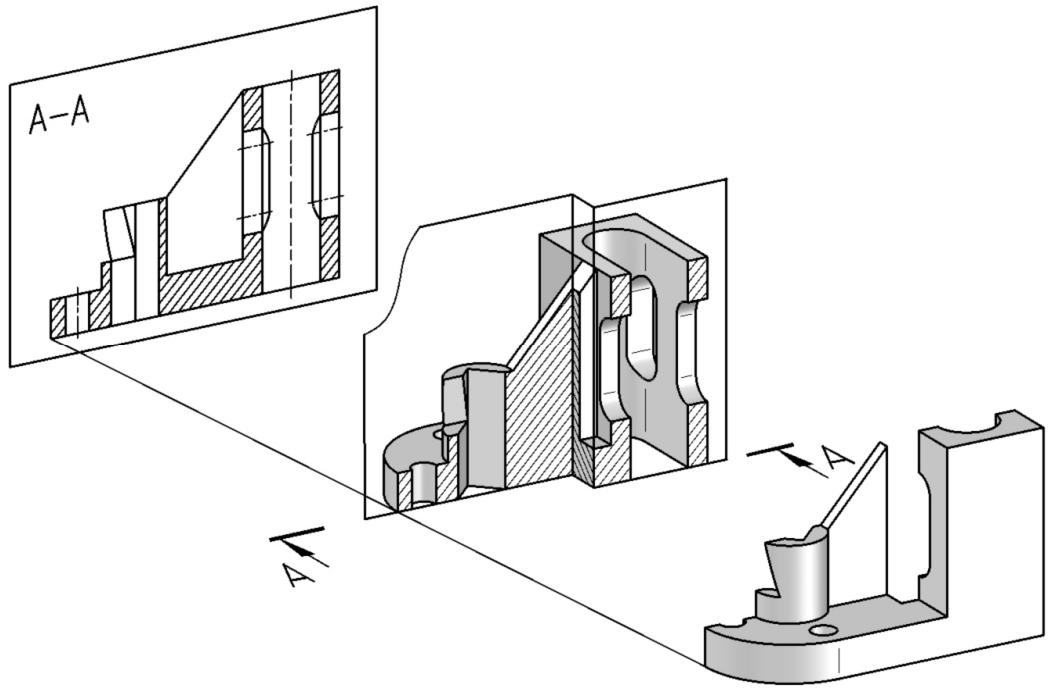


Рис. 9.3. Формирование ступенчатого разреза

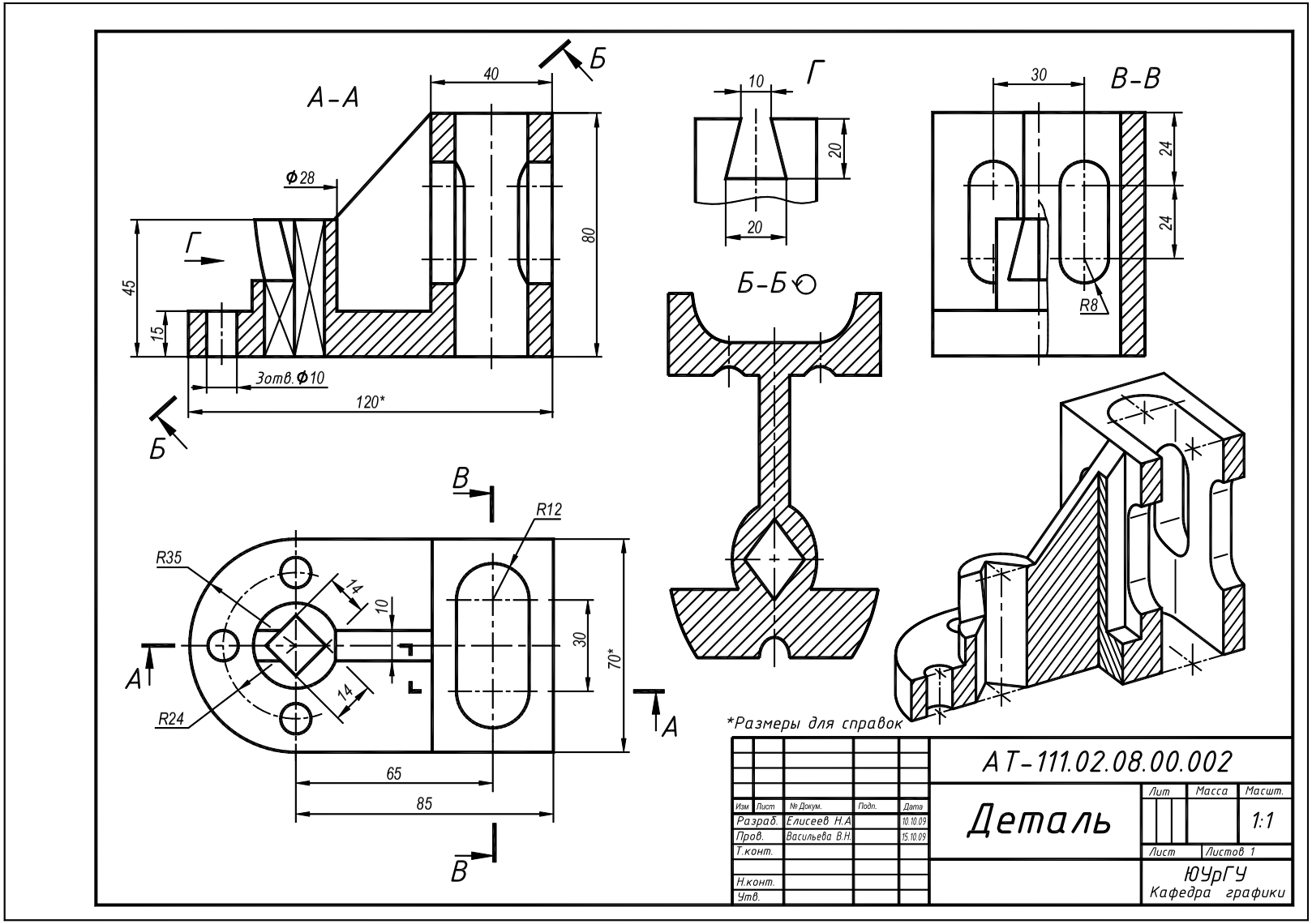


Рис. 9.4. Чертеж к заданию “Ступенчатый разрез. Наклонное сечение”

9.3. Построение модели

Для получения чертежа детали по 3D-технологии необходимо построить ее пространственную модель. Начать следует с подготовительных операций: анализа формы детали, в результате которого определяется вариант построения модели. Далее выполняют настройки режима и разметку. Затем создают объемные элементы модели. Для формирования наружной формы элементы их объединяют, для создания внутренней формы элементы вычитают.

Анализ формы. Настройки

Необходимо мысленно расчленить деталь на геометрически простые элементы, каждый из которых может быть построен как solid-примитив AutoCAD.

Деталь, заданная на рис. 9.1 и показанная на рис. 9.5, содержит основание, образованное прямоугольной призмой *1* и полуцилиндром *2*. В основании выполнены три сквозных крепежных отверстия *3*. К основанию примыкает стойка 4 с вертикальным сквозным отверстием *5* и с четырьмя горизонтальными сквозными отверстиями *6*. На основании располагается цилиндр *7*, содержащий сквозное вертикальное квадратное отверстие *8* и горизонтальный трапецеидальный паз *9*. Между цилиндром и стойкой расположена тонкая призма *10* – ребро жесткости.

Возможны различные варианты построения одной и той же модели (см. разд. 6.5, 6.6). Применительно к рассматриваемой модели анализ формы показывает, что основная часть элементов модели может быть получена выдавливанием контуров в вертикальном направлении. Два элемента, отверстия *6* и паз *9*, можно получить выдавливанием соответствующих им контуров в горизонтальном направлении.

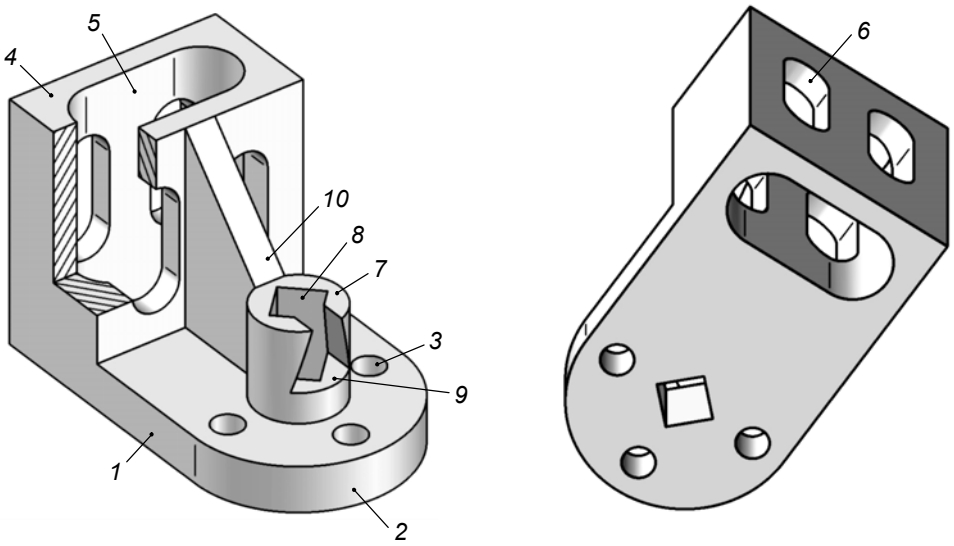


Рис. 9.5. К анализу формы детали

Все элементы имеют постоянное сечение и выдавливаются перпендикулярно их основанию. Для таких элементов эффективно применение команды **PRESSPULLL (ВЫДАВГРАНЬ)** (о команде см. разд. 5.9).

- Создайте новый файл на основе прототипа *proto.dwt*, содержащего настройки для построения модели (см. разд. 6.3), или выполните полный объем настроек (см. разд. 3.3, 5.1) по созданию видовых окон на листе, заданию шага, ряда слоев, типов линий и т.д.

Горизонтальная разметка

В связи с применением команды **PRESSPULLL** горизонтальная разметка для рассматриваемой модели сводится к построению контуров выдавливания, расположенных в плоскости основания модели. Примем, что основание модели расположено в плоскости XY МСК.

Построение осей

Начинаем разметку с построения осей симметрии. Для нашей модели это три горизонтальные и две вертикальные оси, а также окружность центров крепежных отверстий (рис. 9.6). Линии построим как бесконечные прямые, затем их можно обрезать по размерам модели:

- перейдите в окно вида сверху. Убедитесь, что установлена МСК;
- установите слой *Оси*, включите режим **ORTHO**;
- **xline** / постройте горизонтальную и вертикальную оси модели – оси *i, j*;
- **offset** / 65 / укажите ось *j* / укажите точку справа от нее – построена ось *k*;
- **offset** / 15 / укажите ось *i* / укажите точку ниже оси / повторно укажите горизонтальную ось / укажите точку выше оси – построены оси *m*, *n*.

Перенесите начало координат в точку *A* пересечения осей. Это удобная точка для последующих построений:

- **ucs** / **o** / с объектной привязкой **Intersection** (Пересечение) укажите точку *A* пересечения осей;
- **circle** / 0,0 / 24 – построена окружность *p*;
- **break** – оборвите оси, оставив их как на рис. 9.6.

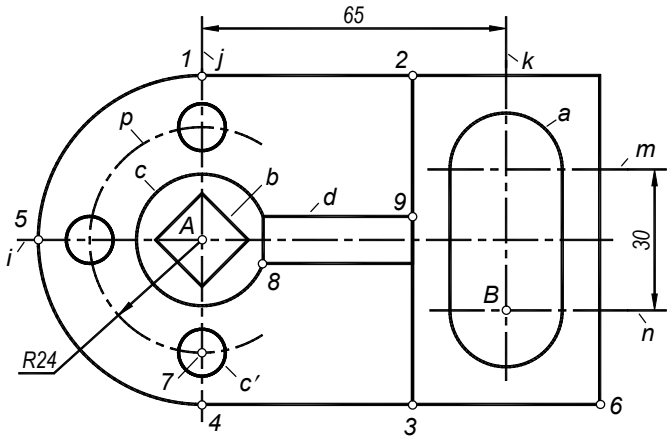


Рис. 9.6. Горизонтальная разметка модели

Контуры выдавливания

- Перейдите на слой *Разметка*.

Контур основания модели (поз. *1*, *2*, см. рис. 9.5) – контур *1-2-3-4-5-1*:

- **pline** / 0,35 / @45,0 / @0, –70 / @–45,0 / **Arc** – опция построения дугового сегмента / **Cl** – Замкни.

Контур стойки (поз. *4*, см. рис. 9.5) – прямоугольник с вершинами в точках *2*, *6*:

- **rectang** / 45,35 / @40,–70.

Окружность ∅28 основания цилиндра (поз. *7*, см. рис. 9.5) – окружность *c*:

- **circle** / 0,0 / 14.

Контур основания квадратного отверстия со стороной 14 мм (поз. *8*, см. рис. 9.5):

- **polygon** / 4 / 0,0 – центр / **c** (опция **Circumscribed**… – Описанный вокруг окружности / 7 – радиус окружности;
- **rotate** / укажите квадрат / 0,0 – базовая точка / 45 – угол поворота / – построен квадрат *b* (см. рис. 9.6).

Окружности ∅10 трех крепежных отверстий (поз. *3*, см. рис. 9.5) – окружность *c′:*

- **circle** / в качестве центра укажите точку *7* с привязкой **Intersection** / радиус 5;
- **copy** / укажите окружность *c′* / с привязкой **Intersection** укажите точку *7* / с той же привязкой укажите центры двух оставшихся окружностей.

Контур вертикального отверстия (поз. *5*, см. рис. 9.5) – контур *a*, состоит из двух дуг окружностей R12 и двух касательных к ним отрезков прямых:

- **ucs** / **o** / с объектной привязкой **Intersection** укажите точку *B* – ПСК перенесена в указанную точку;
- **pline** / –12,0 / **A** (опция **Arc** – Дуга) / **R** (опция **Radius**) / 12 – значение радиуса / 12,0 / **l** (опция **Line** – Отрезок) / @0,30 / **A** / **R** / 12 / @–24,0 / **l** (опция **Line**) / **Cl**.

Контур основания ребра жесткости (поз. *10*, см. рис. 9.6). Ребро имеет толщину 10 мм и примыкает к цилиндру и стойке. Контур создадим как прямоугольник *d*, имеющий вершины в точках *8, 9*. Точку *8* определим построением:

- **offset** / 5 – смещение / укажите ось *i* / укажите точку выше оси / укажите ту же ось / укажите точку ниже оси / – построены вспомогательные линии, задающие толщину ребра**;**
- **rectang /** указать с объектной привязкой **Intersection** точки *8* и *9*;
- удалите вспомогательные линии;
- **trim –** обрежьте окружность *c*, расположенную внутри прямоугольника *d*.

Вертикальное выдавливание контуров

Для формирования модели применим команду **PRESSPULL**. Команда сама выявляет контур выдавливания при указании его внутренней точки. При перемещении курсора формируется тело вытягиванием контура. Осталось ввести высоту вытягивания:

- перейдите в окно аксонометрии. Заморозьте слой *Оси*, чтобы избежать дробления контуров осевыми линиями (рис. 9.7, *а*);
- установите новый слой *Модель*;
- **presspull** / укажите точку *1* внутри контура стойки / переместите курсор – происходит формирование стойки / введите высоту вытягивания 80 – сформирована стойка (см. рис. 9.7, *б*).

Обратите внимание, что при вытягивании стойка сформирована с вертикальным сквозным отверстием.

Указав точку *2* и задав высоту 40, вытяните ребро жесткости. Сформирована предварительная форма ребра в виде параллепипеда. Указав точку *3*, вытяните цилиндр на ту же высоту 40 (см. рис. 9.7, *в*). Указав точку *4*, вытяните основание на высоту 15 (см. рис. 9.7, *д*).

Чтобы придать ребру жесткости клиновидную форму переместим его кромку как подобъект предварительно созданного параллелепипеда (о подобъектах см. разд. 5.10):

- включите режим **ORTHO**;
- удерживая в нажатом состоянии кнопку <Ctrl>, укажите редактируемую кромку – на ней появится ручка *5* (см. рис. 9.7, *г*) / укажите ручку и потяните ее вверх – кромка перемещается / введите 35 – кромка совместилась с верхней гранью стойки (см. рис. 9.7, *д*).

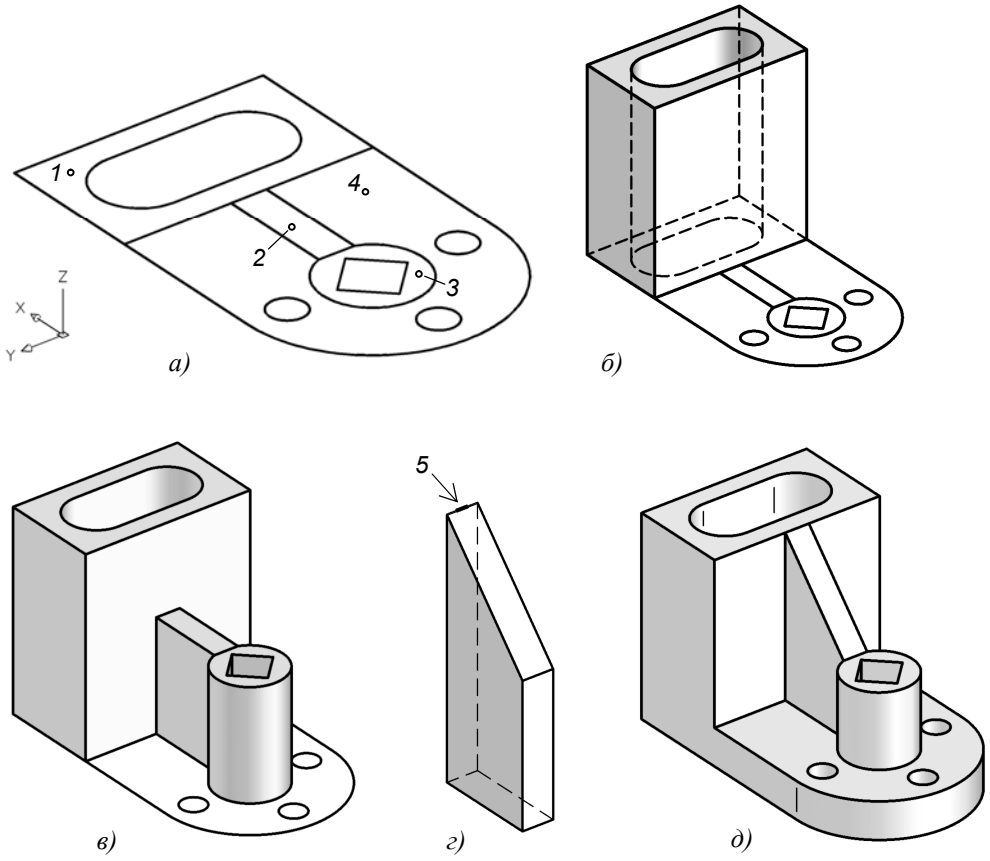


Рис. 9.7. Построение модели вертикальным выдавливанием:
а – контуры выдавливания; *б* – формирование стойки; *в* – формирование ребра жесткости и цилиндра; *г* – корректировка ребра жесткости; *д* – формирование основания

Горизонтальное выдавливание контуров

Для построения горизонтальных отверстий (см. рис. 9.5, поз. *б*) необходимо в плоскости грани solid-объекта вычертить контуры отверстий и вытянуть их, применив команду **PRESSPULL**:

- перейдите в окно аксонометрии;
- установите ПСК по трем точкам *1*, *2*, *3* в плоскость правой грани (рис. 9.8, *а, б*). Точку *1* укажите с привязкой **Midpoint** , точки *2*, *3* – с привязкой **Endpoint**;
- постройте вертикальную ось симметрии *i* (**line** / 0,0 / 0,80 /);
- перенесите ПСК в точку *4* (**ucs** / **o** / -15,32);
- **pline** / -8,0 / **a** / **r** / 8 / @16,0 / **Line** / @0,24 / a / r / 8 / @-16,0 / **Line** / **Cl** – построен контур *m*;
- **mirror** / зеркальным отображением относительно оси *i* постройте контур *m′*;
- удалите или заморозьте оси симметрии;
- **presspull** / указать точку внутри контура *m* / переместить курсор и ввести –45 – получены два сквозных отверстия, проходящие через всю стойку;
- примените команду **PRESSPULL** к контуру *m′* – получено еще два сквозных отверстия (см. рис. 9.8, *б*).

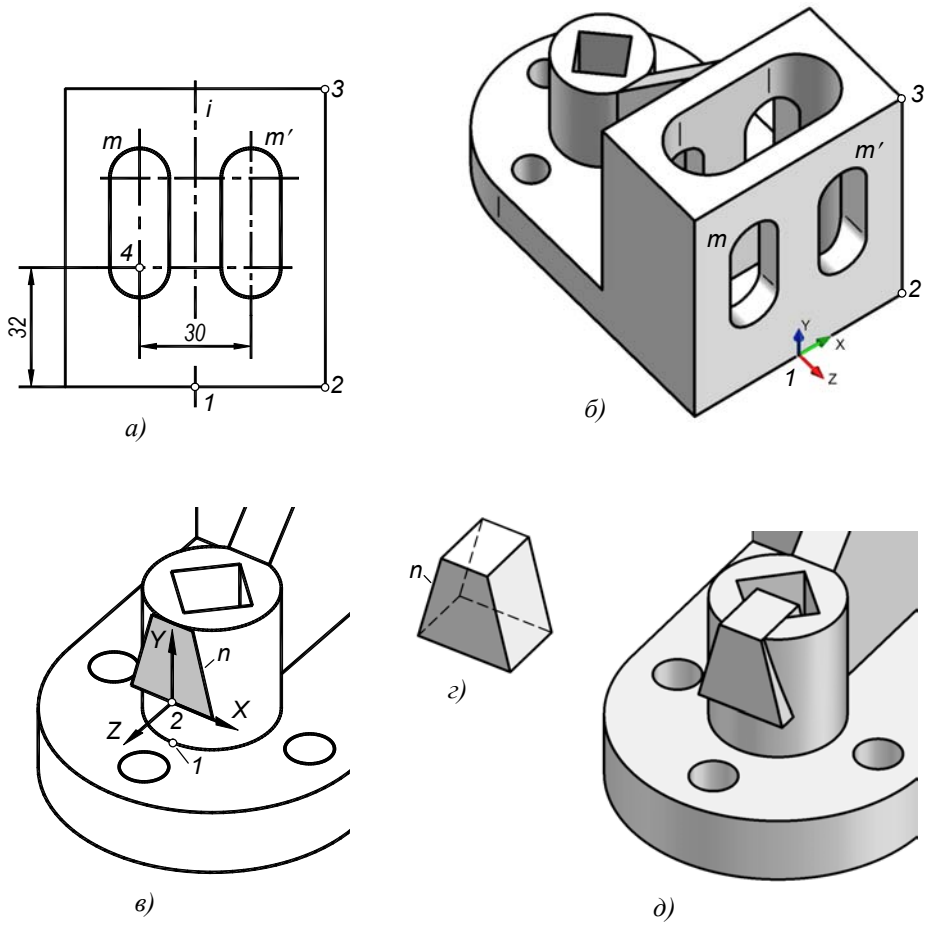


Рис. 9.8. Построение горизонтальных элементов внутренней формы модели: *а*, *б* – контуры фигурных отверстий и их вытягивание; *в*, *г*, *д* – формирование паза

Трапецеидальный паз в цилиндре (см. вид *Г* на рис. 9.4; рис. 9.5, поз. *7*, *9*) построим в той же последовательности. Установим ПСК в плоскость контура паза, затем вытянем контур (см. рис. 9.8, *в*–*д*):

- в окне аксонометрии установите МСК, перенесите начало координат в точку *1* (см. рис. 9.8, *в*), выявляемую объектной привязкой **Quadrant**, поверните систему координат вокруг оси Z (**ucs** / **z** / 90), поверните вокруг X (**ucs** / **x** / 90), затем поднимите начало координат в точку *2* (**ucs** / **o** / 0,10);
- **pline** / 5,20 / 10,0 / –10,0 / –5,20 / **Close** – построен контур паза – трапеция *n*;
- **presspull** / указать точку внутри контура / вытянуть контур на 14 мм – сформирована призма, внедренная в цилиндр (см. рис. 9.8, *г*, *д*);
- **substract** – вычесть призму из цилиндра.

После формирования всех элементов осталось объединить их в единую модель:

- **union** / укажите все элементы / – модель создана.

9.4. Построение проекций командой SOLPROF

Команда **SOLPROF** формирует ортогональную проекцию solid-модели на плоскость, параллельную плоскости экрана. В разд. 7.9 был дан пример применения команды для получения ортогональной аксонометрической проекции. Рассмотрим применение и возможности команды более подробно.

- Перейдите в окно вида спереди. Вызовите команду **SOLPROF (ПРОФИЛЬ)**.

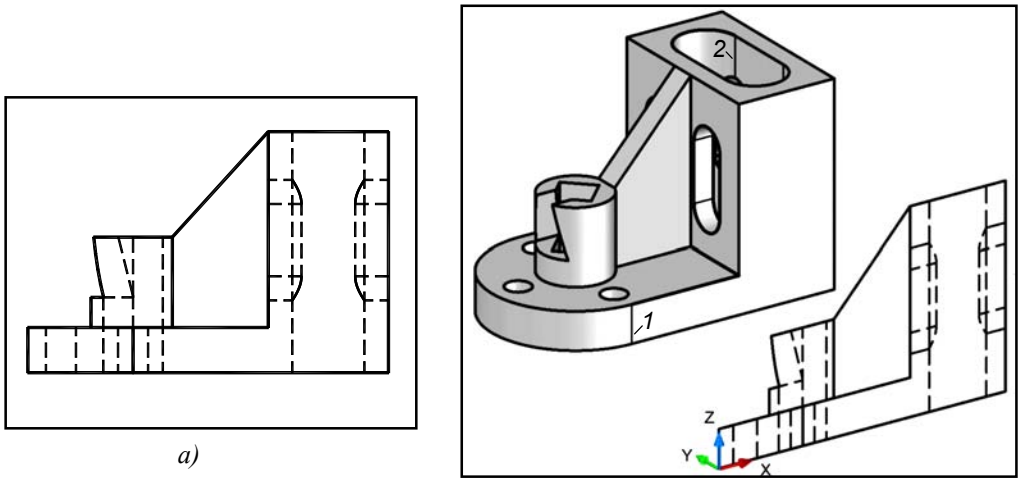
Команда выводит три запроса.

Первый запрос – “Перевести линии невидимого контура на отдельный слой?”. Положительный ответ приведет к расположению линий видимого и невидимого контура на разных слоях. Это позволит, например, отключив слой невидимых линий, не отображать их в проекции или отобразить штриховой линией.

Второй запрос – “Построить плоскую проекцию?” Для чертежа нужна плоская проекция. Отказ приведет к построению пространственного каркаса. Это отдельная интересная задача, которую сейчас не рассматриваем.

Третий запрос – “Удалить линии сопряжения?”. Рекомендуем ответить отрицательно, сохранив для наглядности проекции линии сопряжения плоских граней модели с ее криволинейными поверхностями. Примером этих линий на рис. 9.9, *б* являются отрезки *1* и *2* сопряжения граней с цилиндрическими поверхностями. Итак:

- **solprof** / укажите модель / согласитесь с первыми двумя предложениями системы и откажитесь от третьего – проекция построена (см. рис. 9.9, *а*).



а) *б)*

Рис. 9.9. Проекция, созданная командой SOLPROF (*а*), и ее размещение в пространстве модели (*б*)

Откройте окно управления слоями. В нем найдите два новых слоя, созданных системой. Имя одного слоя начинается на *PV-...,* например, *PV-5A*, на него помещены линии видимого контура. Второй слой начинается на *PH-...* – это слой для невидимых линий. В имени каждого слоя после тире указана так называемая метка видового окна, которую можно посмотреть командой **LIST**, указав в пространстве листа рамку окна.

Далее, управляя свойствами слоев, в видовом окне нужно скрыть модель, линии невидимого контура показать прерывистыми, а линиям видимого контура придать толщину. Для этого:

- перейдите в видовое окно созданной проекции. Избирательно заморозьте слой, на котором находится исходная solid-модель – в окне остались только линии построенной проекции;
- управляя свойствами слоев, придайте линям слоя *PV...* толщину 0.7…0.9, задайте для них синий цвет. Включите толщину линий кнопкой [+] в статусной строке – линии видимого контура проекции приняли новый цвет и толщину;
- установив на слой *PH...* прерывистую линию, например, *hidden*, получите изображение, на котором невидимые линии показаны штриховыми, как это принято в черчении (если штрихи не появились, отрегулируйте масштаб типа линии). Придайте линиям слоя *PH...* толщину 0.2…0.3.

Если линию *hidden* загрузить до применения команды **SOLPROF**, то этот тип линии автоматически устанавливается на слой *PH*, и невидимые линии сразу получаются прерывистыми.

Для понимания того, как формируется проекция модели:

- разморозьте слой, на котором расположена модель. Орбитой задайте аксонометрическую точку зрения.

В окне (см. рис. 9.9, *б*) видны модель и линии созданной проекции. Плоскость проекции проходит через начало координат текущей ПСК. В зависимости от положения ПСК проекция может быть расположена перед моделью, за ней или пересекать модель.

Команда **SOLPROF** формирует блоки линий, то есть объединяет их в одно целое. Для внесения изменений, например, построения разреза, блок необходимо расчленить командой **EXPLODE** или корректировать в редакторе блоков.

При построении проекции в другом видовом окне командой **SOLPROF** будет создана новая пара слоев *PV..., PH...*

Команда **SOLPROF** разрезов не строит. Разрез дорабатывают вручную на основе полученных линий видимого и невидимого контура.

9.5. Построение видов и простых разрезов

Чертеж выполняемой модели (см. рис. 9.4), в соответствии с требованиями задания, должен содержать вид сверху, совмещенное изображение вида слева и профильного разреза.

Команды, необходимые для построения видов и простых разрезов нами уже рассмотрены при выполнении предыдущего задания (см. разд. 7, 8). Поэтому сейчас приведем лишь краткие рекомендации по их применению, а также некоторые дополнительные возможности.

Для построения видов можно применить любой из следующих вариантов:

- команды **SOLVIEW** и **SOLDRAW** (см. разд. 7.4);
- команду **FLATSHOT** (см. разд. 8.1);
- команду **SECTIONPLANE** (см. разд. 8.3, 8.5);
- команду **SOLPROF** (см. разд. 9.4).

Кроме того, возможны еще два варианта построения видов и простых разрезов командой **SECTIONPLANE**. Изучите их, прежде чем выбрать один из них для своей работы.

Построение видов командой SECTIONPLANE

В дополнение к возможностям команды **SECTIONPLANE**, приведенным в разд. 8, рассмотрим еще два варианта ее применения при построении проекций видов.

Указание грани

Достаточно указать точку на грани – будет построен вид на плоскость, параллельную указанной грани, или разрез модели плоскостью, параллельной грани. Проекция будет размещена в плоскости текущей системы координат.

Для построения проекции вида сверху и размещения ее в горизонтальной плоскости (рис. 9.10, *а*):

- перейдите в окно аксонометрии; установите МСК, задайте один из стилей наглядной визуализации и режим **ORTHO**;
- **sectionplane** / укажите верхнюю грань модели, точку *1* – возникло изображение объекта-сечения (ОС) как горизонтальной плоскости, рассекающей модель вблизи указанной грани;
- укажите ОС – возникли ручки;
- переместите ОС за базовую ручку в необходимое положение.

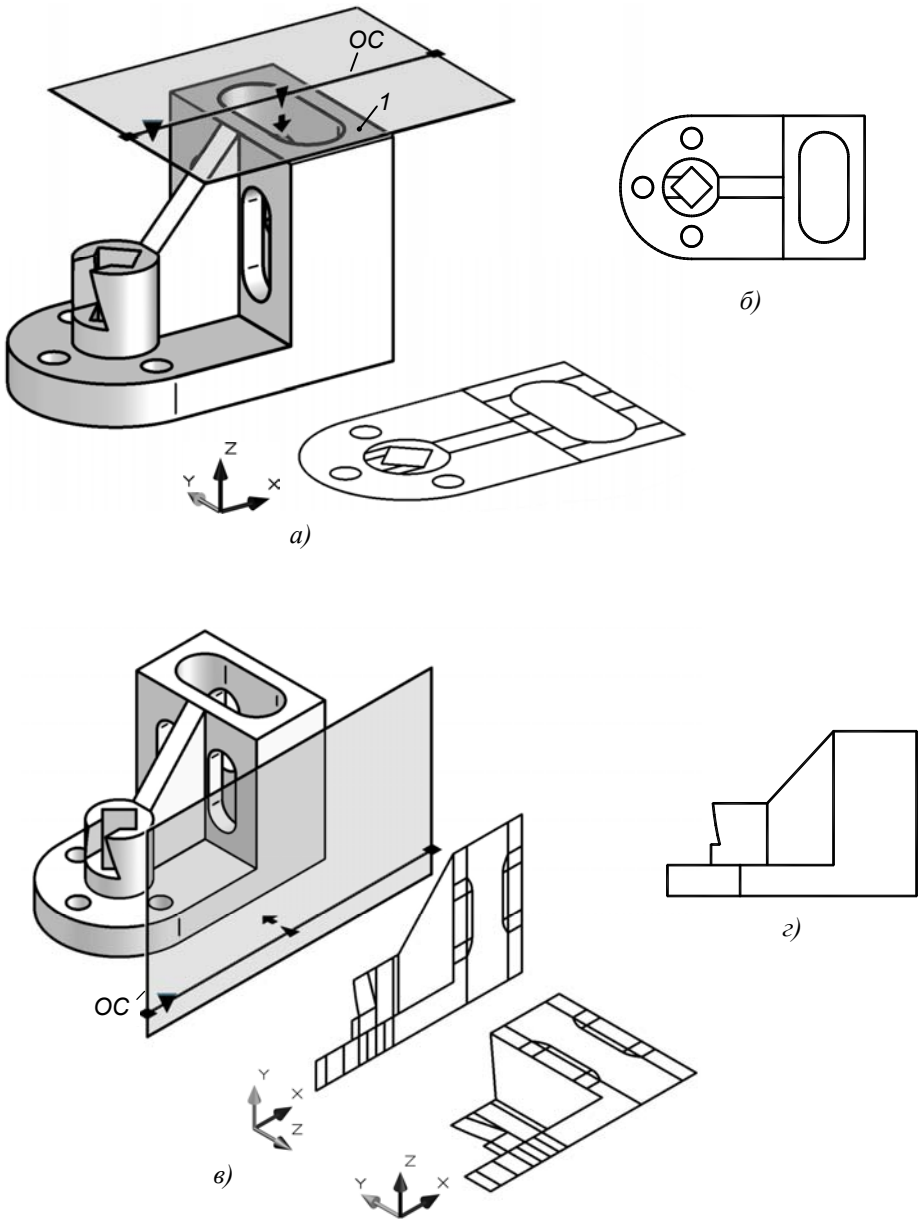


Рис. 9.10. Построение проекций командой **SECTIONPLANE**
а, б – указанием грани;
в, г – применение опции **Orthographic**

В нашем примере для получения вида сверху переместите ОС вверх, расположив его над моделью. Можно не перемещать ОС, а установить в параметрах закраски пересечения – **No**. Если нужен горизонтальный разрез, переместите ОС вниз на высоту секущей плоскости разреза. Далее необходимо выполнить настройки и сгенерировать проекцию:

- укажите ОС. По правой кнопке мыши вызовите контекстное меню;
- в контекстном меню выбираем **Live section settings** (Параметры псевдоразреза) – возникло диалоговое окно **Section Settings** (Параметры сечения);
- укажите кнопку **2D-section / elevation block creation settings** (Параметры 2D-блока сечения / вида, фасадов);
- выполните настройки (слой, цвет, тип, толщина линий, см. разд. 8.4 “Настройка параметров разреза”). ОК – закройте диалоговое окно;

- вновь вызовите контекстное меню (см. также разд. 8.4 “Завершение разреза”). Укажите строку **Generate 2D/3D section** (Создать 2D/3D сечение). В возникшем диалоговом окне **Generate Section / Elevation** (Создание сечения/вида) поставим флажки **2D Section / Elevation** (2D разрез/фасад). Далее **Create** (Создать). На экране указываем точку вставки. Согласимся со всеми предлагаемыми параметрами вставки блока.

В итоге в окне аксонометрии возникло изображение, помещенное в плоскость ПСК (см. рис. 9.10, *а*). В другом видовом окне, окне вида сверху, можно увидеть истинный вид этого изображения (см. рис. 9.10, *б*).

Линии невидимого контура в полученной проекции отображаются в зависимости от настройки **Background Line** (Фоновые линии), **Hidden Line** (Скрытые), то есть их можно отображать или отключать.

Подобным образом можно создать и другие виды. Так, для создания вида спереди нужно указать точку фронтальной грани модели.

Опция `Orthographic` (Ортогональные).

В этом режиме команда **`SECTIONPLANE`** создает ортогональные проекции, виды или простые разрезы. Направление проецирования задается именем проекции: Front, Top, Left …. Всего предусмотрено шесть имен по количеству основных видов чертежа. Направление задается относительно текущей ПСК. Например, Front – вид на плоскость XOZ. Изображение можно сгенерировать в той же или в любой другой системе координат.

Например, построим вид спереди относительно МСК, сгенерировав два изображения, одно в горизонтальной плоскости, второе – во фронтальной плоскости этой системы (см. рис. 9.10, *в*):

- перейдите в окно аксонометрии; установите МСК; задайте наглядный стиль визуализации;
- **`Sectionplane / Orthographic / Front`** – возник объект-сечение (ОС) в виде фронтальной плоскости.

Указав ОС, можно при необходимости переместить плоскость ОС, и тем задать разрез или сечение. Дальнейшие действия повторяют рассмотренные выше (см. разд. 8.4): нужно выполнить настройки линий и сгенерировать проекцию.

Положение проекции определяется системой координат на момент генерирования (см. рис. 9.10, *в*). Оставив ПСК, ориентированную по фронтальной плоскости, получим проекцию в этой плоскости. Перейдя в МСК, получим фронтальную проекцию в горизонтальной плоскости. Истинный вид изображения (см. рис. 9.10, *г*) можно увидеть в окне соответствующего ортогонального вида.

Совмещение вида и разреза

Выше рассмотрены два варианта построения совмещенных изображений. Первый вариант – на основе команд **`SOLVIEW`** + **`SOLDRAW`** (см. разд. 7.6). Он предполагает построение каждого из изображений, то есть полного вида и полного разреза. Затем в изображениях оставляют нужную часть и совмещают их воедино.

Второй вариант – применение команды **`SECTIONPLANE`** (см. разд. 8.6). Задав объект-сечение в виде ломаной линии, часть которой расположена перед моделью, а вторая часть – пересекает модель, сразу получим совмещенное изображение.

На рис. 9. 11 показано построение совмещенного изображения, содержащего половину вида слева с половиной профильного разреза применительно к модели текущего задания. Построение ломаной линии ОС (см. рис. 9.11, *а*) подробно рассмотрено в разд. 7.10 (см. рис. 7.13). Для наглядности рекомендуем в окне аксонометрии (см. рис. 9.11, *б*) активизировать 3D-псевдоразрез (см. разд. 7.10 “Построение 3D-псевдоразреза”). Подготовленное изображение следует окончательно сгенерировать, например, в горизонтальной плоскости (см. рис. 9.11, *в*). Созданное изображение необходимо отредактировать (см. рис. 9.11, *г*). Последовательность редактирования приведена в разд. 7.6.

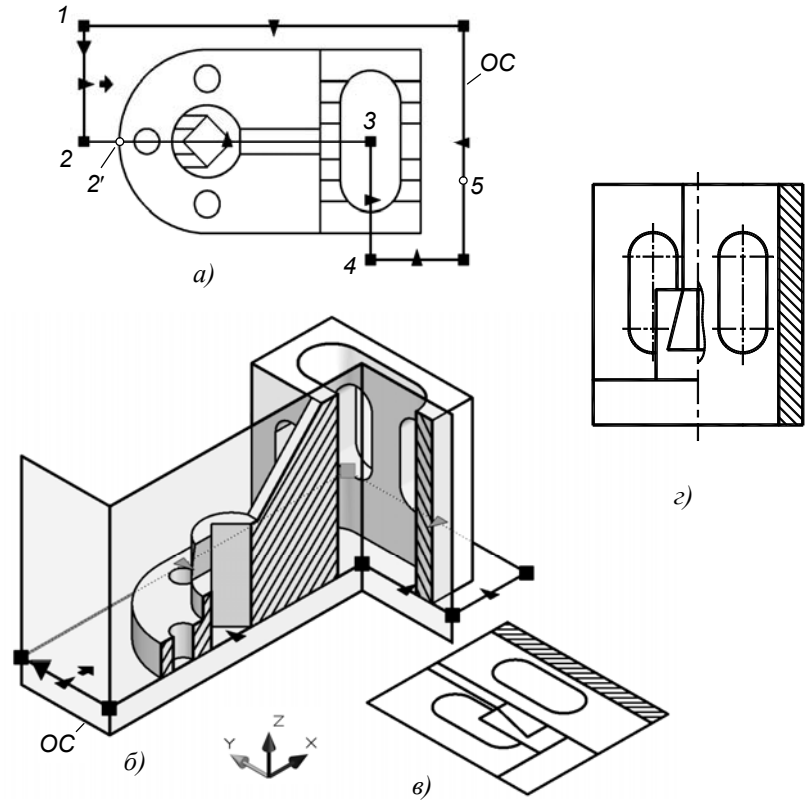


Рис. 9.11. Совмещение вида и разреза командой **SECTIONPLANE**
а – объект сечение ОС, вид сверху; *б* – 3d-псевдоразрез; *в* – блок проекции; *г* – изображение после редактирования

9.6. Построение ступенчатого разреза

Напомним, что ступенчатый разрез получается при мысленном рассечении детали *несколькими* параллельными плоскостями. Приведем два варианта построения ступенчатого разреза.

Построение ступенчатого разреза командами SOLVIEW и SOLDRAW

Изображение ступенчатого разреза при применении команд **SOLVIEW** и **SOLDRAW** следует формировать как комбинированное, составленное из фрагментов простых разрезов, получаемых каждой из секущих плоскостей в отдельности (рис. 9.12).

- Подготовьте исходное видовое окно, в нашем примере это окно вида сверху (рис. 9.12, *б*).
- Командами **SOLVIEW** и **SOLDRAW** постройте простые разрезы от каждой секущей плоскости (см. рис. 9.12, *а*). Построение простого разреза изложено в разд. 7.4. Видовым окнам разрезов дайте имена, например, *s1*, *s2*, *s3*... Количество разрезов и окон равно количеству секущих плоскостей разреза, в нашем примере их два.
- В окне одного из разрезов, на новом слое, проведите вертикальные (режим **ORTHO**) разделительные линии в соответствии с границами простых разрезов – “ступенями” выполняемого разреза. Поскольку новый слой разморожен во всех окнах, разделительные линии появляются на всех простых разрезах. В нашем примере разделительная линия одна – линия *n*.

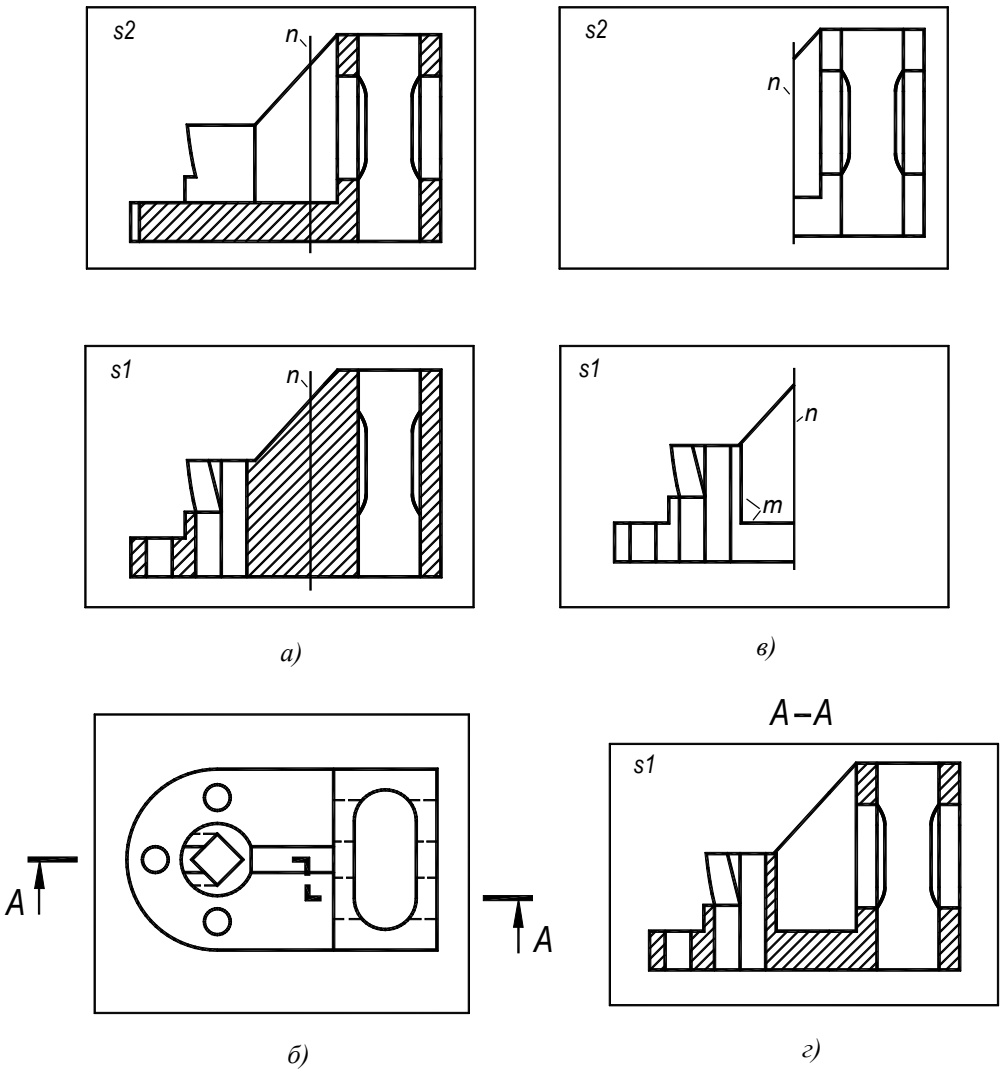


Рис. 9.12. Построение ступенчатого разреза командами **SOLVIEW** и **SOLDRAW**:
а – окна простых разрезов; *б* – исходное окно; *в* – необходимые части простых разрезов; *г* – итоговое изображение

- Оставьте в каждом окне действительную часть простого разреза (см. рис. 9.12, *в*). Остальные линии обрежьте (команда **TRIM**) или сотрите (**ERASE**). В том числе сотрите всю штриховку.
- Если разрез "прошел" вдоль ребра жесткости, то в окне этого разреза восстановите контур ребра для того, чтобы на разрезе показать ребро не заштрихованным, как того требует ГОСТ и ЕСКД. В нашем примере контур *m* восстановлен в окне *s1*.
- В одном из окон простых разрезов разморозьте слои видимых линий всех простых разрезов. В нашем примере в окне *s1* нужно разморозить слои *s2-VIS* – получится комбинированное изображение, образующее сложный ступенчатый разрез. Осталось стереть разделительные линии и заново выполнить штриховку сечения (см. рис. 9.12, *г*).

Целесообразно перенести все линии комбинированного изображения на один слой, например, *s1-VIS*. После этого окна простых разрезов *s2* и *s3* можно стереть. Командой **PURGE** можно удалить из файла освободившиеся слои.

Если, как это мы рекомендуем (см. разд. 7.5), чертеж формируется в пространстве листа, то полученное комбинированное изображение следует вынести на лист. Удобным является вариант действий, при котором на лист выносятся изображения простых разрезов, и их обрезка и объединение производятся на листе.

Построение ступенчатого разреза командой SECTIONPLANE

Построение ступенчатого разреза командой **`SECTIONPLANE`** повторяет построение совмещенного изображения половины вида и половины разреза. Объект-сечение ОС (рис. 9.13, *а*) создается как ломаная линия в соответствии со ступенями выполняемого разреза.

При задании вершин ломаной линии сечения ОС применяйте объектную привязку и объектное слежение, а также ортогональные построения. Например, для задания точки *1* первоначально укажите точку *1′*, переместите курсор влево и укажите на линии слежения точку вне контура модели. Точку *2* задайте при ортогональном перемещении курсора. Точку *3* задайте в режиме слежения по точке *3′:*

- перейдите в окно вида сверху, установите МСК, включите режимы **ORTHO**, **OTRACK**, настройте необходимые объектные привязки, в нашем примере **Center**;
- **`sectionplane`** / **`Draw section`** (Вычертить сечение) / укажите точку *1…4* / укажите точку 5 как направление разреза – создан ОС.

Если точки, к которым производилась привязка, находятся на разных уровнях, нужно к каждой точке применить координатный фильтр .XY, отбрасывающий ее координату Z. В противном случае возможен перекос ОС.

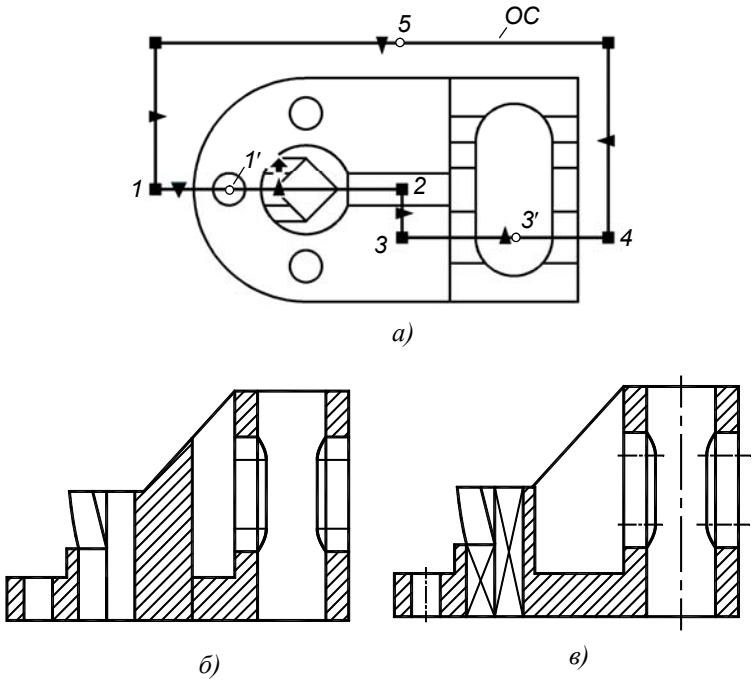


Рис. 9.13. Построение ступенчатого разреза командой **`SECTIONPLANE`**:
а – объект-сечение ОС; *б* – первоначальное изображение;
в – изображение после редактирования

- В диалоговых окнах **Generate Section/Elevation** (Создать2D/3D сечение) и **Section Settings** (Параметры разрезов) задайте настройки, такие же, как при построении изображения половины вида и половины разреза. Сгенерируйте изображение разреза (см. рис. 9.13, *б*).

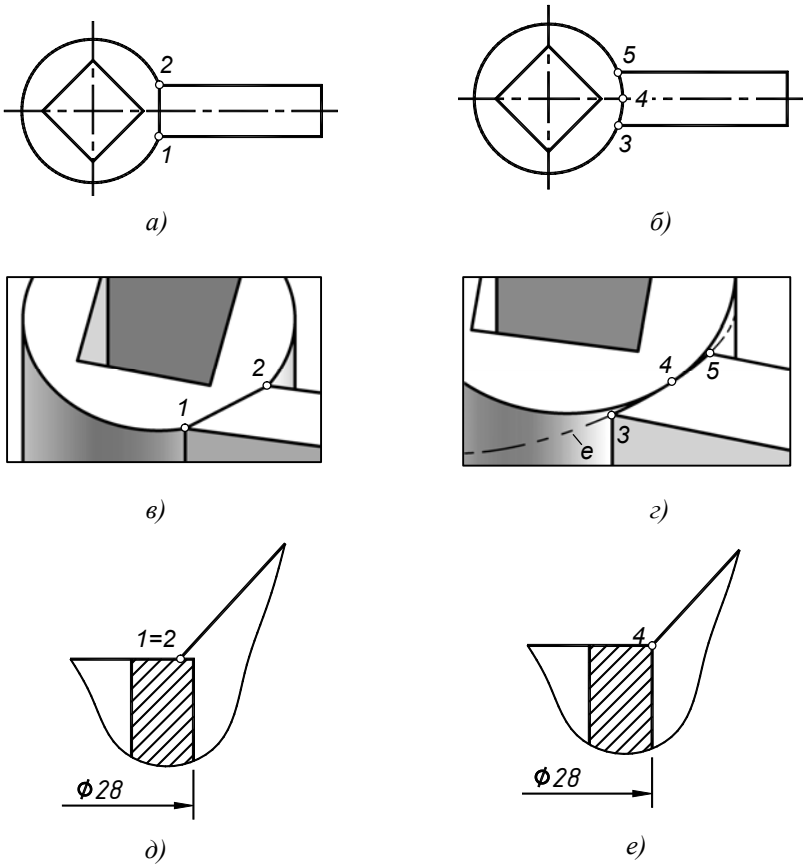


Рис. 9.14. Варианты сопряжения ребра жесткости и цилиндра:
а, б – вид сверху; *в, г* – аксонометрия; *д, е* – продольный разрез по ребру

Полученное изображение ступенчатого разреза нужно доработать (см. рис. 9.13, *в*): удалить всю штриховку, вычертить контур ребра жесткости (если в параметрах разреза установить показ невидимых линий **Hidden Line** (Скрытые) – **Yes**, то контур ребра сохранится), вновь заштриховать разрез, оставив ребро не заштрихованным, начертить осевые линии и т.д. Доработки (редактирование) можно выполнить в редакторе блоков (см. разд. 8.8 “ Редактирование блоков проекций ”) или после расчленения блока.

Изображение разреза вставьте в рамку чертежа. При формировании чертежа на листе блок проекции вынесите на лист (см. разд. 8.2).

При построении контура ребра жесткости в разрезе обратите внимание на сопряжение ребра с цилиндром. В варианте, показанном на рис. 9.14, *а, в, д*, плоскость наклонной грани ребра пересекается с плоскостью верхнего основание цилиндра. Этот вариант соответствует заданию (см. рис. 9.1). В варианте, показанном на рис. 9.14, *б*, *г*, *е*, пересечение наклонной грани ребра с цилиндром происходит по эллипсу *е*. Возможны и другие варианты сопряжений, поэтому внимательно смотрите исходные данные своего задания.

9.7. Истинный вид наклонного сечения

Наклонным называют сечение, образованное плоскостью, не параллельной основным плоскостям проекций. В текущем задании наклонное сечение выполняется с учебной целью. Пример детали, для чертежа которой требуется наклонное сечение, приведен в *главе 18*. Наклонное сечение solid-модели можно получить командами **SECTION**, **SOLVIEW** совместно с **SOLDRAW**, а также **SECTIONPLANE**.

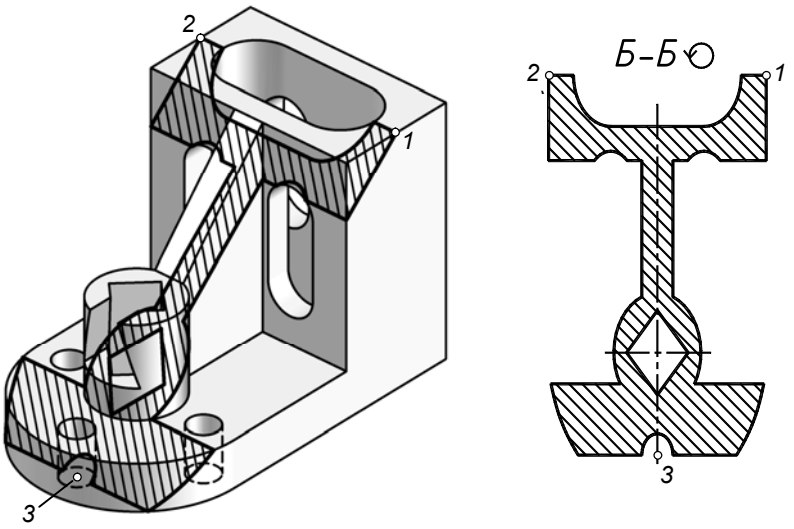


Рис. 9.15. Построение наклонного сечения командой SECTION:
а – задание сечения; *б* – истинный вид сечения

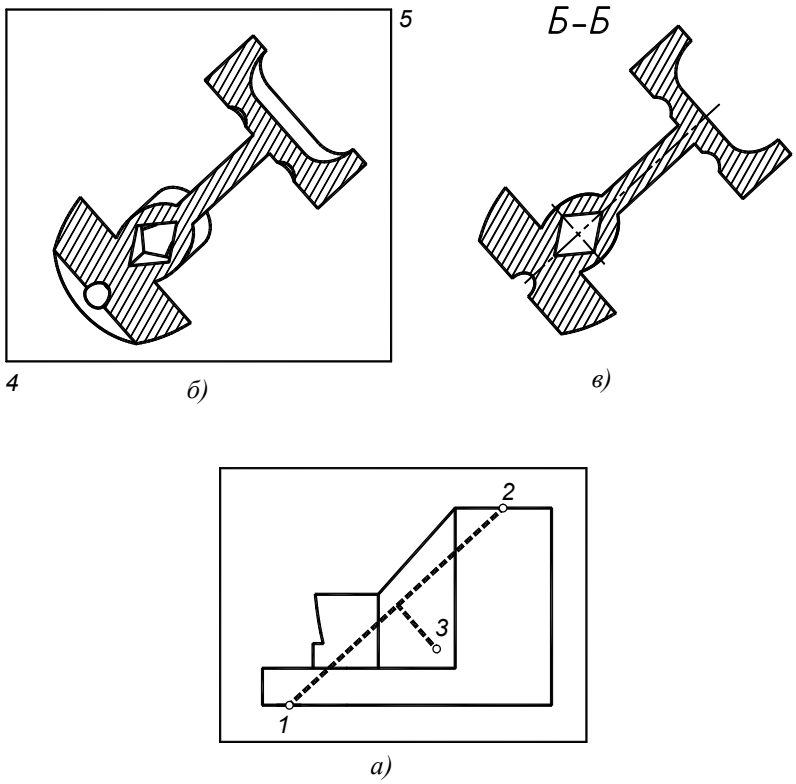


Рис. 9.16. Построение наклонного сечения командами **SOLVIEW** и **SOLDRAW**:
а – задание секущей плоскости; *б* – наклонный разрез;
в – истинный вид сечения

Построение сечения командой SECTION

Выполняется в следующей последовательности (рис. 9.16, *а*):

- задайте в видовом окне аксонометрическую точку зрения, позволяющую указать три точки секущей плоскости;
- установите ПСК по трем точкам секущей плоскости. В примере (см. рис. 9.15) плоскость задается точками: *1, 2* – с привязкой **Mid** (Середина), *3* – с привязкой **Cen** (Центр).
- создайте новый слой и сделайте его текущим;
- **section** / укажите модель / **XY** (опция, задающая плоскость XOY в качестве секущей) / задайте точку на плоскости XOY (0,0,0) / – сечение построено;
- для отображения сечения в истинном виде, нужно в окне сечения выполнить команду **PLAN** и избирательно заморозить слой, на котором расположена модель (см. рис. 9.15, *б*).

Построение сечения командами SOLVIEW и SOLDRAW

Этот вариант применяется, если плоскость сечения является проецирующей. Для плоскости общего положения следует в видовом окне установить направление взгляда, при котором плоскость станет проецирующей. После этого нужно командой **SOLVIEW** с опцией **Section**, а затем командой **SOLDRAW** построить наклонный разрез. Для получения сечения останется удалить линии контура, расположенные за секущей плоскостью.

На рис. 9.16, *а–в* показано построение наклонного сечения модели фронтально-проецирующей плоскостью. В качестве исходного видового окна взято окно вида спереди, в котором плоскость вырождается в прямую линию *1-2*:

- **solview** / **s** / с объектной привязкой **Center** укажите точки *1* и *2* секущей плоскости / укажите точку *3*, определяющую направление проецирования / задайте масштаб сечения, равный 1 / укажите центр окна / <Enter> / задайте углы рамки окна – точки *4* и *5* / задайте имя вида, например, s;
- **hpname** / ansi31 – задан тип штриховки “под металл”;
- **soldraw** / укажите рамку созданного окна – в окне построен наклонный разрез, содержащий требуемое сечение (см. рис. 9.16, *б*);
- сотрите линии контура, расположенные за секущей плоскостью (см. рис. 9.16, *в*).

Построение сечения командой SECTIONPLANE

В рассматриваемом примере (рис. 9.17, *а*) секущая плоскость является фронтально-проецирующей, определяемой точками *1*, *2*. Поэтому объект-сечение (ОС) будем строить в окне вида спереди. Точка *1* задается как центр крепежного отверстия модели с объектной привязкой **Center**, точка *2* – как середина ребра, привязка **Midpoint**. Для указания точек *1*, *2* необходимо применение координатного фильтра **.xy**, иначе возникает перекос плоскости сечения ввиду различной глубины этих точек:

- перейдите в видовое окно вида спереди, в котором установлена ПСК по виду окна;
- **sectionplane** / вызовите координатный фильтр (**Shift**+**Правый клик,** фильтр .XY) ; с объектной привязкой **Center** укажите точку *1* как центр отверстия; введите Z=0 / с тем же фильтром и привязкой **Midpoint** укажите точку *2*; введите Z=0 / – построен ОС (см. рис. 9.17, *а*);
- укажите ОС – возникли ручки, указав стрелку отредактируйте направление проецирования.

Далее следует задать настройки линий. В настройках необходимо отключить отображение фоновых линий, расположенных за секущей плоскостью, поскольку в сечении их не показывают, то есть: **Background Line** (Фоновые линии) , **Show** (Видимые) – **No**, **Hidden Line** (Скрытые) – **No**. В остальном настройки те же, что при построении разрезов.

Согласно алгоритму команды изображение наклонного сечения генерируется в плоскости текущей ПСК. Направление линии сечения устанавливается параллельно оси X. Поэтому, направив ось X вдоль линии сечения *1-2*, получим сечение в проекционной связи (см. рис. 9.17, *б*):

- установите ПСК как на рис. 9.17, *а*;
- сгенерируйте изображение сечения.

Для наглядности рекомендуем включить в окне аксонометрии отображение 3D-псевдоразреза и построить 3D-блок разреза (см. рис. 9.17, *в, г*).

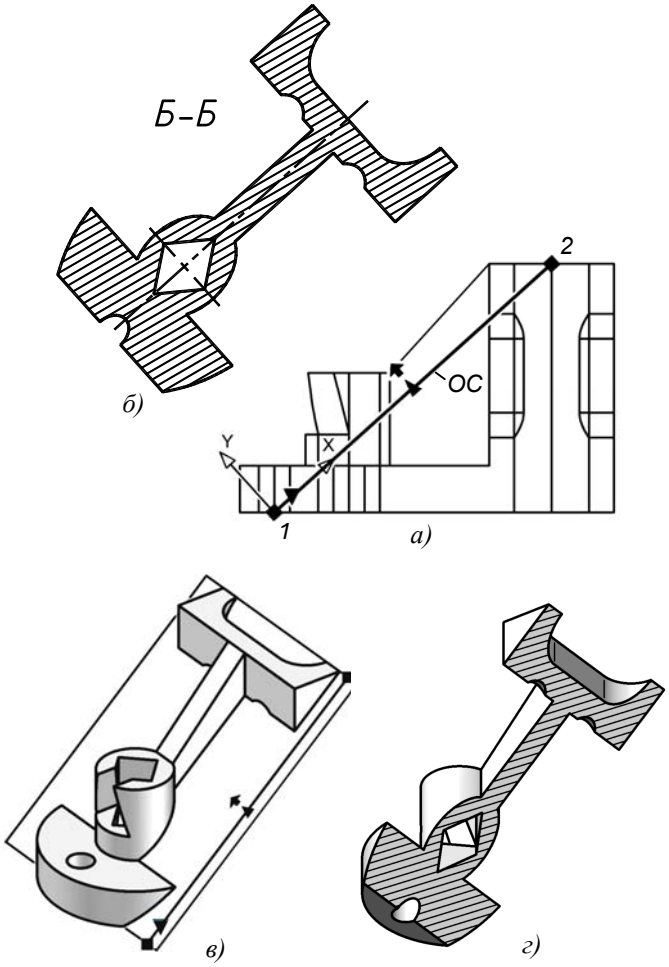


Рис. 9.17. Построение наклонного сечения командой SECTIONPLANE:
а – задание объекта-сечения ОС; *б* – наклонное сечение;
в – 3D-псевдоразрез; *г* – 3D-блок

Оформление наклонного сечения

На чертеже наклонное сечение рекомендуется располагать в соответствии с положением секущей плоскости, без поворота, как показано на рис. 9.16, *б*, 9.17, *в*. Допускается вынужденный поворот сечения, исходя из условий компоновки чертежа. В этом случае обозначение сечения должно содержать символ поворота (см. рис. 9.4, 9.15, *б*).

Направление штриховки сечения не должно совпадать с направлением линий его контура. В случае совпадения рекомендуется изменять угол штриховки в интервале 30…60°. По этой причине на рис. 9.16, *б*, 9.17, *в* угол наклона штриховки сечения не 45^0 , как в общем случае

штриховки металлов, а соответственно 60° и 30° . Сечение необходимо дополнить осевыми линиями. Редактирование штриховки и построение осевых линий выполняется в редакторе блоков.

Сечение можно оставить в видовом окне, но лучше вынести на лист и компоновать чертеж в едином пространстве листа.

9.8. Аксонометрия ступенчатого разреза

Аксонометрическое изображение на чертеже следует выполнить с пространственным разрезом. Его построение содержит два этапа: построение модели с разрезом и выбор оптимальной аксонометрической проекции.

Для построения модели с разрезом можно применить команду **SLICE**, разрезав модель тремя плоскостями, удалив ближние к наблюдателю части модели и объединив оставшиеся части командой **UNION** (см. разд. 7.9 “Пространственная “физическая” модель разреза”).

Второй, рекомендуемый нами, вариант создания модели разреза – применение команды **SECTIONPLANE**:

- повторно постройте объект-сечение (см. рис. 9.13, *а*);
- создайте 3D-блок (рис. 9.19, *а*), настроив параметры заливки сечений в соответствии с принятой для металлов штриховкой;
- отредактируйте штриховку в редакторе блоков (см. разд. 8.8), придав ей встречное направление на пересекающихся гранях разреза и совместив штриховку по ребрам излома разреза (такая возможность имеется в команде **BHATCH)**.

Создав модель с пространственным ступенчатым разрезом, приступаем к выбору аксонометрической проекции. Здесь необходимо в максимальной мере обеспечить наглядность модели. Примеры неудачной аксонометрии приведены на рис. 9.18. Недостатком изометрии (см. рис. 9.18, *а*) является вырождение одной из граней квадратной призмы (стрелка *1*). В ортогональной стандартной диметрии (см. рис. 9.18, *б*) не отображено крепежное отверстие *2*, низкая наглядность передачи отверстия *3*. Вариант диметрии (см. рис. 9.18, *в*) неприемлем. Он существенно искажает восприятие модели, поскольку длина модели направлена по оси Y, тогда как требуется ее направить по оси X.

Применив орбиту, следует найти оптимальное направление взгляда, в котором исключены совпадения ребер, вырождение граней и раскрыта форма характерных элементов. Для рассматриваемой модели такое изображение приведено на рис. 9.4 и 9.19, *а*. Как правило, это ортогональная триметрия, у которой (в отличие от изометрии и диметрии, коэффициенты искажений по всем осям различны).

Определив видовую точку, выбираем вариант построения ее аксонометрической проекции. Здесь возможно применение команды **SOLPROF** или **FLATSHOT**. Оба варианта равноценны и рассмотрены выше. Оба они сопровождаются потерей штриховки, выполненной на модели. Поэтому помимо модели нужно построить куб, который позволит определить углы наклона и шаг штриховки аксонометрической проекции. Остановимся на команде **FLATSHOT**:

- рядом с моделью постройте solid-куб со стороной 50 мм, расположив его грани параллельно граням модели, на которых потребуется выполнение штриховки сечений (рис. 9.19, *б*);
- установите ПСК в плоскость вставки изображения, например, МСК (см. рис. 9.19, *в*).

Если модель создана командой **SECTIONPLANE**, то она представляет собой блок, который нужно расчленить. Модель, полученную командой **SLICE**, расчленять нельзя:

- **explode** / укажите 3D-блок модели, созданный командой **SECTIONPLANE** – блок преобразован в solid-модель с физическим разрезом;
- **flatshot** / выполните настройку линий проекции (см. разд. 8.1.) и вставьте блок изображения в плоскость.

Вставка блока изображения происходит в плоскости XOY системы координат видового окна (на рис. 9.19, *в* показана вставка в горизонтальной плоскости). Изображение содержит модель и куб.

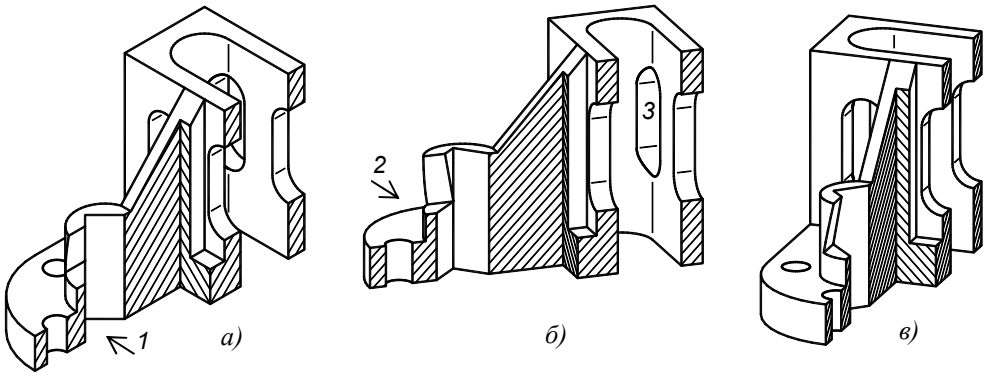


Рис. 9.18. Модель ступенчатого разреза и варианты ее аксонометрии
а – ортогональная изометрия;
б – стандартная ортогональная диметрия; *в* – вариант диметрии

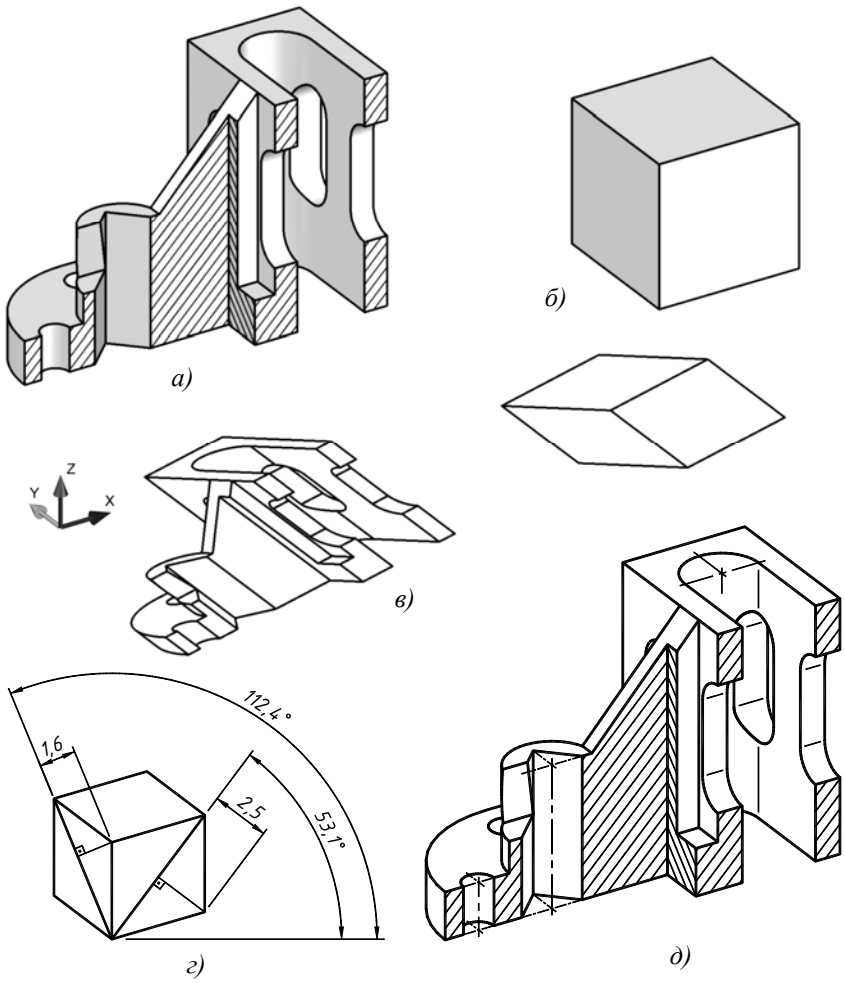


Рис. 9.19. Аксонометрия (триметрия) ступенчатого разреза модели
а – 3D-блок команды **SECTIONPLANE**; *б* – разметочный куб;
в – вставки блоков команды **FLATSHOT**; *г* – геометрический расчет параметров штриховки проекции; *д* – оптимальная триметрия модели

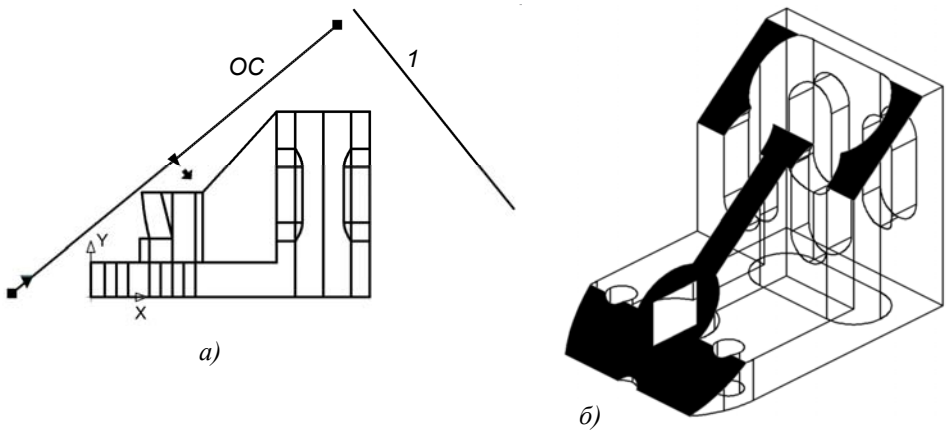


Рис. 9.20. Создание анимации перемещения сечения
а – задание секущей плоскости ОС и траектории *1*;
б – один из кадров анимации

- Блок изображения вынесите на лист через буфер памяти или командой **INSERT** (см. разд. 8.2).

На рис. 9.19, *г* показано, как на основе проекции куба определить параметры штриховки сечений созданной аксонометрии (см. разд. 7.10 “Штриховка сечений в аксонометрии”):

- определите параметры штриховки и выполните ее в аксонометрической проекции;
- завершите аксонометрию построением осей и приданием толщины линий (см. рис. 9.19, *д*).

Завершение чертежа и вывод его на печать – см. разд. 3.7, 3.8.

9.9. Анимация и программирование

Этот раздел предназначен для продвинутых пользователей. Цель – дать представление о программировании в AutoCAD’е на примере построения динамичной модели сечения полученной модели. Создав несложную программу, получим красивую анимацию, воспроизводящую плавное перемещение сечения по модели.

AutoCAD обладает средствами программирования на трех языках (AutoLisp, C++, Basic). Программирование можно изучить по многочисленной литературе, в том числе [10] . Подчеркнем, что изложение программирования не входит в содержание данной работы. Сейчас требуется внимательно набрать текст, приводимой ниже программы, и выполнить ее.

Пусть командой **SECTIONPLANE** создан объект-сечение ОС, настроен и активирован 3D-псевдоразрез, который наглядно виден в окне аксонометрии. Перемещая линию ОС, можно наблюдать перемещение фигуры сечения. При перемещении ОС вручную, например, командой **MOVE** или “ручками”, нельзя добиться плавного изменения картины сечения: при перестроении ОС возникает пауза, снижающая восприятие. Плавность достигается при программном управлении перемещением ОС.

Подготовка файла

Пусть секущая плоскость будет фронтально-проецирующей (рис. 9.20, *а*). Для анимации понадобятся видовые окна вида спереди и аксонометрии. В окне вида спереди выполним настройку, построим объект-сечение и траекторию перемещения. В окне аксонометрии будем наблюдать анимацию. Анимацию будем смотреть в каркасном режиме визуализации, так как при наглядном режиме ресурсов компьютера, как правило, недостаточно для воспроизведения плавного перемещения:

- подготовьте видовые окна вида спереди и аксонометрии;
- перейдите в окно вида спереди;

- **`sectionplane`** / постройте линию ОС в исходном положении, вне модели;
- **`line`** / постройте отрезок прямой, как траекторию перемещения ОС, линия *1*.

Настройте параметры 3D-псевдоразреза:

- укажите линию ОС, правый клик – в контекстном меню выбираем **Live section settings** (Параметры псевдоразреза) – возникло диалоговое окно **Section Settings** (Параметры сечения); в поле **Intersection Fill** (Заливка сечения) задайте красный цвет заливки;
- активизируйте 3D-псевдоразрез, указав ОС, правый клик, в контекстном меню строка **Activate live sectioninq** (Активизировать формирование псевдоразрезов).

Набор текста программы

Программу создадим на языке AutoLisp – это основной язык программирования пакета AutoCAD. Для набора текста программы вызываем редактор Visual Lisp:

- **`vlide`** (можно **`vlisp`** или меню **Tools / AutoLisp / Visual Lisp Editor**) – произошла загрузка и открылось окно редактора **Visual Lisp**.

Создаем файл программы. Для этого в редакторе Visual Lisp:

- **File** (Файлы) / **Now File** (Новый файл) – возникло текстовое окно с именем Untitled (Без имени);
- **File** / **Save** (Сохрани) / сохраните файл в своей директории, дав ему имя, например, 1.
- Наберите приведенный ниже текст программы 9.1.

Имена функций, переменных и числа необходимо разделять как минимум одним пробелом. Текст программы только на английском языке. Текст, следующий за "**;**", можно не набирать – это комментарий для понимания программы.

Программа 9.1

```
;;;  Программа анимации перемещения сечения
;;;====================================
(defun c:ani ( )
  (command "_undo" "_m") ;_создать метку
  (setvar "cmdecho" 0) ;_отключить эхо-вывод
  (command "_mspace") ;_ перейти в пространство модели
  (command "_vscurrent" "_2") ;_установить каркасный стиль визуализации
  (command "_ucs" "") ;_установить МСК
  (setq          name   (car (entsel "\n Укажи ОС "))
     epatch (entget (car (entsel "\n Укажи отрезок перемещения ")))
     k      (getint "\n Количество кадров = ")
     ;;конечные точки перемещения
     p1     (cdr (assoc 10 epatch))
     p2     (cdr (assoc 11 epatch))
     ;;вектор перемещения на один кадр
     vec    (list (/ (- (car p2) (car p1)) (1- k))
                  (/ (- (cadr p2) (cadr p1)) (1- k))
                  (/ (- (caddr p2) (caddr p1)) (1- k))
            )
  )
  (repeat k;_покадровая съемка
    (command "_move" name "" "" vec)
  )
  (command "_undo" "_b") ;_восстановление начального положения сек. плоскости
)
(princ "\n Для запуска введи ani");_сообщение при загрузке программы
```

Отладка и тестирование и выполнение программы

После набора текста программы ее необходимо проверить на отсутствие синтаксических ошибок:

- укажите кнопку  панели инструментов редактора Visual Lisp.

Возникло окно Build Output (Сообщения сборки). При отсутствии в тексте программы синтаксических ошибок выведено сообщение; “Check done. (Проверка завершена)”. Иначе выводится сообщение с указанием ошибки, например, “error: malformed list on input” – недостает правой скобки; “extra right paren on input” – лишняя правая скобка; “malformed string on input ” – пропущена кавычка и т.д. Найдите и устраните ошибки.

Набранную и проверенную на синтаксис программу необходимо загрузить в оперативную память:

- укажите кнопку  .

Произойдет загрузка программы. Откроется окно **Visual Lisp Consol** (Консоль), в котором приведено сообщение по результату загрузки:

```
Для запуска введи ani
; 2 forms loaded from #<editor (и далее полное имя файла программы)
```

Первая строка сообщения определена последней строкой текста программы. Вторая – сообщает об успешной загрузке программы.

Выполним программу:

- перейдите в графический редактор, указав в нижней части экрана кнопку 

;
- введите с командной строки имя команды **ANI**;
- на запрос командной строки укажите линию объекта сечения;
- укажите линию траектории перемещения ОС;
- задайте количество кадров анимации в интервале 300…1000;
- Происходит перемещение ОС. В окне аксонометрии видим перемещение фигуры сечения по модели.

При выполнении программы может возникнуть сообщение о новых ошибках, из-за которых выполнение прерывается. Чтобы найти и устранить эти наиболее сложные ошибки, применим один из режимов отладки программы:

Укажите в падающем меню редактора Visual Lisp:

- **Debug** (Отладка) \ **Animate** – включен режим отладки;
- **Tools** \ **Environment Options** \ **General Options** \ **Diagnostic** \ Задайте **Animation delay** равным 1…10.

Выполняем программу в режиме отладки:

- введите с командной строки имя программы.

Происходит выполнение программы в замедленном режиме. Выполняемые функции последовательно с установленной задержкой высвечиваются в тексте программы. В случае ошибки анимация прерывается, ошибочная строка текста остается выделенной.

Сопоставьте текст набранной вами программы с контрольным, обратив внимание на выделенную строку, поймите и устраните ошибку. Чаще всего, это пропущенный пробел, неправильно набранное имя функции или переменной. Исправив текст, заново загрузите программу  и выполните ее, введя имя **ANI** с командной строки. Повторяйте отладку, пока не устраните все ошибки. На первый раз это может быть непросто, но наградой за упорство будет красивая анимация.

Глава 10

Ломаный разрез

Если для детали или узла требуется выполнить несколько разрезов, секущие плоскости которых пересекаются, то для сокращения количества изображений на чертеже рекомендуется применить так называемый *сложный ломаный разрез*.

В данной главе рассмотрено выполнение третьей работы задания "Проекционное черчение". *Целью работы* является освоение 3D-технологии построения ломаного разреза. Приведен пример построения чертежа детали, форма которой характерна для применения ломаного разреза.

10.1. Содержание работы

Дано: виды спереди, сверху и дополнительный вид. Внутренняя форма детали отражена линиями невидимого контура (рис. 10.1). Указано положение секущей плоскости ломаного разреза, выполнение которого позволит наглядно передать внутреннюю форму детали.

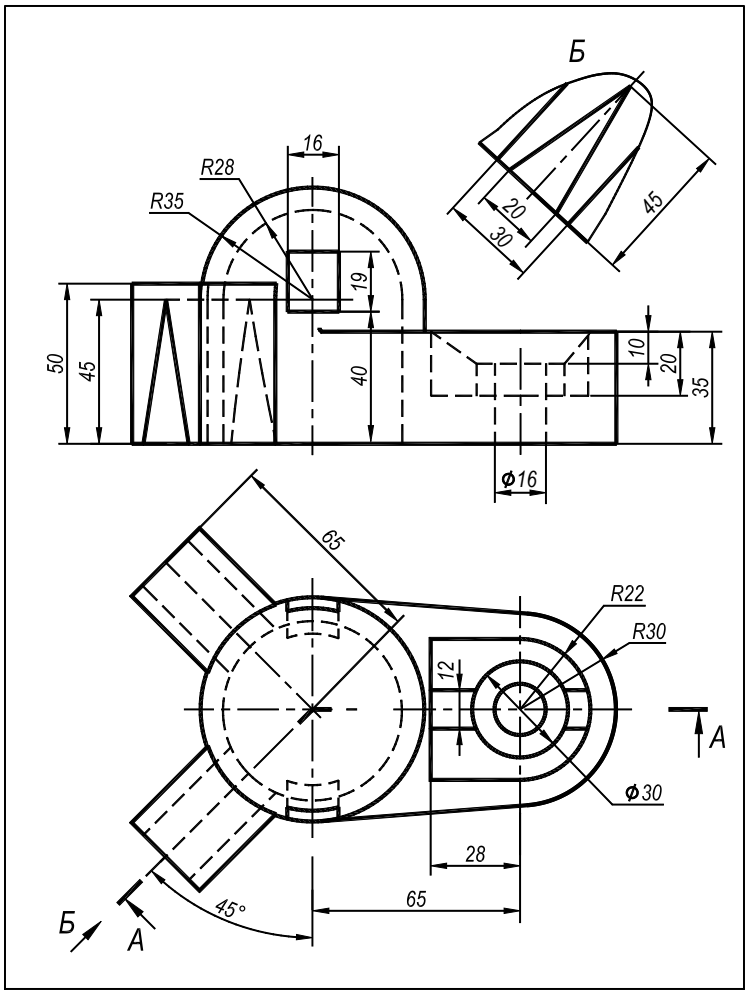


Рис. 10.1. Исходные данные работы "Ломаный разрез"

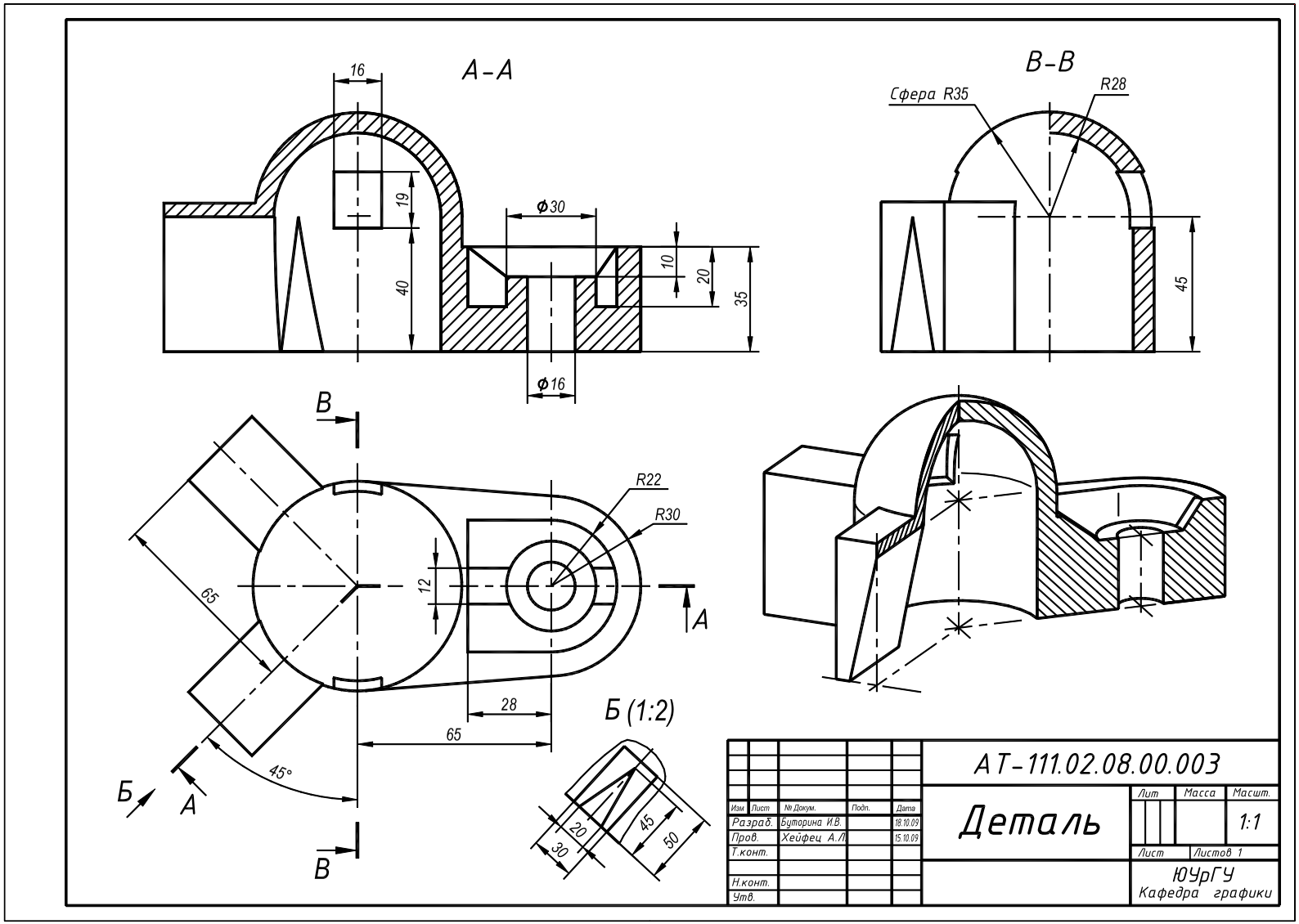


Рис. 10.2. Чертеж к заданию “Ломаный разрез”

Требуется построить чертеж по 3D-технологии. Чертеж должен содержать:

1) заданный ломаный разрез на месте одного из основных видов;

2) два других основных вида;

3) профильный разрез, совмещенный с видом слева;

4) необходимые местные и дополнительные виды и местные разрезы;

5) размеры;

6) аксонометрическое изображение детали с разрезом;

7) чертеж необходимо оформить в соответствии с требованиями ЕСКД и вывести на печать.

Пример выполнения работы приведен на рис. 10.2.

10.2. Особенности выполнения ломаного разреза

Сложный разрез называется *ломаным*, если секущие плоскости пересекаются. Это наиболее трудный в построении разрез. Отметим особенности выполнения ломаного разреза, предусмотренные ГОСТ 2.305–68:

1) сечения, образованные плоскостями ломаного разреза, поворачивают до совмещения в одну плоскость;

2) элементы, расположенные за секущими плоскостями, изображаются на разрезе без поворота;

3) линии, относящиеся к рассекаемым элементам, поворачивают вместе с сечением (несмотря на то, эти линии расположены за секущей плоскостью);

4) если совмещённые плоскости сечений окажутся параллельными одной из плоскостей проекций, разрез рекомендуется помещать на месте соответствующего вида;

5) линия пересечения секущих плоскостей на разрезе не проводится.

Рассмотрим перечисленные особенности ломаного разреза на примере детали, приведенной на рис. 10.1. Найдите на виде сверху разомкнутую линию, обозначенную буквами А–А, показывающую положение двух взаимно пересекающихся плоскостей, рассекающих деталь. Правая плоскость параллельна виду спереди, разрез этой плоскостью строится в непосредственной проекционной связи с видом спереди (рис. 10.3). Левая секущая плоскость расположена под углом к виду спереди. Сечение данной плоскостью предварительно поворачивается вокруг линии пересечения секущих плоскостей до положения, параллельного плоскости вида спереди — плоскость А', и только после этого наносится на изображения разреза (см. рис. 10.3, *а*).

Проецирование точек, *расположенных в плоскости поворачиваемого сечения*, поясняется на примере точки *1* (см. рис. 10.3, *в*). Горизонтальная проекция точки *1*, точка 1_1, сначала поворачивается в положение $1_1'$, затем по проекционной связи строится ее фронтальная проекция – точка $1_2'$.

Примерами элементов, *расположенных за секущей плоскостью*, являются прямоугольное отверстие *с* и линия пересечения дальнего треугольного паза с внутренней поверхностью детали – две дуги эллипса *b*. Их изображения построены без поворота, то есть по проекционной связи с видом спереди.

Примерами линий, *принадлежащих рассекаемым элементам и находящихся за секущей плоскостью*, являются ребра ближней призмы и расположенного в ней треугольного паза, а также дуга эллипса *а*, возникающего при пересечении паза с внутренней цилиндрической поверхностью детали. Их построение на разрезе можно проследить по точке *2*: точка 2_1 проецируется на секущую плоскость — находится точка 2_1^0, затем поворотом последней находится точка $2_1'$ и, окончательно, определяется проекция точки *2* на разрезе – точка $2_2'$.

На рис. 10.3, *б* показана разомкнутая линия, обозначающая положение секущих плоскостей. Обратите внимание на ее особенности: стрелки смещены к наружным краям

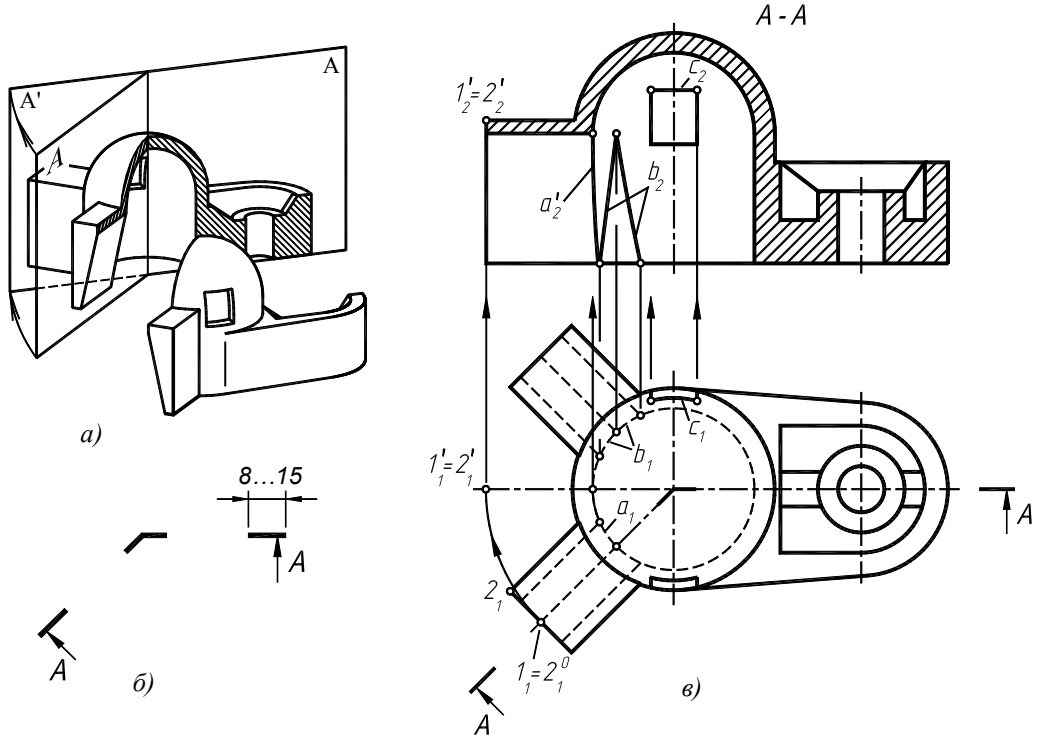


Рис. 10.3. Построение ломаного разреза:
а – поворот и совмещение плоскостей; *б* – разомкнутая линия, обозначающая разрез; *в* – особенности проецирования при повороте сечений

линии; буквы проставляются с наружной стороны относительно стрелок; шрифт букв принимается на один номер больше, чем шрифт размерных чисел чертежа (см. также рис. 3.1).

Изображение ломаного разреза А–А приведено на чертеже детали (см. рис. 10.2). Поскольку после совмещения плоскости сечений стали параллельны фронтальной плоскости проекций, то разрез выполнен на месте вида спереди.

Для выявления формы детали и повышения наглядности чертежа выполнены дополнительный вид Б и профильный разрез В–В, совмещенный с половиной вида слева. Проставлены размеры. Построено аксонометрическое изображение детали с пространственным ломаным разрезом.

10.3. Построение модели

Как и в предыдущих работах, построение чертежа по 3D-технологии начинается с создания ее пространственной модели (рис. 10.4). Рассмотрим построение модели, заданной на рис. 10.1.

Анализ формы. Настройки

Деталь содержит основание (см. рис. 10.4), образованное цилиндрами *1* и *2* и призмой *3*. Боковые грани призмы являются касательными к поверхностям цилиндров. К цилиндру *1* сверху примыкает полусфера *4* того же радиуса, что и цилиндр. К цилиндру и полусфере примыкают две боковые призмы *5*, расположенные под углом 45° к продольной оси основания.

Сверху в основании детали имеется углубление *6*, содержащее призматическую и цилиндрическую часть. В углублении *6* расположен цилиндр *7* со сквозным цилиндрическим отверстием *8*. Между стенками углубления *6* и цилиндром *7* имеются продольные призматические ребра жесткости *9* и *10*.

Внутренняя поверхность детали образована полусферой и цилиндром *11* и двумя призматическими пазами *12* треугольной формы. В стенках цилиндра *1* и сферы *4* выполнены два сквозных одинаковых прямоугольных отверстия *13*.

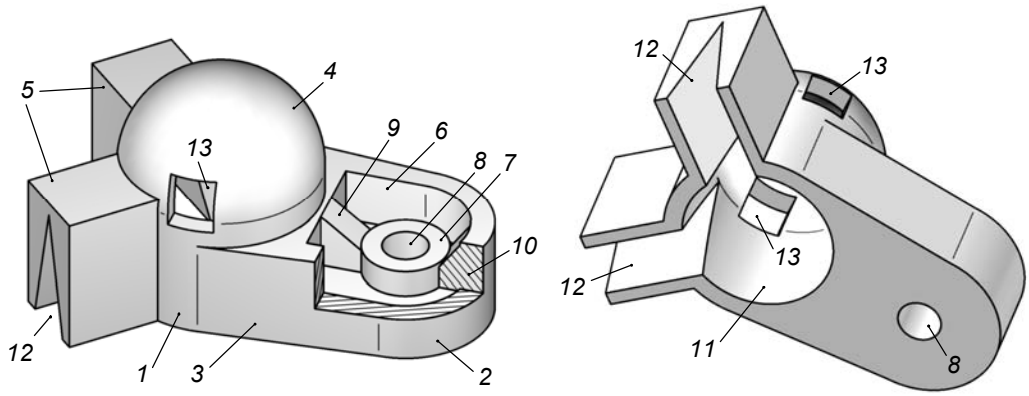


Рис. 10.4. Анализ формы детали

- Создайте новый файл на основе прототипа *proto.dwt*, содержащего настройки для построения модели (см. разд. 6.3), или выполните полный объем настроек (см. разд. 3.3, 5.1) по созданию видовых окон на листе, заданию шага, ряда слоев, типов линий и т.д.

Наружные элементы

Последовательность создания модели отражена на рис. 10.5, где позиции элементов соответствуют обозначениям на рис. 10.4.

- Переходим в окно вида сверху, проверяем, что установлена МСК;
- **`cylinder`** / 0,0 / 35 / 45 – построен цилиндр *1* (см. рис. 10.5, *а*).

Строим контур основания из дуги окружности *c1* и отрезков *m*, *n*, касательных к окружности *c1* и окружности основания цилиндра *c2*:

- **`circle`** / 65,0 / 30 – окружность *c1*;
- **`line`** / с объектной привязкой **Tan** (Касательная) указать окружность *c1* и окружность *c2* основания цилиндра / – построен отрезок *m*;
- повторить для построения отрезка *n*;
- **`trim`** / укажите отрезки *m*, *n* / укажите удаляемую часть окружности *c1* – образован контур для выдавливания основания;
- **`presspull`** / укажите произвольную точку *A* внутри контура основания и вытяните контур на 35 мм – получено основание, содержащее цилиндр *2* и призму *3*.

Строим две призмы поз. *5* (см. рис. 10.5, *б*), оси которых составляют с продольной осью модели угол 45°:

- **`ucs`** / **`z`** / 45 – поворот системы координат вокруг оси Z;
- **`box`** / –65, –15 / –20,15,50 – создана ближняя призма;
- **`rotate`** / указать созданную призму / 0,0 / **`Copy`** – опция копирования при повороте объекта / –90 – создана вторая призма.
- Устанавливаем на цилиндр поз. *1* сферу поз. *4* того же радиуса, что и цилиндр:
- **`sphere`** / с привязкой **Cen** указать центр верхнего основания цилиндра / 35.

Объединяем элементы наружной формы:

- **`union`** / указать цилиндр, основание, две призмы и сферу,
- **`ucs`** / **`w`** – восстанавливаем мировую систему координат.

Внутренние элементы

Строим внутренние элементы – цилиндр *11* и сферу *11′* (см. рис. 10.5, *в*). Для того, чтобы уже созданные наружные элементы на мешали построениям, новые элементы построим на новом слое, временно заморозив слой с наружными элементами:

- создайте новый слой и установите его текущим. Слой с наружными элементами заморозьте или отключите;
- **`cylinder`** / 0,0 / 28 / 50 – построен цилиндр *11*;
- **`sphere`** / с привязкой **Cen** укажите центр верхнего основания цилиндра / 28 – сфера *11′*;
- разморозьте слой с наружными элементами;
- **`subtract`** / из наружной формы вычесть внутренние цилиндр *11* и сферу *11′*.

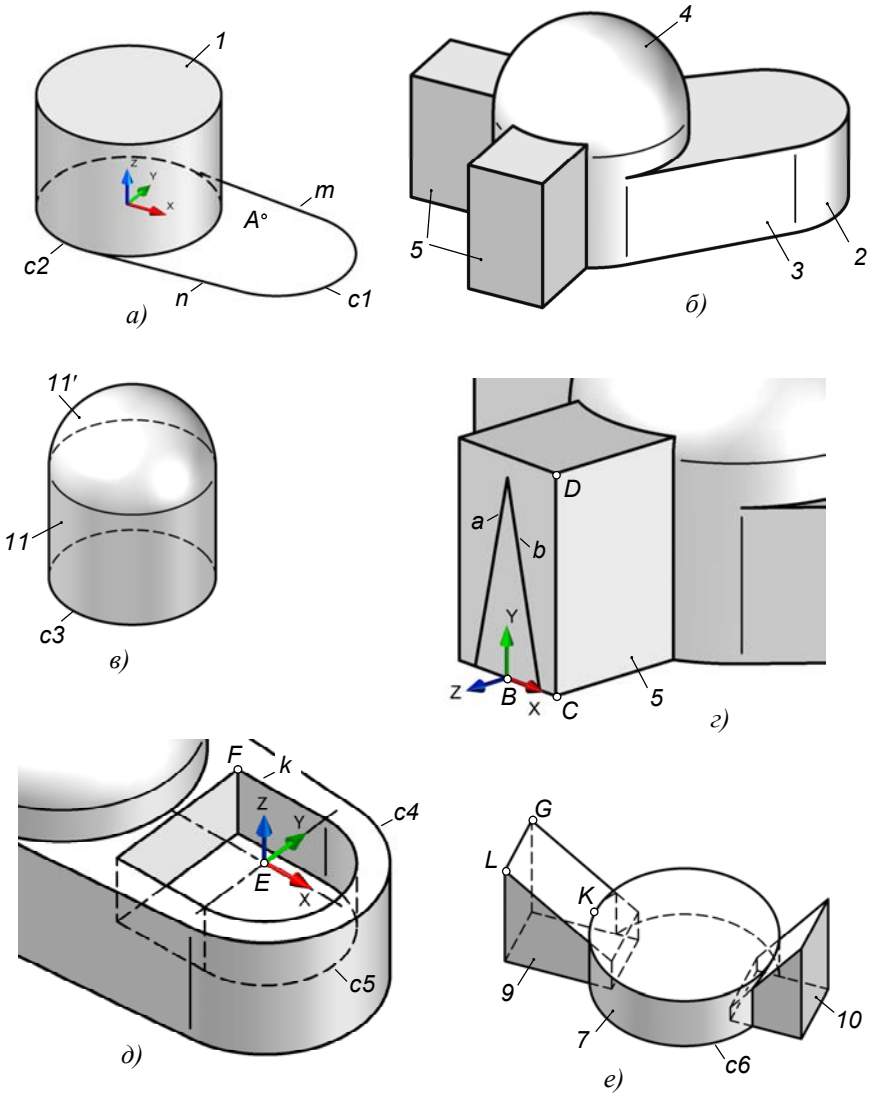


Рис. 10.5. Построение модели:
а – построение основания; *б* – наружная форма; *в* – внутренние элементы; *г* – контур паза в призме; *д* – ниша в основании; *е* – ребра жесткости

Строим треугольные пазы *12* в призмах *5* (см. рис. 10.5, *г*). Для этого в плоскости грани каждой призмы *5* нужно построить контур паза – отрезки *a*, *b*, затем вытянуть контур, образованный этими отрезками и нижним ребром основания грани:

- **ucs** / 3 / с привязкой **Mid** указать точку *B*, с привязкой **End** указать точки *C*, *D* – система координат установлена в плоскость грани;
- **line** / –10,0 / 0,45 / 10,0 – построены отрезки *a*, *b*;
- **presspull** / указать произвольную точку внутри контура и вытянуть контур внутрь модели / –40 длина вытягивания – образован призматический паз в призме;
- повторить построение для второй призмы.

Строим углубление поз. *6* в плите основания (см. рис. 10.5, *д*). Создадим контур *k* и вытянем его в глубину основания на 20 мм:

- **Ucs** / **w** / **ucs** / **or** / с привязкой **Cen** указать центр окружности *c4*;
- включить режим **ORTHO**;
- **pline** / –28,22 – это точка *F* / переместите курсор вдоль оси X и введите 22 / **A** – опция построения дуги / 0, –22 / **L** – опция построение линейного сегмента / курсор влево и ввести 28 / **Close** – построен контур *k*;
- **presspull** / указать точку внутри контура / –20 – построено углубление.

Ребра жесткости

Ребра поз. *9*, *10* (см. рис. 10.5, *е*) построим совместно с цилиндром поз. *7*. Построения выполним на свободном месте, затем установим эти элементы “на место”:

- **ucs** / **or** / указать точку на свободном месте;
- **cylinder** / 0,0 / 15 / 10 – цилиндр *7*;
- **box** / 10, –6 / 22,6,20 – призма для ребра *10*;
- **box** / –10, –6 / –28,6,20 – призма для ребра *9*.

Срезаем верхние грани призм:

- **slice** // с привязкой **End** укажите точки *L*, *G*, с привязкой **Qua** (Квадрант) укажите точку *K* // укажите точку в нижней части призмы – срезана верхняя грань призмы *9*;
- подобным образом срезать призму *10*;
- **union** / объединить элементы *7*, *9*, *10*;
- **move** / переместить объединенные элементы, указав в качестве базовой точки центр окружности *c6*, в качестве конечной точки – центр окружности *c5*;
- **union** – объединить добавленные элементы с моделью.

Для завершения модели осталось “просверлить” в ней отверстие поз. *8* и прорезать горизонтальный сквозной прямоугольный паз (см. рис. 10.4, поз. *13*). Отверстие получим вычитанием вертикального цилиндра ∅8. Для выполнения паза нужно создать горизонтальную призму с прямоугольным сечением 16×19 и вычесть ее из объема модели.

10.4. Построение ломаного разреза

По 3D-технологии AutoCAD’а сложный ломаный разрез формируется в два этапа. Сначала получают простые разрезы. Затем осуществляют их монтаж в единое изображение. Монтаж выполняют в соответствии с правилами создания ломаного разреза. Рассмотрим построение ломаного разреза для нашей детали.

Построение ломаного разреза командами SOLVIEW и SOLDRAW

Представим ломаный разрез А–А (рис. 10.8, *а*) состоящим из двух простых разрезов А′–А′ и А″–А″. Первый из них соответствует левой секущей плоскости, второй – правой секущей плоскости сложного разреза. Построение простых разрезов командами **SOLVIEW** и **SOLDRAW** подробно рассмотрено в разд. 7.4. В качестве исходного окна для каждого из разрезов берем окно вида сверху.

Для построения разреза А′–А′ модель поворачиваем так , чтобы его секущая плоскость стала параллельна оси X МСК (см. рис. 10.8, *б*). Поворот модели выполняем командой **ROTATE**. В нашем примере угол поворота равен 45°. Далее строим разрез, последовательно применяя команды **SOLVIEW** и **SOLDRAW** (см. рис. 10.8, *г*).

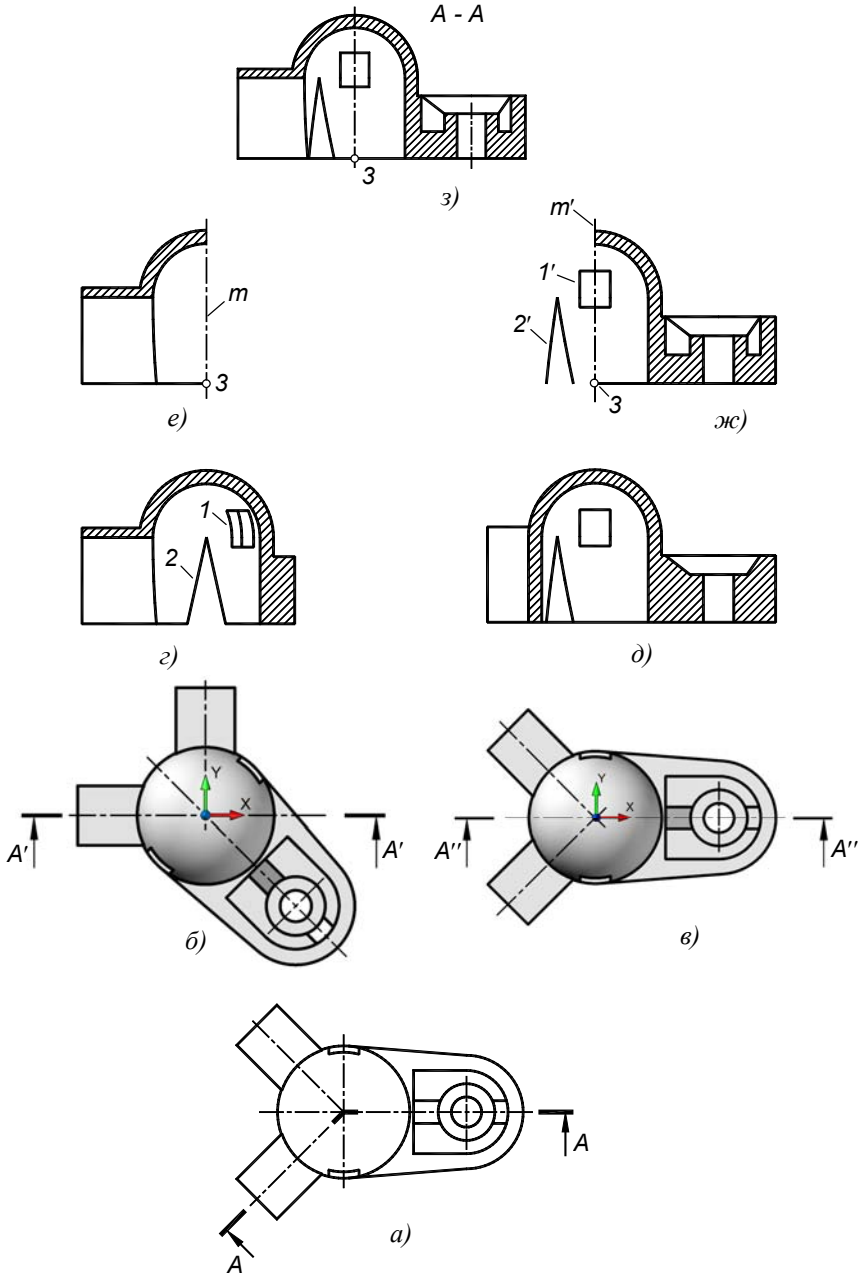


Рис. 10.8. Построение ломаного разреза командами SOLVIEW и SOLDRAW:
а – задание разреза; *б, в* – построение простых разрезов;
г, д – изображения простых разрезов; *е, ж* – редактирование разрезов;
з – совмещение

Для разреза А″–А″, плоскость которого параллельна оси X, модель поворота не требует. Потому ее восстанавливаем в исходное положение. Командами **SOLVIEW** и **SOLDRAW** получаем разрез (см. рис. 10.8, *д*).

Далее требуется отредактировать полученные изображения простых разрезов и совместить их в единое изображение. Эти действия можно выполнять в видовых окнах или на листе. Рассмотрим вариант построения, основанный на выносе проекций на лист.

- Вынесите изображения простых разрезов на лист (о выносе на лист см. разд. 7.5, 8.2).

На каждом изображении, вынесенном на лист, постройте линию (см. рис. 10.8, *е, ж*), по которой должны быть совмещены изображения. В нашем примере – это осевая линия сферы:

- **line** / применяя объектную привязку **Cen**, в режиме **ORTHO** проведите линии совмещения *m*, *m*′;
- на разрезе А′–А′, полученном левой плоскостью, оставьте линии сечения, расположенные слева от линии совмещения, и линии рассекаемых элементов, которые поворачиваются вместе с сечением; остальные линии сотрите или обрежьте (см. рис. 10.8, *е*);
- на разрезе А″–А″, полученном правой плоскостью, оставьте часть изображения, расположенную справа от линии совмещения (рис. 10.8, *ж*). В левой части этого разреза оставьте линии, которые не относятся к элементам, рассекаемым левой секущей плоскостью. Остальные линии удалите.

Рассмотрим подготовленные изображения. Обратите внимание, что на разрезе А′–А′ (см. рис. 10.8, *е*) удален очерк прямоугольного отверстия *1* и дальнего треугольного паза *2*, поскольку они находятся за секущей плоскостью. По правилам построения ломаного разреза эти элементы отображаются в проекционной связи. Их изображение берется с разреза А″–А″ – это соответственно линии *1′* и *2′* (см. рис. 10.8, *ж*).

- Применяя команду **MOVE**, совместите полученные фрагменты простых разрезов (см. рис. 10.8, *з*). Совмещение нужно выполнять с применением объектной привязки. В качестве опорной точки для совмещения в рассматриваемом примере можно взять точку *3*.

После завершения монтажа, как правило, нужно заново единообразно выполнить штриховку.

Построение ломаного разреза командой SECTIONPLANE

Для построения сложного ломаного разреза А-А (см. рис. 10.8, *а*) создадим два объекта-сечения: *ОС1* и *ОС2* (рис. 10.9). Объект-сечение *ОС1* создаст разрез от левой плоскости сложного разреза, *ОС2* – от правой плоскости. Для построения контура ребер жесткости построим вспомогательный объект-сечение *ОС3*. После редактирования простые разрезы объединим в единое изображение сложного разреза.

В рассматриваемом примере все объекты-сечения создаем в окне вида сверху, в МСК. Чтобы избежать перекоса *ОС*, необходимо, чтобы точки, задающие *ОС*, находились в одной

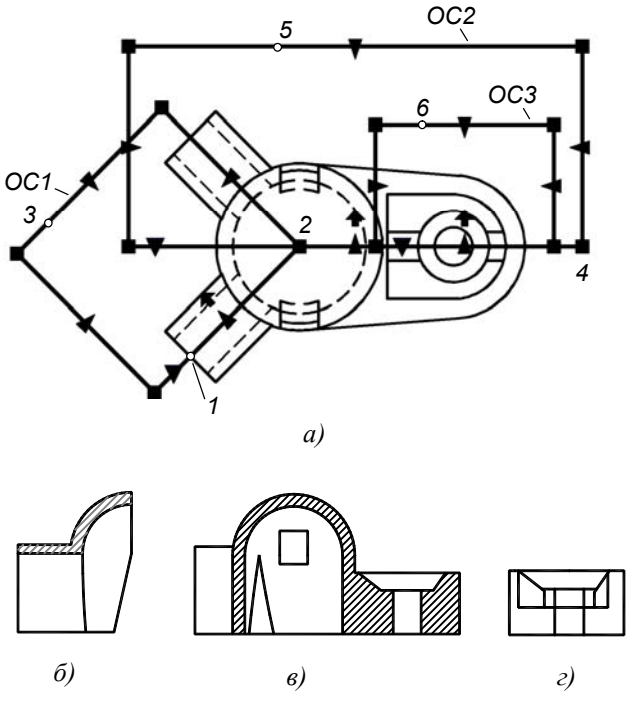


Рис. 10.9. Построение ломаного разреза командой SECTIONPLANE:
а – объекты-сечения *ОС1*, *ОС1*, *ОС3*; *б* – вставка 2D-блока *ОС1*; *в* – вставка *ОС2*; *г* – вставка *ОС3*;

плоскости. Поэтому при задании точек с объектной привязкой к модели следует дополнительно применять координатный фильтр .xy, отбрасывающий z-координату точек и заменять ее на z=0. По каждому созданному *ОС* необходимо сгенерировать 2D-блок разреза, вставить его в плоскости XOY МСК, вынести на лист, отредактировать и включить в состав итогового изображения ломаного разреза.

Рассмотрим построение объекта-сечения *ОС1* и разреза на его основе (см. рис. 10.9):

- **`sectionplane`** / **`Draw section`** (Вычертить сечение) / фильтр **.xy**, с объектной привязкой **Mid** укажите точку *1*, введите z=0 / фильтр **.xy**, с объектной привязкой **Cen** укажите точку *2*, введите z=0 // укажите точку *3* в направлении взгляда при построении разреза – построен контур объекта сечения;
- укажите созданный *ОС* – возникли ручки. Перемещая ручки, скорректируйте контур *ОС,* раздвинув его как на рис. 10.9, *а*;
- настройте параметры 2D-блока от *ОС1* (см. разд. 8.4), сгенерируйте изображение разреза и вставьте его на свободное место рядом с моделью (см. рис. 10.9, *б*).

Подобным образом постройте *ОС2* по точкам *2*, *4*, *5*. Точку *2* укажите как при задании *ОС1* с фильтром **.xy** и привязкой **Cen**, точку *4* – в режиме **ORTHO**, точку *5* – произвольно в направлении взгляда. *ОС3* постройте по точкам *2*, *4*, *6*. "Ручками" скорректируйте контуры *ОС2* и *ОС3*. Сгенерируйте 2D-блоки этих разрезов (см. рис. 10.9, *в, г*).

Построенные изображения выносим на лист, редактируем их и получаем изображения, подготовленные к формированию сложного разреза. Последовательность редактирования рассмотрена выше при построении разреза командами **`SOLVIEW`** + **`SOLDRAW`**. То есть из изображения (см. рис. 10.9, *б*) нужно получить изображение (см. рис. 10.8, *е*). Изображение (рис. 10.9, *в*) должно принять вид (см. рис. 10.8, *ж*).

Изображение (см. рис. 10.9, *г*) получено в режиме отображения невидимых линий заднего плана, без заполнения сечения. Оно позволяет определить контур ребра жесткости при удалении штриховки этих ребер.

Редактирование изображений можно выполнять в редакторе блоков (см. разд. 8.8), либо после расчленения блоков командой **`EXPLODE`**.

Применение команды SOLPROF

Ломаный разрез может быть получен командой **`SOLPROF`**. Это "старая, добрая", универсальная и надежная команда (см. разд. 9.4.). В нашем примере для получения разреза правой плоскостью нужно применить команду **`SOLPROF`** в окне вида спереди. Для получения разреза левой плоскостью переходят в другое окно и устанавливают ПСК по трем точкам секущей плоскости, затем задают вид в плане этой ПСК и вновь применяют **`SOLPROF`**. Далее аналогично рассмотренным выше примерам производится совмещение изображений.

10.5. Аксонометрия ломаного разреза

Рекомендуемая аксонометрия – ортогональная диметрия. Один вариант этой проекции показан на рис. 10.2. Второй вариант, еще более наглядный, приведен на рис. 10.10. Допускается другая аксонометрическая проекция, которая с учетом особенностей модели даст высокую наглядность изображения.

Для построения аксонометрического изображения нужно в пространственной модели удалить часть объема, соответствующего отображаемому ломаному разрезу. Для этого можно применить команду **`SLICE`** или вычесть из 3D-модели призму, две грани которой совпадают с секущими плоскостями. Подробнее – см. разд. 7.9.

Эффективным вариантом является применение команды **`SECTIONPLANE`** с последующим завершением плоского изображения командой **`FLAYSHOT`** (см. рис. 10.10). Объект-сечение *ОС* для ломаного разреза имеет вид (рис. 10.10, *а*). Следует учесть, что направление проецирования при построении разреза определяется первыми двумя точками, задающими *ОС*. Если точка берется с объектной привязкой к модели, то предварительно следует применить координатный

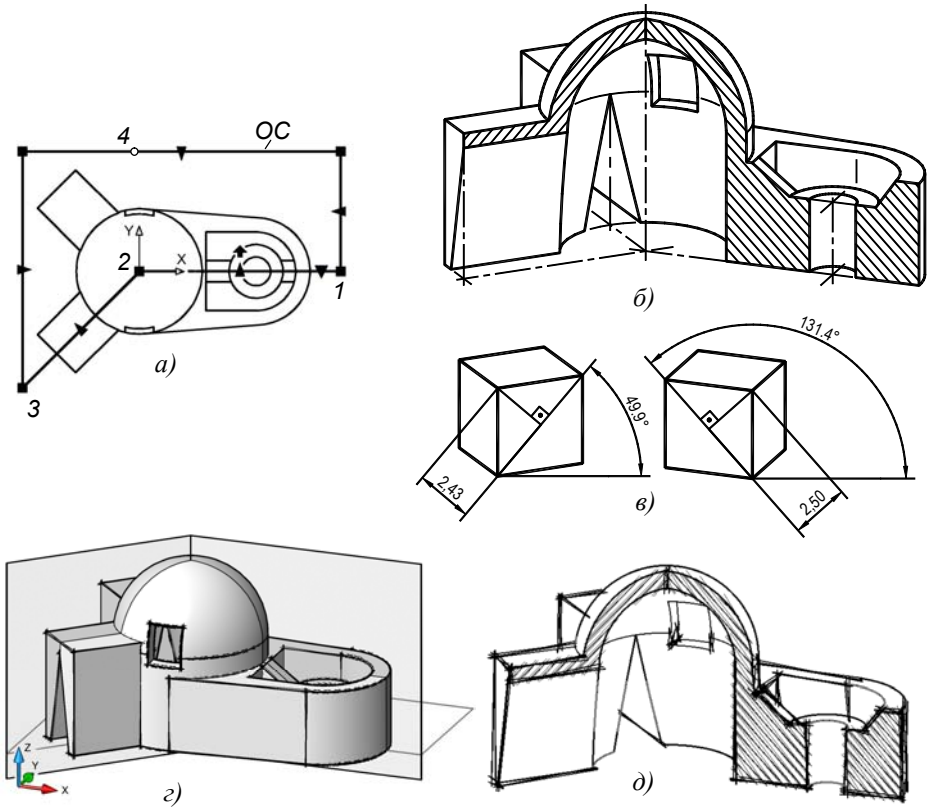


Рис. 10.10. Аксонометрия ломаного разреза (**SECTIONPLANE+FLATSHOT**):
а – объект-сечение *ОС*; *б* – изображение после редактирования;
в – определение параметров штриховки проекции; *г, д* – модель *ОС* и проекция в режиме карандашного наброска

фильтр для предотвращения перекоса *ОС*. В рассматриваемом примере ОС создаем в окне вида сверху, в МСК, начало координат которой совпадает с точкой излома линии сечения:

- **sectionplane** / **Draw section** (Вычертить сечение) / 100,0 – это точка *1* / 0,0 – это точка *2* / 100<225 – это точка *3* // укажите точку *4* в направлении взгляда при построении разреза – построен контур *ОС* объекта сечения;
- настройте параметры 3D-блока (см. разд. 8.7), сгенерируйте блок 3D-разреза и вставьте его на свободное место рядом с моделью;
- установите в видовом окне ортогональную диметрию (см. разд. 7.9) или иную, оптимальную для вашего варианта аксонометрию;
- настройте параметры изображения для команды **FLATSHOT** (см. разд. 8.1);
- командой **FLATSHOT** создайте плоское изображение 3D-разреза в плоскости текущей ПСК;
- вынесите изображение на лист и выполните штриховку сечений.

Для определения параметров штриховки выполните построения согласно разд. 7.9 “Штриховка сечений в аксонометрии”. В том же видовом окне, в котором получена проекция, создайте два куба одного размера (см. рис. 10.10, *в*). Грани первого куба должны быть параллельны левой секущей плоскости, грани второго – параллельны правой. Командой **FLATSHOT** получите изображение этих кубов и вынесите его на лист. На изображении граней постройте диагонали и перпендикуляры к ним, соответствующие шагу и направлению штриховки. Совместно масштабируйте оба изображения так, чтобы отрезок, соответствующий шагу штриховки правой грани, стал равным 25 мм. После этого простановкой размеров определите остальные параметры штриховки граней.

Для оживления работы над заданием постройте наглядное изображение объекта-сечения,

применив стиль визуализации **Conceptual** с монохромной закраской граней под металл и режимом карандашного наброска (см. рис. 10.10, *г, д*). Почувствуйте себя художником. AutoCAD позволяет и это!

10.6. Завершение работы

Создайте необходимые для чертежа изображения видов и простых разрезов. Постройте изображение вида слева, совмещенного с половиной профильного разреза (см. разд. 7.6). Если для детали необходимы местные разрезы, выполните их согласно разд. 7.6. О построении сечений см. разд. 9.7. Как правило требуется дополнительный вид (см. вид Б на рис. 10.2). Его построение аналогично наклонному сечению (см. разд. 9.7) и дополнительно рассмотрено в разд. 11.

Выполните компоновку чертежа на формате А3. Проставьте размеры. Распечатайте чертеж.

Глава 11

Дополнительные и местные виды

В главе рассмотрено выполнение четвертой работы задания "Проекционное черчение". Цель работы – изучить дополнительные и местные виды. Это еще два изображения, которые наряду с рассмотренными в предыдущих главах основными видами, разрезами и сечениями, применяются при выполнении чертежа.

11.1. Содержание работы

Дано: один из основных видов, ряд дополнительных и местных видов. Приведенные изображения однозначно определяют форму некоторой детали. Однако эту группу изображений еще нельзя в полной мере считать чертежом, поскольку не выполнены требования к его оформлению. Кроме того, заданная группа изображений обладает низкой наглядностью передачи пространственной формы детали.

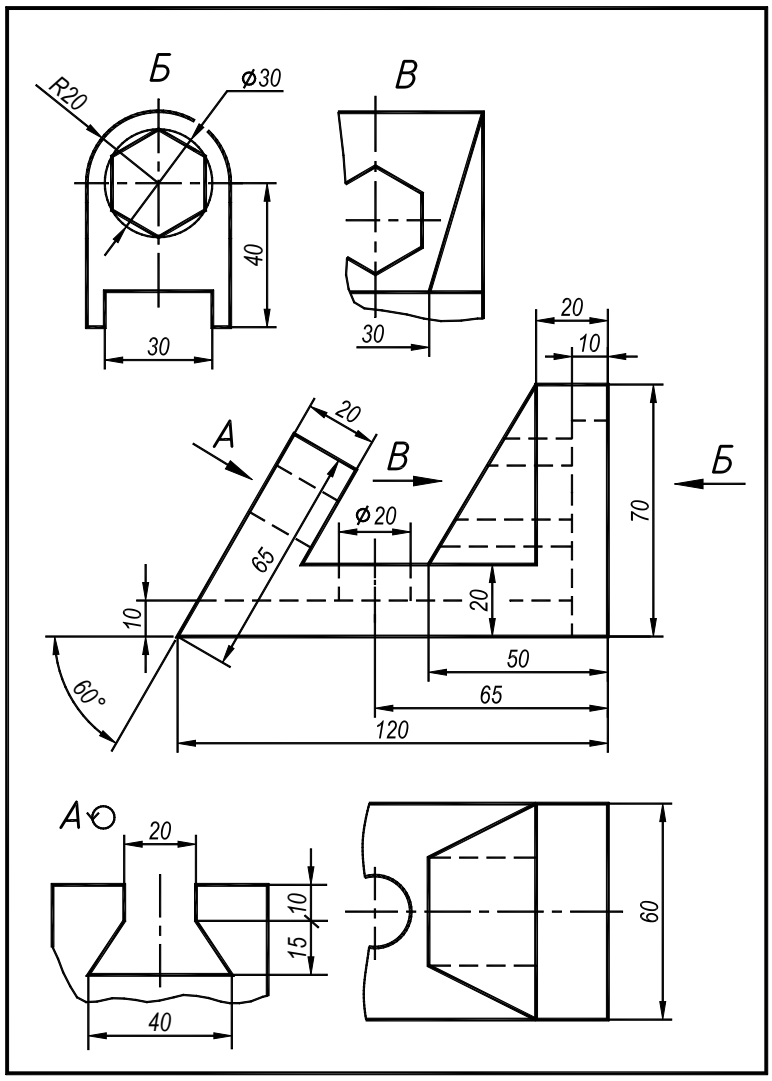


Рис. 11.1. Исходные данные работы "Дополнительные и местные виды"

Требуется по заданным изображениям, применив 3D-технологию, построить чертеж детали. Чертеж должен содержать:

1) виды спереди, сверху и слева с необходимыми разрезами – простыми, сложными, местными;

2) дополнительные и местные виды;

3) размеры и аксонометрическое изображение с разрезом;

4) чертеж оформить в соответствии с требованиями ЕСКД и вывести на печать.

На рис. 11.1 приведены исходные данные одного из вариантов задания, далее рассматриваемого в качестве примера. Данные содержат: вид спереди, часть очерка проекции вида сверху, дополнительный вид А, местные виды Б и В.

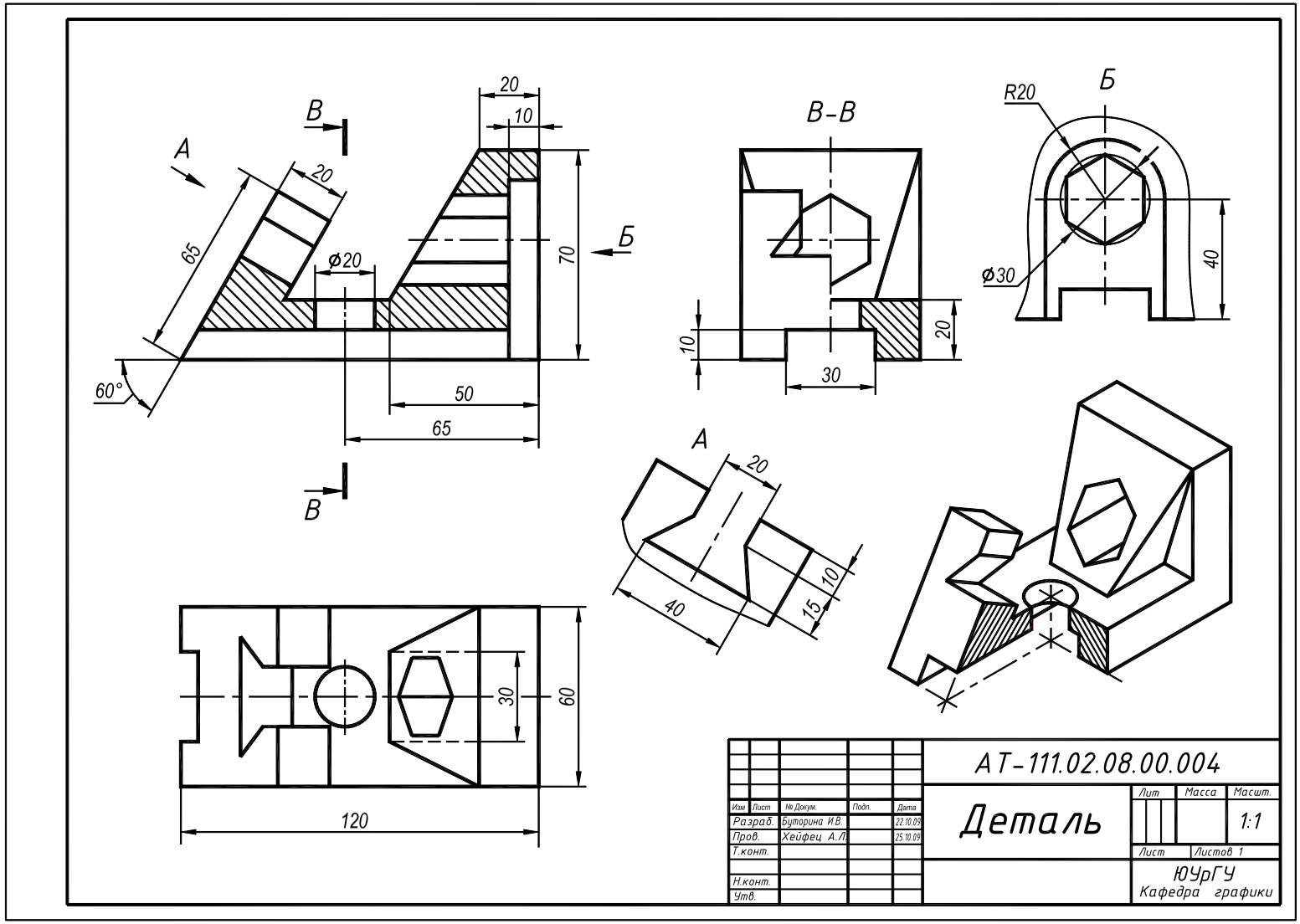


Рис. 11.2. Чертеж к заданию “ Дополнительные и местные виды”

Чертеж детали для рассматриваемого варианта приведен на рис. 11.2.

Чертёж содержит полный продольный фронтальный разрез на месте вида спереди, вид сверху, вид слева с половиной поперечного профильного разреза, дополнительный вид А и местный вид Б. Местный вид В, заданный в исходных данных (см. рис. 11.1), на чертеже вошел составной частью в изображение профильного разреза, поэтому необходимость в этом виде как отдельном изображении отпала. В то же время сохранилась необходимость в дополнительном виде А, так как только он позволяет без искажения передать форму паза. В отличие от рис. 11.1, вид А дан в соответствии с направлением проецирования на дополнительную плоскость, без поворота. Это повышает наглядность чертежа. Оставлен местный вид Б, необходимый для показа формы углубления в стойке. Для повышения наглядности он приведен с линией обрыва.

11.2. Назначение дополнительных и местных видов

Дополнительный вид – это изображение, полученное проецированием детали на плоскость, не параллельную основным плоскостям проекций. Необходимость в дополнительных видах возникает, если какой-либо элемент детали не может быть показан ни на одном из основных видов без искажения формы и размеров. В нашем примере таким элементом является сквозной паз на кронштейне, расположенном под углом 60° к плоскости основания. На рис. 11.3 показано, что только проецирование на дополнительную плоскость проекций П4, параллельную плоскости кронштейна, позволяет получить истинное изображение паза и наглядно проставить его размеры.

Дополнительному виду присваивают имя – очередная по чертежу буква русского алфавита. Направление проецирования (направление взгляда) указывают на чертеже стрелкой, над которой приводят имя вида. Размеры стрелок и шрифта те же, что при обозначении разрезов и сечений (см. рис. 3.1). Примером является обозначение дополнительного вида А на рис. 11.1 и 11.2.

Изображение дополнительного вида располагают на свободном месте чертежа, над изображением указывают имя вида. Изображение можно поворачивать, выравнивая относительно рамки чертежа, как на рис. 11.1, но рекомендуется выполнять его в проекционной связи с тем видом, на котором указано направление взгляда (см. рис. 11.2, 11.3). В случае поворота изображения, оно снабжается символом поворота. Вид может быть показан полностью или ограничен линией обрыва. На дополнительном виде допускается не показывать элементы, не относящиеся к фрагменту, ради которого этот вид выполнен. Так, на виде А не показаны элементы, расположенные за кронштейном.

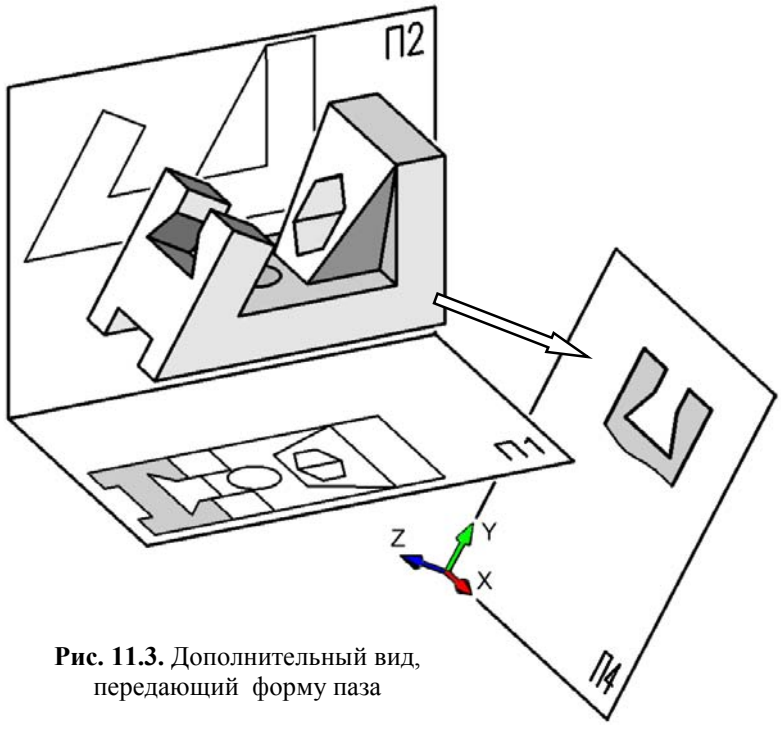


Рис. 11.3. Дополнительный вид, передающий форму паза

Местный вид – это изображение, содержащее часть одного из основных видов. Местный вид применяют для показа формы отдельных конструктивных элементов детали. Местный вид снабжается именем и обозначается также как дополнительный вид – стрелкой и надписью.

Примерами местных видов являются (см. рис. 11.1, 11.2): вид Б, определяющий форму углубления в стойке, и вид В, уточняющий форму усеченной призмы, примыкающей к стойке.

Местный вид может содержать лишь отображаемый элемент (см. вид Б), но, как правило, его ограничивают линией обрыва (см. вид В).

11.3. Построение модели

Модель выполняется в уже известной вам последовательности: анализ формы, выполнение предварительных настроек, создание элементов модели. Окончательное формирование модели осуществляется объединением, вычитанием или пересечением элементов.

Анализ формы

В соответствии с исходными данными задания (см. рис. 11.1) нужно сформировать образ детали, представив ее состоящей из элементов простой геометрической формы. Каждый элемент должен рассматриваться как solid-примитив AutoCAD'а.

Деталь (рис. 11.4) содержит основание *1*, включающее в себя горизонтальную плиту, вертикальную стойку и наклонный кронштейн, и призму *2*, примыкающую к стойке. В кронштейне выполнен паз *3* типа "ласточкин хвост". Снизу, вдоль всего основания, проходит продольный прямоугольный паз *4*. В стойке основания, справа, имеется арочная ниша *5*. В плите основания выполнено сквозное вертикальное цилиндрическое отверстие *6*. Через стойку основания и усеченную призму проходит сквозное горизонтальное шестигранное отверстие *7*, выходящее в арочную нишу.

- Создайте новый файл на основе прототипа *proto.dwt*, содержащего настройки для построения модели (см. разд. 6.3), или выполните полный объем настроек (см. разд. 3.3, 5.1) по созданию видовых окон на листе, заданию шага, ряда слоев, типов линий и т.д.

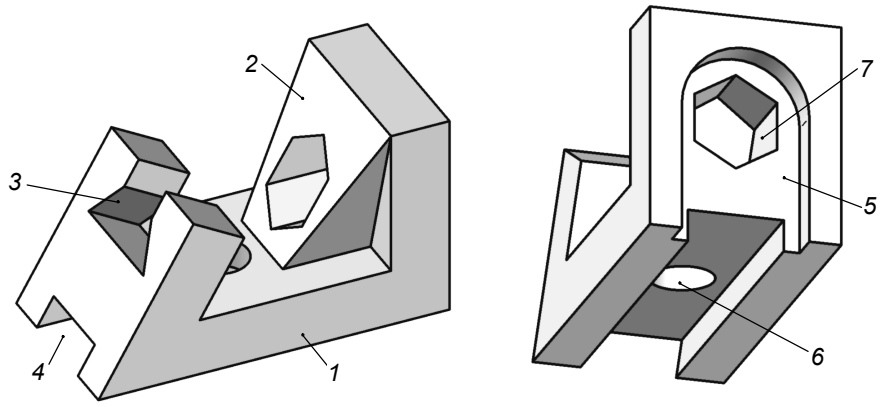


Рис. 11.4. Элементы модели

Основание

Основание получим выдавливанием контура (рис. 11.5). Учитывая, что элементы основания: плита, стойка и кронштейн – имеют одинаковую толщину, равную 20 мм, для построения контура применим команду **`OFFSET`** (Подобие):

- перейдите в окно вида спереди;
- **`pline`** / 65<60 / 0,0 / 120,0 / 120,70 – построена линия *a* (см. рис. 11.5, *a*).
- **`offset`** / 20 – величина смещения / укажите линию *a* / укажите любую точку в направлении смещения – построена линия *b*;
- замкните контур двумя отрезками, применив объектную привязку **Endpoint**;

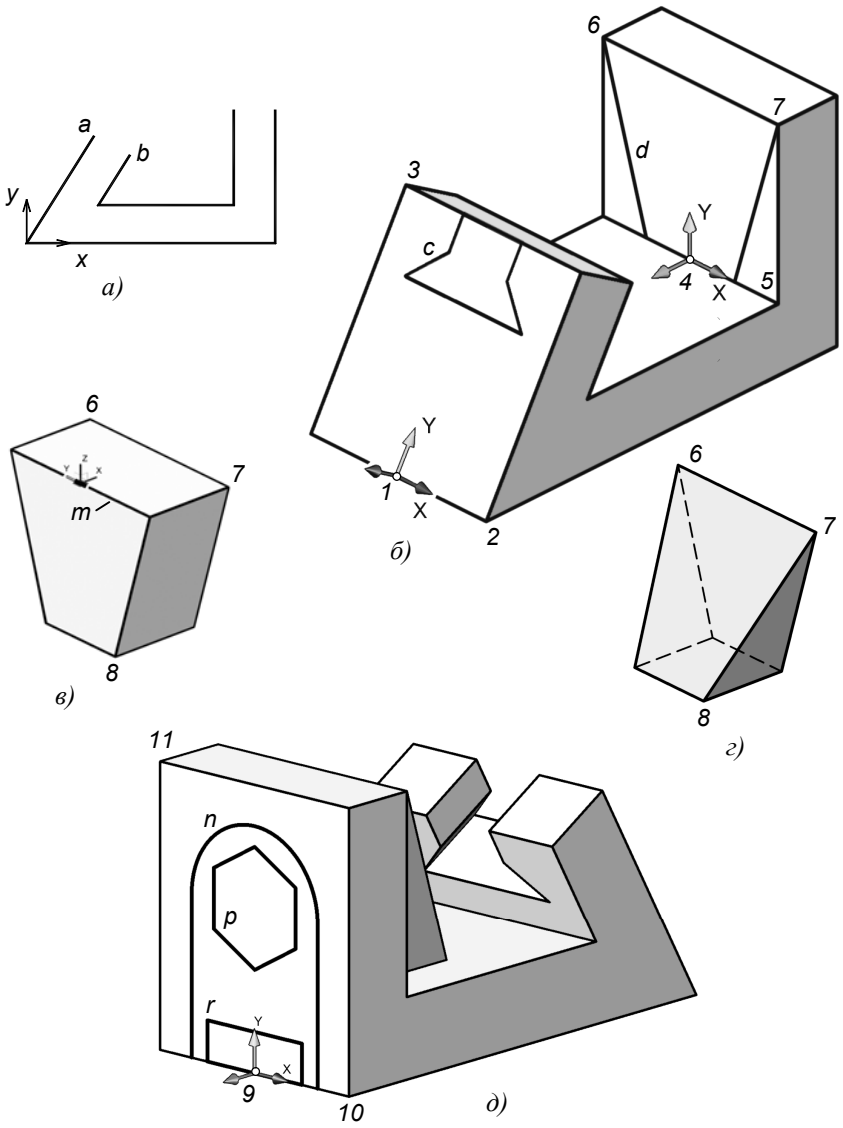


Рис. 11.5. Построение модели:
а – границы контура основания; *б* – контуры паза и призмы; *в, г* – построение усеченной призмы; *д* – контуры горизонтальных элементов

- **`presspull`** / укажите точку внутри контура / потяните мышь и задайте глубину –60.

  Основание построено (см. рис. 11.5, *б*).

Паз “ласточкин хвост”

Построим (см. рис. 11.5, *б*) на грани кронштейна контур паза, контур *с*, и вытянем его сквозь кронштейн:

- перейдите в окно аксонометрии.

Установите ПСК по наружной наклонной грани кронштейна:

- **`ucs`** / 3 / укажите с привязкой **Midpoint** (Средняя) точку *1* / укажите с привязкой **Endpoint** (Конечная) точки *2* и *3*;
- **`pline`** / 10,65 / 10,55 / 20,45 / – 20,45 / – 10,55 / – 10,65 / **`Cl`** – построен контур паза *с*;

- **presspull** / укажите точку внутри контура / переместите мышь и задайте глубину –30 / – сформирован паз **“**ласточкин хвост”.

Усеченная призма

Построим призму (см. рис. 11.5, *б*...*г*) выдавливанием трапеции, затем срежем часть призмы наклонной плоскостью и объединим призму с основанием:

- установите ПСК по внутренней грани стойки (см. рис. 11.5, *б*), указав точки *4*, *5*, *6*. Точку *4* укажите как середину ребра, точки *5* и *6* как конечные;
- **pline** / –15,0 / укажите с привязкой **Endpoint** точки *6* и *7* / 15,0 / **Cl** – построена трапеция, контур *d*.
- **extrude** / укажите трапецию / 30 .– получена призма с трапецией в основании (см. рис. 11.5, *в*).
- Для среза призмы можно предложить два варианта. Первый – применить команду **SLICE:**
- **slice** / укажите призму // укажите три точки секущей плоскости – точки *6*,*7*,*8* // укажите точку призмы со стороны, которую нужно оставить, например, точку *4*.

Второй вариант – переместить ребро *m* как подобъект призмы до совмещения с серединой ребра *6-7* (о редактировании на уровне подобъектов см. разд. 5.10):

- нажав клавишу <**Ctrl** >, укажите ребро *m* – в середине указанного ребра должна появиться прямоугольная ручка (см. рис. 11.5, *в*)**;**
- укажите ручку и переместите ее курсором – ребро перемещается вслед за ручкой;
- включите объектную привязку **Mid** и укажите середину ребра *6-7* – ребро *m* перемещено и заняло положение как на рис. 11.5, *г*.
- После построения призмы объедините ее (команда **UNION)** с остальной частью модели.

Горизонтальные элементы

Паз *4* (см. рис. 11.4), арку 5 и шестигранное отверстие *7* создадим вытягиванием контуров вдоль продольной горизонтальной оси модели. Контуры построим на правой наружной грани модели (см. рис. 11.5, *д*):

- в окне аксонометрии установите вид на правую грань модели;
- установите ПСК по трем точкам грани *9*, *10*, *11*. Точку *9* укажите как середину нижнего ребра, точки *10* и *11* как конечные;
- **rectang** / –15,0 / 15,10 – контур прямоугольного паза *r*;
- **polygon** / 6 / **Inscribed** …– вписанный в окружность / 15 – радиус;
- **rotate** / укажите шестиугольник / 0,40 – точка поворота / 90 – построен шестиугольник *p*;
- **pline** / 20,0 / 20,40 / A / -20,40 / L / -20,0 – контур арочной ниши *n*.

Применив команду **PRESSPULL**, вытягиваем контуры насквозь через основание:

- **presspull** / укажите точку внутри прямоугольника *r* / –130 / – получен продольный паз в нижней части основания модели;
- **presspull** / укажите точку внутри шестиугольника *p* / –60 / – получено призматическое отверстие сквозь стойку и призму;
- **presspull** / укажите точку внутри контура ниши *n* / –10 / – построена арочная ниша.

В завершение самостоятельно постройте в основании сквозное вертикальное отверстие ∅20 (см. рис. 11.4, поз. *6*).

11.4. Дополнительный вид

Особенность выполняемой работы – построение дополнительного вида, то есть вида на плоскость, не параллельную основным плоскостям проекций. В AutoCAD'е предусмотрена разнообразная техника построения таких видов. Приведем варианты построения дополнительного вида для solid-моделей на примере нашей детали, для которой требуется построить вид А (см. рис. 11.1, 11.2). Во всех вариантах возможно построение как линий только видимого контура (рис. 11.6, *б, в, г*), так и совместно с линиями невидимого контура (рис. 11.6, *д*). Изображения можно получать в проекционной связи (см. рис. 11.6, *б, в*) или с произвольным размещением в плоскости чертежа (см. рис. 11.6, *г, д*).

Применение команды *SECTIONPLANE*

Как правило, дополнительный вид предназначен для раскрытия формы одной из граней модели (наклонный фланец, паз). В нашем примере – это вид на грань паза "ласточкин хвост". В этом случае эффективно применение команды **`SECTIONPLANE`** с указанием точки грани, на которую строится вид (см. также разд. 9.5 "Указание грани"):

- в видовом окне установить направление взгляда, наглядно отображающего грань, истинный вид которой нужно построить (см. рис. 11.6, *а*);
- желательно установить один из стилей наглядной визуализации;
- **`sectionplane`** / укажите произвольную точку отображаемой грани, точка *A* – возникает объект-сечение ОС как линия сечения и прозрачная плоскость, совпадающая с указанной гранью;
- укажите ОС и за центральную ручку отодвиньте его от грани – это упростит настройку линий создаваемого изображения.

Строим изображение вида в соответствии с ОС. Для этого необходимо выполнить настройки линий изображения и сгенерировать его (см. разд. 8.4, 8.5):

- укажите ОС. По правой кнопке мыши вызовите контекстное меню;
- укажите в меню строку **Generate 2D/3D section** (Создать 2D/3Dсечение). В диалоговом окне, указав кнопку **Section Settings** (Настройки сечения), выполните настройки линий создаваемого изображения. Далее **Create** (Создать). На экране указываем точку вставки изображения. Согласимся со всеми предлагаемыми параметрами вставки.

В итоге получено изображение дополнительного вида, вставленное в плоскость XOY текущей ПСК (на рис. 11.6, *а* – в горизонтальную плоскость). Далее выполняем известные действия по редактированию изображения и размещению его в формате чертежа (см. разд. 8.4).

Если плоскость дополнительного вида является проецирующей, то есть вырождается в прямую линию на одну из основных плоскостей проекций, то можно построить объект-сечение по двум точкам вырожденной плоскости (см. рис. 11.6, *б,* точки *B, C*). При указании точек с объектной привязкой к модели, следует дополнительно применить координатный фильтр *.xy*:

- **`sectionplane`** / **`Draw section`** (Вычертить сечение) / укажите точки *B*, *C*, задающие секущую плоскость / укажите произвольную точку *D* в направлении вида – получена замкнутая линия ОС;
- выполните настройки линий и сгенерируйте изображение.

Совместив линию ОС с гранью и отключив в настройках линии заднего плана, можно получить изображение как отпечаток грани. Дополнительно установив ПСК осью X вдоль грани, получим изображение в направлении проецирования на дополнительную плоскость.

Применение команд *SOLVIEW* + *SOLDRAW*

Применение указанных команд для построения видов и разрезов подробно рассмотрено в разд. 7.4, 7.5. Для создания дополнительного вида, если его плоскость является проецирующей, команды применяют с опцией **Auxiliary** (Дополнительный):

- **`solview`** / **`a`** (опция **Auxiliary**) / укажите с объектной привязкой **Endpoint** точки *1* и *2* (рис.

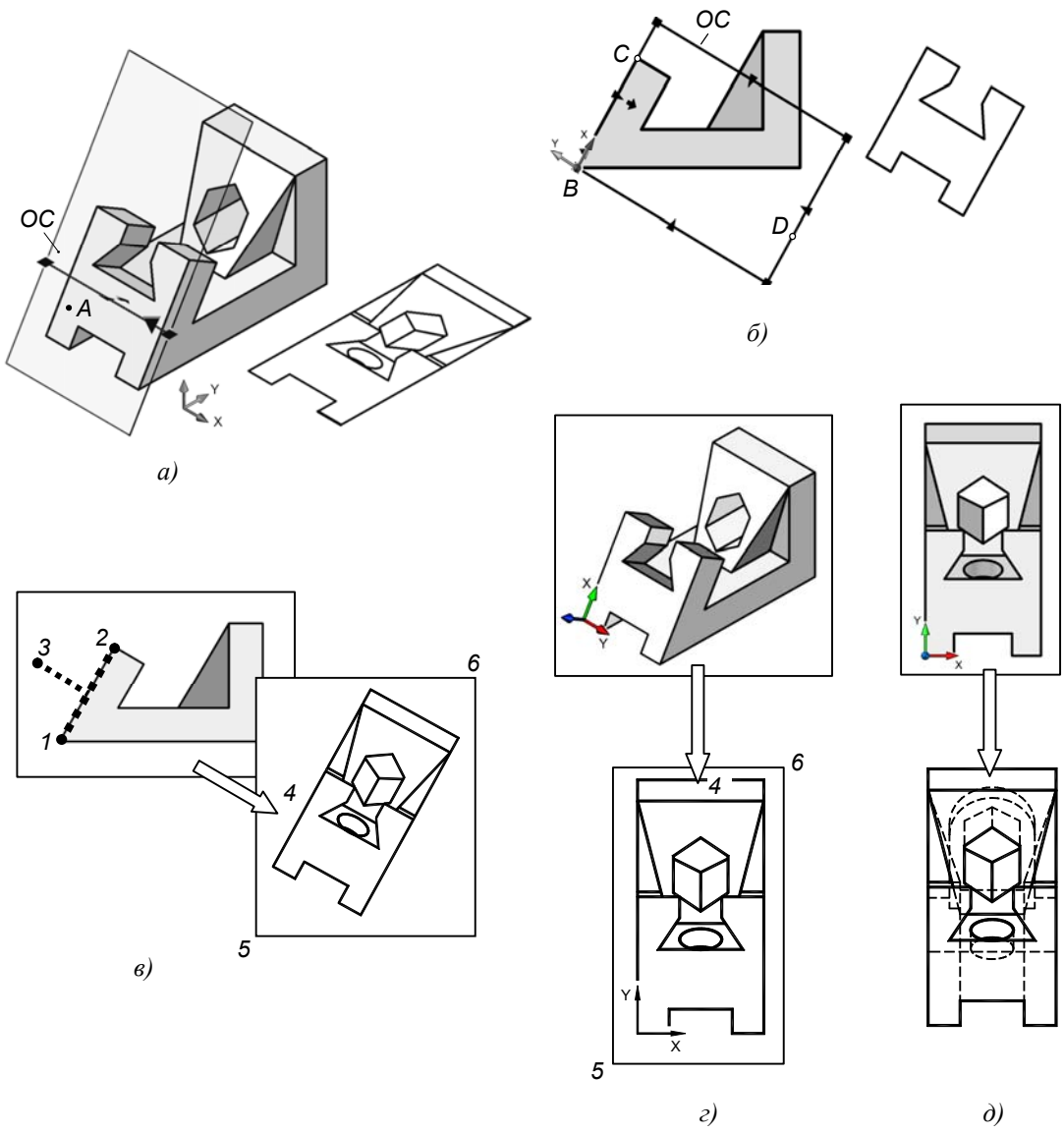


Рис. 11.6. Варианты построения дополнительного вида:
а, б – команда **SECTIONPLANE**; *в, г* – команды **SOLVIEW, SOLDRAW**;
в – команды **FLATSHOT**, **SOLPROF**,

11.6, *в*) / укажите точку *3*, определяющую направление проецирования / задайте масштаб вида равным 1 / задайте точку *4* как центр нового окна // укажите углы видового окна – точки 5, *б* / задайте имя вида, например, dv;

- **soldraw** \ укажите созданное видовое окно.

Если плоскость дополнительного вида не проецирующая, то можно установить направление взгляда, при котором она будет проецирующей и повторить построения с опцией **Auxiliary**. Но возможен другой вариант (рис. 11.6, *г*). Нужно установить ПСК по плоскости дополнительного вида или по грани, для которой вид создается и применить команду **SOLVIEW** с опцией **Ucs/ Current (ПСК / Текущая).**

Установить ПСК по грани можно по трем ее точкам командой **UCS/3,** либо командой **UCS** с опцией **Face** (**ПСК/Грань**).

Применение команд *FLATSHOT* и *SOLPROF*

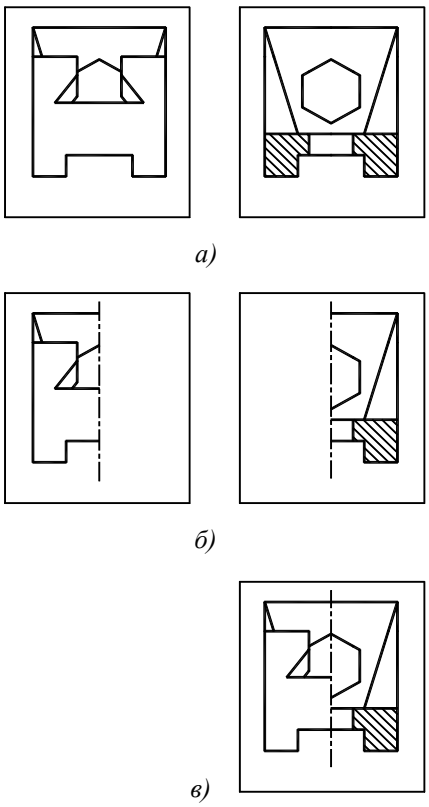


Рис. 11.7. Совмещение изображений видовых окон: *а* – исходные изображения; *б* – подготовленные изображения; *в* – итоговое изображение

Для применения указанных команд необходимо в видовом окне предварительно установить направление взгляда по направлению создаваемого дополнительного вида (см. рис. 11.6, *д*). Это можно сделать установить ПСК по грани, для которой создается дополнительный вид, затем применить команду **PLAN** с опцией **Current** (**ПЛАН / Текущая ПСК**). Далее применяем одну из команд **FLATSHOT** (см. разд. 8.1) или **SOLPROF** (см. разд. 9.4).

11.5. Оконный вариант построения чертежа

Как сказано в разд. 4.4. возможны четыре варианта формирования чертежа из предварительно созданных проекций: в пространстве модели, оконный, вынос проекций на лист, комбинированный. Один из них, “на лист”, нами рекомендован для выполнения рассмотренных выше заданий. Вынос на лист позволяет завершать работу над чертежом в едином пространстве, что упрощает простановку размеров и компоновку чертежа. Однако вынос на лист требует дополнительных затрат времени на вынос изображений из пространства модели на лист.

Рекомендуем в данном задании выполнить чертеж в оконном варианте, в котором все проекции остаются в видовых окнах (см. разд. 4.4. “Оконный вариант масштабирования”). Там же, в окнах, будем проставлять размеры. Желающие могут опробовать близкий к оконному комбинированный вариант (см. разд. 4.4. “Комбинированный вариант”), в котором проекции остаются в видовых окнах, а размеры проставляют на листе, поверх окон. Итак, реализуем оконный вариант завершения чертежа.

Построение проекций

Все проекции, образующие чертеж, выполняем в видовых окнах и оставляем их там, не вынося на лист. Техника построения проекций в видовых окнах подробно изложена в предыдущих разделах (см. например, разд. 9.5).

Для тех, кто применяет команды **SOLVIEW + SOLDRAW**, рассмотрим особенность оконного построения комбинированных изображений, совмещающих вид и разрез. Примером комбинированного изображения является совмещение половины вида слева с половиной профильного разреза для выполняемого чертежа (рис. 11.7):

- подготовьте видовые окна (рис. 11.7, *а*)**.** Пусть окно вида имеет имя *left*. Заморозьте в них слои, содержащие линии невидимого контура – это слои с суффиксом HID. Напомним, что эти слои были созданы командой **SOLDRAW** при формировании проекций и разрезов;
- создайте вспомогательный слой и сделайте его текущим. В одном из окон начертите осевую линию, отделяющую половину вида от половины разреза. Линию стройте с применением объектной привязки. Построенная в одном окне, линия появляется во всех окнах;
- в окне вида удалите или обрежьте линии, расположенные справа от оси. Перейдите в окно профильного разреза и удалите или обрежьте линии, расположенные слева от оси (см. рис. 11.7, *б*). Штриховку придется стереть и позднее выполнить заново;

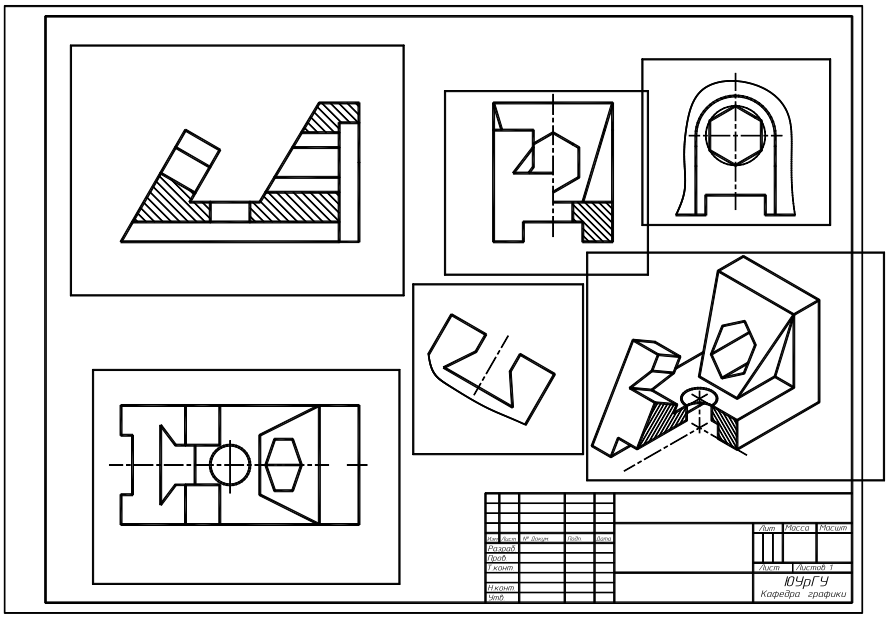


Рис. 11.8. Компоновка чертежа в оконном варианте

- возьмите за основу одно из окон, например, окно разреза. Перейдите в это окно. Разморозьте в нем слой, на котором находятся линии видимого контура окна вида – это слой *left*-VIS. Данный слой при его создании командой **SOLDRAW** был избирательно заморожен во всех окнах, кроме окна вида слева.

В итоге, изображения вида и разреза совмещены в окне разреза (см. рис. 11.7, *в*). Окно *left* вида слева можно удалить командой **ERASE**, указав рамку этого окна. Изображение следует доработать, восстановив штриховку, выделив ребра жесткости и т.д. (см. разд. 7.6).

Компоновка чертежа. Проекционная связь между окнами

Компоновка в оконном варианте начинается с размещения видовых окон внутри рамки чертежа. Корректируется масштаб изображений. Затем устанавливается проекционная связь между изображениями видовых окон.

- Перейдите в пространство листа. Загрузите файл, содержащий рамку требуемого формата и основную надпись ("штамп"). В нашем примере потребуется формат А3.
- Командой **MOVE** перемещайте и компонуйте видовые окна с их содержимым внутри рамки чертежа. Рамки окон могут пересекаться, окна – частично накладываться одно на другое (рис. 11.8).

Для установления проекционной связи применим команду **MVSETUP**. Она автоматически устанавливает проекционную связь между изображениями различных видовых окон. Поскольку проекционная связь между изображениями возможна при равном масштабе изображений, то сначала командой **MVSETUP** установим одинаковый масштаб в видовых окнах. В нашем примере зададим масштаб 1:1. Затем установим вертикальную (между видами спереди и сверху) и горизонтальную (между видами спереди и слева) проекционную связь. Устанавливаем масштаб:

- **mvsetup** / **Scale** / укажите рамки видовых окон спереди, сверху, слева / **Uniform (Общий)** / 1 / 1 – в окнах установлен равный масштаб изображений.

Не прерывая команды, установим *вертикальную* проекционную связь:

- … **Aling (Выровняй)** / **Vertical (Вертикально)** / активизируйте окно вида спереди / с объектной привязкой укажите крайнюю левую точку вида спереди / перейдите в окно вида сверху / с объектной привязкой укажите крайнюю левую точку вида сверху.

Продолжаем команду **MVSETUP** и устанавливаем *горизонтальную* связь:

- **Horizontal (Горизонтально)** / вновь активизируйте окно вида спереди / с объектной привязкой укажите крайнюю нижнюю точку вида спереди / перейдите в окно вида слева / с объектной привязкой укажите крайнюю нижнюю точку вида слева //.

Дальнейшие перемещения видовых окон при корректировке их положения на чертеже следует выполнять в режиме **ORTHO**, чтобы не нарушить установленную проекционную связь.

Масштабирование проекций и блокировка окна

В рассмотренных выше примерах все чертежи выполнены в масштабе 1:1. Но может потребоваться и другое значение масштаба всего чертежа или его отдельных изображений. При выносе проекций на лист масштабирование выполняется командой **SCALE**, которая приводит к действительному изменению размеров масштабируемого изображения.

В оконном варианте масштабирование заключается в изменении масштаба отображения проекции из пространства модели в пространство листа (см. разд. 3.6 “Открытие видового окна, масштаб и блокировка окна”). При этом размеры объектов в пространстве модели остаются неизменными (истинными).

После задания масштаба отображения и выполнения других настроек изображение в каждом окне следует заблокировать, не допуская случайного на него воздействия, то есть применения внутри окна команд **ZOOM** и **PAN**.

Простановка размеров

В оконном варианте формирования чертежа размеры проставляют в пространстве модели, то есть внутри каждого видового окна. Если размеры не помещаются в рамке окна, то нужно перейти на лист и “ручками” раздвинуть рамку в нужном направлении. Размеры, проставленные в окне, перемещаются вместе с окном, что облегчает компоновку и корректировку чертежа. Подробнее о простановке размеров, а также об особенностях штриховки в оконном варианте см. разд. 4.4 “Оконный вариант масштабирования”.

Особенность построения аксонометрии

Оконный вариант построения аксонометрии проще, чем рассмотренный ранее вариант построения плоского изображения и выноса его на лист. В оконном варианте аксонометрическую проекцию на чертеже получим как прямое отображение пространственной модели из видового окна аксонометрии.

В оконном варианте штриховка разрезов выполняется непосредственно на гранях модели в истинных размерах, то есть для металла угол задается 45 или -45, шаг 2…3 мм. Нет необходимости в геометрических построениях по определению угла и шага штриховки при ее проецировании на плоскость чертежа (см., например, рис. 7.10). При выборе оптимальной точки зрения орбитой учитывается и восприятие штриховки, которая вращается вместе с моделью.

Последовательность построения аксонометрии в оконном варианте следующая.

В solid-модели выполните объемные разрезы, выявляющие ее внутренние элементы. Это можно сделать либо командой **SLICE**, либо командой **SECTIONPLANE** с созданием 3D-блока и последующим его расчленением до образования solid-модели. На гранях solid-модели нанесите штриховку сечений. Если для построения разреза была применена команда **SECTIONPLANE**, то для выполнения штриховки достаточно настроить параметры заливки сечений.

Если разрез формируется командой **SLISE**, то штриховку необходимо построить самим. Для этого:

- включите в окне аксонометрии стиль визуализации **3D Hidden**;
- установите вид, наглядно отображающий грани, подлежащие штриховке;
- **ucs / fa** (опция **Грань**) укажите точку грани или **ucs / 3** укажите с объектной привязкой три точки грани – система координат установлена в плоскости грани, подлежащей штриховке;
- **bhatch (КШТРИХ)** / выполните штриховку грани, тип штриховки – как для металла.

Возможно, понадобится отредактировать штриховку, обеспечив ее встречное направление на пересекающихся гранях. Для этого угол штриховки одной из граней изменяют с 45 на -45. Если грани разреза пересекаются, желательно совместить линии штриховки в месте их состыковки. Это также выполняется редактированием штриховки командой **BHATCH**.

Следует построить осевые линии модели как пространственные отрезки типом линии *Center* или другой штрихпунктирной линией. Далее:

- линиям solid-модели придайте толщину (Вес) 0.7…1 мм. Линиям штриховки и осевым линиям – толщину 0.3…0.4 мм. Включите отображение толщины;
- осмотрите модель орбитой. Убедитесь, что штриховка и осевые линии вращаются вместе с моделью.

На рис. 11.9 показан вариант модели с двумя объемными разрезами. Оба получены командой **SECTIONPLANE.** Первоначально создан ближний разрез. Из него создан 3D блок, блок взорван – получено тело, для которого создан второй разрез. Выполнена штриховка граней и построены осевые линии.

Рассмотрите изображение своей модели с разрезом, штриховкой и осями в режиме **3D Hidden** – не все линии имеют присвоенную им толщину. В полной мере толщина линий в режиме скрытия невидимых линий отображается при выводе чертежа на печать.

Для вывода на печать с удалением невидимых линий и отображением присвоенной толщины видовое окно нужно подготовить:

- выйдите на лист, укажите рамку видового окна аксонометрии, выполните правый клик, в возникшем контекстном меню найдите и укажите строку **Shade plot** (Визуализация при печати) и далее строку **Hidden** (Скрытие линий).

Возможен другой вариант – применение команды **–VPORTS** с опцией **Hideplot**. Обратите внимание на дефис перед именем команды. Он необходим, чтобы подавить вывод диалогового окна, в котором требуемая опция не предусмотрена:

- **–vports** (**–ВЭКРАН**) / **Hideplot** (Подавление скрытых линий при печати) / **On** (Вкл) / укажите рамку видового окна – окно подготовлено.

Выполненную настройку следует проверить:

- **plot** (меню **File / Plot) /** выполните настройки для вывода чертежа на печать (см. разд. 3.8) / укажите кнопку **PREVIEW** – на экране возникло изображение чертежа в том виде, в каком он будет распечатан.

Завершение чертежа

Последовательность действий по завершению чертежа та же, что и в предыдущих заданиях (см., например, разд. 4.6). Отметим лишь некоторые особенности выполняемого задания.

Редактирование дополнительных и местных видов.

В окне дополнительного вида следует удалить линии, не относящиеся к элементу, ради которого выполнено проецирование на дополнительную плоскость. В окне местного вида также следует удалить лишние элементы и линии. Для замыкания контура и наглядности рекомендуется применять линии обрыва. Их построение рассмотрено в разд. 3.5 при создании частичных и местных разрезов.

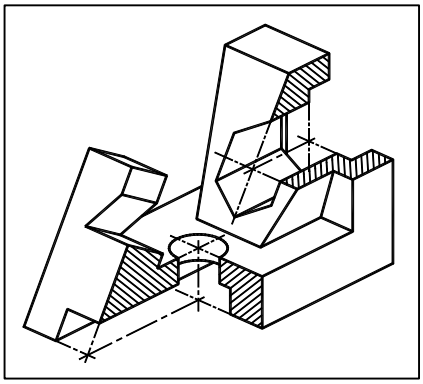


Рис. 11.9. Оконный вариант построения аксонометрии

Удаление рамок видовых окон

После завершения компоновки рамки видовых окон необходимо скрыть. Для этого нужно рамки поместить на отдельный слой, который следует заморозить.

Рамки видовых окон, сформированных командой **SOLVIEW**, автоматически помещаются на слой VPORTS. На этот же слой можно перенести рамку окна аксонометрии или других окон, рамки которых следует скрыть. За-

тем указанный слой заморозить в пространстве листа. Напомним, что перемещение рамки окна на другой слой выполняется командой редактирования свойств **PROPERTIES** или через панель инструментов **Layers** (Слои).

При скрытых рамках в полной мере сохраняется возможность работы внутри окон. Однако становится невозможным перемещение окон.

Выполнение надписей

Рамку и штамп (основную надпись) выполняют в пространстве листа, то есть вставляют из специальных файлов как блоки на лист. Технические требования выполняют также на листе. Другие надписи, например, изображения секущих плоскостей, названия видов могут быть выполнены как на листе, так и пространстве модели.

Часть 3. 3D-модели резьбы, зубчатых и червячных передач

Глава 12. Резьбовые изделия и соединения

Рассмотрим 3D-модели основных резьбовых изделий – это болты, гайки, винты, шайбы, шпильки. На их основе построим модели резьбовых соединений, применяемых в машиностроительных узлах.

При создании 3D-моделей резьбу показывают условно, тонкой линией вдоль контура детали, как на чертежах. Мы покажем, что в AutoCAD'е может быть успешно построена объемная точная модель резьбы и рассмотрим примеры ее создания. Такая модель позволяет студенту понять геометрию резьбы и технологию ее выполнения.

При построении машиностроительных узлов с резьбовыми соединениями мы рекомендуем первоначально построить упрощенные 3D-модели без резьбы. Затем перейти к реальным моделям, то есть нанести резьбу, существенно повысив наглядность узла и рейтинг своей учебной работы.

12.1. 3D-модели резьбовых изделий

Построим упрощенные, то есть без резьбы, модели наиболее распространенных резьбовых изделий: болта, гайки и винта, а также модели шайб. Модели еще нескольких стандартных крепежных изделий приведены в разд. 19 и 21. Размеры изделий возьмем из справочной литературы [2, 9].

Модель болта

В качестве примера рассмотрим модель болта М16×65 ГОСТ 7798–70. Построение модели начнем с головки, которая представляет собой шестигранную призму, затем добавим к ней цилиндрическую часть болта – стержень (рис. 12.1, *а*). Далее выполним коническую фаску на головке и объединим головку со стержнем (см. рис. 12.1, *б, в*). Применив команды редактирования, создадим скругление под головкой и фаску на стержне (см. рис. 12.1, *г*). Построения рекомендуется производить в МСК в окне аксонометрии, остальные окна использовать для контроля:

- **`polygon`** / 6 / 0,0 / c / 12 / – построен шестиугольник с размером "под ключ" S = 24 мм;
- **`extrude`** / укажите шестиугольник / –10 / – построена призма высотой 10 мм (высота головки болта);
- **`cylinder`** / 0,0, –10 / **`D`** / 16 / –65 / – построена цилиндрическая часть болта (см. рис. 12.1, *а*);
- **`circle`** / 0,0 / **`D`** / 22.8 / – окружность верхнего основания усеченного конуса (диаметр фаски D = 0.95·S);
- **`extrude`** / укажите окружность / ***`Taper angle`*** / –60 – угол выдавливания / –10 / – построен усеченный конус для фаски (см. рис. 12.1, *б*);
- **`intersect`** / укажите призму и конус / – построена головка болта с фаской (см. рис. 12.1, *в*);
- **`union`** / укажите головку и стержень / – объединены стержень и головка болта;
- **`chamfer`** / укажите ребро нижнего основания стержня / два раза задайте длину – 2 / снова укажите то же ребро / – создана фаска 2×45° на конце стержня;

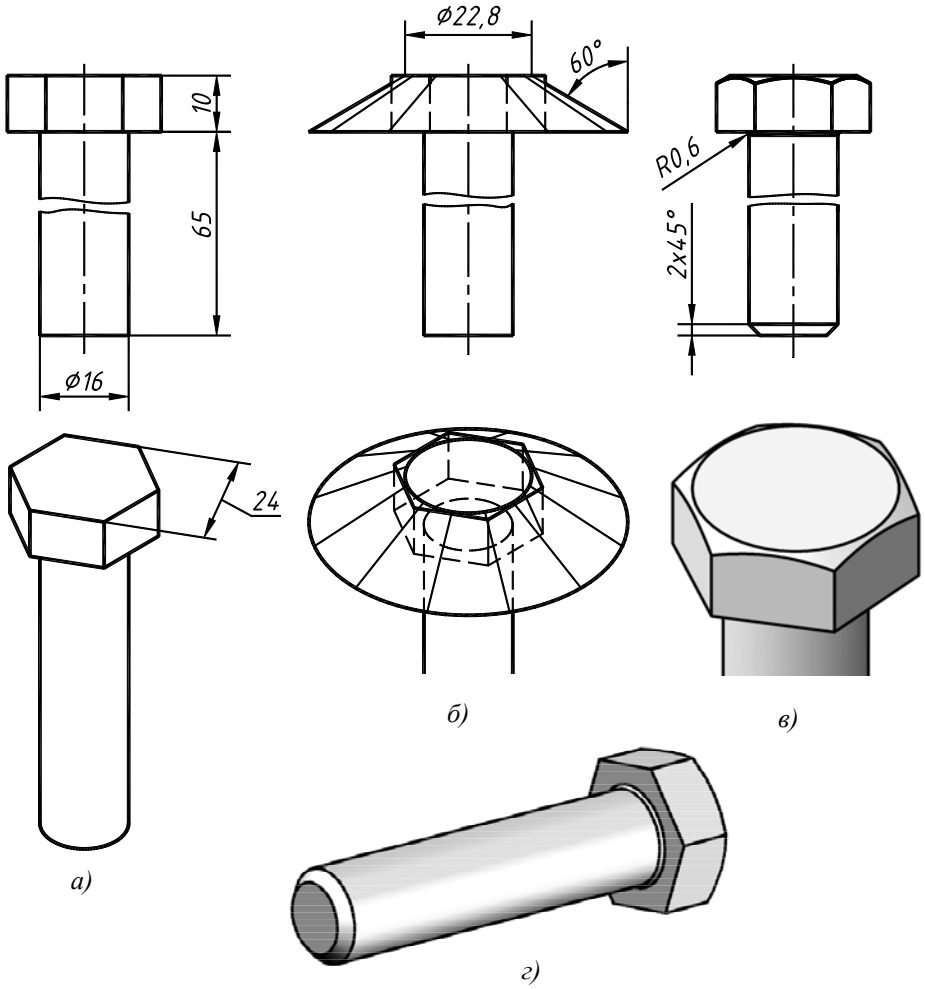


Рис. 12.1. Последовательность выполнения упрощенной модели болта: *а* – построение призматической головки и стержня болта; *б, в* – создание фаски на головке болта; *г* – модель болта.

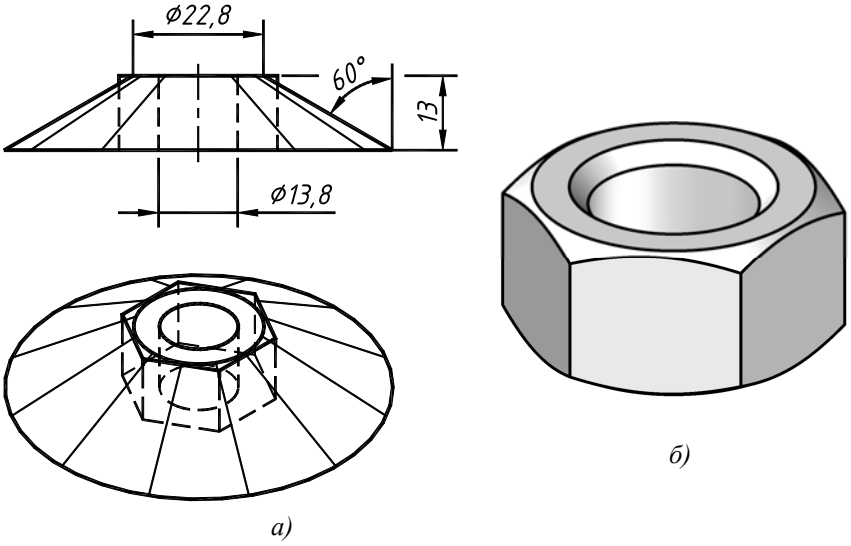


Рис. 12.2. Последовательность выполнения модели гайки: *а* – построение призмы и конуса для наружной фаски; *б* – модель гайки.

- **fillet** / укажите ребро под головкой / задайте радиус сопряжения 0.6 / снова укажите то же ребро / выполнено сопряжение головки болта со стержнем радиусом 0.6 мм (см. рис. 12.1, *г*).

Модель гайки

Гайка М16 ГОСТ 5915–70, рассматриваемая в качестве примера, высотой 13 мм, имеет две наружные конические фаски. Строим шестиугольную призму высотой 13 мм и усеченный конус, применяя те же команды, что и при построении модели головки болта (рис. 12.2, *а*). Затем, перейдя в окно вида спереди, командой **MIRROR**, указав в качестве оси отражения середины боковых ребер призмы, создаем второй усеченный конус, симметричный первому. Выполнив команду **INTERSECT**, построим две наружные фаски. Для создания отверстия в гайке на верхнем основании призмы построим окружность, равную внутреннему диаметру резьбы – 13.8 мм. Командой **PRESSPULL** (**ВЫТЯГИВАНИЕ**), указав область внутри окружности и направление вытягивания через гайку, смоделируем отверстие под резьбу. Построив командой **FILLET** две фаски 2×45° в отверстии, получим упрощенную модель гайки (см. рис. 12.2, *б*).

Модель винта

Построим модель винта с потайной (конической) головкой М12×25 ГОСТ 17475–80. Построение начнем с вычерчивания его плоского контура (рис. 12.3, *а*) по размерам, взятым из указанного стандарта. Выполним также прямоугольный контур паза под отвертку (“шлицевой паз”). Командой **REGION** преобразуем контуры в области. Далее командой **REVOLVE**, вращая контур винта вокруг его оси, создаем модель винта как тело вращения. Командой **EXTRUDE** контур “шлица” вытягиваем в параллелепипед. Применив команду **SUBTRACT**, вычитаем параллелепипед из головки винта – получаем модель винта (см. рис. 12.3, *б*).

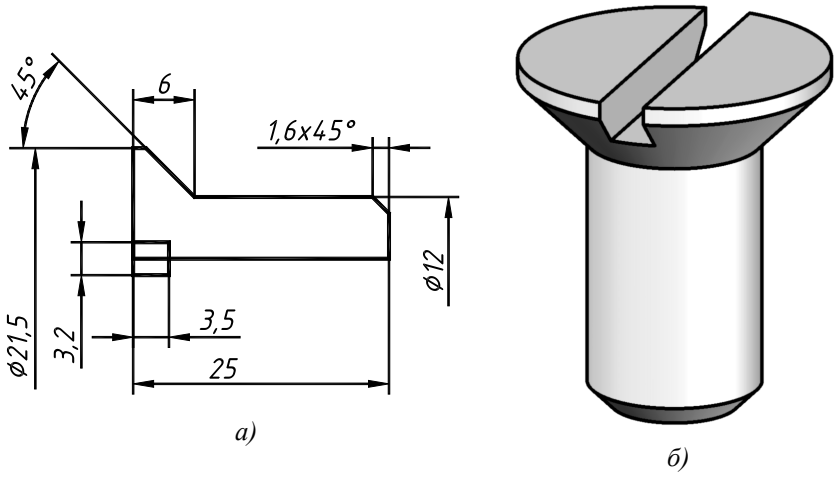
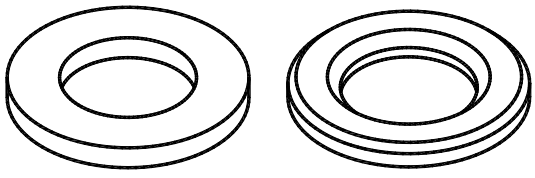


Рис. 12.3. Построение модели винта:
а – плоский контур винта и шлица; *б* – модель винта

Модели шайб

Шайбу подкладывают под гайку, головку болта или винта. Для моделей круглых шайб достаточно построить две концентрические окружности, затем вытянуть кольцо командой **PRESSPULL** на толщину шайбы – получим шайбу первого исполнения (рис. 12.4, *а*). Для шайб исполнения 2 (см. рис. 12.4, *б*) необходимо со стороны, обращенной к гайке, выполнить наружную и внутреннюю фаски. Фаски выполняют командой **CHAMFER**. Размеры шайб определяются диаметром резьбового стержня. Например, для резьбы М16 внутренний диаметр шайбы по



а) *б)*

Рис. 12.4. Шайбы нормальные:
а – исполнение 1; *б* – исполнение 2

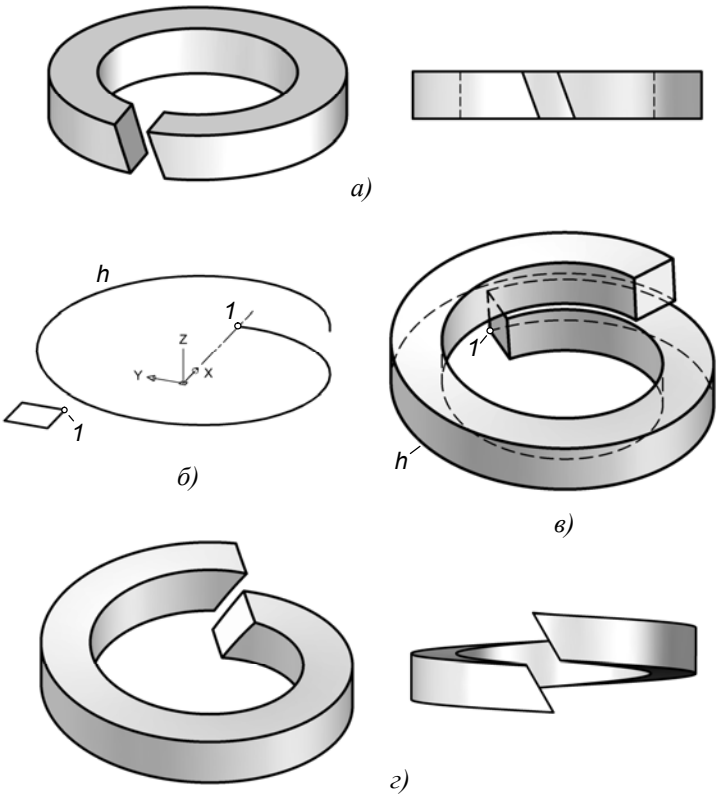
ГОСТ 11371–78 равен 17 мм, наружный – 30 мм, толщина шайбы – 3 мм (см. рис. 12.4, *а*). Фаска отверстия – 1.6×45°, наружной кромки – 1×45° (см. рис. 12.4, *б*).

Пружинные шайбы (рис. 12.5) представляют собой один виток пружины с острыми кромками, которые врезаются с одной стороны в гайку, головку болта или винта, с другой – в деталь и препятствуют отворачиванию. На моделях узлов и чертежах такие шайбы показывают в рабочем сжатом состоянии как цилиндрическое кольцо с наклонной прорезью (см. рис. 12.5, *а*). Прорезь в 3D-модели выполняют командой **SLICE** (**РАЗРЕЗ**). Построение прорези рассмотрено ниже для модели шайбы в свободном состоянии.

С учебной целью рекомендуем построить пружинную шайбу в свободном состоянии. Последовательность моделирования следующая. Сначала построим направляющую кривую – гелису *h*, длину которой зададим с запасом на 20%, затем на свободном месте построим сечение шайбы (см. рис. 12.5, *б*). Сечение сдвинем по гелисе, задав точку *1* в качестве базовой (см. рис. 12.5, *б*). В образовавшейся заготовке выполним наклонную прорезь. При построении модели следует задать направление гелисы и прорези, при которых шайба препятствует отворачиванию гайки.

В качестве примера рассмотрим пружинную шайбу для резьбы М16 по ГОСТ 6402–70 нормального исполнения:

- перейдите в окно аксонометрии. Включите режим **ORTHO**. Установите МСК;



а) *б)* *в)* *г)*

Рис. 12.5. Модель пружинной шайбы:
а – шайба в рабочем состоянии;
б – гелиса и прямоугольник; *в* – заготовка;
г – выполнение прорези;

- **helix** / 0,0 – точка центра / переместить курсор в направлении оси X / **D** – диаметр начальный / 24.3 // **W** – опция tWist / **CW** – по часовой стрелке / **Turns** – число витков / 1.2 / **turnHeight** – высота витка / 4.6 / – построена гелиса *h*;
- **rectang** / указать точку в горизонтальной плоскости на свободном месте / @4,4 / – построен квадрат поперечного сечения шайбы;
- **sweep** / указать квадрат / **B** – задание базовой точки / указать точку *1* / указать гелису как траекторию / – построена заготовка шайбы.

Выполняем наклонную прорезь:

- **ucs** / **x** / 120 – поворот ПСК вокруг оси X в положение режущей плоскости;
- **slice** / указать заготовку шайбы / **XY** / 0,0 / **Both** – оставить обе части
- **slice** / указать правую часть заготовки / **XY** / 0,0, –2.8 / **Both**.

Модель разрезана на три части,

средняя и правая части состоят из нескольких сегментов, некоторые из них нужно удалить. Отделяем сегменты, удаляем лишние и объединяем оставшиеся:

- **solidedit** / **body** / **separate** / указать правую часть / – произошло разделение тел;
- **solidedit** / **body** / **separate** / указать среднюю часть;
- **erase** / указать сегменты, подлежащие удалению;
- **union** / указать оставшиеся части / шайба построена.

12.2. Модель резьбы

Построение объемной реалистичной модели резьбы выполняется с учебной целью и предназначено для придания наглядности модели и понимания формы и технологии ее нарезания.

Геликоиды

Резьба образуется при винтовом перемещении ее профиля. Профиль – плоская фигура. В зависимости от типа резьбы профилем может быть прямоугольник, треугольник, трапеция, окружность. Траектория перемещения – винтовая линия, гелиса. Для профилей – многоугольников рабочей поверхностью резьбы является прямой или наклонный геликоид.

Прямой геликоид (рис. 12.6, *а*) возникает, если отрезок *m* скользит по гелисе *h* и пересекает ось *i* гелисы под прямым углом. Эта поверхность является рабочей поверхностью прямоугольной резьбы (см. рис. 12.6, *б*), содержащей верхний *H* и нижний *H ′* прямые геликоиды.

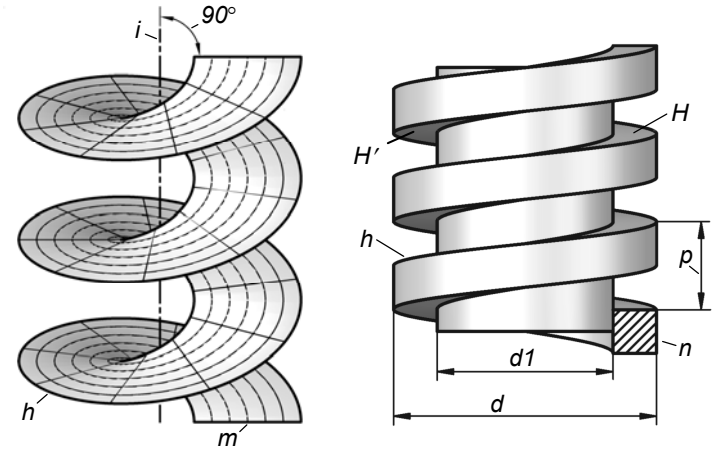


Рис. 12.6. Прямой геликоид (*а*) и прямоугольная резьба (*б*)

Построить наглядную модель прямого геликоида можно следующим образом. Командой **HELIX** строим три витка цилиндрической гелисы с радиусом 40 мм и высотой витка также 40 мм. Из начальной точки гелисы опускаем перпендикуляр *m* на ее ось *i*. Чтобы избежать самопересечения поверхности, недопустимого для применяемых далее команд **SWEEP** и **THICKEN**, а также повысить качество наглядной визуализации, перпендикуляр *m* необходимо "подрезать" у оси гелисы на δ= 0.1…10 мм (команды **TRIM**, **BREAK**). Для приведенных моделей (см. рис. 12.6, *а* и 12.7, *а, б*) принято δ=8 мм. Далее применяем команду **SWEEP** (**СДВИГ**) с опцией **Align / No** (Не выравнивать), указав в качестве объекта сдвига отрезок *m* и направление сдвига – гелису *h*.

Возникшую после сдвига сетевую поверхность командой **THICKEN** преобразуем в solid-объект, задав поверхности толщину 0.001…0.1 мм.

Наклонный (Архимедов) геликоид (см. рис. 12.7, *а, б*) образуется, когда отрезок *m*, скользя по гелисе *h*, пересекает ее ось *i* под углом $\alpha \neq 90°$. Последовательность построения модели наклонного геликоида та же, что прямого. Для модели наиболее распространенной метрической резьбы (см. рис. 12.7, *в*) следует задать значение угла $\alpha=60°$. Наклонный геликоид – рабочая поверхность резьб треугольного и трапецеидального профиля, например, геликоиды *H* и *H ′*. Он же является рабочей поверхностью Архимедова червяка (см. разд. 16.1).

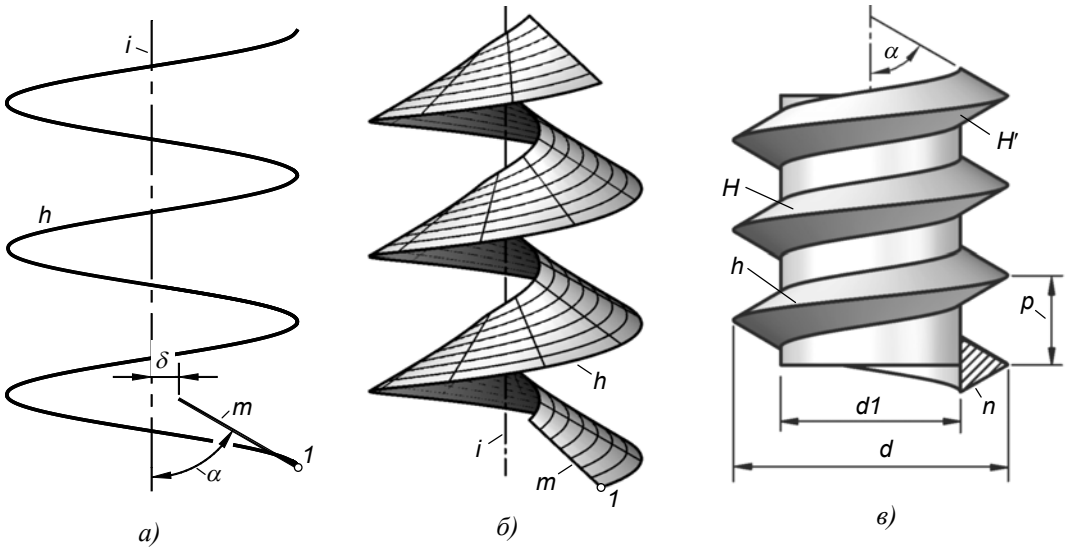


Рис. 12.7. Наклонный геликоид (*а, б*) и резьба треугольного профиля (*в*)

Спираль Архимеда и анимация

В сечении наклонного геликоида плоскостью, перпендикулярной его оси, возникает спираль Архимеда. Для знакомства с этой замечательной кривой постройте закрытый геликоид (рис. 12.8), задав значение δ= 0.1…0.5 мм и толщину 0.001. Затем постройте сечение командой **SECTION** или **SECTIONPLANE** и получите один виток спирали s. Для получения многовитковой спирали Архимеда нужно в несколько раз уменьшить шаг гелисы.

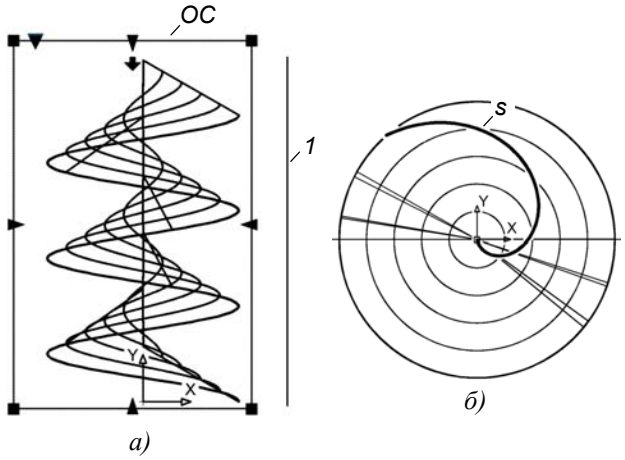


Рис. 12.8. Спираль Архимеда
а – каркас наклонного геликоида и объект сечение ОС команды SECTIONPLANE; *б* – 3D-псевдоразрез

Применив lisp-программу анимации (см. разд. 9.9, программа 9.1), можно увидеть формирование спирали Архимеда в динамике. Для этого командой **SECTIONPLANE** создайте объект-сечение ОС (см. рис. 12.8, *а*), постройте отрезок *1* как траекторию движения секущей плоскости, активизируйте 3D-псевдоразрез и выполните команду *ani*. В процессе анимации будет показано вращение спирали вокруг оси гелисы.

Схемы построения модели резьбы

Возможны две схемы построения 3D-модели резьбы. Первая – построение винтового выступа, вторая – построения винтовой впадины.

Рассмотрим эти схемы на примере построения резьбы на стержне (см. рис. 12.7, *в*). По схеме выступов строят гелису с наружным диаметром резьбы *d* и шагом резьбы *p* (рис. 12.9, *а*). На конечную точку гелисы, точка *1*, помещают профиль резьбы, выполненный замкнутым плоским контуром. Командой **SWEEP**, задав контур в качестве фигуры, образующей поверхность, а

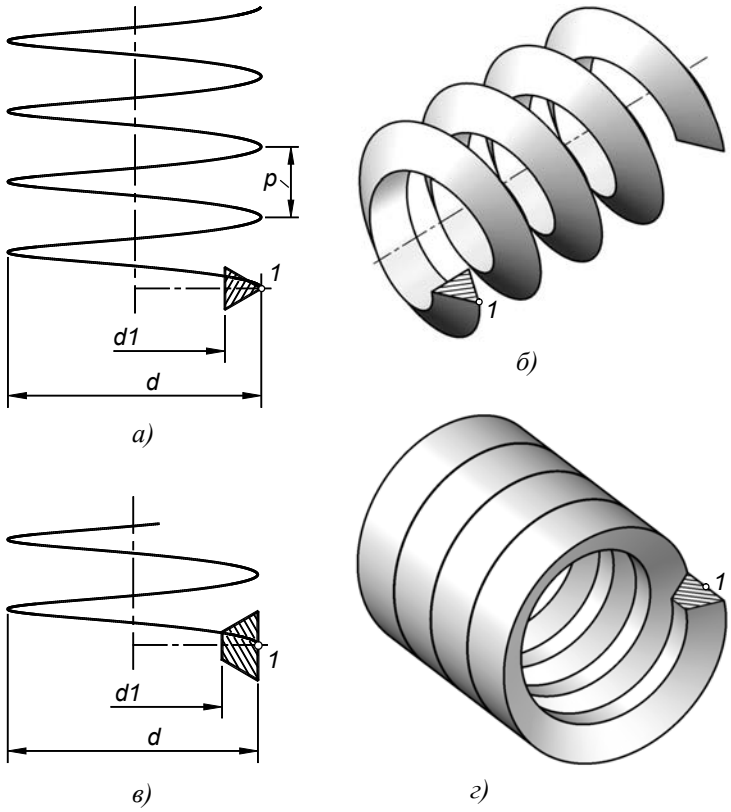


Рис. 12.9. Схемы построения резьбы (для стержня): *а, б* – винтовой выступ; *в, г* – впадина

гелису – в качестве направляющей линии, получают винтовой выступ (см. рис. 12.9, *б*). Строят цилиндр с диаметром, равным внутреннему диаметру резьбы *d1*. Далее командой **UNION** винтовой выступ объединяют с цилиндром.

По схеме впадин строят цилиндр с наружным диаметром резьбы *d*. Строят гелису с диаметром *d* и шагом резьбы *p* и профиль впадины (см. рис. 12.9, *в*). Профиль помещают на начальную точку гелисы и командой **SWEEP** сдвигают по гелисе – образуется винтовая впадина (см. рис. 12.9, *г*). Затем командой **SUBTRACT** впадину вычитают из цилиндра.

Резьбу в отверстии можно моделировать по тем же схемам: либо добавлять к отверстию в заготовке винтовой выступ с профилем резьбы, либо вычитать винтовой выступ с профилем впадины.

Мы будем применять схему впадин. Это позволит взять в качестве заготовки предварительно построенные упрощенные модели резьбовых изделий (болта или гайки) и сформировать резьбу, воспроизводя технологию выполнения резьбы режущим инструментом, то есть, удаляя объем металла из заготовки.

12.3. Резьба на стержне

В качестве примера построим метрическую резьбу М16 на стержне болта, заготовка которого получена ранее (см. рис. 12.1). Резьбу создадим по схеме впадин. Параметры профиля резьбы примем согласно [2, 9] для шага резьбы 2 мм. Длину резьбы зададим равной 38 мм.

В нашем примере ось болта направлена по оси X МСК. При другом положении болта рекомендуем временно повернуть его в указанное положение:

- переходим в окно аксонометрии, где установлена МСК;
- если положение болта отличается от рекомендованного, поворачиваем (**ROTATE**) и перемещаем (**MOVE**) болт так, чтобы его ось совпала с осью X, а точка *O* центра основания цилиндра

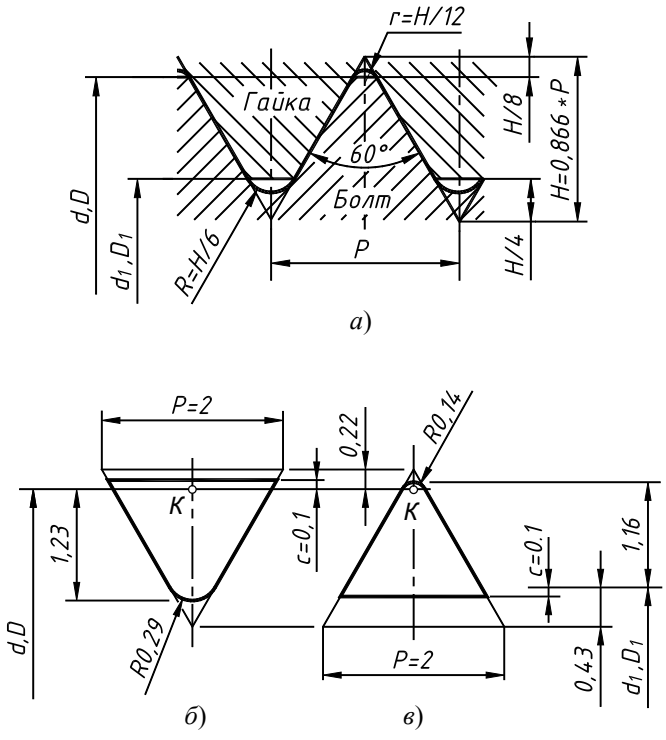


Рис. 12.10. Профили резьбы:
а – стандартный профиль метрической резьбы;
б, в – соответственно профиль впадин наружной и внутренней резьбы с шагом 2 мм

совпала с началом координат МСК (рис. 12.11, *а*, *б*).

Профиль впадины и ось гелисы должны находиться в одной плоскости. Расположим профиль во фронтальной плоскости. Построение (рис. 12.10, *б*) выполняем в окне вида спереди на свободном месте. Начинаем с правильного треугольника со стороной, равной шагу резьбы:

- включите режим **ORTHO**;
- **polygon** / число сторон 3 / **Сторона** / в окне вида спереди укажите произвольную точку / отведите курсор влево / 2 – построен равносторонний треугольник с горизонтальным расположением верхней стороны.

Расчлените треугольник (**EXPLODE**), постройте (**LINE**) вертикальную ось симметрии, сместите (**OFFSET**) верхнюю сторону вниз на 0.22. На пересечении смещенного отрезка с осью симметрии находится точка *K* перемещения профиля по гелисе. Еще раз сместите горизонтальный отрезок (**OFFSET**), вверх на величину допуска *c*=0.1. Боковые ребра скруглите (**FILLET**) радиусом 0.29. Из трех отрезков и дуги сопряжения составьте область (**REGION**).

Допуск *c* на выступание профиля обеспечивает надежность вычитания винтовой впадины из стержня. Величину допуска следует задать так, чтобы профили соседних впадин не пересекались, иначе невозможно применение команды **SWEEP**. Для шага 2 можно принять *c* = 0.1.

Строим цилиндрическую гелису как траекторию перемещения профиля. Центр основания гелисы находится на оси стержня, на его торце – точка *O* (см. рис. 12.11, *а, б*). Диаметры оснований гелисы равны диаметру резьбы, то есть 16 мм. Высота витка равна шагу резьбы 2 мм. Высота всей гелисы равна длине резьбы полного профиля, т.е. 38 мм. Для построения гелисы установим ПСК, направив ось Z вдоль оси стержня. Ось X направим вверх:

- переходим в окно аксонометрии;
- **ucs** / **ZA** / с привязкой **Cen** указать точку *O* на торце стержня и одну из точек на его оси;
- **ucs** / **Z** / 90 – ось X направлена вверх;
- включите режим **ORTHO**;
- перейдите на новый слой. Предыдущий слой, на котором расположен болт, заморозьте;
- **helix** / Центральная точка основания: 0,0 / переместить курсор вверх / Радиус основания: 8 / Радиус верхнего основания: 8 / Расстояние между витками: 2 / Высота спирали: 38 – гелиса построена.

По технологии изготовления резьба заканчивается участком сбега, на котором резец полностью выходит из стержня. В рассматриваем примере для шага 2 мм длина сбега равна 2.2 мм. Для воспроизведения сбега резьбы добавим к цилиндрической гелисе коническую, участок *AB*. Начальную точку конической гелисы, точка *A*, совместим с конечной точкой цилиндрической гелисы. Диаметр верхнего основания определим из условия, чтобы нижняя точка профиля пол-

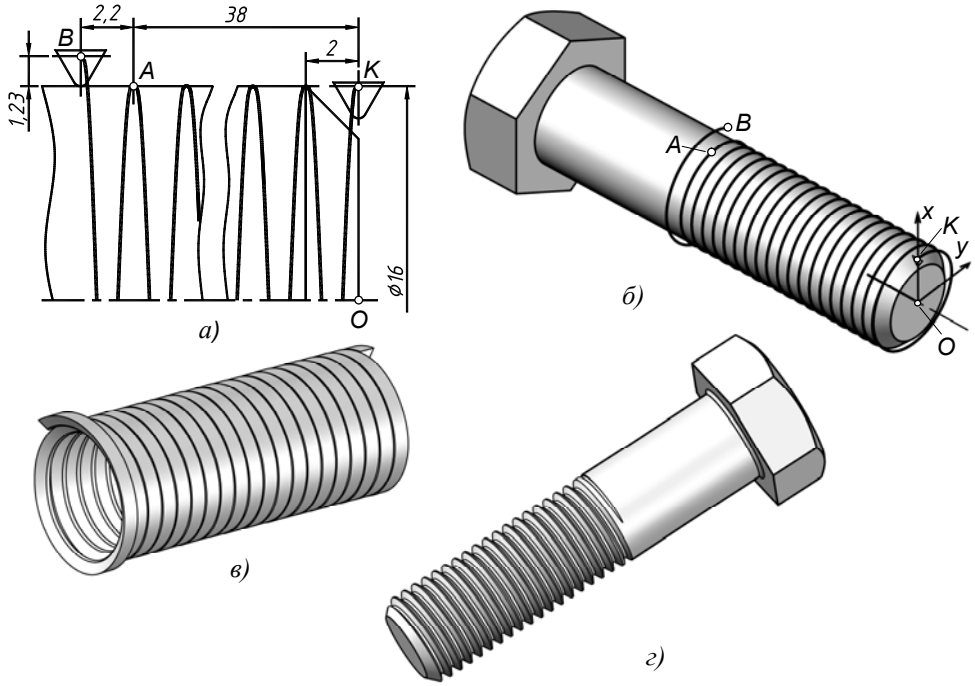


Рис. 12.11. Модель резьбы на стержне:
а, б – построение гелисы; *в* – резьбовая впадина; *г* – модель болта с резьбой

ностью вышла из стержня. Для этого простановкой размера определим высоту участка контура, заглубленного в стержень. В рассматриваемом примере (см. рис. 12.10, *б*) эта высота составила 1.23 мм. Поэтому радиус верхнего основания конической гелисы равен 8+1.23 = 9.23 мм. Коническую гелису объединим с цилиндрической:

- **`helix`** / с привязкой **Cen** указать центр верхнего основания цилиндрической гелисы / с привязкой **End** указать конечную точку предыдущей гелисы, точка *A* / Радиус верхнего основания 9.23 / Высота витка 2 / Высота спирали 2.2 – построена коническая гелиса;
- **`join`** (**`Соединить`**) / укажите обе гелисы – гелисы объединены в единый сплайн.

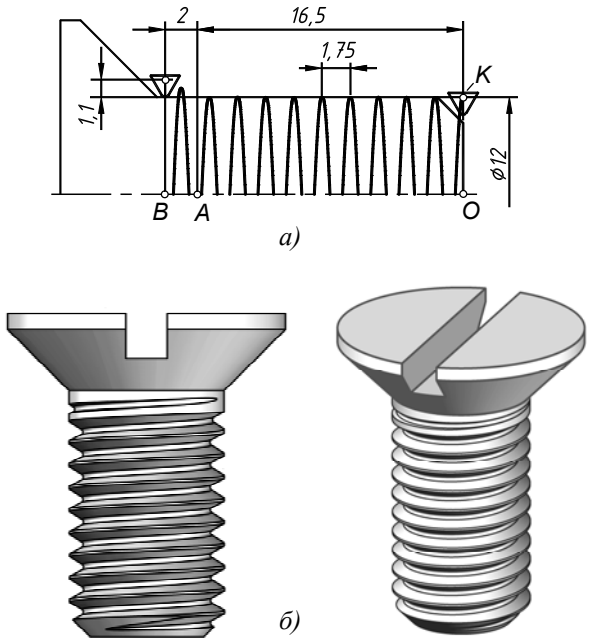


Рис. 12.12. Модель резьбы на стержне винта:
а – построение гелисы; *б* – винт с резьбой М12

Формируем винтовой выступ и вычитаем его из тела стержня:

- **`sweep`** (**`Сдвиг`**) / выберите профиль впадины / Базовая точка: – с привязкой **Int** укажите на изображении контура точку вставки профиля *K* / **`No align`** (Не выравнивать) / укажите гелису – построен объем винтовой впадины (см. рис. 12.11, *в*);
- **`subtract`** (**`Вычитание`**) / укажите стержень болта / укажите модель впадины – построена реалистичная 3D-модель болта с резьбой (см. рис. 12.11, *г*).

Выполнение резьбы на стержне винта М12 (рис. 12.12) аналогично построению

модели резьбы болта. Профиль впадины резьбы М12 с шагом 1.75 мм получим из равностороннего треугольника со стороной 1.75 (см. рис. 12.10) или путем масштабирования ранее построенного профиля для шага 2 (**SCALE**) с коэффициентом 0.875.

12.4. Резьба в отверстии

Резьба в отверстии (внутренняя резьба) имеет несколько иной профиль (см. рис. 12.10, *в*), чем наружная резьба на стержне. Различаются и конструктивные элементы внутренней резьбы, например, сбеги, недорезы, проточки. Из всего многообразия резьбовых отверстий рассмотрим два основных типа: сквозные и глухие.

Для моделирования резьбы в сквозном отверстии, например, в гайке (рис. 12.13), необходимо повторить алгоритм построения резьбы на стержне, но для профиля резьбы в отверстии (см. рис. 12.10, *в*).

Построим модель глухого резьбового отверстия, например, для ввинчиваемого конца шпильки или винта. Резьба М16 с шагом 2 мм. Расчет отверстия (рис. 12.14, *а*) выполнен [2, 9, 13] с учетом сбега резьбы и недореза (см. рис. 12.14, *а*). Участок полного профиля составляет 21.5 мм, включает глубину ввинчивания стержня – 16 мм и запас резьбы – 5.5 мм. Сбег резьбы 4 мм. Диаметр отверстия 13.9 мм**.** Глубина отверстия с учетом недореза 32.5 мм:

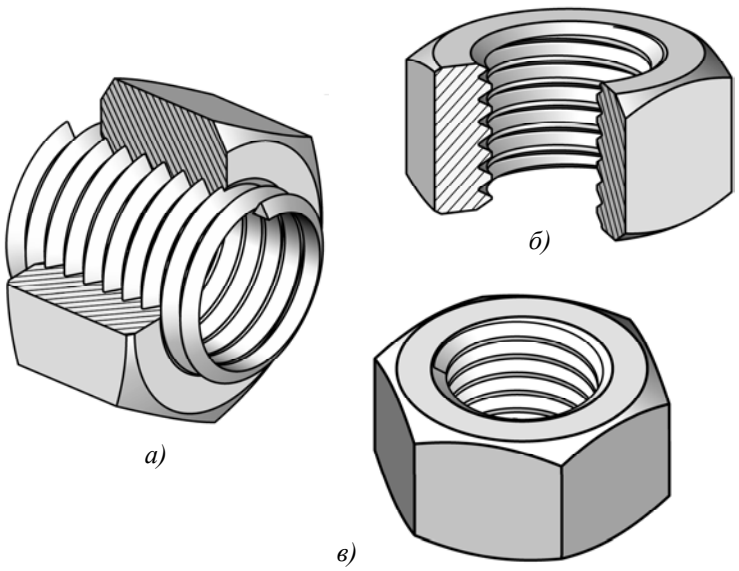


Рис. 12.13. Модель резьбы в гайке:
а – построение винтовой впадины; *б, в* – гайка с резьбой

- в призме постройте сверленое отверстие ⌀13.9 мм с коническим завершением “из-под сверла” и наружной фаской 2×45°;
- в плоскости, проходящей через ось отверстия (плоскость окна вида спереди), выполните профиль впадины внутренней резьбы (см. рис. 12.10, *в*);
- командой **HELIX** постройте цилиндрическую гелису, соосную отверстию, с диаметрами оснований, равными номинальному диаметру резьбы, то есть 16 мм. Гелиса должна включать участок резьбы с полным профилем 21.5 мм и выходить из отверстия, например, на 5 мм. Рекомендуем начало координат поместить в точку *О* и задать длину гелисы 26.5 мм;
- для создания сбега резьбы к цилиндрической гелисе добавьте коническую гелису, совместив ее начальную точку с конечной точкой первой гелисы. Радиус малого основания задайте из условия, чтобы обеспечить полный выход профиля резьбы из тела детали. При высоте профиля 1.16 (см. рис. 12.10, *в*) радиус составляет 6.84 мм. Высота конической гелисы 4 мм. Обе гелисы объедините (**JOIN**);
- командой **SWEEP** сдвиньте контур по траектории, задав базовую точку *К* и опцию “не выравнивать” – в результате образовалась модель винтовой впадины в виде solid-объекта;
- командой **SUBTRACT** винтовую впадину вычитаем из детали – получена модель резьбового гнезда (см. рис. 12.14, *б*).

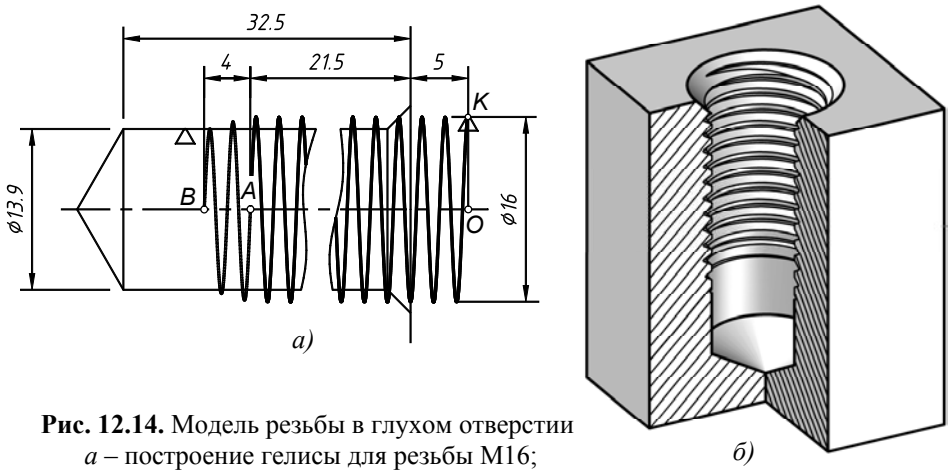


Рис. 12.14. Модель резьбы в глухом отверстии
а – построение гелисы для резьбы М16;
б – отверстие с резьбой

12.5. Резьбовые соединения

Соединения при помощи болтов, винтов и шпилек относятся к неподвижным разъемным соединениям, при разборке которых не нарушается целостность деталей. Рассмотрим построение модели резьбы таких соединений.

Первоначально необходимо построить упрощенную модель соединения, без отображения резьбы. Упрощенной модели во многих случаях может быть достаточно для наглядности модели узла. Для более высокой наглядности или исследования свойств резьбы выполняют точную модель резьбы в соединении.

В точной модели резьбового соединения необходимо совместить резьбу на стержне с резьбой в отверстии. Совмещение достигается при совместном построении внутренней и наружной резьбы, либо корректировкой взаимного положения деталей, если резьба на них была ранее построена.

Рассмотрим совместное построение резьбы в винтовом соединении М6 (рис. 12.15). Создадим упрощенную модель соединения (см. рис. 12.15, *а*), содержащую сверленое гнездо ∅5 глубиной 18 (см. рис. 12.15, *в*), винт со стержнем ∅6 длиной 14, и закрепляемую деталь толщиной 5 мм с отверстием ∅6.6 мм. Размеры соединения, винта и параметры резьбы определены по [2, 9, 13]. Резьба имеет шаг 1 мм, содержит общий цилиндрический участок наружной и внутренней резьбы длиной 15 мм. С каждой стороны имеется участок сбега. Построение резьбы выполняем в следующей последовательности:

- установим ПСК с началом в точке *O*, направив ось Z в точку *A*;
- создадим цилиндрическую гелису с центром основания в точке *O* (0,0), началом в точке *K*, радиусом 3, шагом 1 и длиной 15 (о построении гелисы см. выше);
- создадим копию цилиндрической гелисы, совмещенную с ее оригиналом;
- со стороны точки *A* построим коническую гелису для участка сбега резьбы на стержне. Начало гелисы совмещено с окончанием цилиндрических гелис, высота конической гелисы в рассматриваемом примере равна 1.2, радиус второго основания – 3.61. Объединяем (**JOIN**) эту гелису с одной из цилиндрических гелис (см. рис. 12.15, *г*);
- со стороны точки *O* построим вторую коническую гелису для сбега резьбы в отверстии. Начало этой гелисы совмещено с началом цилиндрических гелис, высота – 2.7, радиус второго основания – 2.4. Объединяем эту гелису с оставшейся цилиндрической гелисой (рис. 12.15, *д*).

В итоге имеем две гелисы, содержащие общий цилиндрический участок и примыкающие участки конических гелис. Одна из гелис (см. рис. 12.15, *г*) предназначена для построения на-

ружной резьбы на стержне. Вторая (см. рис. 12.15, *д*) – для построения внутренней резьбы в отверстии.

- В плоскости *OAK* строим профили впадин наружной и внутренней резьбы. Можно воспользоваться контурами ранее построенной резьбы, уменьшив или увеличив их пропорционально изменению шага. Например, для шага 1 мм можно воспользоваться профилями для шага 2 мм (см. рис. 12.10), уменьшив каждый из них вдвое.
- Сместим контур наружной резьбы (**SWEEP**) вдоль первой объединенной гелисы, включающей сбег резьбы на стержне (см. рис. 12.15, *г*). Смещение выполняем без выравнивания с базовой точкой *K*. Полученную винтовую впадину вычитаем из тела стержня винта (подробнее – см. выше построение резьбы на стержне и в отверстии).

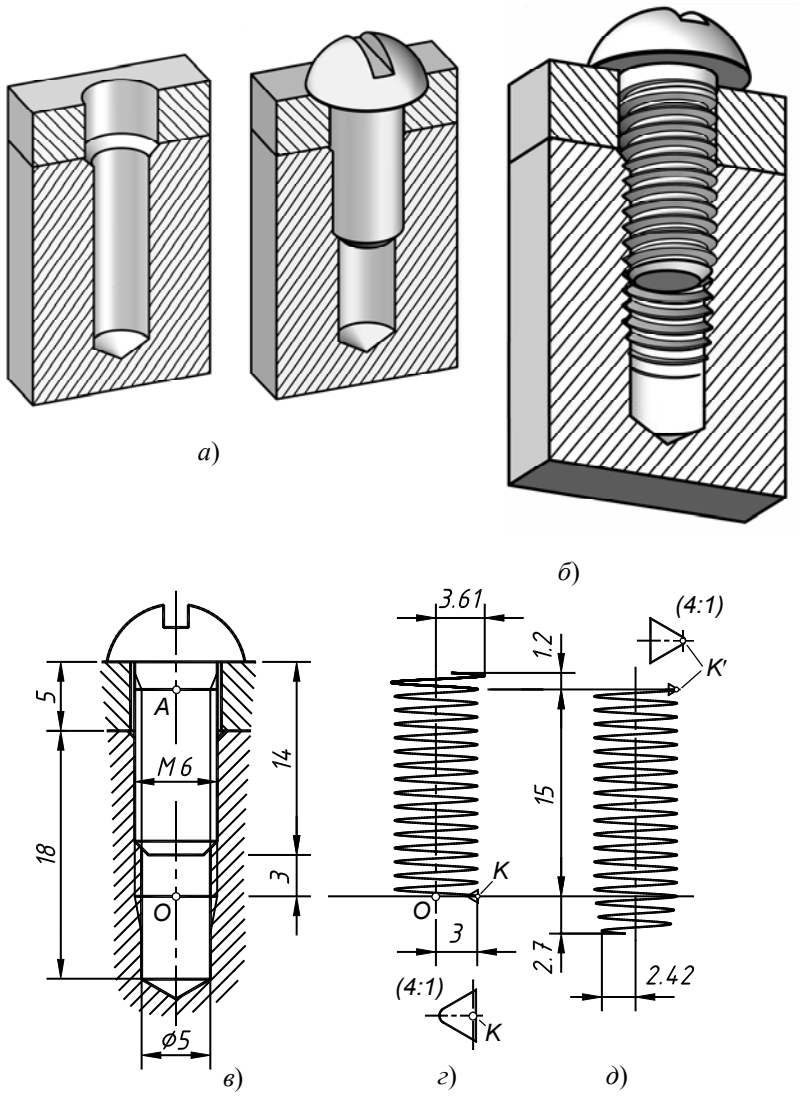


Рис. 12.15. Модель резьбы в соединении винтом:
а – упрощенная модель; *б* –точная модель;
в – расчетная схема; *г* – гелиса и профиль для стержня;
д – гелиса и профиль для отверстия

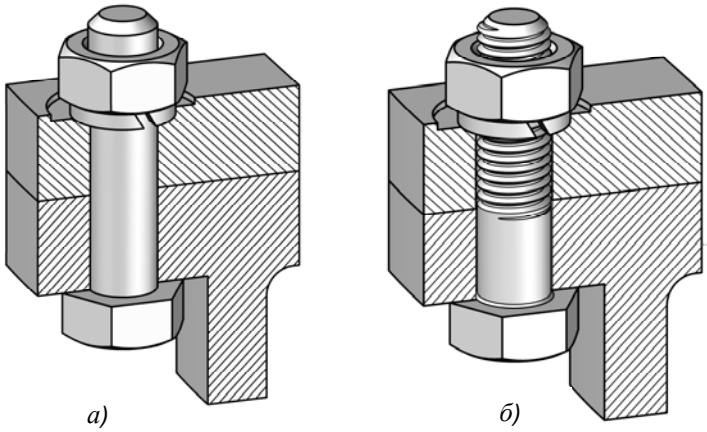


Рис. 12.16. Болтовое соединение:
а – упрощенная модель; *б* – модель с точной резьбой

- Сместим профиль внутренней резьбы вдоль второй объединенной гелисы, включающей сбег резьбы в отверстии. Смещение без выравнивания с базовой точкой *K′*. Полученную винтовую впадину вычитаем из тела сверленого гнезда.

В итоге получено винтовое соединение (см. рис. 12.15, *б*) с точной моделью резьбы. Подобным образом создаются болтовое соединение (рис. 12.16) и соединение шпилькой (рис. 12.17).

Резьбовые соединения можно собирать из отдельно выполненных моделей, на которых уже построена резьба. Необходимо одну из моделей повернуть вокруг общей оси соединения так, чтобы винтовые выступы одной из них входили в соответствующие винтовые впадины другой (рис. 12.18):

- собирают соединение, соблюдая соосность наружной и внутренней резьбы;

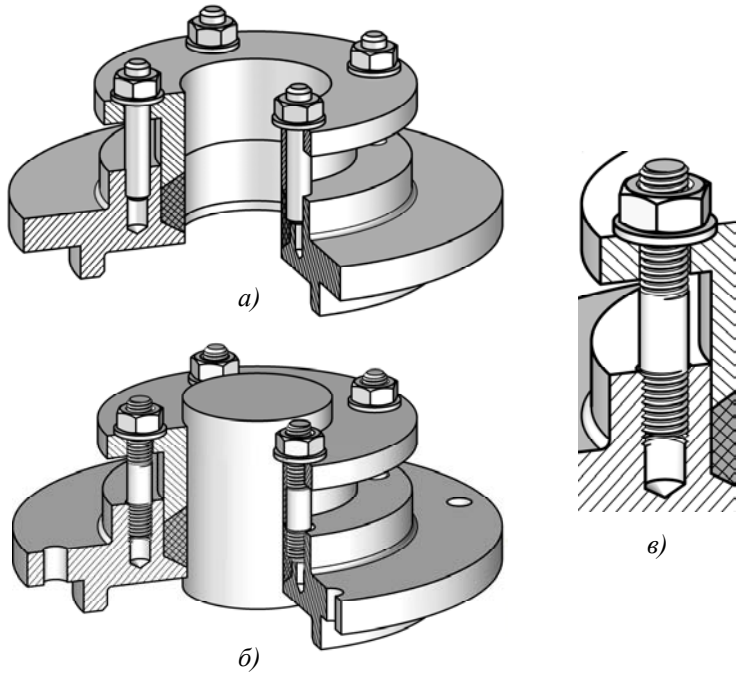


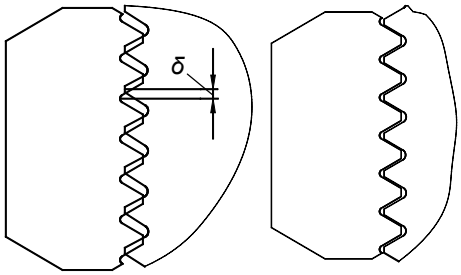
Рис. 12.17. Соединение шпилькой:
а – упрощенная модель без резьбы;
б, *в* – точная модель резьбы

- командой **SECTION** выполняют осевое сечение соединения и замеряют расстояние δ между ближайшими выступом и впадиной наружной и внутренней резьбы (см. рис. 12.18, *а*);
- рассчитывают угол α поворота резьбового стержня: $\alpha = 360 \times \delta / p$, где p – шаг резьбы;
- совмещают Z–ось ПСК с осью соединения и вращают (**ROTATE**) резьбовой стержень вокруг оси на угол $\pm\alpha$;
- повторно выполняют осевое сечение для контроля (см. рис. 12.18, *б*).

Оценка точности модели резьбы

Первичная оценка может быть получена построением сечений (**SECTION**) резьбового соединения (рис. 12.19, *а*). Увеличение выявляет погрешности модели в виде пересечений или зазоров между выступами и впадинами.

Более полную и наглядную оценку дает применение команды **INTERFERE** (**ВЗАИМОД**). Команда строит solid-объекты, по которым модели пересекаются. По форме и размерам объектов пересечения можно оценить точность модели и определить направление ее корректировки.



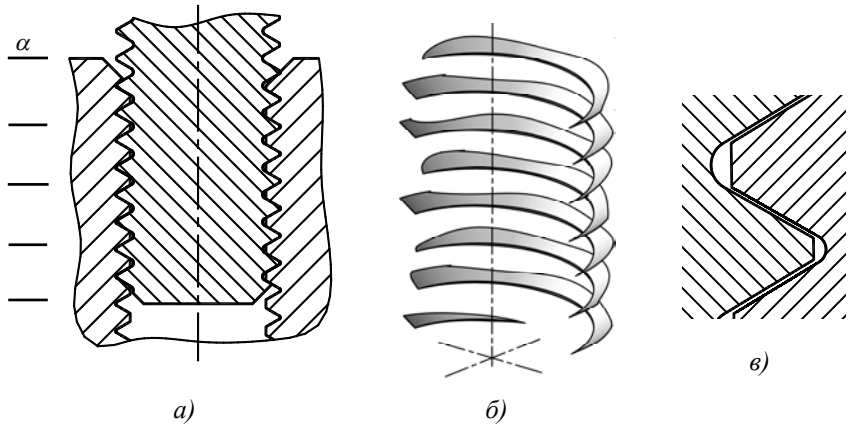
а) *б)*

Рис. 12.18. Совмещение профилей резьбы в соединении:
а – исходное осевое сечение; *б* – осевое сечение после совмещения

Точность модели резьбы можно оценить, если между рабочими поверхностями витков при расчете не предусмотрены зазоры. Именно так были построены точные модели, рассмотренные выше. Ввиду сложности модели резьбы для применения команды **INTERFERE** модель приходится разрезать и проверять каждый из отделенных участков в отдельности.

Для выявления объектов пересечения:

- установите красный цвет и новый слой;
- разрежьте (**SLICE**) модель на участки, включающие 2…3 витка (плоскости α, см. рис. 12.19, *а*).



а) *б)* *в)*

Рис. 12.19. Оценка точности модели резьбы:
а – продольное сечение; *б* – области пересечений;
в – резьба с зазором

Выполните проверку каждого участка:

- **interfere** / укажите модель с наружной и внутренней резьбой (болт и гайку) // в возникшем диалоговом окне **“Проверка взаимодействий”** снимите флажок **“Удалить созданные объекты взаимодействий при закрытии”** / Закрыть.

"Заморозьте" модели резьбовых деталей, закрывающие объекты взаимодействия. Стали видны объекты пересечений как дефекты модели. В случае резьбовых соединений это тонкие кольцевые объекты (см. рис. 12.19, *б*). Построив поперечное сечение объектов пересечения, можно измерить их толщину. Для рассмотренного примера толщина не превысила 0.01 мм, что следует считать проявлением высокой точности модели.

В резьбовых соединениях для более легкого заворачивания между рабочими винтовыми поверхностями делают боковые зазоры. Характерная величина зазора составляет 0.03…0.05 мм. Чтобы построить модель с зазором достаточно в контурах впадин сместить (**OFFSET**) линии наружу на величину половины зазора. В модели с зазором сечение наглядно выявляет этот зазор (см. рис. 12.19, *в*). Объекты взаимодействия (**INTERFERE**) в такой модели не образуются.

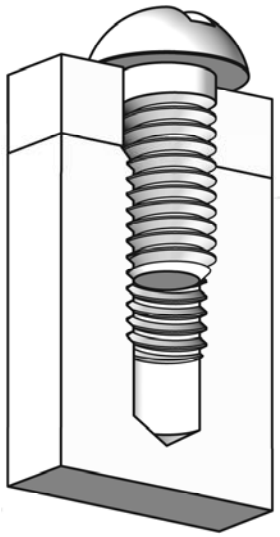


Рис. 12.20. Наглядная модель винтового соединения

Наглядные модели резьбовых соединений

Наглядные модели резьбы предназначены для сокращения размера файла, трудоемкости построения, требований к ресурсам компьютера при работе со сложными узлами. В сравнении с рассмотренными выше точными моделями резьбы, наглядные модели не претендуют на высокую точность. Их получают с рядом упрощений, не влияющих на наглядность.

Сравним размер файлов трех моделей винтового соединения, измеренный в равных условиях: файлы сохранены в формате AutoCAD 2007 и содержат только модель соединения в каркасном стиле визуализации. Файл упрощенной модели соединения, без резьбы (см. рис. 12.15, *а*) имеет размер 80…90 КБ. Добавление точной модели резьбы на стержне и в отверстии (см. рис. 12.15, *б*) увеличивает размер файла до 930…950 КБ, то есть в 10 раз. Файл наглядной модели (рис. 12.20) имеет размер всего 170…190 КБ. Наглядность модели не уступает точной модели.

Перечислим основные упрощения и рекомендации, принятые при построении наглядной модели винтового соединения (см. рис. 12.20):

- не следует строить сбеги резьбы. При объединении цилиндрической и конической гелис кривые из объекта типа *HELIX* становится объектом типа *SPLINE*. Это повышает размер файла;
- упростить контур впадины резьбы, сделав его треугольным, без скругления дугой окружности;
- строить только резьбу на стержне. Резьбу в отверстии за стержнем не строить, поскольку ее не видно. Участок запаса резьбы в отверстии получить вычитанием винта, смещенного вниз на 4…5 витков.

Кроме того, общая рекомендация: резьбу строить только на видимой части узла, главным образом, в разрезах.

Глава 13

Цилиндрическая прямозубая передача

В настоящей главе рассмотри три варианта 3D-модели прямозубой цилиндрической передачи. Их будем называть: упрощенный, точный и наглядный варианты. В упрощенном варианте зубья колес не отображаются. Во многих случаях этого бывает достаточно для объемного моделирования узлов. Точная модель воспроизводит форму зубьев с минимальными отклонениями от реальных зубчатых колес. Однако такая модель довольно сложна и требует высоких ресурсов компьютера. Компромиссный вариант – наглядная модель, передающая форму зубьев с погрешностью, допустимой для задач приближенного моделирования.

Построение зубьев существенно повышает наглядность модели, способствует более глубокому пониманию конструкции и геометрии зацепления.

13.1. Расчет параметров передачи

Рассмотрим построение модели наиболее распространенной зубчатой цилиндрической передачи по ГОСТ 13755–81. Такие передачи имеют эвольвентный профиль (рис. 13.1) боковой поверхности зуба и постоянный угол зацепления α, равный 20°. Угол измеряется в полюсе зацепления P. Колесо с меньшим количеством зубьев или ведущее, при одинаковом количестве зубьев у колес, называют шестерней.

Выполним расчет параметров передачи [2] (табл. 13.1), рассматриваемой далее в качестве примера построения модели. Параметры, относящиеся к шестерне, имеют индекс *1*. Параметрам второго колеса присвоен индекс *2*.

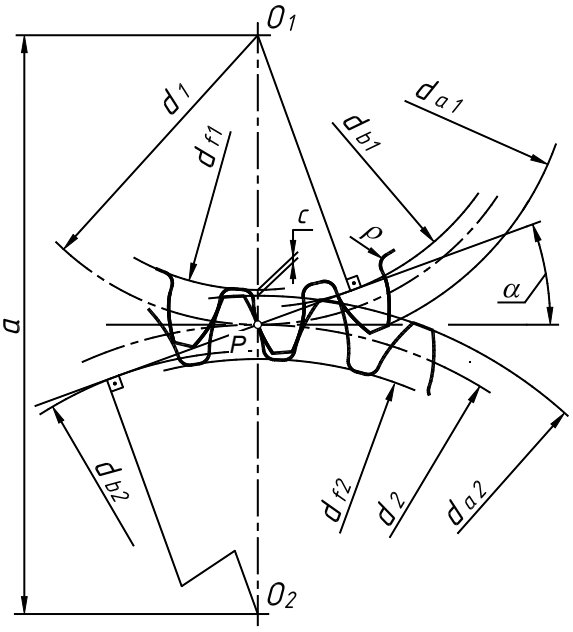


Рис. 13.1. Схема цилиндрической зубчатой передачи эвольвентного зацепления

Таблица 13.1

Пример расчета прямозубой цилиндрической передачи

Параметры	Расчетные формулы	Значения
Число зубьев шестерни z_1 Число зубьев колеса z_2	Исходные параметры, задаваемые конструктором из условий работы передачи и расчетов на прочность	20 30
Модуль m		3
Угол зацепления α		20°
Делительный диаметр d	$d_1 = z_1 m$ $d_2 = z_2 m$	60 90
Межосевое расстояние a	$a = (z_1 + z_2)\, m / 2$	75
Диаметр вершин зубьев d_a	$d_{a1} = d_1 + 2m$ $d_{a2} = d_2 + 2m$	66 96
Радиальный зазор c	$c = 0.25\, m$	0.75

Окончание таблицы 13.1

Параметры	Расчетные формулы	Значения
Диаметр впадин d_f	$d_{f1} = d_1 - 2\,(c + m)$ $d_{f2} = d_2 - 2\,(c + m)$	52.5 82.5
Основной диаметр d_b	$d_{b1} = d_1 \cos\alpha$ $d_{b2} = d_2 \cos\alpha$	56.38 84.57
Радиус переходной кривой зуба ρ	$\rho = 0.4\,m$	1.2

13.2. Упрощенная модель

В дополнение к основным параметрам (см. табл. 13.1) примем следующие конструктивные параметры зубчатой пары: ширина зубчатых венцов – 20 мм; длина ступиц – 25 мм; толщина диска шестерни – 20 мм, колеса – 15 мм; диаметры ступиц шестерни и колеса соответственно – 36 и 43 мм; диаметр обода колеса – 70 мм. Модели колес следует первоначально строить в горизонтальной или фронтальной плоскостях. В этом положении удобно позднее дополнить модели до реалистичности, то есть нарезать зубья. После построения колеса несложно переместить в рабочее положение в узле.

Будем строить модели колес во фронтальной плоскости (рис. 13.2):

- активизируйте окно вида спереди;
- нанесите горизонтальные оси колес с учетом межцентрового расстояния (75 мм);
- вычертите контуры сечений шестерни и колеса и преобразуйте их в области (см. рис. 13.2, *а*);

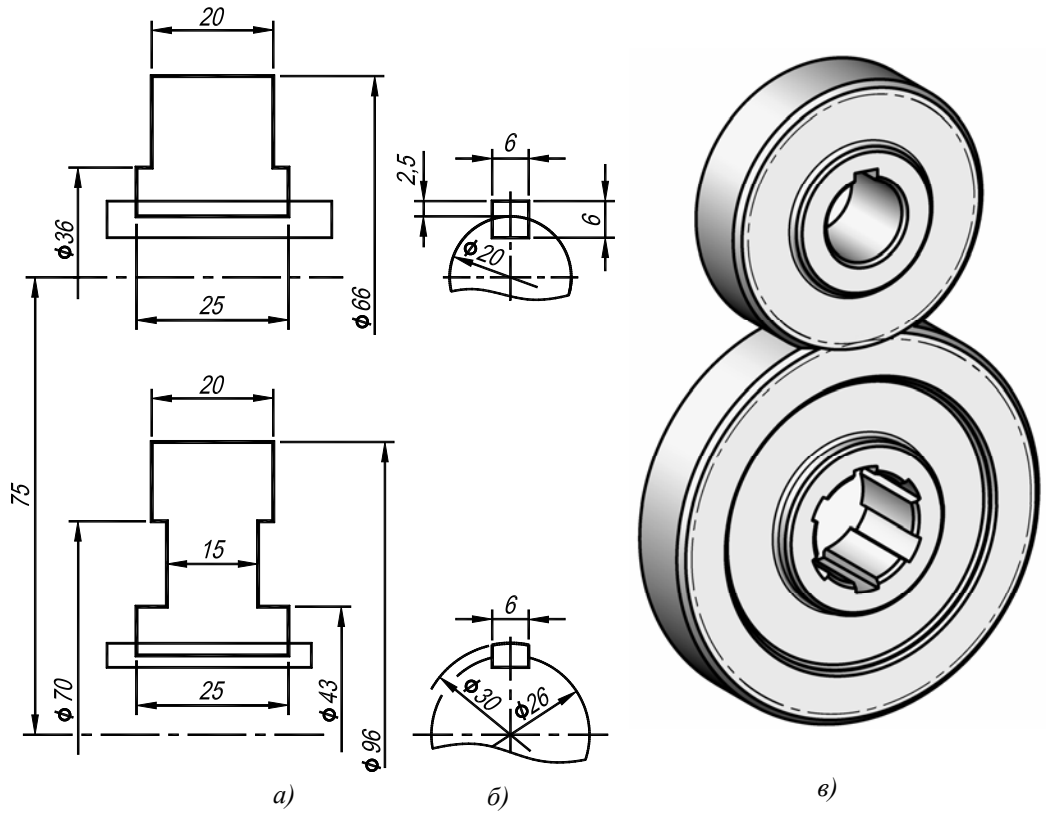


Рис. 13.2. Построение упрощенной модели цилиндрической передачи:
а – контуры сечений шестерни и колеса; *б* – контуры шпоночного и шлицевого пазов; *в* – 3D-модель передачи

- вращением (**REVOLVE**) контуров вокруг своих осей создайте модели шестерни и колеса;
- в окне вида слева постройте в виде замкнутых полилиний или областей контуры шпоночного и шлицевого пазов (см. рис. 13.2, *б*). Размеры пазов зависят от диаметра вала [2, 9];
- выдавите (**EXTRUDE**) контуры пазов так, чтобы длина образовавшихся solid-объектов превышала длину ступиц колес;
- круговым массивом (**ARRAY**) размножьте шлицевые пазы, а затем выполните вычитание их (**SUBTRACT**) и шпоночного паза из моделей колес (см. рис. 13.2, *в*);
- снимите фаски (**CHAMFER**) на зубчатых венцах и ступицах (размеры фасок 1.5×45°). Выполните (**FILLET**) сопряжение ступицы с диском колеса радиусом 1…2 мм.

Рекомендуем для наглядности построить штрихпунктирной линией делительные окружности шестерни и колеса.

13.3. Точная модель

Для построения точной модели передачи нужно к упрощенной модели добавить зубчатые венцы шестерни и колеса. Возможны два варианта моделирования. Первый – создание зубьев. Второй – создание впадин. Выберем второй вариант как приближенный к технологии производства колес: вначале создают заготовку колеса, затем в ней нарезают зубья, удаляя металл впадин.

Контур зуба. Разметка

Контур боковой (рабочей) поверхности зуба *1-2* (рис. 13.3, *а*) представляет собой эвольвенту основной окружности d_b. К эвольвенте, в ее начальной точке *1*, примыкает отрезок *1-3* радиальной прямой *i*, направленной в центр колеса. Сверху и снизу контур зуба ограничен окружностями вершин зубьев (выступов) d_a и впадин d_f. С окружностью впадин отрезок *i* сопряжен дугой *3-4* радиуса ρ. Расчетные формулы параметров и пример расчета приведены в таблице 13.1.

Возможны соотношения параметров передачи, при которых линейный участок *1-3* отсутствует и дуга сопряжения ρ выходит на эвольвенту *1-2*.

В принятом нами варианте моделирования мы будем строить контур впадины. При различном количестве зубьев контуры зуба или впадины шестерни и колеса различны и требуют самостоятельного построения.

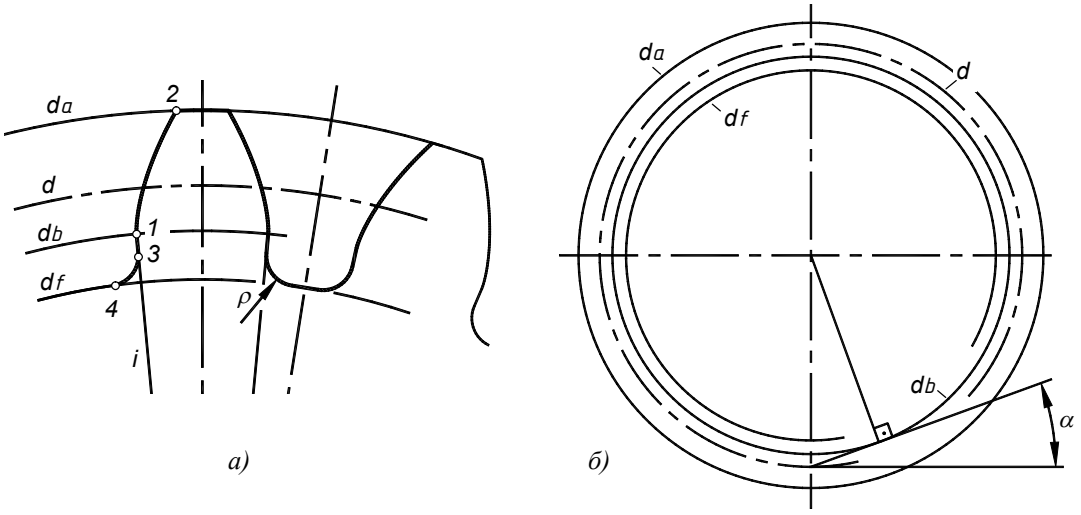


Рис. 13.3. Контур зуба и впадины (*а*) и разметка (*б*)

Основная сложность создания контуров – это построение эвольвенты. Известны различные методы ее построения. Ниже приведены два из них – как развертки окружности и как сечения эвольвентного геликоида.

Построение начинается с разметки (см. рис. 13.3, *б*). Выполним разметку шестерни, параметры которой приведены в таблице 13.1 с индексом *1*:

- ❑ перейдите на лист;
- ❑ на свободном месте листа постройте оси шестерни и ее окружности: делительную d (∅60, см. табл. 13.1), выступов d_a (∅66) и впадин d_f (∅52.5);
- ❑ постройте основную окружность d_b (∅56.38).

Диаметр основной окружности d_b можно определить по формуле (см. табл. 13.1). Мы рекомендуем найти его построением (см. рис. 13.3, *б*). Для этого из точки пересечения делительной окружности d с вертикальной осью постройте отрезок под углом α=20° к горизонтальной оси. Из центра окружностей на этот отрезок опустите перпендикуляр. При построении окружности d_b укажите в качестве центра точку пересечения осей. Для задания радиуса укажите точку основания перпендикуляра.

Разметку колеса выполним позднее вместе с построением ее эвольвенты, см. ниже разд. “Контур впадины второго колеса”.

Эвольвента как развертка окружности

Эвольвенту получим по точкам как развертку [9] основной окружности d_b. Компьютерная реализация этого метода позволяет построить сколь угодно большое количество точек. Точки соединим плавной сплайн-кривой. Как правило, достаточно 8…10 точек для получения эвольвенты с высокой точностью.

Учитывая, что эвольвенты окружностей различного диаметра подобны, достаточно построить эвольвенту для одного из колес. Эвольвенту для любого другого колеса получим масштабированием. Коэффициент масштабирования равен отношению диаметров основных окружностей. При одинаковом модуле колес, например, если колеса принадлежат одной передаче, коэффициент масштабирования равен отношению количества зубьев колес.

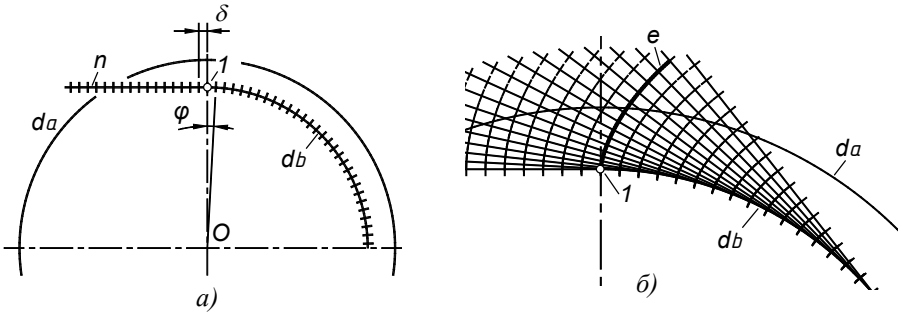


Рис. 13.4. Построение эвольвенты как развертки основной окружности: *а* – разметка шага развертки; *б* – номограмма точек эвольвенты

Строим эвольвенту для шестерни (рис. 13.4, *а*). Примем за начало эвольвенты точку *1* пересечения основной окружности d_b с вертикальной осью шестерни:

- ❑ делительную окружность d и окружность впадин d_f следует временно скрыть – “заморозить”;
- ❑ из точки *1* перпендикулярно оси колеса (режим **ORTHO**) постройте отрезок n длиной приблизительно (8…10)·m, где m – модуль. В нашем примере для m = 3 длина отрезка n для шестерни задана 25 мм.

Зададим шаг развертки δ. С уменьшением шага возрастает количество точек и точность построения эвольвенты. Для получения 8…10 точек эвольвенты примем $\delta = 0.5\ m$ (в нашем примере $\delta = 1.5$ мм).

На отрезке *n* нанесем маркеры точек с шагом δ:

- **pdmode** / 2 / **pdsize** /–1 – задан тип маркера – "крестик" и ее размер 1 мм;
- **measure** (**Разметить**) / укажите отрезок *n со стороны начальной точки* разметки, т.е. точки *1* / 1.5 –длина шага – на отрезке нанесены маркеры точек.

Объединяем отрезок и маркеры точек в блок:

- **block** / задайте имя / в качестве точки вставки укажите точку *1* / **Select Objects** – укажите объекты, включаемые в блок, т.е. отрезок *n* и маркеры / задайте режим **Convert to Block** / **ОК**.

Разметим окружность d_b так, чтобы длина дуговых сегментов разметки была равна шагу развертки δ:

- **trim** / укажите оси в качестве режущих кромок / укажите основную окружность так, чтобы осталась ее правая верхняя четверть с конечной точкой *1*;
- **measure** / укажите дугу основной окружности вблизи точки *1* / 1.5 – на дуге от точки *1* нанесены маркеры точек разметки. Длина дуги между маркерами составляет 1.5 мм.

Установим систему координат с началом в центре окружности, ось X направим в точку *1*, ось Y – вправо. В этой системе построим круговой массив созданных блоков (см. рис. 13.4, *б*):

- **ucs** / 3 / укажите центр окружности, точку *O*, укажите точку *1*, укажите точку справа от точки *1*;
- **array** / **Polar array** / **Center point** / 0,0 / задайте режим создания массива: **Total number of items & angle between items** / **Total number of items** – задайте количество элементов равным 17 (по количеству точек разметки отрезка *n*) / **Angle between items** – укажите кнопку на строке этого параметра и на экране укажите, с привязкой **Node**, маркер разметки дуги, ближайший к точке *1* – в окне должно появиться значение угла поворота φ, в нашем примере 3.0486 / **Select objects** – укажите блок (орезок с маркерами), подлежащий размножению массивом / **Preview** / **OK** .

Получена номограмма (см. рис. 13.4, *б*) как множество точек семейства эвольвент. Искомая эвольвента *e* выходит из точки *1*. Для ее создания как плавной кривой:

- задайте объектные привязки **End**, **Node**. Перейдите на другой слой;
- **spline** / укажите точку *1* и последовательно все точки эвольвенты /// – эвольвента получена как сплайн-кривая.

Построенная эвольвента выступает за окружность d_a выступов зуба. Это необходимо для следующего шага – построения контура впадин.

Формирование контура впадины шестерни

На основе полученной эвольвенты создадим контур впадины шестерни:

- восстанавливаем систему координат, направив ось X горизонтально. Спрячем номограмму (заморозим слой);
- строим или восстанавливаем делительную окружность *d* и окружность впадин d_f.

Имея эвольвенту *e* (рис. 13.5, *а*) и ось *i* как части одной стороны контура, вторую сторону получим зеркальным отображением. Для нахождения оси i_m симметрии впадины необходимо построить отрезок из центра O_1 в точку *2* пересечения эвольвенты *e* с делительной окружностью *d* и повернуть его на угол λ=360 / 4*z*, где *z* – количество зубьев (для шестерни $z = 20$, λ= 4.5°):

- **line** / с объектной привязкой **Int** укажите точки O_1 и *2*;
- **rotate** / укажите отрезок ($O_1 – 2$) / укажите центр вращения точку O_1 / 4.5 – построена ось i_m;

- **mirror** / укажите эвольвенту *e* и ось *i* / с привязкой **End** укажите концы оси i_m // – построены эвольвента *e′* и отрезок *i′*.

Выполним сопряжение радиальных прямых контура *i, i′* с окружностью впадин d_f. Радиус сопряжения 1.2 (см. табл. 13.1):

- **fillet** / **R** / 1.2 / укажите окружность впадин и одну и радиальных прямых – выполнено сопряжение по дуге окружности радиуса 1.2 мм;
- повторите команду **FILLET** и выполните сопряжение второй прямой с окружностью d_f.

Для завершения контура постройте замыкающую окружность *c* контура впадины. Командой **TRIM** обрежьте внешние линии контура и командой **REGION** объедините сегменты контура в область *k*. Убедитесь, что при указании контура он выделяется как единый.

Контур впадины второго колеса

Эвольвенту второго колеса получим масштабированием эвольвенты шестерни (или любой ранее созданной эвольвенты). Коэффициент масштабирования зададим, как отношение количества зубьев колес, в нашем примере 1.5:

- продлите ось шестерни так, чтобы она стала осью всей передачи O_1–O_2 (см. рис. 13.5, *б*);
- нанесите центр колеса O_2. В нашем примере межцентровое расстояние равно 75 мм (см. табл. 13.1);
- скопируйте эвольвенту шестерни, ее основную и делительную окружности, задав вектор перемещения из точки O_1 в точку O_2;

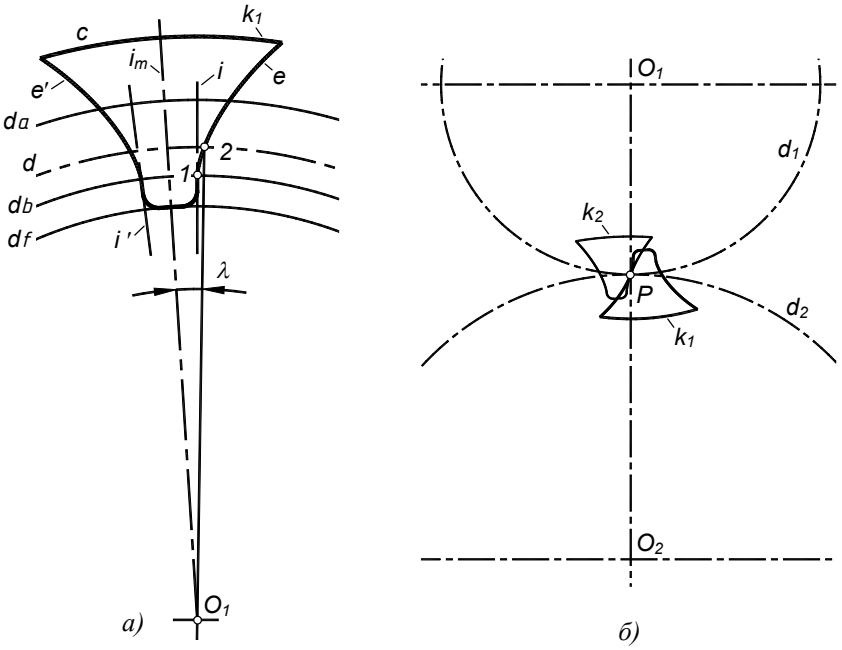


Рис. 13.5. Формирование контура впадины (*а*) и установка его в полюс зацепления (*б*)

- **scale** / укажите окружности и эвольвенту / укажите точку O_2 / 1.5 – получена эвольвента и делительная окружность d_2 второго колеса.

Завершаем контур впадины второго колеса. Выполните те же построения, что рассмотрены выше для шестерни: находим ось симметрии i_m (угол λ =3), зеркальным отображением получаем эвольвенту и радиальную прямую второй стороны, сопрягаем, обрезаем, объединяем.

Обеспечим, чтобы контакт зубьев шестерни и колеса происходил в полюсе зацепления – точке *P*, которая находится на пересечении оси передачи и делительных окружностей колес

(см. рис. 13.5, *б*). Для этого контур впадины шестерни нужно повернуть вокруг ее центра так, чтобы точка *2* эвольвенты совпала с полюсом *P*:

- **`rotate`** / укажите контур впадины шестерни / укажите центр шестерни O_1 / **`Reference`** / укажите O_1 и точку *2* / укажите точку *P* – контур впадины *k* принял положение k_1.

Подобным образом нужно повернуть контур впадины колеса, установив его в положение k_2. Эвольвента этого контура также должна проходит через полюс *P*.

Построение зубчатых венцов

Осталось совместить контуры впадин с предварительно построенными упрощенными моделями колес, получить объемы единичных впадины, размножить их равномерно по окружностям колес и вычесть эти объемы. Рассмотрим эти действия на примере шестерни:

- в плоскости построения контура впадины (см. рис. 13.5, *б*) создайте блок. В него включите контур впадины k_1 и задайте точку вставки O_1.

В пространстве модели, в окне аксонометрии, установите ПСК в плоскость шестерни (рис. 13.6, *а*):

- ucs / 3 / с привязками **Cen** и **Qua** укажите три точки любой из окружностей шестерни, например, O_1, *A*, *B*;
- вставьте (**`INSERT`**) блок, указав точку вставки O_1. Блок расчлените (**`EXPLODE`**). Контур впадины k_1 должен оказаться в плоскости шестерни (O_1, *A*, *B*);
- выдавите (**`EXTRUDE`**) контур k_1 на глубину, превышающую толщину венца, в нашем примере на 30 мм – сформирован объем единичной впадины шестерни;
- создайте круговой массив впадин (рис. 13.6, *б*). В нашем примере для шестерни массив из 20 впадин;
- из диска шестерни выполните вычитание (**`SUBTRACT`**) всех впадин – построена шестерня.

Повторите те же построения для колеса. Для него нужно создать блок, включив в него контур k_2 и задав точку вставки O_2. Затем получить единичную впадину колеса (см. рис. 13.6, *в*), массив из 30 (по количеству зубьев колеса) этих впадин и, после вычитания из заготовки колеса, – его реалистичную модель.

В итоге получена реалистичная наглядная модель всей передачи (см. рис. 13.6, *г*, *д*). Увеличив изображение в месте контакта зубьев, убедитесь, что они находятся в зацеплении и не пересекаются.

13.4. Эвольвента как сечение

В этом способе эвольвента формируется как сечение особой поверхности – эвольвентного геликоида – плоскостью, перпендикулярной его оси. Возможности пакета AutoCAD позволяют с высокой точностью построить модель этой поверхности и получить ее любое сечение, в частности, эвольвенту.

Эвольвентный геликоид

Эвольвентный геликоид рассматривается в курсе начертательной геометрии как поверхность, имеющая большое практическое применение в технике и архитектуре. Это линейчатая поверхность, возникающая в результате движения прямой линии *b* по цилиндрической винтовой линии – гелисе *h* (рис. 13.7). При движении образующая прямая остается касательной к направляющей.

Эвольвента определяется только радиусом окружности, разверткой которой она является, и не зависит от высоты эвольвентного геликоида. Кроме того, все эвольвенты подобны. Поэтому построим наглядный геликоид с “круглыми” параметрами, построим эвольвенту этого геликоида, затем ее масштабированием получим эвольвенты для колес зубчатой передачи, рассматриваемой в качестве примера. Напомним, в ней нужны эвольвенты для шестерни с диаметром основной окружности ∅56.38 и для колеса ∅84.57 (см. табл. 13.1).

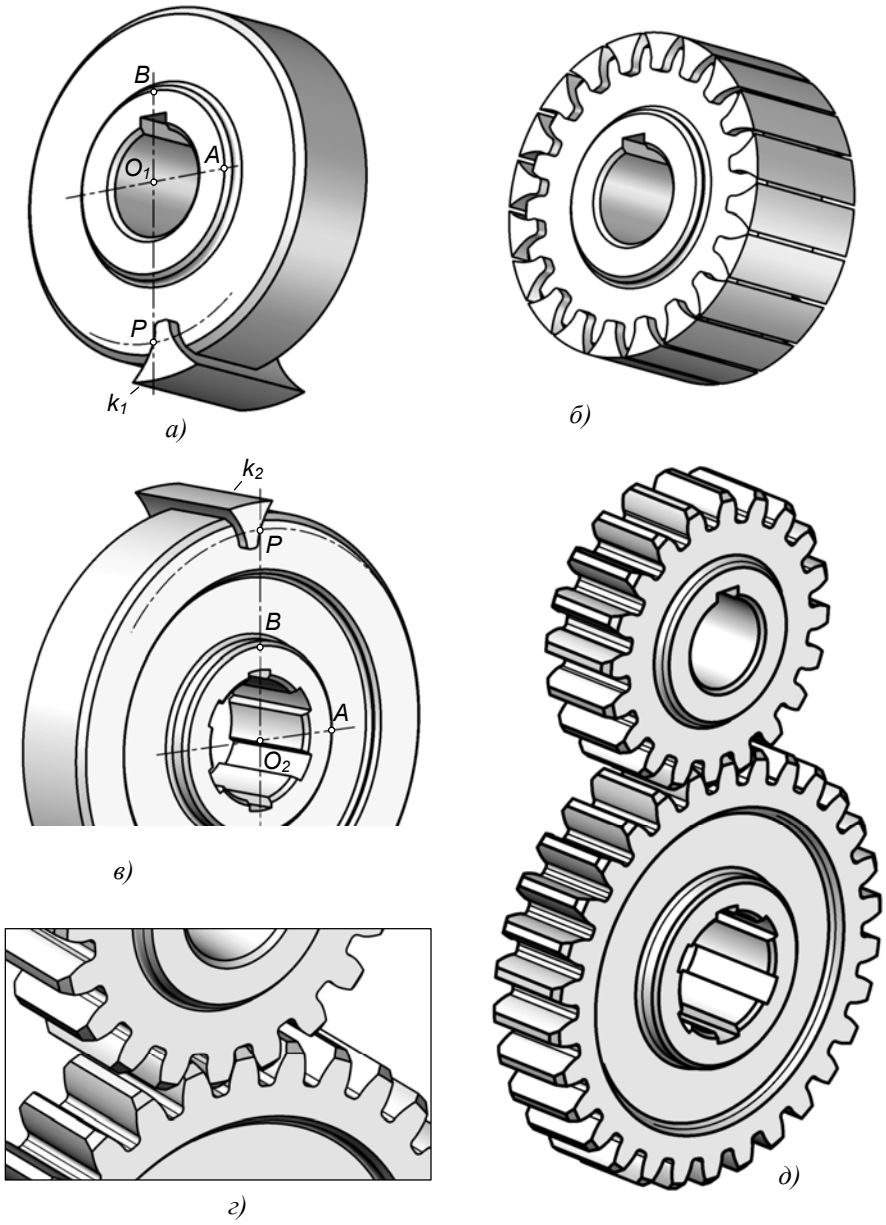


Рис. 13.6. Реалистичная модель цилиндрической зубчатой передачи: *а* – единичная впадина шестерни; *б* – массив впадин; *в* – единичная впадина колеса; *г, д* – итоговая модель

Для создания геликоида в качестве его направляющей построим один виток цилиндрической гелисы *h* (см. рис. 13.7, *а*) с радиусом оснований $r = 30$ и произвольно заданной высотой $H = 120$. Направление гелисы зададим по часовой стрелке:

- перейдите в видовое окно вида сверху; включите МСК; включите режим **ORTHO**;
- **`circle`** / 0,0 / 30 – получена окружность *c*, для которой создается эвольвента.
- **`helix`** / 0,0 – центр нижнего основания / 30 – радиус нижнего основания / 30 – радиус верхнего основания / **`tWist`** – направление вращения / **`CW`** – по часовой стрелке / **`Turns`** – количество витков / 1 / **`turn Height`** – высота витка / 120 – построена гелиса с центром в точке (0,0), началом в точке *1*, расположенной на оси X.

Для построения касательной определим угол подъема гелисы $\alpha = (180 / \pi) \cdot \text{arc tg}\,(H / 2\,\pi r)$. Для принятых параметров геликоида получим $\alpha = 32.4816°$.

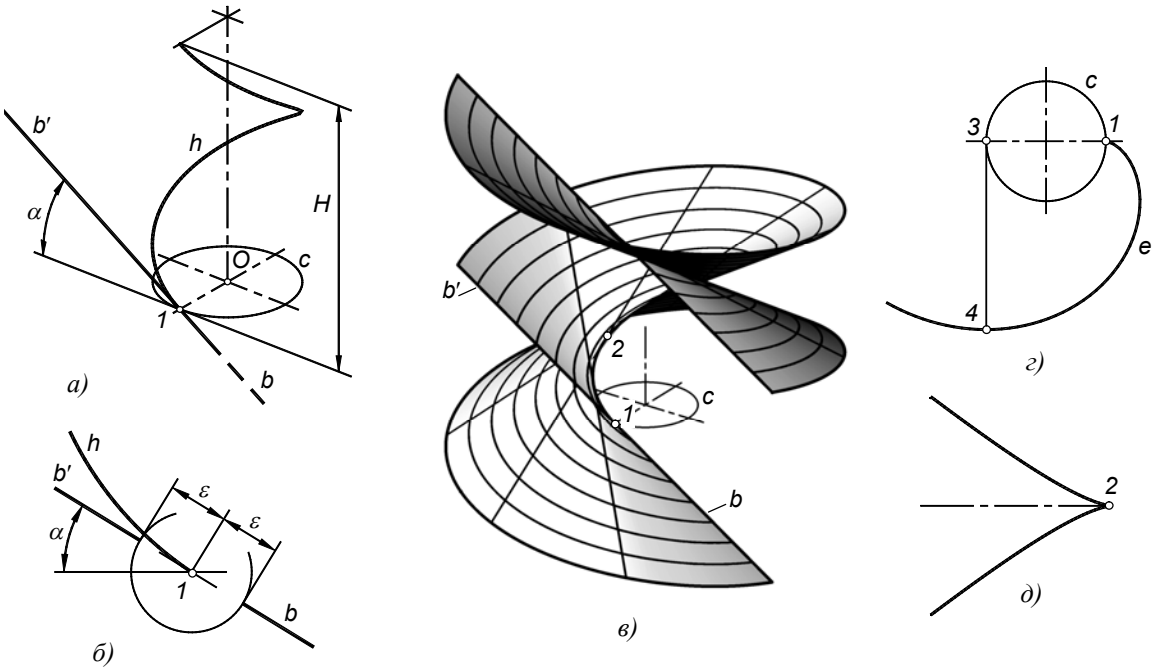


Рис. 13.7. Эвольвентный геликоид: *а* – направляющая гелиса и образующая прямая; *б* – "технический" разрыв образующей вблизи точки касания; *в* – торсовая поверхность; *г* – эвольвента; *д* – сечение, перпендикулярное гелисе

Построим образующую прямую, касательную к гелисе в ее начальной точке *1*. Длину отрезка образующей зададим по 130 мм в обе стороны от точки *1*:

- **ucs** / **za** / укажите точку *1* / укажите точку *O* – установлена система координат, в которой ось X направлена по касательной к окружности *c*, ось Y направлена вверх, параллельно оси создаваемой гелисы и геликоида;
- **line** / 0,0 / –130<32.4816 – построен отрезок нижней образующей *b*;
- **line** / 0,0 / 130<32.4816 – построен отрезок верхней образующей *b′*.

Установлено, что для построения торса как solid-объекта нужно удалить участок образующей вблизи точки касания *1* (см. рис. 13.7, *б*), иначе позднее, при придании толщины командой **THICKEN,** возникает недопустимое самопересечение объекта. Команда **THICKEN** выдает сообщение об ошибке построения. Длина удаляемого участка ε подбирается экспериментально. Она возрастает в зависимости от толщины, которая будет придана solid-объекту. Задав ε = 0.01, можно получить объект толщиной 0.01…0.0001. При ε =1 толщина не может превышать 1, при ε =8 – не более 6 мм.

Обрежем образующие на 0.01. Для обрезки применим вспомогательную окружность:

- **circle** / 0,0 / 0.01;
- **zoom** / увеличьте изображение вблизи точки *1*;
- **trim** / укажите окружность в качестве режущей кромки / укажите концы отрезков *b*, *b′* внутри режущей окружности;
- сотрите вспомогательную окружность.

Для получения торса как solid-объекта, первоначально формируем сетевую поверхность, затем придадим ей толщину:

- **sweep** / укажите обе образующие *b* и *b′* / **Base point** – при большом увеличении укажите начальную точку гелисы *1* либо при установленной ПСК введите 0,0 / **Alignment** / **N** /

укажите гелису как направляющую – получена сетевая поверхность (см. рис. 13.7, *в*), содержащая верхнюю и нижнюю части;

- **thicken** / укажите обе части поверхности / 0.0001 – толщина объекта – получен solid-объект;
- переместите полученный solid-объект на новый слой. Все предыдущие объекты скройте ("заморозьте").

Рассмотрим некоторые свойства полученной поверхности. Поверхность содержит две части ("полы"). Нижняя часть сформирована движением образующей *b*, верхнюю часть создает образующая *b′*. Поверхность имеет два характерных сечения. Первое – эвольвента (см. рис. 13.7, *д*). Она возникает при сечении любой плоскостью, перпендикулярной оси геликоида (оси гелисы). Чтобы эвольвента исходила из точки *1*, сечение нужно построить через эту точку. В нашем примере такой плоскостью является плоскость XY МСК, которая рассечет по эвольвенте нижнюю часть геликоида:

- **ucs** / **w**;
- **section** / укажите нижнюю часть объекта / **XY** / 0,0 / - построено сечение как объект типа *Region*.
- **explode** / укажите сечение – оно распалось на четыре линии.
- При большом увеличении оставьте линию *e*, проходящую через точку *1*, остальные сотрите.

Для проверки точности эвольвенты проведите отрезок *3-4*. Расчетная длина этого отрезка, как длина развернутой полуокружности радиусом r = 30, составляет 94.2478. Измеренная командой **LIST** длина этого отрезка в нашем примере составила 94.2483. Расхождение на уровне 0.001 свидетельствует о высокой точности построенной модели.

Кроме эвольвенты характерным сечением эвольвентного геликоида является его сечение плоскостью, перпендикулярной направляющей гелисе (см. рис. 13.7, *д*). Это сечение способствует пониманию формы поверхности. Близкое к нему сечение применяется в модели эвольвентной червячной передачи (см. разд. 16.3). Такое сечение можно построить в произвольной точке *2* гелисы:

- **ucs / za /** с объектной привязкой **Nea** указать на гелисе точку *2* и близко расположенную к ней точку – задана секущая плоскость как ПСК;
- **section** – построить сечение геликоида плоскостью XY.

Рациональный вариант построения эвольвенты

Поскольку для контура зуба нужен короткий участок эвольвенты, то достаточно построить лишь одну четвертую часть витка гелисы (рис. 13.8). Необходима только нижняя пола геликоида. Поскольку высота геликоида не влияет на его эвольвентное сечение, высоту витка зададим равной радиусу окружности основания. Эвольвенту построим для окружности радиусом 30 мм:

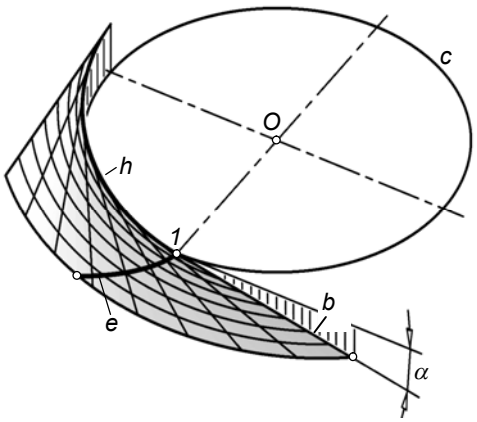


Рис. 13.8. Построение эвольвенты:

- перейдите в видовое окно вида сверху; включите МСК; включите режим **ORTHO**;
- **circle** / 0,0 / 30 – получена окружность *c*, для которой создается эвольвента.
- **helix** / 0,0 / 30 / 30 / **W** / **CW** / **T** / 0.25 / **H** / 30 – построена четверть витка гелисы с началом в точке *1*.
- **ucs** / **za** / укажите точки *1* и *O*;

Определяем угол α подъема гелисы. Вместо вычислений по приведенной выше формуле, угол можно оп-

ределить построением прямоугольного треугольника (режим **ORTHO**), горизонтальный катет которого равен 6.28319 (то есть 2π), вертикальный – равен 1. Командой **UNITS** задайте точность измерения угла не менее 0.0001. Командой **LIST** определите искомый угол между гипотенузой и осью X. Его значение равно 9.0431°.

Строим образующую нижней полы геликоида – отрезок *b*. Его длину следует задать равной радиусу окружности, для которой строится эвольвента (в нашем примере 30 мм). Чтобы не подрезать образующую вблизи точки касания, сразу зададим ее отступ на 0.01 от точки *1*:

- **line** / –0.01<9.0431 / –30<9.0431.

Далее повторите действия, рассмотренные выше в предыдущем примере: командой **SWEEP** постройте сеть, командой **THICKEN** постройте solid-объект толщиной 0.0001; установив МСК, командой **SECTION** постройте сечение solid-объекта; **EXPLODE** – расчлените сечение и оставьте линию, проходящую через точку *1* – эта искомая эвольвента. Оставьте окружность *c*, для которой строилась эвольвента. Остальные объекты сотрите.

Имея эвольвенту для окружности произвольного радиуса (*R*30 мм, см. рис. 13.8), масштабируем эвольвенту под размеры основных окружностей шестерни и колеса зубчатой передачи. Например, для шестерни:

- в плоскости окружности *c* постройте основную окружность шестерни ∅56.38 (см. табл. 13.1), концентрично окружности *c*;
- **scale** / укажите эвольвенту / укажите центр окружностей / **Copy** / **Reference** / вновь укажите центр окружностей и точку *1* / укажите какую-либо точку основной окружности ∅56.38;
- **rotate** / поверните эвольвенту вокруг центра окружности *c* на 90°.

Получена эвольвента для шестерни. Она занимает то же положение, что кривая *e* на рис. 13.5, *а*. При наложении обе эвольвенты, построенная по геликоиду и по номограмме, совпадают с высокой точностью.

Далее повторите действия, приведенные выше в разделах “Формирование контура впадины шестерни”, “Контур впадины второго колеса”, “Построение зубчатых венцов”.

13.5. Анимация зубчатого зацепления

Это вновь раздел для “продвинутых” пользователей. Рассмотрим две очень простые программы, позволяющие увидеть работу зубчатого зацепления, наблюдать как контуры зубьев плавно огибают друг друга, передавая вращение от шестерни колесу. О том, как набрать текст программы в редакторе Visual Lisp, отладить программу, даже не имея навыков программирования, а лишь терпение и внимательность, сказано в разд. 9.9.

Рассмотрим два варианта анимации: вращение плоских контуров колес и вращение объемных реалистичных моделей колес.

Плоская анимация

Для этого варианта анимации необходимо построить реалистичные изображения контуров шестерни и колеса, находящихся в зацеплении. Программа 13.1 реализует согласованное вращение контуров, которое видим в dwg-файле в реальном времени.

Для построения контуров колес с зубьями:

- откройте файл с ранее построенными контурами единичных впадин, приведенными в зацепление (см. рис. 13.5, *б*);
- установите ПСК в плоскость передачи, в которой выполнено изображение (см. рис. 13.5, *б*) и в которой будет реализовано вращение контуров колес;
- создайте слои *Шестерня* и *Колесо*. На слой *Шестерня* перенести контур впадины шестерни, ее делительную окружность и маркер центра этой окружности. На слой *Колесо* перенести такие же линии колеса;
- “заморозьте” слой *Колесо*;

- из оставшихся линий контура впадины шестерни, применив круговой массив, создайте полный контур шестерни (поз. *1*, рис. 13.9, *а*);
- командой **BLOCK** конвертируйте в блок все линии контура шестерни, то есть линии всех зубьев, делительной окружности и маркер центра. При создании блока в качестве точки вставки укажите маркер центра шестерни;
- для контроля правильности создания блока укажите его – все линии шестерни должны представлять единой целое, а в центре шестерни должна появиться квадратная "ручка";
- заморозив слой *Шестерня* и разморозив слой *Колесо*, создайте контур колеса и блок из ли-

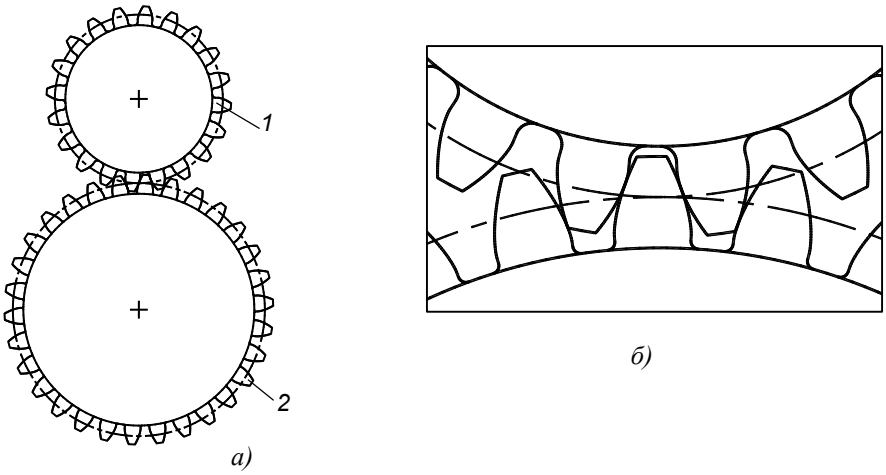


Рис. 13.9. Контуры колес (*а*) и один из кадров анимации (*б*)

ний этого контура (поз. *2*, см. рис. 13.9, *а*). Проверьте второй блок указанием.

В редакторе Visual Lisp наберите текст программы 13.1 (см. также разд. 9.9 "Набор текста программы"):

Программа 13.1

```
;;;  Анимация вращения зубчатых колес в реальном времени
;;;=======================================================
(defun c:ani2 ( )
  (command "_undo" "_m") ;_создать метку
  (setvar "cmdecho" 0) ;_отключить эхо-вывод
  (setvar "osmode" 0) ;_отключить объектную привязку
  (setq          name1 (car (entsel "\n Укажи шестерню "))
     p1    (cdr (assoc 10 (entget name1))) ;_центр шестерни
     z1    (getint "\n Количество зубьев шестерни = ")
     name2 (car (entsel "\n Укажи колесо "))
     p2    (cdr (assoc 10 (entget name2))) ;_центр колеса
           z2 (getint "\n Количество зубьев колеса = ")
     n1    (getreal "\n Количество оборотов шестерни или червяка = ")
     n     (getint "\n Количество кадров = ")
     w     (/ z2  z1 1.) ;_передаточное число
     ang1  (/ (* 360 n1) n) ;_угол поворота шестерни (червяка) на один кадр, градусы
     ang2  (/ ang1 w -1.) ;_угол поворота колеса на один поворот червяка, градусы
  )
  (repeat n ;_покадровая съемка
    (command "_delay" 100) ;_задержка между кадрами, мс
    (command "_rotate" name1 "" p1 ang1)
    (command "_rotate" name2 "" p2 ang2)
  )
  (command "_undo" "_b") ;_восстановление начального положения колес
)
```

```
(defun c:mu () (command "_undo" "_b"));_возврат к метке
 (princ "\n Для запуска введи ani2") ;_сообщение при загрузке программы
```

Действие программы 13.1 заключается в применении команды **ROTATE** к блокам колес. Угол поворота каждого колеса задается в соответствии с передаточным числом, поэтому колеса поворачиваются относительно своих центров синхронно, воспроизводя обкатывание зубьев колес.

Проверьте программу на синтаксис, загрузите ее (см. разд. 9.9. “Отладка, тестирование и выполнение программы”).

Перейдите в графический редактор. Отобразите на экран контуры колес (см. рис. 13.9, *а*). Введите с командной строки имя программы *ani2*. В командной строке должен начаться следующий диалог:

```
Укажи шестерню (указать)
Количество зубьев шестерни =  (ввести 20)
Укажи колесо (указать)
Количество зубьев колеса = 30
Количество оборотов шестерни = 1
Количество кадров = 500
```

Количество зубьев, вводимое на запрос программы, должно быть равно количеству зубьев соответствующего колеса. Приведенные выше значения соответствуют передаче, рассмотренной в качестве примера. *Количество оборотов шестерни* определяет ее поворот за весь цикл анимации. *Количество кадров* задает плавность вращения: чем больше кадров, тем плавнее.

Можно рассмотреть вращение колес в целом (см. рис. 13.9, *а*). Для изучения процесса зацепления рекомендуем перед выполнением программы отобразить зону контакта на весь экран (см. рис. 13.9, *б*), задать число оборотов 0.2…0.3, количество кадров 500…800.

После завершения диалога начинается синхронное вращение контуров колес. По окончании программы изображение автоматически восстанавливается в исходное положение.

Принудительное прерывание программы можно выполнить по клавише <Esc>. Для восстановления начального положения введите команду *mu,* которая вернет файл к состоянию, заданному меткой – см. верхнюю строку текста программы 13.1.

Объемная анимация

Это более сложный, но гораздо более наглядный вариант анимации, в котором плавно вращаются объемные модели колес в зацеплении. Колеса отображены в одном из стилей реалистичной визуализации. Возможна установка фона, настройка всех многочисленных параметров визуального стиля, повышающих наглядность визуализации.

Как правило, быстродействия компьютера недостаточно, чтобы в файле dwg, в реальном времени наблюдать плавное вращение объемных моделей колес. Неизбежны рывки между кадрами, снижающие красоту анимации. Поэтому программой, в автоматическом режиме, создается набор растровых изображений, каждое из которых является кадром анимации. Затем эти кадры просматривают в одном из средств просмотра в режиме “слайдшоу” с минимальной задержкой между кадрами. Особо продвинутые могут собрать кадры в единый анимационный файл.

- В видовом окне задайте наглядное изображение колес (см. рис. 13.6, *д*).

Создадим две именованные системы координат, относительно которых будет выполняться согласованное вращение колес. У ПСК с именем “1” Z-ось должна быть направлена по оси шестерни. У ПСК с именем “2” – по оси колеса:

- установите ПСК так, чтобы ее Z-ось была направлена по оси шестерни;
- **ucsman** (**ДИСПСК**) / в возникшем диалоговом окне укажите верхнюю строку “Без имени” и на это место ведите имя “1” / OK.
- установите ПСК так, чтобы ее Z-ось была направлена по оси колеса и присвойте ей имя “2”.

Создадим одно растровое изображение вручную, настроив его параметры и направив растровый файл в подготовленную папку для растровых файлов. Далее, при выполнении программы, этот режим автоматически будет применен ко всем файлам анимации:

- установите реалистичный режим визуализации (см. разд. 5.3);
- в любой директории создайте папку, в которую будем загружать кадры анимации;
- `plot` / в диалоговом окне в поле **Printer/Plotter** раскройте список **Name** и укажите режим записи в растровый файл **Publish To Web JPG. pc3** / раскройте список **Paper Size** и задайте размер растрового изображения, например, 800 × 600 Pixels или 1024 × 768, в поле **Plot Area** укажите **Window** и на экране охватите рамкой область границы кадра / в поле **Plot offset** задайте **Center the plot** / в поле **Plot scale** задайте **Fit to paper** / В поле **Drawing Orientation** задайте ориентацию **Landsckape** (Альбомная) / **Preview** – выполните предварительный просмотр / **Esc** / при необходимости скорректируйте настройки / **Apply to Layout** – сохраните настройки / **OK** /в окне выбора найдите ранее подготовленную папку для сохранения растровых изображений / **Save** – происходит сохранение растрового файла;
- откройте папку, в которую направили файл, – в ней должен находиться сохраненный файл формата jpg и файл plot.log, подтверждающий путь сохранения растрового файла;
- в редакторе **Visual Lisp** наберите текст программы 13.2. Обратите внимание, что в отличие от предыдущей программы *ani2* количество зубьев колес задано в тексте программы. При необходимости скорректируйте значения переменных *z1* и *z2*;
- задайте многооконный режим AutoCAD'а. Разместите на экране рядом два окна – окно AutoCAD'а и папку, в которую предусмотрена загрузка растровых файлов;
- загрузите программу 13.2. Выполните программу, введя с командной строки ее имя *ani3*. В диалоге укажите шестерню и колесо, задайте параметры съемки. Рекомендуем первоначально задать число оборотов шестерни 0.5 или 1, количество кадров 100 или 150. Начинается покадровая съемка и сохранение кадров анимации. Наблюдайте, как происходит наполнение папки кадрами анимации;
- откройте папку с кадрами анимации. В ней должны находиться сохраненные файлы, нумерация которых начинается с 101. С помощью программы просмотра изображений и факсов Windows, ACDSee и др. откройте файл первого кадра 101.jpg. Задайте режим просмотра слайдов с минимальным временем между кадрами – происходит наглядное вращение зубчатых колес в зацеплении. Это настоящее кино!

Программа 13.2

```
;;;Анимация вращения зубчатых колес или червячной передачи с записью растровых файлов
;;;=============================================================================
(defun c:ani3 ( / ang1 ang2 n n1 name1 name2 num w z1 z2)
  (command "_undo" "_m") ;_создать метку
  (setvar "cmdecho" 0) ;_отключить эхо-вывод
  (setvar "osmode" 0) ;_отключить объектную привязку
  (command "_mspace") ;_ перейти в пространство модели
  (setq       name1 (car (entsel "\n Укажи шестерню или червяк "))
     name2 (car (entsel "\n Укажи колесо "))
     n1    (getreal "\n Количество оборотов шестерни или червяка = ")
     n     (getint "\n Количество кадров = ")
     z1    20;_2 ;_ кол-во зубьев шестерни-червяка, взять из исходных данных
     z2    30;_37 ;_ кол-во зубьев колеса
     w     (/ z2 z1 1.) ;_передаточное число
     ang1  (/ (* 360 n1) n) ;_угол поворота шестерни (червяка) на один кадр, градусы
     ang2  (/ ang1 w -1.) ;_угол поворота колеса на один поворот червяка, градусы
```

```
    num   101 ;_номер файла
    i     0 ;_номер кадра
  )
  (repeat n ;_покадровая съемка
   (command "_plot" "" "" "" "" (itoa num) "" "")
   (command "_ucs" "_na" "_r" "1") ;_установить ПСК по шестерне - червяку
   (command "_rotate" name1 "" '(0 0) ang1) ;_поворот шестерни - червяка
   (command "_ucs" "_na" "_r" "2") ;_установить ПСК по колесу
   (command "_rotate" name2 "" '(0 0) ang2) ;_поворот колеса
   (setq num (1+ num)) ;_номер следующего кадра
   (setq i (1+ i))
   (princ (strcat "\nКадр " (itoa i) "  Осталось " (itoa (- n i))"  "))
  )
  (princ)
  (princ (strcat "\nНачинаю возврат в начальное положение. Ждите" "  "))
  (command "_undo" "_b") ;_восстановление начального положения колес
 )
  (defun c:mu () (command "_undo" "_b"));_возврат к метке
 (princ "\nДля запуска введи ani3") ;_сообщение при загрузке программы
```

13.6. Наглядная модель зубчатой передачи

Точная модель зубчатой передачи характеризуется крайне малой погрешностью. Толщина участков пересечений зубьев колеса и шестерни или непредусмотренных зазоров между зубьями в месте их контракта имеет порядок 0.001 (см. ниже разд. 14.4, 15.4.).

Однако точно построенные модели, особенно при большом количестве зубьев, приводят к “тяжелым” файлам, требующим больших ресурсов компьютера. Причина – применение в точных моделях сплайн-кривых для воспроизведения контура зубьев.

Если от модели требуется лишь наглядно воспроизвести форму зубчатой передачи, следует заменить сплайн-кривые на окружности. Если имеется точно построенный контур зуба (рис. 13.10, *а*), содержащий эвольвенту, то можно подобрать окружность *c*, задав ее тремя точками эвольвенты.

Упрощенный контур можно достаточно просто, не прибегая к построению эвольвенты, составить из дуг окружностей (см. рис. 13.10, *б*) [9] по следующему алгоритму:

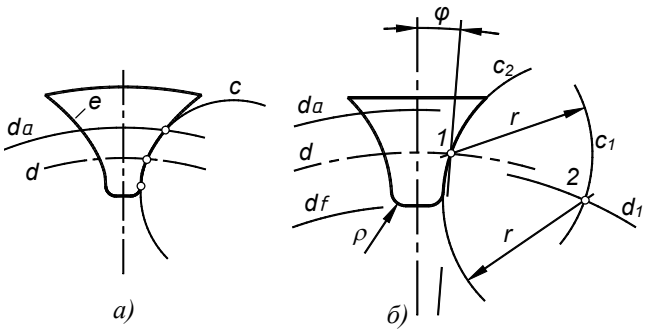


Рис. 13.10. Упрощенное построение контура впадины: *а* – замена эвольвенты окружностью; *б* – контур из окружностей

- по значениям, взятым из табл. 13.1, построить три концентрические окружности: делительную *d*, выступов d_a и впадин d_f;
- построить вспомогательную окружность d_1, концентричную первым трем. Диаметр этой окружности задается как $d_1 = (1 – 1 / 35)\ d \approx 0.97\ d$, где *d* – диаметр делительной окружности;
- командой **ROTATE** с опцией **Copy** повернуть вертикальную ось вокруг центра колеса на угол $\varphi = 90 / z$, где z – количество зубьев. Из точки *1* построить окружность c_1, радиус которой $r = d / 6$;
- из точки *2* построить окружность c_2 того же радиуса *r*. Окружность c_2 проходит через точку *1* и формирует рабочую поверхность упрощенного контура впадины;
- при определенных параметрах колеса, как правило, при малом количестве зубьев, возника-

ет линейный участок ножки зуба, для воспроизведения которого нужно из центра колеса провести отрезок, касательный к окружности c_2 (см. отрезок $O_1–1$, рис. 13.5, *а*).

Для дальнейшего упрощения модели и уменьшения файла, при сохранении достаточной наглядности, можно заменить дугу окружности впадин d_f на отрезок прямой и не строить дуги сопряжения ρ.

Погрешность упрощенного контура по варианту рис. 13.9, *б* в сравнении с точным эвольвентным контуром достигает 10%. Однако изображение наглядной модели визуально сложно отличить от точной модели (см. рис. 13.6). При этом объемы файлов сокращаются в 2…3 раза. В рассмотренном в данной главе примере прямозубой передачи объем файла в формате AutoCAD 2007 снизился с 1.2 МБ (точная модель) до 450…600 КБ (наглядная модель).

Глава 14

Цилиндрическая косозубая передача

Наклон зубьев (рис. 14.1) обеспечивает более высокую плавность работы и передачу большей мощности в сравнении с прямозубыми колесами. Мы рассмотрим три варианта модели такой передачи: условную, точную и наглядную. Условная воспроизводит лишь заготовки колес без зубьев. Точная и наглядная модели косозубой передачи воспроизводят форму зубьев. Эти модели несколько сложнее, чем прямозубой передачи. В наглядной модели в результате снижения точности достигается уменьшение размеров файла зубчатой передачи.

14.1. Расчет параметров

Цилиндрическое косозубое колесо можно представить как результат перемещения контура зубьев k (рис. 14.2, *а*) по винтовой линии – гелисе h. Шаг гелисы в несколько раз превышает толщину колеса. Угол наклона зубьев β к оси колеса (см. рис. 14.2, *б*) может составлять 8…40°.

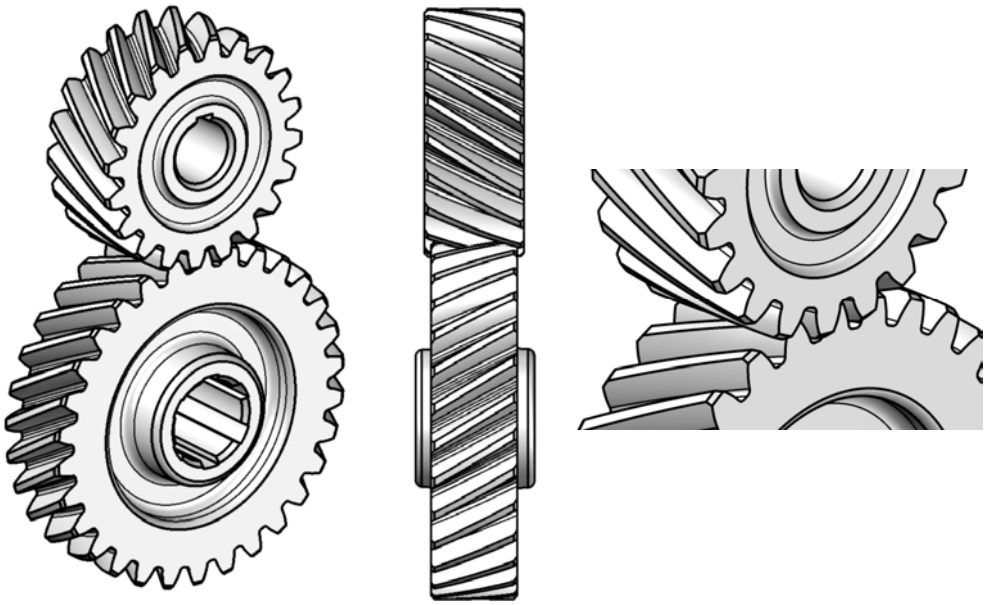


Рис. 14.1. Реалистичная модель цилиндрической косозубой передачи

По технологии нарезания зубьев режущий инструмент движется вдоль гелисы h, удаляя из заготовки колеса материал впадин. В связи с этим исходными параметрами косозубой передачи являются модуль и угол зацепления в сечении А-А, перпендикулярном траектории перемещения инструмента (см. рис. 14.2, *б*). Эти параметры называют “нормальными”. Их, а также угол наклона зубьев β и количество зубьев, задает конструктор, исходя из кинематического и прочностного расчета передачи.

Для построения точной модели необходимы также параметры в плоскости вращения колес Б-Б, называемые “окружными или торцовыми”. Это диаметры окружностей выступов и впадин, делительных окружностей, межцентровое расстояние и др. Их определяют расчетом в зависимости от угла наклона зубьев β. Нормальные и окружные параметры различны. Например, толщина зуба в нормальном сечении А-А определяется нормальным модулем m_n. Она меньше, чем ширина зуба в окружном сечении Б-Б, которая определяется окружным модулем m_t.

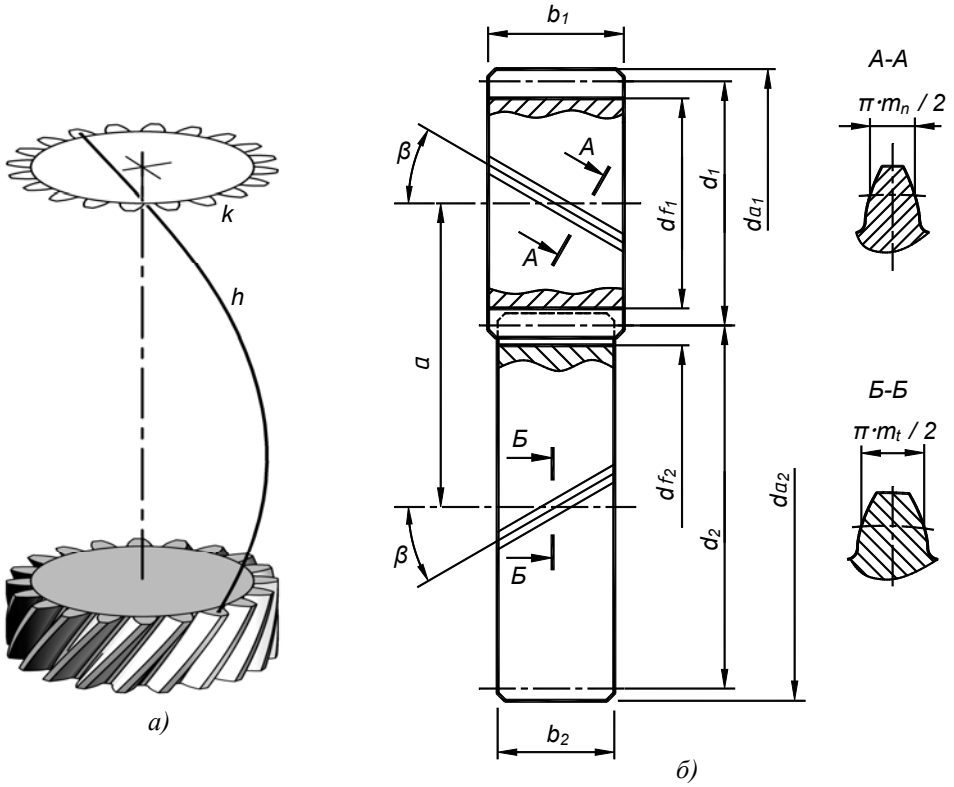


Рис. 14.2. Схема цилиндрической косозубой передачи:
а – схема формирования; *б* – расчетная схема

Таблица 14.1

Пример расчета косозубой цилиндрической передачи

Параметры	Расчетные формулы	Значения
Число зубьев шестерни z_1 Число зубьев колеса z_2	Исходные параметры, задаваемые конструктором	20 30
Нормальный модуль m_n		3
Нормальный угол зацепления α		20°
Угол наклона линии зуба β		30°
Окружной (торцовый) модуль m_t	$m_t = m_n / \cos\beta$	3.46
Делительный диаметр d	$d_1 = z_1 m_t$ $d_2 = z_2 m_t$	69.28 103.92
Межосевое расстояние a	$a = (z_1 + z_2) m_t / 2$	86.60
Диаметр вершин зубьев d_a	$d_{a1} = d_1 + 2 m_n$ $d_{a2} = d_2 + 2 m_n$	75.28 109.92
Угол зацепления (в торцовом сечении) α_t	α_t = arc tg (tg α / cos β)	22.80°
Основной диаметр d_b (в торцовом сечении)	$d_{b1} = d_1 (\cos \alpha_t)$ $d_{b2} = d_2 (\cos \alpha_t)$	63.87 95.81
Радиальный зазор c	$c = 0.25 m_n$	0.75
Диаметр впадин d_f	$d_{f1} = d_1 - 2 (c + m_n)$ $d_{f2} = d_2 - 2 (c + m_n)$	61.78 96.42
Радиус переходной кривой зуба ρ	$\rho = 0.4 m_n$	1.2

В табл. 14.1 приведены исходные и расчетные параметры передачи, рассматриваемой далее в качестве примера построения модели. Обозначения параметров – см. рис. 14.2, *б* и рис. 13.3.

14.2. Упрощенная модель косозубой передачи

Упрощенную модель (рис. 14.3) создаем так же как для прямозубой передачи (см. разд. 13.2.). В окне вида спереди строим контуры вращения (см. рис. 14.3, *а*). На основе контуров строим тела вращения. Размеры посадочных отверстий, построение шпоночных и шлицевых пазов – см. рис. 13.2. На зубчатых венцах и на ступицах выполняем фаски 1.5×45°. На ступицах выполняем литейные сопряжения радиусом 1…3 мм:

- постройте упрощенные модели колес.

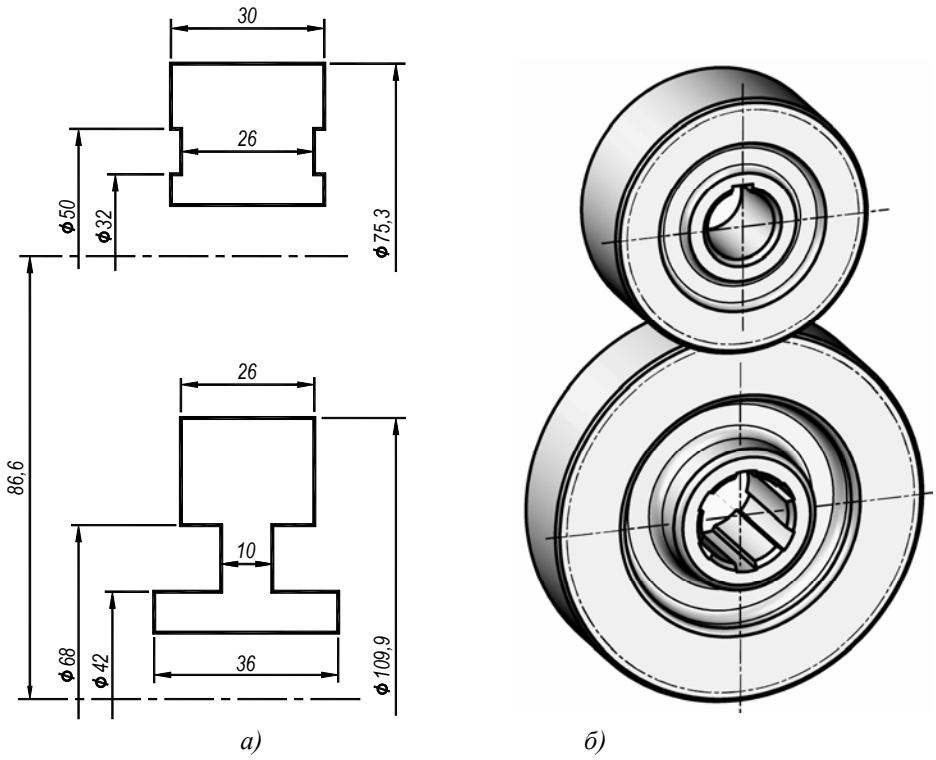


Рис. 14.3. Упрощенная модель цилиндрической косозубой передачи:
а – контуры сечений шестерни и колеса; *б* – 3D-модель

14.3. Точная модель косозубой передачи

Построение точной модели косозубой передачи во многом повторяет построение прямозубой передачи: за основу берется упрощенная модель, потребуется создание эвольвенты, контуров впадин. Особенность в том, что необходимо для каждого колеса строить *окружной* контур впадины и сдвигать его *по гелисе*, задающей направление зуба.

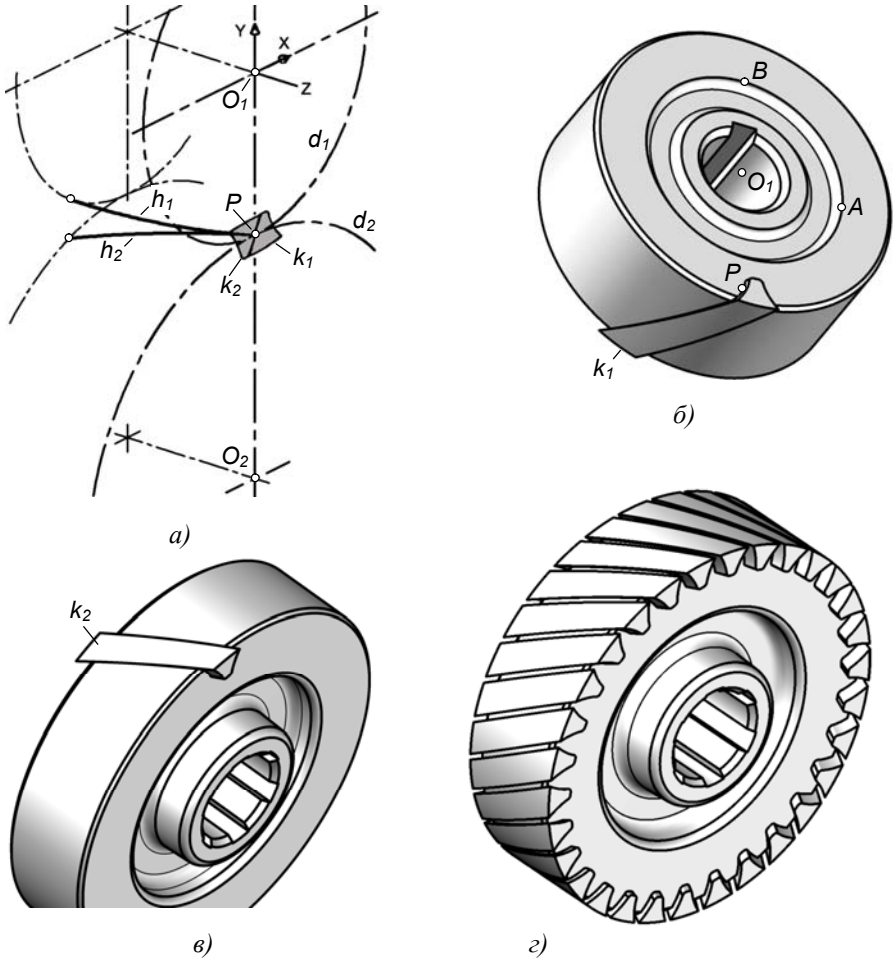
- По формулам (см. табл. 14.1) выполните расчет параметров передачи.
- Перейдите на лист и выполните разметку шестерни как на рис. 13.3, *б* для прямозубого колеса. Постройте оси и четыре окружности шестерни: d, d_a, d_b, d_f.

При повторении нашего примера параметры возьмите из табл. 14.1: окружной (торцовый) модуль m_t = 3.46, делительный диаметр d_1 = 69.28; диаметр вершин d_{a1}=75.28; основной диаметр d_b = 63.87; диаметр впадин d_{f1}=*61.78*.

- Постройте эвольвенту основной окружности d_b. Построение выполните либо как развертки (см. рис. 13.4), либо как сечения эвольвентного геликоида (см. рис. 13.8). Можно взять ра-

нее построенную эвольвенту и масштабированием создать из нее эвольвенту для окружности d_b. О масштабировании эвольвенты – см. разд. 13.3 “Контур впадины второго колеса”.

- ❑ Постройте контур впадины шестерни (рис. 13.5, *а*).
- ❑ Отложив межцентровое расстояние a = 86.6, найдите центр второго колеса, постройте его окружности d_2 = 103.92; d_{a2} =109.92; d_{b2}=95.81.
- ❑ Копированием и масштабированием эвольвенты шестерни постройте эвольвенту второго колеса, а затем и контур его впадины.
- ❑ Поверните контуры впадин вокруг центров колес до совмещения в полюсе зацепления (см. рис. 13.5, *б*).



а) *б)* *в)* *г)*

Рис. 14.4. Построение цилиндрической косозубой передачи:
а – совмещение контуров впадин с плоскостью передачи и построение гелис – траекторий сдвига; *б, в* – единичная впадина шестерни и колеса; *г* – массив впадин колеса

Переместим контуры впадин в торцовые плоскости колес:

- ❑ в плоскости построений контуров (в нашем примере на листе) создайте блок, включив в него контуры впадин k_1, k_2 (см. рис. 13.5, *б*). Точкой вставки задайте центр шестерни O_1;
- ❑ перейдите в пространство модели, где ранее созданы упрощенные модели колес;

Установите ПСК по плоскости венца шестерни, как имеющего большую ширину (см. рис. 14.4, *б*), и сместите ее на 1 мм наружу, для того, чтобы объем впадины выступал перед плоскостью венца:

- ❑ **ucs** / **3** / с привязкой **Cen** укажите точку точку O_1, с привязкой **Qua** укажите точки *A* и *B*;

- **ucs** / **or** / 0,0,1;
- вставьте (**INSERT**) блок, задав точку вставки 0,0 – контуры впадин *k1*, *k2* установлены на модели колес (см. рис. 14.4, *а*).
- **explode** – расчлените блок. Контуры вновь стали объектами *REGION* .

Формируем объемы впадин. Строим для них гелисы, по которым выполним сдвиг контуров впадин. Гелисы располагаются на поверхностях делительных цилиндров d_1, d_2, начинаются в точке *P* и имеют различное направление навивки.

Для шестерни – гелиса h_1. Ее центр находится в точке O_1. Направление навивки этой гелисы примем против часовой стрелки. Для построения гелисы необходимо задать высоту одного витка. Ее определим как $H_1 = \pi \times d_1 \times \text{tg}(90° - \beta)$. В нашем примере для шестерни получим $H_1 =$ 376.98 мм. Высоту гелисы зададим "с запасом", выступающей с каждой стороны венца по 1 мм, то есть равной 32 мм. Высоту следует задать отрицательной, т.к. гелиса направлена против оси Z ПСК:

- **helix** / **center point of base** (Центр основания): 0,0 / **base radius** (Радиус основания) / указать точку *P* с привязкой **Int** // **turn Height** (высота витка) / 376.99 / **tWist** (Закручивание) / **CCW** (ПРЧС) / **helix height** (Высота спирали) / –32.

Гелиса колеса h_2 имеет высоту витка $\pi \times d_2 \times \text{tg}(90° - \beta) = 565.487$ и направление навивки по часовой стрелке:

- **helix** / указать точку O_2 / **base radius** / указать полюс *P* // **turn Height** / 565.487 / **tWist** / **CW** / **helix height** / –32.

Сдвигаем контуры впадин, каждый по своей гелисе:

- **sweep** (**Сдвиг**) / указать контур впадины шестерни k_1 / **Base point** / указать полюс – точка *P* / **Alignment** / **No** / указать гелису шестерни h_1 – построена впадина k_1 (см. рис. 14.4, *б*);
- **sweep** / указать контур впадины колеса k_2 / **Base point** / указать полюс / **Alignment** / **No** / указать гелису колеса h_2 – построена впадина k_2 (см. рис. 14.4, *в*).

Создадим круговые массивы (**ARRAY**) впадин для каждого колеса с учетом количества зубьев. Для шестерни создадим массив из 20 впадин с центром в точке O_1. Для колеса – массив из 30 впадин с центром в точке O_2 (см. рис. 14.4, *г*). После вычитания массивов впадин из заготовки каждого колеса получим реалистичные модели колес косозубой передачи (см. рис. 14.1).

14.4. Оценка точности модели

Геометрически точную модель можно применить для исследований прочностных характеристик, например, распределения напряжений в зубьях под нагрузкой в процессе работы, исследований технологии зубонарезания и др. Оценим точность созданной модели косозубой передачи. Полученные результаты можно распространить и на прямозубую передачу, как геометрически более простую.

Проверка взаимодействия – отсутствия пересечений зубьев

Одним из критериев точности построенной модели является отсутствие зазоров и пересечений зубьев в зоне контакта. Такую оценку можно получить командой **INTERFERE** (**ВЗАИМОД**), которая строит solid-объекты, по которым модели пересекаются. По форме и размерам объектов пересечения можно оценить точность модели и определить направление ее корректировки.

- Установите красный цвет и новый слой;
- **interfere** / укажите шестерню и колесо // в возникшем диалоговом окне **"Проверка взаимодействий"** снимите флажок **"Удалить созданные объекты взаимодействий при закрытии"** / Закрыть.

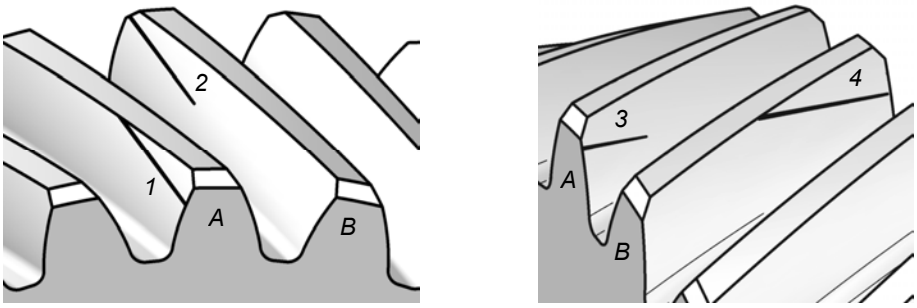


Рис. 14.5. Зоны пересечения колес косозубой передачи

"Заморозьте" колесо, закрывающее поверхность зубьев в зоне их контакта. Если зубья пересекаются, то на рабочей поверхности колеса видны объекты пересечения колеса и шестерни, отражающие погрешность модели.

В нашей модели в зоне контакта выявлены четыре вытянутых объекта (см. рис. 14.5). Объекты 1, 3 расположены на поверхности зуба *A*, объекты 2, 4 – на поверхности зуба *B*. Построение командой **SECTION** поперечных сечений этих объектов показало, что их толщина не превышает 10^{-4} мм. То есть это очень тонкие полоски. Учитывая, что параметры колес были заданы с точностью 10^{-2} (см. табл. 14.1) полученный результат отражает высокую точность модели по рассмотренному показателю.

Точность контура зуба

На производстве одним из методов контроля точности нарезания зубьев колес является измерение длины хорды *s* как расстояния между боковыми поверхностями зуба (рис. 14.6, *д*) [2]. Хорду проверяют на высоте *h* от вершины зуба, от точки *1*. Проверку выполняют в нормальном сечении Б-Б (см. рис. 14.6, *а*). Для угла зацепления $\alpha = 20°$ (что соответствует нормальному сечению наиболее распространенных зубчатых передач и нашей модели) высота измерения хорды задается как $h = 0.748\ m_n$, где m_n – модуль в нормальном сечении. В этом случае расчетная длина хорды для колес без смещения составляет $s=1.387\ m_n$.

Определим длину хорды для построенной выше модели косозубой цилиндрической передачи. При $m_n = 3$ получим высоту замера хорды $h = 2.243$ и контрольное значение длины хорды s = 4.161. Определим также полученную в модели величину угла зацепления α, значение которой было задано 20°:

- в окне вида сверху командой **SECTION** постройте сечение А-А (см. рис. 14.6, *а*);
- установите вид на плоскость сечения А-А и увеличьте область контакта зубьев (см. рис. 14.6, *б, в*);
- с привязкой **Mid** поставьте маркер в точку *1* как вершину зуба колеса в сечении А-А. Маркер должен появиться в окне вида сверху;
- в окне вида сверху через точку *1* постройте сечение колес плоскостью Б-Б. Для этого в соответствии со значением угла наклона зубьев β поверните МСК вокруг оси Z на 30°, переместите начало координат в точку *1* и выполните сечение плоскостью ZX;
- установите вид на плоскость сечения Б-Б. Постройте ось передачи O_1-O_2 и прямую *t* на расстоянии $d_1/2$ от центра шестерни (рис. 14.6, *г*);
- увеличьте область контакта зубьев. От точки *1* на расстоянии *h* постройте отрезок, параллельный прямой *t*. В пересечении с контуром зуба он даст точки *K*, *K*′.

Отрезок *K*–*K*′ – это искомая хорда. Отрезок *PK* – нормаль к контуру зуба в точке зацепления.

В размерном стиле задайте точность измерения линейных и угловых величин как 0.0001. Простановкой размеров определите длину хорды и угол α. В рассмотренном примере длина

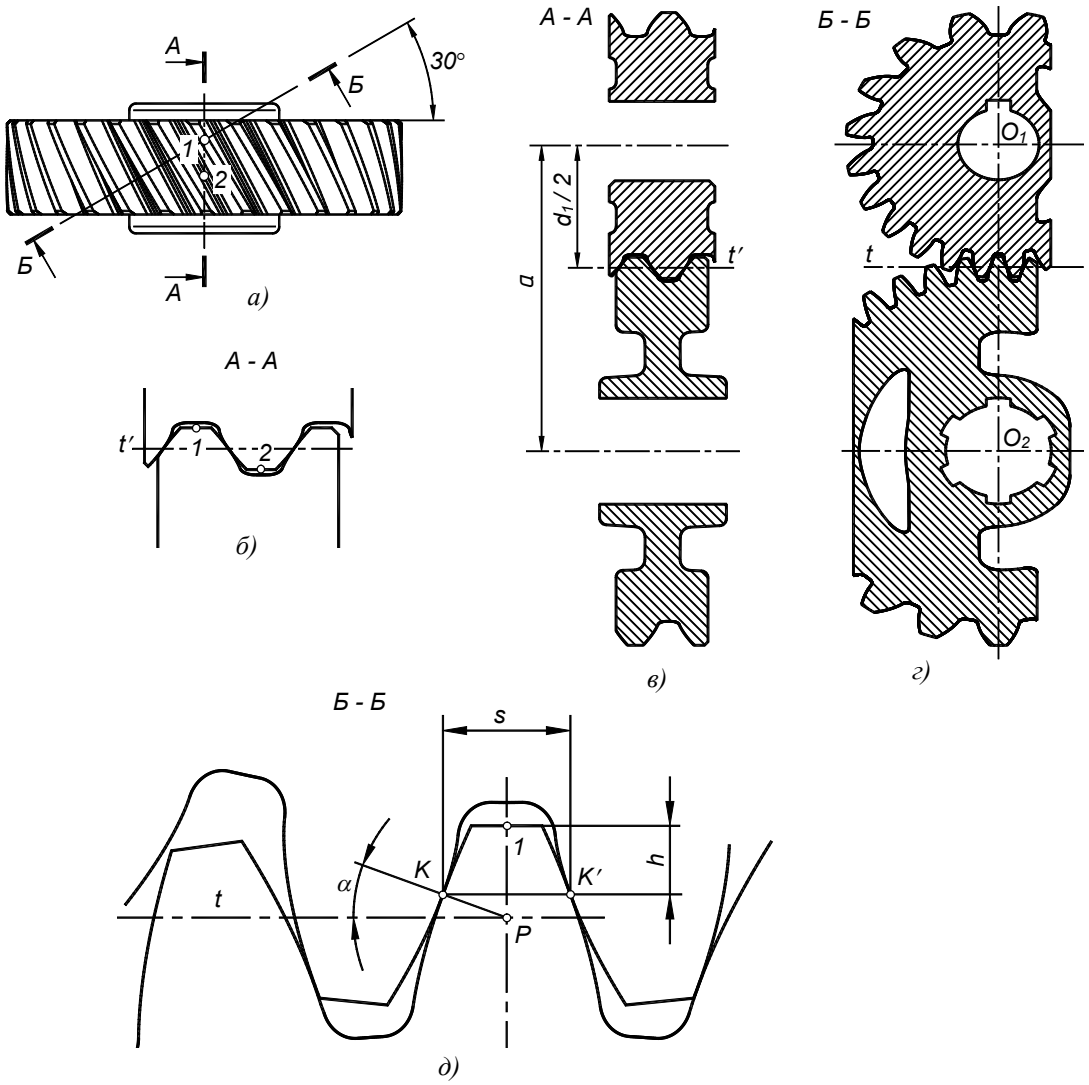


Рис. 14.6. Оценка точности модели цилиндрической косозубой передачи: *а* – плоскости сечений передачи (шестерня не показана); *б, в* – продольное сечение; *г, д* – нормальное сечение.

хорды для колеса составила 4.175, для шестерни 4.162. При расчетном значении 4.161 погрешность модели по длине хорды не превысила 0.35%. Измеренное значение угла α=19.964°, что соответствует погрешности модели по этому показателю 0.18%.

Повторив построения для точки *2* (см. рис. 14.6, *б*), можно проверить точность контура зуба шестерни.

Результаты по оценке точности модели зубчатой передачи позволяют сделать вывод о том, что по рассмотренной методике можно создавать модели с точным воспроизведением геометрии зацепления.

14.5. Наглядная модель и анимация

Перемещение контуров по гелисам заметно повышает сложность модели косозубой передачи и объем ее файла. В нашем примере объем файла точной модели составил 6.5 МБ. Это сопровождается длительной загрузкой файла, сложностью выполнения над ней операций преобразования вида, построения разрезов, сечений и построения чертежа.

Если нет необходимости в геометрически точной модели косозубой передачи, например, при построении сборочного узла или чертежа, рационально заменить ее на наглядную модель

(см. разд. 13.6). Лишь замена эвольвенты на окружность позволяет заметно снизить величину файла. Так, объем файла в нашем примере с 6.5 уменьшается до 1.2 МБ.

Анимация позволит окончательно понять геометрию и сложную кинематику работы косозубого зацепления. Для анимации следует применить программу 13.2 (см. разд. 13.5).

Глава 15

Коническая прямозубая передача

В конической передаче оси колес пересекаются. Построим 3D-модель наиболее распространенной ортогональной прямозубой конической передачи (рис. 15.1, *а*). В ней оси колес пересекаются под прямым углом. Построение точной модели этой передачи – задача достаточно сложная. Для задач визуализации можно построить упрощенную и наглядную модели.

15.1. Расчет параметров

Расчетные формулы и пример расчета возьмем из справочной литературы [2]. Из многочисленных параметров, необходимых для изготовления и контроля колес, выберем те, которые понадобятся для построения 3D-модели (табл. 15.1).

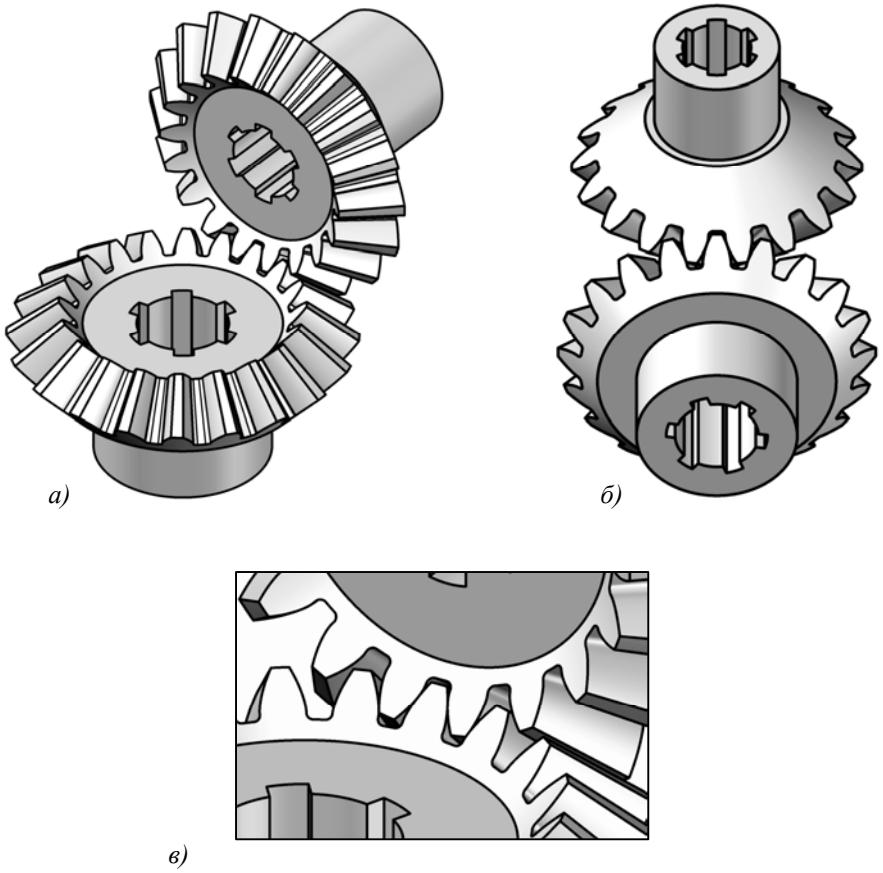


Рис. 15.1. Реалистичная модель конической передачи:
а – общий вид; *б* – вид на внешние контуры зубьев;
в – зона контакта

Последовательность расчета следующая. На основе кинематического расчета задаются числа зубьев z_1, z_2. В соответствии с технологией изготовления колес расчет передачи ведется для так называемого “внешнего контура” зуба, расположенного в плоскости, касательной к внешнему конусу каждого из колес (рис. 15.1, *б*). Внешний конус одного из колес (шестерни) имеет вершину в точке O_1 (рис. 15.2), второго колеса – в точке O_2. Для внешнего контура из условий прочности назначается модуль m_e. Далее по формулам (см. табл. 15.1) находят угол δ_1 и

делительный диаметр d_{e1} конуса шестерни, высоту h_{ae} головки и ножки h_{af} внешнего контура зуба. Остальные размеры модели можно определить геометрическим построением.

Таблица 15.1

Пример расчета конической передачи с прямыми зубьями

Параметры	Расчетные формулы	Значения
Число зубьев шестерни z_1 Число зубьев колеса z_2	Исходные данные, задаются конструктором	18 20
Внешний окружной модуль m_e		5
Межосевой угол передачи Σ		90°
Ширина зубчатого венца b		20
Угол делительного конуса шестерни δ_1	$\delta_1 = \text{arctg}\,(z_1 / z_2)$	41.987°
Внешний делительный диаметр шестерни d_{e1}	$d_{e1} = m_e z_1$	90
Внешняя высота головки зуба h_{ae}	$h_{ae} = m_e$	5
Внешняя высота ножки h_{af}	$h_{af} = h_{ae} + 0.2m_e$	6

15.2. Упрощенная модель конической передачи

Для создания колес выполним разметку (рис. 15.3), построим контуры и тела вращения с учетом конструктивных особенностей колес. В нашем примере колеса содержат упрощенные модели зубчатых венцов (без зубьев) и цилиндрические ступицы с посадочными отверстиями, в которых выполнены шлицевые пазы.

- Перейдите в окно вида спереди. В режиме **ORTHO** постройте оси колес. Начало координат перенесите в точку пересечения осей, точку *O*.

Строим контур вращения шестерни *K1*. Найдем точку *1* на пересечении отрезков *a* и *h*:

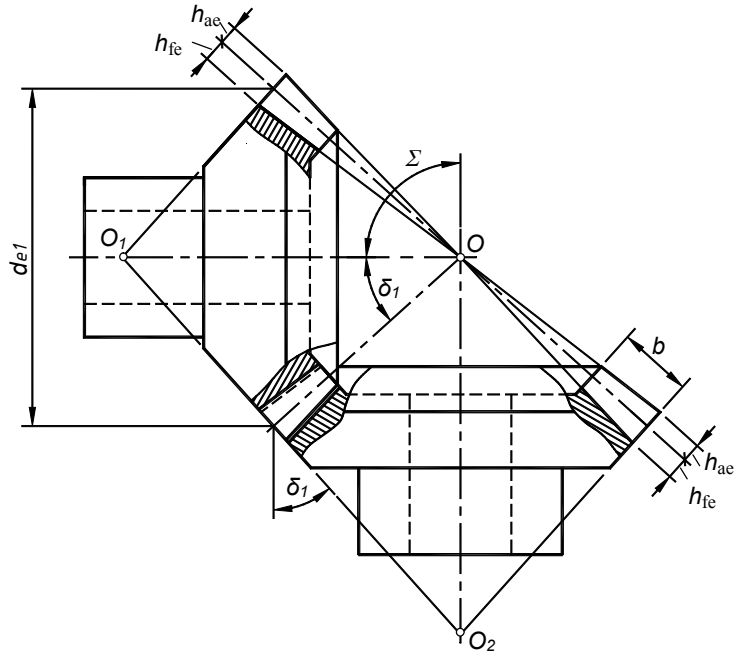


Рис. 15.2. Схема конической прямозубой передачи

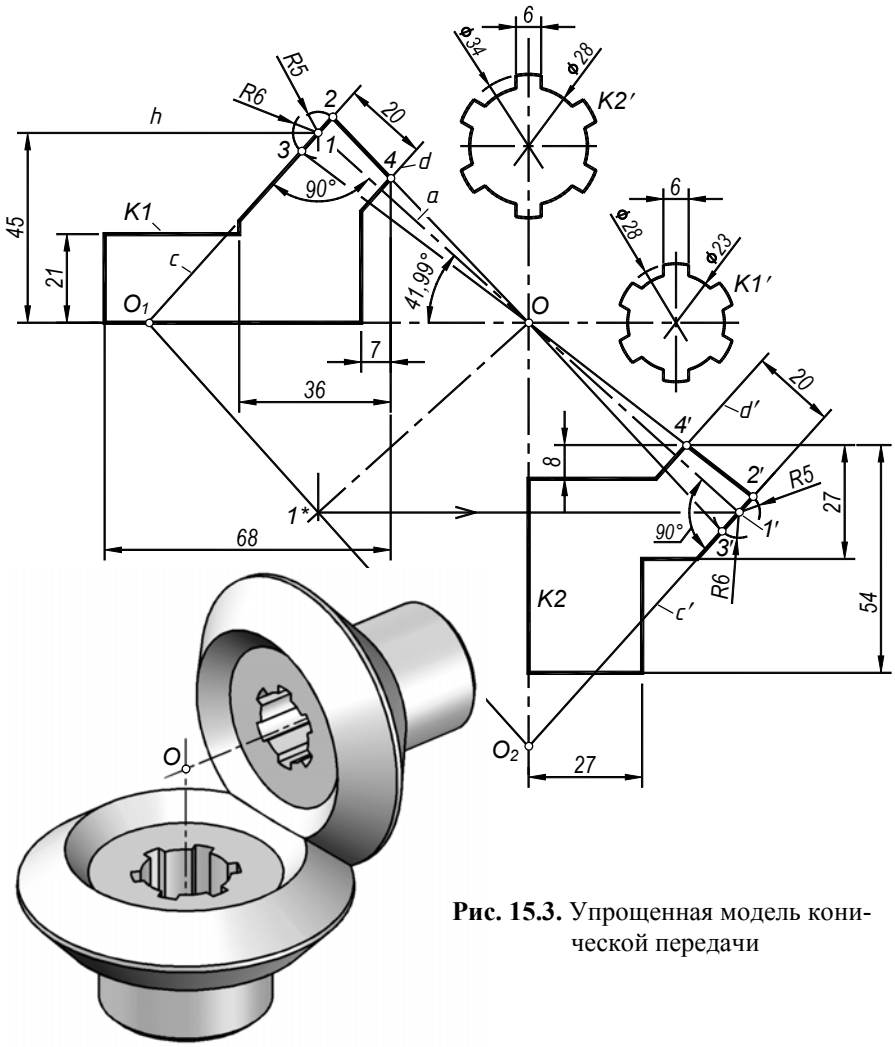


Рис. 15.3. Упрощенная модель конической передачи

- **`line`** / 0,0 / –80<–41.99 – построен отрезок *a*, это образующая делительного конуса;
- **`offset`** / 45 / укажите горизонтальную ось и направление ее смещения вверх – построен отрезок *h*.

Находим точки *2*, *3* на пересечении отрезка *c* образующей внешнего конуса и вспомогательных окружностей *R5* (внешняя высота головки зуба) и *R6* (внешняя высота ножки зуба):

- **`rotate`** / укажите отрезок *a* / укажите точку *1* / **`Copy`** / –90 – построен отрезок *c*;
- **`circle`** – строим вспомогательные окружности *R5* и *R6* с центром в точке *1*;
- строим отрезок *d* внутренней границы зубчатого венца, сместив командой **`OFFSET`** отрезок *c* на ширину венца 20. На пересечении отрезков *d* и (*O–2*) находим точку *4*.

Завершаем построение контура шестерни по его размерам 7, 36, 68, 21. Контур обводим замкнутой полилинией или объединяем его элементы в область.

Для построения контура колеса *K2* необходимо в первую очередь найти точку *1′*. Ее можно найти двойным зеркальным преобразованием (**`MIRROR`**) маркера точки *1*, либо вращением (**`ROTATE`**) этого маркера относительно центра *O* на 180°. Далее повторяем действия как при построении контура шестерни. Строим отрезок $c' \perp (O–1')$. На этом отрезке с помощью вспомогательных окружностей находим точки *2′*, *3′*. Сместив отрезок *c′* на ширину зубчатого венца находим отрезок *d′* и точку *4′*. Завершаем контур *K2* по его размерам и представляем этот контур как замкнутую полилинию или область.

Переходим на новый слой и вращением (**`REVOLVE`**) контура *K1* вокруг горизонтальной оси

передачи создаем объемную заготовку шестерни. В окне вида слева строим контур посадочного отверстия шестерни *K1′*. Командами **EXTRUDE** и **SUBTRACT** (или **PRESSPULL**) формируем шлицевое отверстие в шестерне.

Переходим на следующий слой и вращением контура *K2* вокруг вертикальной оси создаем заготовку колеса. В окне вида сверху строим контур *K2′* и формируем шлицевое отверстие в колесе.

Завершаем построения упрощенной модели созданием фасок, проточек и других мелких конструктивных элементов колес.

15.3. Точная модель конической передачи

Для создания точной модели "нарежем" на колесах зубья. С этой целью, как и в предыдущих моделях цилиндрических колес, построим впадины в виде тел и вычтем их из заготовок колес.

Контуры впадин

В конических прямозубых колесах поверхность каждой впадины представляет собой конус. Направляющей линией этого конуса служит внешний контур эвольвентного зацепления, построенный в плоскости, касательной к поверхности внешнего конуса. Вершинами внешних конусов шестерни и колеса являются точки O_1 и O_2 (см. рис. 15.3). Вершиной конусов всех впадин является точка пересечения осей колес –точка *O*.

Рассмотрим построение впадины для шестерни. В окне аксонометрии (рис. 15.4, *а*) отобразите контур вращения шестерни *K1*, по которому была получена упрощенная модель – заготовка шестерни. Необходимы также точки *1*, *2*, *3* и O_1 этого контура (см. также рис. 15.3). Solid-модель шестерни временно заморозьте.

Установим систему координат в касательную плоскость внешнего конуса, показанную осями O_1–*X*, O_1–*Y* (рис. 15.4, *а*):

- **ucs** / 3 / укажите точки O_1, *1* и точку *O* оси шестерни;
- **ucs** / **Z** / –90; ucs / Y / 90 – задана касательная плоскость.

В касательной плоскости постройте три концентричные окружности – окружность делительную d_t, выступов d_{ta} и впадин d_{tf}:

- перейдите на новый слой, в котором будем выполнять построение контура впадины;
- постройте ось *i* (**line** / точка O_1 / точка *2*);
- **circle** / укажите точку O_1 / укажите точку *1* – построена делительная окружность d_{t1};

Подобным образом постройте окружность выступов d_{ta1} (по точке *2*) и окружность впадин d_{tf1} (по точке *3*).

Установите в видовом окне вид на касательную плоскость:

- заморозьте слой с контуром *K1*;
- **plan** / **Current**.

Строим эвольвенту в касательной плоскости для основной окружности d_{tb1}. Радиус этой окружности находится геометрическим построением (рис. 15.4, *б*) на основе делительной окружности d_{t1} и угла зацепления α=20°:

- постройте основную окружность d_{tb1}.

Построение эвольвенты выполняется одним из вариантов, рассмотренных в разд. 13.3, 13.4: либо как развертки окружности, либо как сечения эвольвентного геликоида. Рекомендуем построить эвольвенту на свободном месте или, лучше, в отдельном файле. Учитывая подобие эвольвент, ее можно построить для окружности произвольного размера как некоторую базовую эвольвенту или взять из какой-либо ранее построенной модели. Затем имеющуюся эвольвенту смасштабировать под размер окружности d_{tb1}. Итак, считаем, что эвольвента построена или найдена из ранее построенных:

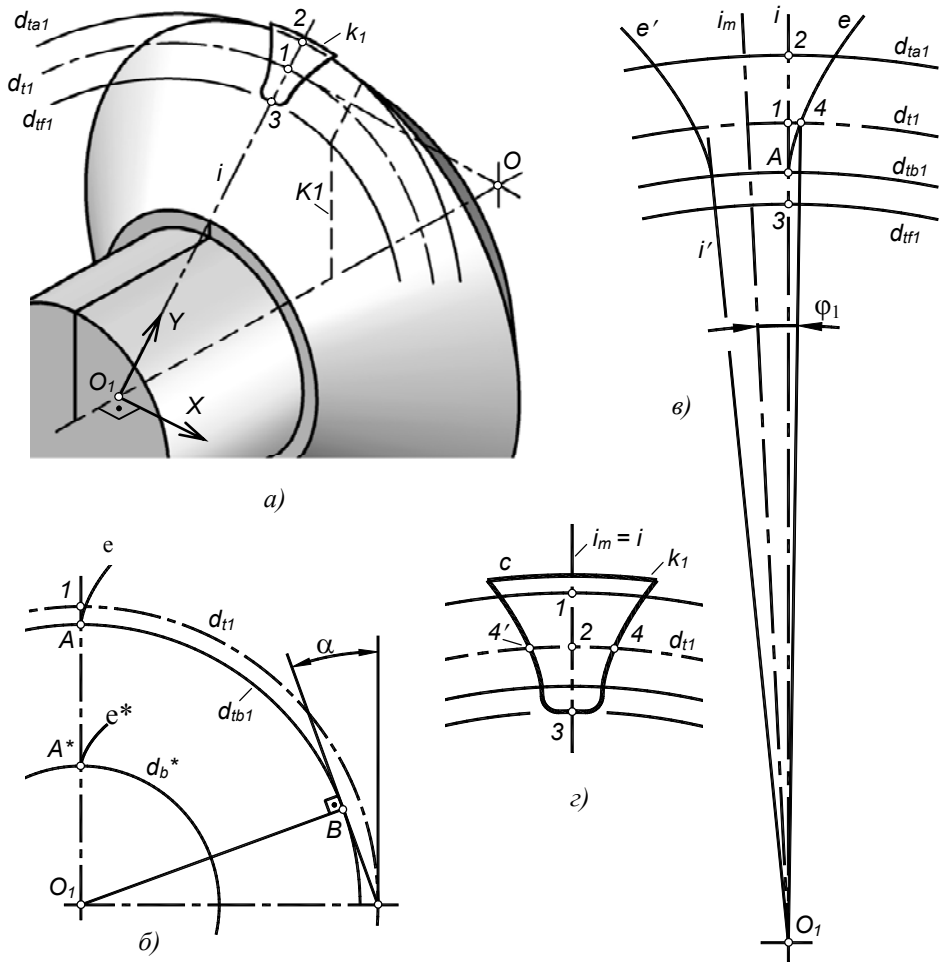


Рис. 15. 4. Построение внешнего контура впадины шестерни конической передачи:
а – положение контура в касательной плоскости внешнего конуса;
б – построение эвольвенты масштабированием; *в* – разметка контура впадины в касательной плоскости; *г* – завершение контура

- в плоскости имеющейся эвольвенты создайте блок, задав центр ее окружности как точку вставки. В блок включите эвольвенту и окружность с осями;
- перейдите в видовое окно построения контура впадины. Убедитесь, что ПСК установлена как на рис. 15.4, *а*. Вставьте блок эвольвенты.

После вставки блока в касательной плоскости (рис. 15.4, *б*) получена эвольвента *e*,* построенная для некоторой окружности d_b*, начальная точка эвольвенты – точка *A**. Выполняем массштабирование эвольвенты под размер окружности d_{tb1}:

- **`explode`** – расчлените блок эвольвенты;
- **`scale`** / указать эвольвенту *e** / базовая точка – указать O_1 / **`Copy`** / **`Reference`** (Опорный отрезок) / указать точки O_1 и *A** / указать точку окружности d_{tb1}, например, точку *A* или *B* – построена эвольвента *e* для окружности d_{tb1}. Начальная точка эвольвенты *e* находится в точке *A*.

Строим наружный контур впадины для шестерни (рис. 15.4, *в*). Правая сторона контура образована эвольвентой *e* и радиальным отрезком *A–3*, являющимся частью оси *i*. Левая сторона контура находится зеркальным отображением.

Для нахождения оси i_m зеркального отображения строим радиальный отрезок (*4–*O_1) и поворачиваем его на угол $\varphi = \frac{90}{z} \cdot \cos\delta$, где *z* – количество зубьев, δ – угол при вершине дели-

тельного конуса. В нашем примере для шестерни z_1 = 18; δ_1 = 41.9872°; cos δ_1 = 0.7433; φ_1 = 3.7165°. (Для колеса z_2 = 20; δ_2 = 48.0128; cos $\delta 2$ = 0.668965; φ_2 = 3.0103°). Далее командой **MIRROR** относительно оси i_m зеркально отображаем эвольвенту e и ось i – получаем e', i'.

Завершаем контур впадины шестерни (рис. 15.4, *г*) построением радиусов сопряжения с окружностью впадин. Величина радиусов для конических колес равна $0.3m_e$ (в нашем примере 1.5 мм). Проводим окружность c, обеспечив некоторое выступание контура над окружностью выступов. Обрезаем линии и формируем из них замкнутый контур k_1 – область (**REGION**).

Подобным образом строим контур k_2 впадины колеса (рис. 15.5), поместив его в касательную плоскость колеса.

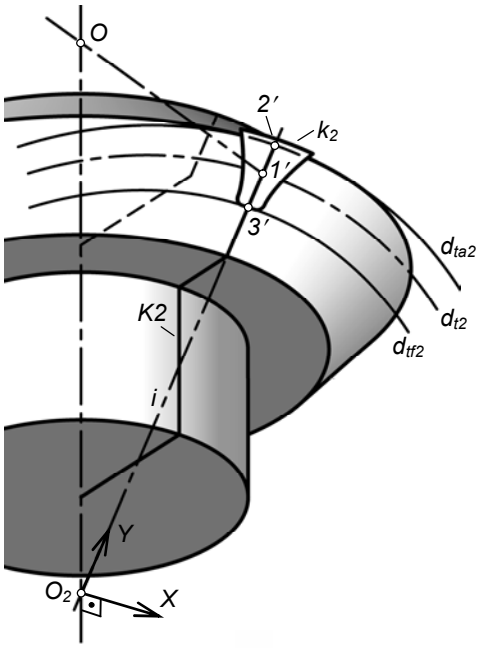


Рис. 15. 5. Размещение контура впадины колеса в касательной плоскости

Промежуточная проверка точности

На этом этапе рекомендуем выполнить промежуточную проверку точности построений. Для каждого контура следует построить дугу делительной окружности, заключенную между эвольвентами. Для шестерни – это дуга *4–2–4′* окружности d_{t1} (рис. 15.4, *г*). Для колеса – аналогичная дуга окружности d_{t2}. Поскольку при работе передачи происходит обкатка делительных окружностей колес, то длины дуг теоретически должны быть равны. Поскольку изначально в модели заложена точность построений на уровне 0.001…0.0001, то с этой же точностью должны совпадать и длины дуг.

Для построения и измерения дуги шестерни (см. рис. 15.4, *а, г*):

- перейти в ПСК контура шестерни;
- **arc** / **Center** / указать точки O_1, *4*, *4′*;
- **units** / задать точность отображения линейных и угловых параметров на уровне 0.00001;
- **list** / указать дугу и прочесть ее длину.

Подобным образом следует измерить длину дуги контура колеса. В нашем примере длины дуг для шестерни и колеса составили соответственно 7.854042 и 7.853984. Это указывает на достаточную точность выполненных построений и возможность завершения модели. Потеря точности при построении контуров приведет к значительной погрешности конечной модели, например, к недопустимому пересечению зубьев колес. Поэтому, при расхождении длин дуг на уровне 0.1…0.05, контуры впадин следует перестроить.

Формирование впадин колес

Осталось сформировать объемы впадин и вычесть их из упрощенных моделей – заготовок колес.

- В видовом окне аксонометрии разморозьте слои с заготовками колес, оставьте построенные контуры впадин и оси колес. Остальные построения “заморозьте”.
- Поставьте маркер в точку O пересечения осей колес.

Строим шестерню:

- **loft** / укажите контур k_1 впадины шестерни и маркер точки O / Только по сечениям / согласитесь с настройками диалогового окна – построен конусообразный solid-объект впадины шестерни (рис. 15.6);

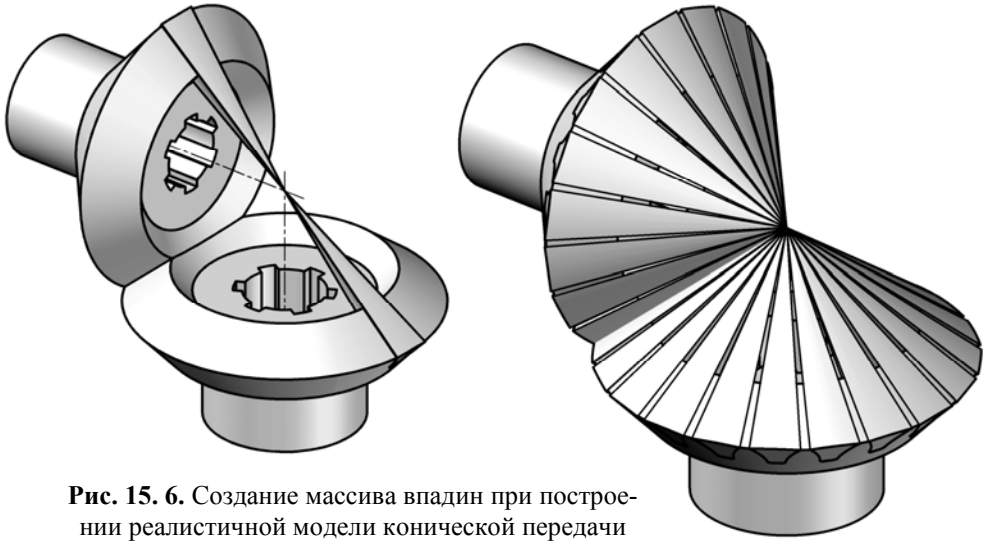


Рис. 15. 6. Создание массива впадин при построении реалистичной модели конической передачи

- установите ПСК осью Z вдоль оси шестерни и создайте круговой массив (**ARRAY**) впадин по количеству зубьев;
- **subtract** – выполните вычитание впадин из ее заготовки – построена реалистичная модель шестерни;
- повторите приведенные действия для построения зубьев колеса.

Поскольку в рассматриваемой модели колеса имеют четное количество зубьев, то первоначально получим пересечение зубьев (положение "зуб в зуб"). Для устранения этого достаточно повернуть одно из колес вокруг своей оси на половину угла, приходящегося на один зуб. В нашем примере повернем колесо на 9°.

В итоге построена реалистичная 3D-модель конической прямозубой передачи (см. рис. 15.1).

15.4. Оценка точности модели

Построенная модель создана при условии касания зубьев шестерни и колеса в зоне их контакта. Допущения и погрешности модели приводят к наличию зазора между зубьями, либо к их пересечению.

Проверить модель на отсутствие пересечения зубьев можно командой **INTERFERE** (см. разд. 14.4). В нашей модели в зоне контакта выявлены четыре продольные полосы пересечения зубьев. Полосы проходят по всей длине зуба. Полосы *1* и *2* симметричны соответственно полосам *1′*, *2′* (рис. 15.7, *а*). Это solid-объекты. Толщина полос, определенная построением их поперечного сечения (**SECTION**), составила 0.001…0.006 мм, что при "заложенной" в модель точности 0.001…0.0001 говорит о незначительной погрешности модели.

Вторая оценка модели – по длине хорды зуба и углу зацепления (см. разд. 14.4). Необходимо построить вид на внешние контуры зубьев (см. рис. 15.1, *б*) – это вид в направлении отрезка (*1**–*O*) (см. рис. 15.3). Для этого установить ПСК осью Z вдоль указанного отрезка и выполнить команду **PLAN**. Применив команду **SOLPROF**, построить проекцию колес на плоскость экрана. Увеличить зону контакта и измерить хорду (см. рис. 14.6, *д*). В нашем примере (рис. 15.7, *б*) при модуле внешнего контура $m_e = 5$ высота измерения хорды $h = 0.7476\ m_e = 3.7379$. Расчетная длина хорды s=1.3870 m_e = 6.9351. Измеренная длина хорды зуба колеса составила 6.9427, что соответствует погрешности 0.11% и говорит о высокой точности модели.

Построив проекцию точки *O* или точки *1** (см. рис. 15.7, *б*) на плоскость измерения хорды, можно определить угол зацепления передачи α. При расчетной величине $\alpha = 20°$ его значение в нашем примере составило 19.9804°, то есть погрешность также на уровне 0.1%.

15.5. Дополнительные возможности анимации

Для создания анимации вращения конических колес примените программу 13.2 (см. разд. 13.5 “Объемная анимация”). Как и ранее требуется задать две ПСК, наглядный режим визуализации, выполнить первую визуализацию вручную и т.д.

Предлагаем немного усложнить программу, дополнив анимацию изменением точки наблюдения. Новая программа 15.1 позволит одновременно с вращением колес осмотреть объект съемки. Для этого в программу включим команду **VPOINT**, которая задает точку наблюдения двумя углами. Первый – угол между проекцией вектора наблюдения на плоскости XOУ с осью X (в программе он назван горизонтальным углом), второй – угол вектора к плоскости XOУ (вертикальный угол):

- в видовом окне задайте наглядное изображение конических колес (см. рис. 15.1);
- задайте две именованные системы координат: ПСК “1”, ось X которой направлена вдоль оси шестерни (или червяка) и ПСК “2”, у которой ось X направлена вдоль оси колеса;
- в редакторе VLISP наберите и отладьте текст программы 15.1 (см. разд. 9.9);

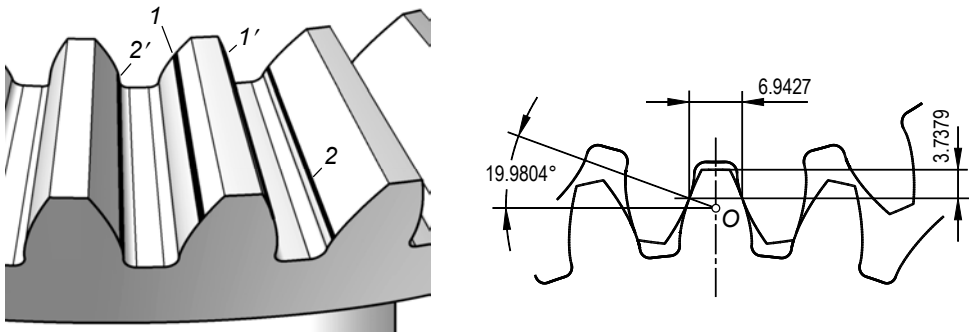


Рис. 15.7. Оценка точности реалистичной модели конической передачи:
а – зоны пересечения – контакта (на поверхности колеса);
б – оценка по длине хорды

- установите реалистичный режим визуализации в видовом окне;
- временно закомментируйте строку программы с обращением к команде **PLOT**. Загрузив программу, выполните команду *ani4*. Проверьте, как происходит изменение точки зрения. При необходимости скорректируйте значения уголов зрения:
- применив команду **PLOT**, настройте режим сохранения растровых файлов;
- сняв комментарий, выполните команду *ani4*. Задайте один оборот шестерни и 100…150 кадров анимации.

Программа 15.1

```
;;;  Анимация вращения с записью растровых файлов и изменением точки зрения
;;;=============================================================================
(defun c:ani4 (/ alf alf1 alf2 ang1 ang2 bet bet1 bet2 dalf dbet i
                 n n1 name1 name2 num w z1 z2)
  (command "_undo" "_m") ;_создать метку
  (setvar "cmdecho" 0) ;_отключить эхо-вывод
  (setvar "osmode" 0) ;_отключить объектную привязку
  (command "_mspace") ;_ перейти в пространство модели
  (setq        name1 (car (entsel "\n Укажи шестерню или червяк "))
```

```
    name2 (car (entsel "\n Укажи колесо "))
    z1    18 ;_кол-во зубьев шестерни
    z2    20 ;_кол-во зубьев колеса
    w     (/ z1 z2 1.) ;_передаточное число
    n1    (getreal "\n Количество оборотов шестерни или червяка = ")
    n     (getint "\n Количество кадров = ")
    ang1  (/ (* 360 n1) n) ;_угол поворота шестерни на один кадр, градусы
    ang2  (* ang1 w -1.) ;_угол поворота колеса
    alf1  60 ;_горизонтальный угол зрения, начальное значение
    alf2  -180 ;_горизонтальный угол зрения, конечное значение
    bet1  60 ;_вертикальный угол зрения, начальное значение
    bet2  -45 ;_вертикальный угол зрения, конечное значение
    dalf  (/ (- alf2 alf1) n 1.) ;_шаговые приращения углов
    dbet  (/ (- bet2 bet1) n 1.)
    num   101 ;_номер файла
    i     0 ;_номер кадра
    alf   alf1
    bet   bet1
  )
  (repeat n ;_съемка
   (command "_ucs" "_w")
   (command "_vpoint" "_r" alf bet)
   (command "_plot" "" "" "" "" (itoa num) "" "")
   (command "_ucs" "_na" "_r" "1") ;_ПСК по шестерне - червяку
   (command "_rotate" name1 "" '(0 0) ang1) ;_поворот шестерни - червяка
   (command "_ucs" "_na" "_r" "2") ;_ПСК по колесу
   (command "_rotate" name2 "" '(0 0) ang2) ;_поворот колеса
   (setq alf (+ alf dalf)
      bet (+ bet dbet)
      num (1+ num)
      i   (1+ i)
   )
   (princ (strcat "\nКадр " (itoa i) "  Осталось " (itoa (- n i)) "  "))
  )
  (princ)
  (princ (strcat "\nНачинаю возврат в начальное положение. Ждите" "  "))
  (command "_undo" "_b") ;_восстановление начального положения колес
)
(defun c:mu () (command "_undo" "_b"))
(princ "\nДля запуска введи ani4");_сообщение при загрузке программы
```

15.6. Наглядная модель конической передачи

Для сокращения объема файла точную модель следует упростить, заменив эвольвенты в контурах впадин на дуги окружностей (см. разд. 13.6). Если внешние контуры (рис. 15.4) были ранее построены, достаточно в них заменить эвольвенты на дуги окружности (см. рис. 13.10, *а*). При построении контура из дуг окружностей (рис. 13.10, *б*) нужно учесть особенность определения угла φ. В конической передаче для наружного контура $\varphi = \frac{90}{z} \cdot \cos\delta$, где δ - угол при вершине делительного конуса.

В рассмотренном примере размер файла точной модели составляет 1.3 – 1.5 МБ, размер файла наглядной модели с упрощенным контуром – 0.4 – 0.5 МБ. Визуальные отличия наглядной модели от точной незначительны.

Глава 16

Червячная передача

В червячной передаче (рис. 16.1) вращение передается от червяка колесу, оси которых являются скрещивающимися прямыми. Геометрия передачи, в зависимости от назначения и технологии изготовления весьма разнообразна, насчитывает 15…20 вариантов [2, 14]. Мы рассмотрим четыре варианта. Первый, наиболее простой – это передача с цилиндрическим Архимедовым червяком. Другие варианты более сложные – передача с цилиндрическим конволютным и эвольвентным червяком, а также передача с глобоидным червяком.

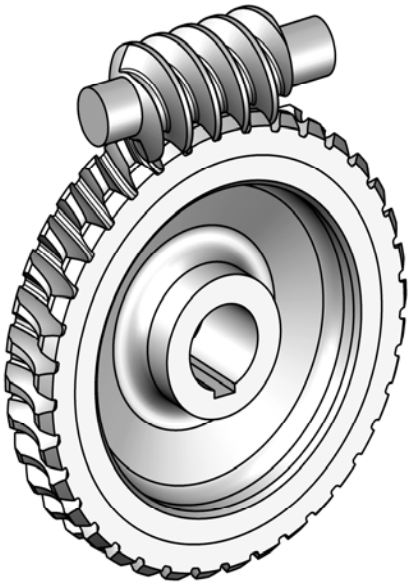


Рис. 16.1. Червячная передача

16.1. Передача с Архимедовым червяком

Построим модель передачи, расчет которой приведен в [2,16]. Параметры, необходимые для построения геометрической модели, сведены в табл. 16.1 и пояснены на рис. 16.2.

Упрощенная модель червячной передачи

Червяк и колесо являются телами вращения. Для их построения (рис. 16.3):

- активизируйте окно вида спереди (см. рис. 16.3, *а*). Точка *О* –начало координат МСК. Постройте оси передачи и контур червяка *1*;
- активизируйте окно вида слева (см. рис. 16.3, *б*), постройте контуры зубчатого венца *2* и его ступицы *3*;
- вращением контуров (**REVOLVE**) создайте заготовки червяка и колеса;
- ступицу переместите (**MOVE**) для установки в зубчатый венец (см. рис. 16.3, *в*);
- создайте призму *4* и путем ее вычитания (**SUBTRACT**) из ступицы прорежьте шпоночный паз – упрощенная модель передачи построена (см. рис. 16.3, *в*).

Точная модель Архимедовой передачи

Архимедов червяк представляет собой винт с трапецеидальной резьбой, профиль которой – равнобочная трапеция (рис. 16.2, *б*). Рабочая поверхность такого червяка – наклонный геликоид (см. рис. 12.7). Название червяка обусловлено тем, что поперечным сечением этой поверхности является спираль Архимеда (см. рис. 12.8).

Для получения реалистичной модели передачи нужно из упрощенной модели (заготовки) червяка вычесть впадины червяка, а из заготовки колеса вычесть впадины колеса. Впадины червяка получим перемещением профиля трапеции по гелисе. Полученный червяк называют “исходным”.

Впадины колеса создают обкаткой заготовки колеса так называемым “производящим” червяком. Обкатка воспроизводит реальный процесс фрезерования колеса. Производящий червяк отличается от исходного тем, что его зуб увеличен для создания в колесе радиальных зазоров (см. зазор *с*, рис. 16.2, *а* и табл. 16.1). Возможно добавление боковых зазоров. Мы воспроизве-

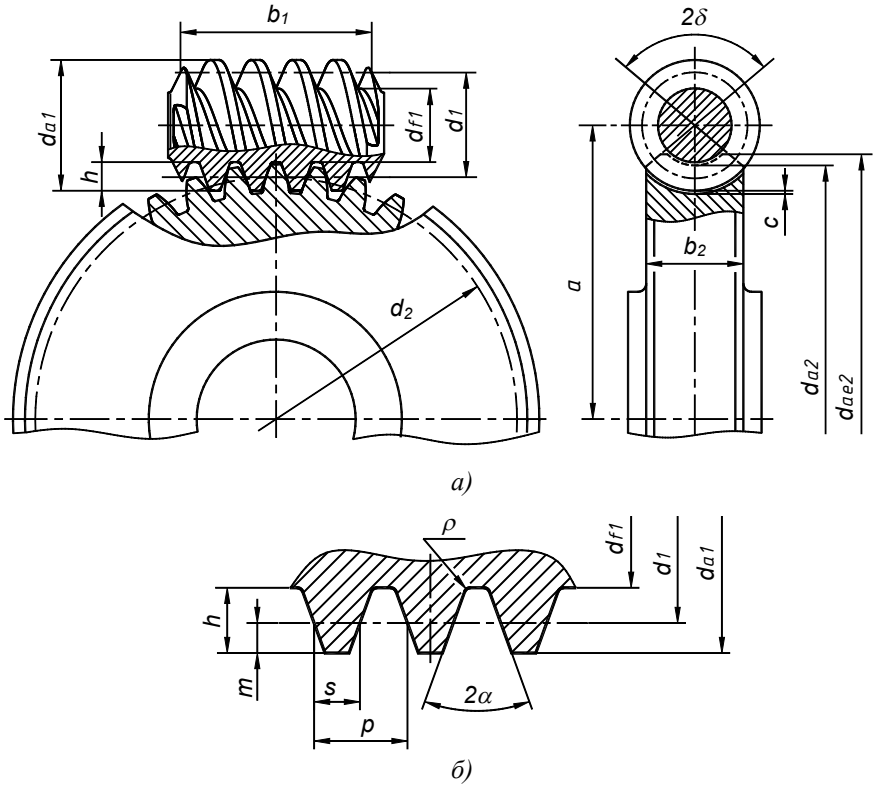


Рис. 16.2. Червячная передача:
а – схема; *б* – осевое сечение Архимедова червяка

дем червячную передачу только с радиальными зазорами. Модель производящего червяка получается из исходного червяка редактированием поверхности.

Построение Архимедова червяка

Строим гелису (рис. 16.4, *а*, *б*) как траекторию перемещения профиля. Гелиса должна удовлетворять условиям: ось гелисы совпадает с осью червяка, диаметр гелисы равен делительному диаметру червяка d_1, шаг гелисы равен шагу витка червяка p_{z1}, гелиса должна проходить через точку *P*. Высота гелисы должна превышать длину нарезанной части червяка. В нашем примере построим четыре витка гелисы, по два витка в каждую сторону от точки *P*:

- перейдите в окно аксонометрии. Убедитесь, что в окне аксонометрии начало координат находится в точке *O* и ось X направлена вдоль оси червяка (это МСК). Поместите заготовки червяка и колеса на раздельные слои и заморозьте эти слои – должны остаться только оси.

Установите ПСК, направив ось Z вдоль оси червяка и поместив начало координат в точку *A*, на расстоянии 2 p_{z1} = 100.531 от точки *O*. Ось X необходимо направить в направлении начальной точки создаваемой гелисы, в точку *B*:

- **ucz** / **za** / 100.531,0 / 0,0; **ucz** / **z** / –90;
- включите режим **ORTHO**;
- **helix** / Центральная точка основания: 0,0 / отведите курсор вниз по оси X / Радиус основания: 32 / Радиус верхнего основания: 32 / **_Turns** (Число витков): 4 / **Twist** (Закручивание): **CCW** (ПРЧС) / **Turn height** (Расстояние между витками): 50.2655 – гелиса построена, убедитесь, что она отвечает указанным выше условиям.

Контур впадины червяка строим в плоскости (*AO*, *B*), заданной осью гелисы и ее начальной точкой (см. рис. 16.4, *а, б*). В нашем примере – это плоскость окна вида спереди. Размеры контура (см. рис. 16.4, *в*) берем из табл. 16.1. Трапеция должна выступать за диаметр выступов на c'=1…3:

Таблица 16.1

Пример расчета червячной передачи с архимедовым червяком

Параметры и обозначения		Расчетные формулы (индекс *1* – червяк, *2* – колесо)	Значения, мм
Модуль m		Исходные данные, задаются конструктором	8
Коэффициент диаметра червяка q			8
Угол профиля α			20°
Число заходов червяка z_1 Количество зубьев колеса z_2			2 37
Радиальный зазор c		$c = 0{,}2\ m$	1.6
Делительный диаметр червяка d_1 колеса d_2		$d1 = q\ m$ $d2 = m\ z_2$	64 296
Межосевое расстояние a		$a = 0.5\ (d_1 + d_2)$	180
Передаточное число u		$u = z_2 / z_1$	18.5
Диаметр вершин червяка d_{a1} Диаметр вершин колеса d_{a2}		$d_{a1} = d_1 + 2\ m$ $d_{a2} = d_2 + 2\ m$	80 312
Диаметр впадин червяка d_{f1}		$d_{f1} = d_1 - 2\ (m + c)$	44.8
Параметры зуба червяка	Высота зуба h	$h = 2\ m + c$	17.6
	Высота головки h_{a1}	$h_{a1} = m$	8
	Шаг червяка p	$p = \pi\ m$	25.133
	Ход витка p_{z1}	$p_{z1} = z_1\ p$	50.265
	Толщина зуба s	$s = 0.5\ p$	12.566
Радиус сопряжения ρ		$\rho = 0.3\ m$	2.4
Длина нарезанной части червяка b_1		$b_1 \geq (11 + 0{,}06\ z_2)\ m$	130
Ширина венца колеса b_2		$b_2 = 0.75\ d_{a1}$	60
Наибольший диаметр колеса d_{ae2}		$d_{ae2} \leq d_{a2} + 6m / (z_1 + 2)$	324
Угол обхвата 2δ		$2\delta = 90\ldots120°$	100°

- перейдите в окно вида спереди, убедитесь, что ПСК установлена по плоскости вида и ось X параллельна оси построенной гелисы. Переместите начало координат в произвольную точку *C* видового окна. Постройте оси трапеции:
- сместите (**OFFSET**) горизонтальную ось вниз на h_{a1}=8. Полученный отрезок сместите вверх на h = 17.6 и вниз на c' = 3. Поверните вертикальную ось в режиме копирования (**ROTATE** / … **Copy**) на ±20. Наклонные отрезки переместите (**MOVE**) в горизонтальном направлении на ±6.283. Осталось обрезать отрезки (**TRIM**) и объединить их в область (**REGION**).

Тело винтовой впадины червяка. Переместим контур впадины червяка по гелисе (см. рис. 16.4, *г*):

- перейдите на новый слой, перейдите в окно аксонометрии;
- **sweep** / укажите контур впадины – трапецию / **Base point** (Базовая точка) – укажите точку *C* / **Alignmen / No** (Нет) / укажите гелису h – получена винтовая поверхность впадины червяка.

Выполним вычитание винтовых впадин. Чтобы обеспечить размещение зуба червяка на оси передачи, тело впадины нужно повернуть относительно оси червяка на 90°. Затем его следует равномерно размножить круговым массивом, задав количество впадин равным числу витков червяка z_1 (рис. 16.4, *д*):

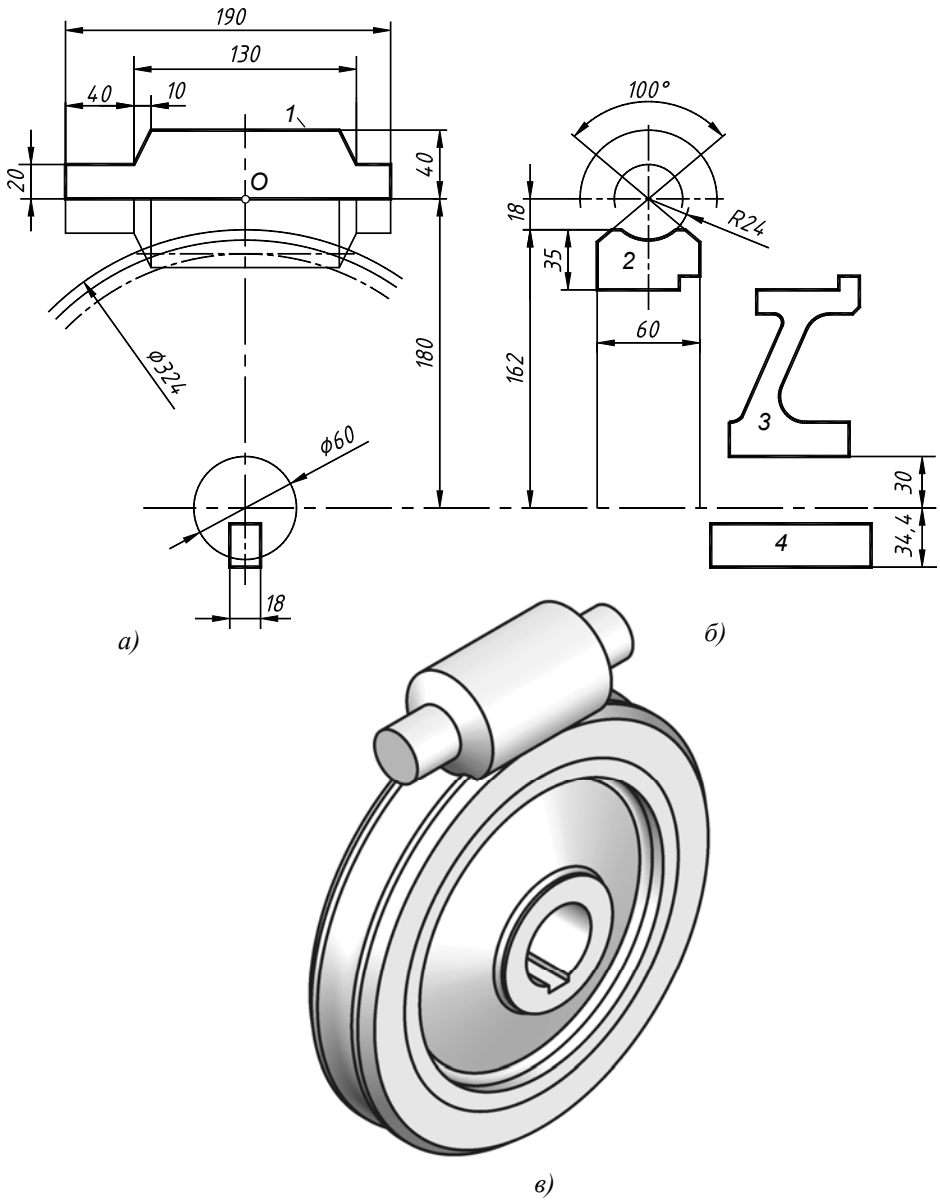


Рис. 16.3. Упрощенная модель червячной передачи: *а* – построение контура червяка; *б* – построение контуров колеса; *в* – общий вид

- установите ПСК, направив ось Z вдоль оси червяка;
- **`rotate`** / укажите впадину / 0,0 / 90;
- **`array`** / массив круговой / базовая точка 0,0 / угол заполнения: 360 / количество элементов 2;
- разморозьте слой, на котором находится заготовка исходного червяка;
- **`subtract`** / укажите заготовку исходного червяка / укажите вычитаемые впадины – получен исходный червяк.

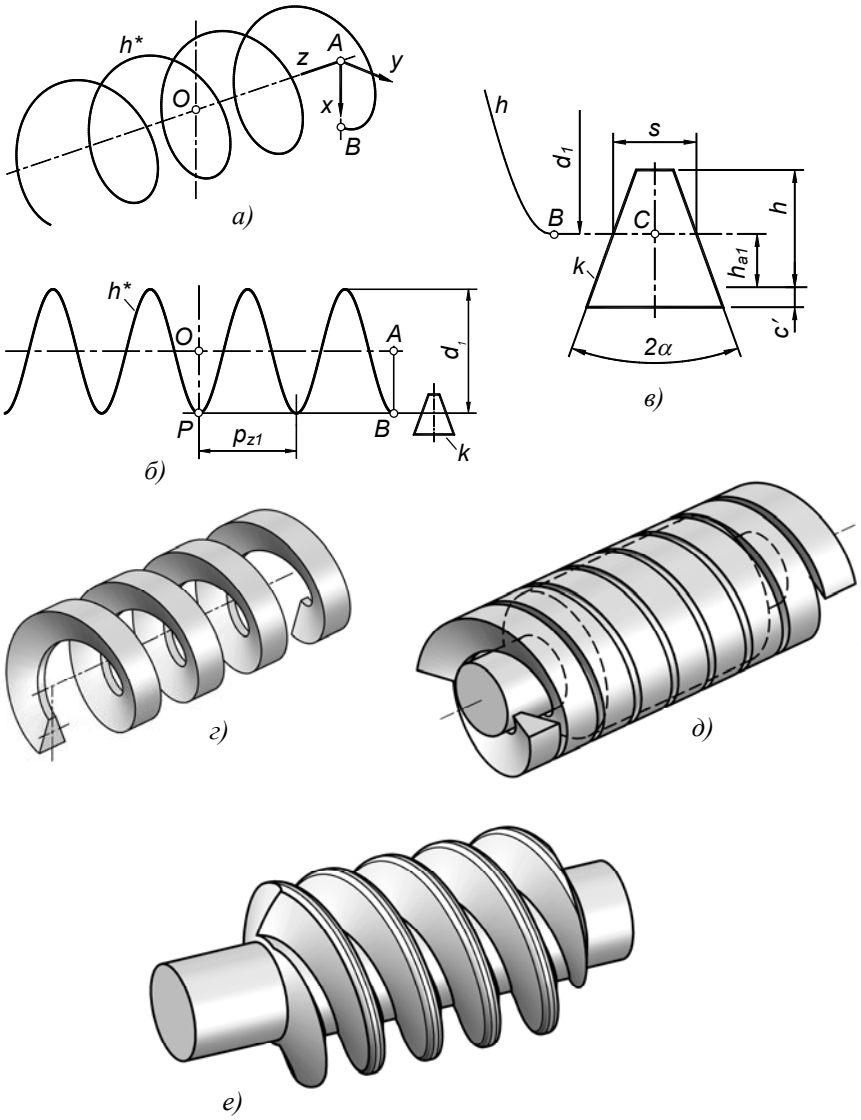


Рис. 16.4. Построение Архимедова червяка:
а, б – создание гелисы; *в* – контур впадины червяка;
г, *д* – винтовые впадины червяка; *е* – производящий червяк

Производящий червяк создадим на основе исходного. Поскольку производящий червяк формирует впадину колеса, он должен иметь высоту зуба, превышающую высоту зуба исходного на величину радиального зазора *c* (см. табл. 16.1):

- **copy** / укажите исходный червяк / Перемещение / 0,0 – создана копия, совмещенная с оригиналом;
- переместите один из червяков на новый слой для производящего червяка;
- **solidedit** / **face** / **offset** / укажите пояски поверхности выступов витков червяка / 1.6 – величина смещения.

Сопряжения. В завершение выполните сопряжение геликоидных поверхностей червяков с цилиндрами. У исходного червяка это сопряжение с цилиндром впадин. У производящего – с цилиндром выступов. В каждом случае радиус сопряжения ρ берется из табл. 16.1:

- **fillet** / укажите исходный червяк / радиус 2.4 / укажите четыре гелисы, по которым геликоидные поверхности сопрягаются с поверхностью впадин;
- **fillet** / укажите производящий червяк / радиус 2.4 / укажите четыре гелисы, по которым

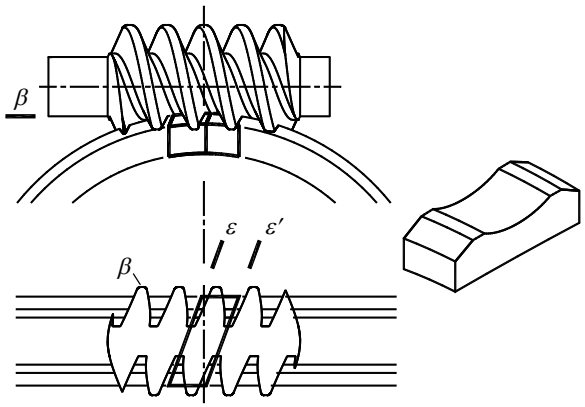


Рис. 16.5. Выделение сектора колеса

геликоидная поверхность червяка сопрягается с поверхностью выступов.

Получены реалистичные модели исходного (см. рис. 16.7, *в*, *г*) и производящего червяков (см. рис. 16.4, *е*).

Червячное колесо

Для формирования впадин колеса смоделируем процесс обкатки его производящим червяком. Обкатка заключается в согласованном пошаговом вращении производящего червяка и колеса. На каждом шаге из заготовки колеса вычитается пересекающий его объем червяка.

Обкаткой построим одну впадину. Затем тело впадины размножим круговым массивом и вычтем из заготовки колеса – получим зубчатое червячное колесо.

Алгоритм обкатки

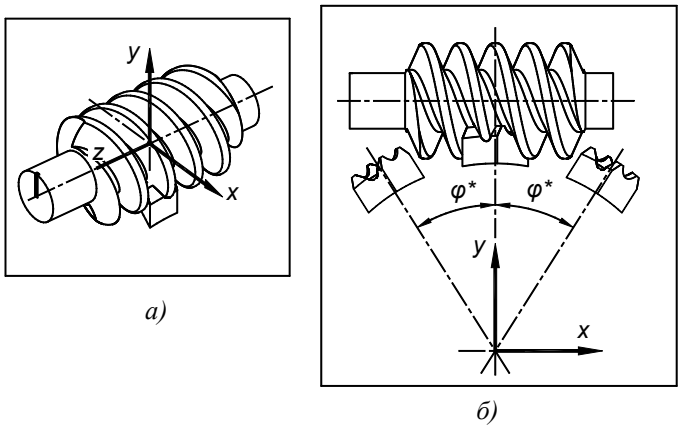
Из колеса (его венца) вырежем сектор, соответствующий единичной впадине. Создайте дубликат венца и спрячьте его на замороженный слой. Постройте сечение (**SECTION**) производящего червяка плоскостью β (рис. 16.5). На основе этого сечения задайте (установкой ПСК) две плоскости ε, ε', которыми из венца выделите (**SLICE**) необходимый сектор. Создайте дубликат этого сектора и также спрячьте его на замороженный слой.

Создайте два видовых окна (рис. 16.6, *а*). В первом из них установите ПСК осью Z вдоль оси червяка. Во втором – осью Z вдоль оси колеса (рис. 16.6, *б*).

Точность модели колеса зависит от ее дискретности. Достаточной точности можно добиться при шаге вращения червяка φ_1= 60…90°. Примем φ_1= 90°. Тогда шаг вращения колеса определим как $\varphi_2 = -\varphi_1 / u = -4.865°$, где u – передаточное число (см. табл. 16.1).

Далее необходимо многократно повторять следующие четыре действия:

- создать копию (**COPY**) червяка, совмещенную с оригиналом;
- из сектора колеса вычесть (**SUBTRACT**) один из совмещенных червяков – в секторе получится впадина. После вычитания один из червяков исчезает;



а) *б)*

Рис. 16.6. Видовые окна для обкатки:
а – окно вращения червяка;
б – окно вращения колеса

- в видовом окне (рис. 16.8, *а*) повернуть оставшийся червяк вокруг начала координат на угол φ_1 = 90 (то есть против ч.с.);
- во втором видовом окне (см. рис. 16.6, *б*) повернуть сектор вокруг начала координат на угол φ_2 = –4.865, (то есть по ч.с.);

Приведенных четыре действия повторять до тех пор, пока сектор не выйдет из зацепления, что соответсвует суммарному углу φ*. В нашем примере потребуется n = 8 шагам. Далее:

- вернуть червяк и сектор в начальное положение, повернув червяк на угол ($n\varphi_1$), а колесо – на угол ($n\varphi_2$);
- повторить обкатку в обратном направлении.

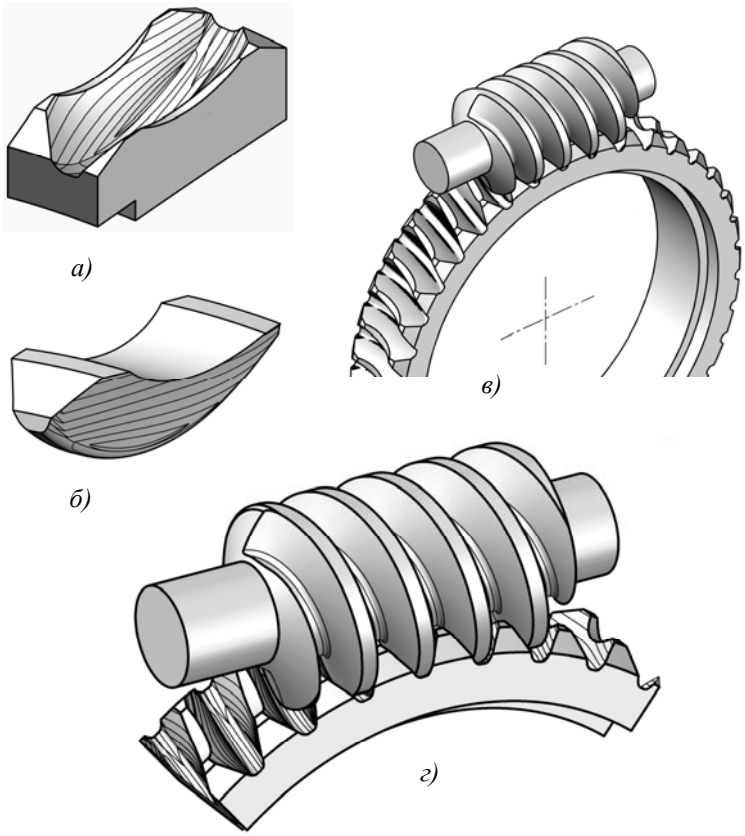


Рис. 16.7. Точная модель Архимедовой червячной передачи:
а, б – впадина колеса; *в*, *г* –вид с исходным червяком

После завершения обкатки в секторе получена впадина (рис. 16.7, *а*). Для формирования тела впадины (см. рис. 16.7, *б*) нужно “разморозить” запасной сектор и из него вычесть полученную впадину.

Осталось размножить тело впадины круговым массивом с учетом количества зубьев колеса, разморозить заготовку венца колеса и вычесть все тела впадин из венца (см. рис. 16.7, *в, г*) – будет получено червячное колесо.

Модель червячной передачи образуется при замене производящего червяка, которым было нарезано колесо, на исходный червяк. Для этого достаточно заморозить–разморозить соответствующие слои, на которых размещены червяки.

Программа автоматизации обкатки

Реализация обкатки для построения реалистичной точной модели впадины червячного колеса является весьма трудоемкой операцией. Поэтому рационально применить программу, автоматизирующую обкатку. Программа достаточно простая и может быть воспроизведена без особых проблем.

Создание и отладка программы выполняется в редакторе VisualLisp (см. разд. 9.9). Для выполнения программы необходимо в dwg-файле командой **`UCSMAN (ДИСПСК)`** создать две именованные системы координат (ПСК). Первую ПСК установить осью Z вдоль оси червяка (см. рис. 16.6, *а*), ей присвоить имя “1”. Вторую ПСК установить осью Z вдоль оси колеса (см. рис. 16.6, б), ей присвоить имя “2”. Для придания вращения червяку и сектору колеса программа обращается к этим ПСК по имени.

На экране, в дополнение к видовым окнам (см. рис. 16.6), рекомендуем создать окно аксонометрии с отображением сектора. После загрузки программы необходимо по ее запросу указать червяк и сектор. После этого в видовых окнах осталось наблюдать процесс фрезерования впадины.

Программа 16.1

```
;;;Моделирование обкатки колеса червяком
;;;=======================================
(defun c:zub
      ( / ang1 ang1_summ ang2 ang2_summ ang_max  i  j  n name_1 name_2 name_2_copy  w  z1  z2)
  (command "_undo" "_m") ;_создать метку
  (setvar "cmdecho" 0) ;_отключить эхо-вывод
  (setvar "osmode" 0) ;_отключить объектную привязку
  (command "_lwdisplay" "_off") ;_отключить толщину линий
  (command "_mspace") ;_ перейти в пространство модели
  (command "_vscurrent" "_2") ;_установить каркасный стиль визуализации
  (command "_layer" "_m" "alx" "")          ;_создать и установить текущим рабочий слой
  (command "_color" 1)
  (command "_ucs" "") ;_установить МСК
  (setq          name_1 (car (entsel "\n Укажи червяк "))
     name_2 (car (entsel "\n Укажи сектор колеса "))
;;;   ang1   (getreal "\n Единичный поворот червяка как шаг фрезерования, градусы = ")
     ang1      60                              ;_ единичный поворот червяка как шаг фрезерования, градусы
     z1          2 ;_ кол-во зубьев червяка, взять из исходных данных
     z2          37 ;_ кол-во зубьев колеса
     w          (/ z2 z1 1.) ;_передаточное число
     ang2      (/ ang1 w -1.) ;_угол поворота колеса на один поворот червяка, градусы
     ;;максимальный угол поворта колеса, после которого впадина выходит из зацепления
     ang_max             30;_измерить угол φ* (рис. 16.6, б)
     n          (1+ (abs (fix (/ ang_max ang2)))) ;_количество вращений сектора в одну сторону
     j          1 ;_номер вращения
  )
  (command "_copy" name_2 "" '(0 0) '(0 0)) ;_создать копию сектора
  (setq name_2_copy (entlast))
  (entdel name_2_copy) ;_временно скрыть копию сектора
  (repeat 2
    (setq i 0) ;_номер кадра
    (repeat n
      (command "_ucs" "_na" "_r" "1") ;_ПСК по червяку
      (command "_copy" name_1 "" '(0 0) '(0 0))
;;;    Вычитание червяка
      (command "_subtract" name_2 "" (entlast) "")
;;;    Повернуть червяк
      (command "_rotate" name_1 "" '(0 0 0) ang1)
      (command "_ucs" "_na" "_r" "2") ;_ПСК по колесу
;;;    Повернуть сектор
      (command "_rotate" name_2 "" '(0 0 0) ang2)
      (setq i (1+ i))
      (setq ang1_summ (* i ang1) ;_суммарный поворот червяка
         ang2_summ (* i ang2) ;_суммарный поворот сектора
      )
      (princ (strcat "\nКадр " (itoa i) "  Осталось " (itoa (- n i))))
    )
;;;Востановить начальное положение червяка и сектора колеса
    (command "_ucs" "_na" "_r" "1") ;_ПСК по червяку
    (command "_rotate" name_1 "" '(0 0 0) (- ang1_summ))
    (command "_ucs" "_na" "_r" "2") ;_ПСК по колесу
    (command "_rotate" name_2 "" '(0 0 0) (- ang2_summ))
;;;Задать вращение в обратную сторону
    (setq ang1 (- ang1)
       ang2 (- ang2)
       j    2
    )
    (command "_color" 5)
  )
  (princ)
  (princ (strcat "\nФормирую суммарное тело впадины. Ждите"))
  (entdel name_2_copy);_восстановить сектор колеса без впадин
  (command "_subtract" name_2_copy "" name_2 "")
```

```
  (princ)
)
;;;Функция отката на начальную метку
(defun c:mu ( ) (command "_undo" "_b"))
;;;Сообщение при загрузке программы
(princ "\nДля запуска введи zub или (c:zub) ")
```

Оценка точности модели

Рассмотрим два критерия точности модели. Первый – отсутствие пересечений зубьев червяка и колеса. Второй критерий – поскольку построенная модель была задана как “беззазорная”, то между рабочими поверхностями червяка и колеса не должно быть зазоров.

Для проверки модели на пересечение была применена команда **INTERFERE** (см. разд. 14.4). Пересечений не выявлено.

Для выявления зазоров были построены сечения модели плоскостями γ и δ (рис. 16.8, *а–в*). Плоскость λ, называемая главной плоскостью передачи, проходит по середине впадин, плоскость δ – по краю впадин. Оба сечения показали наличие точечных контактов контуров червяка и колеса. Кроме того, эти сечения дополнительно подтвердили отсутствие пересечений.

Построение сечений позволяет изучить сложную форму впадин колеса. В сечении главной плоскостью λ контур рабочей поверхности впадины является эвольвентой (см. рис. 16.8, *г*). Для этого вывода была построена эвольвента *e* основной окружности колеса d_{b2}. Эвольвента полностью совпала с контуром впадины. (Построение эвольвенты – см. разд. 15.3, рис. 15.4, *б*). Диаметр основной окружности был определен для угла $\alpha = 20°$ как $d_{b2} = \cos\ \alpha \cdot d_2$).

Сечение плоскостью δ показывает, что ближе к краю венца впадина расширяется. Кривая δ уже существенно отличается от эвольвенты.

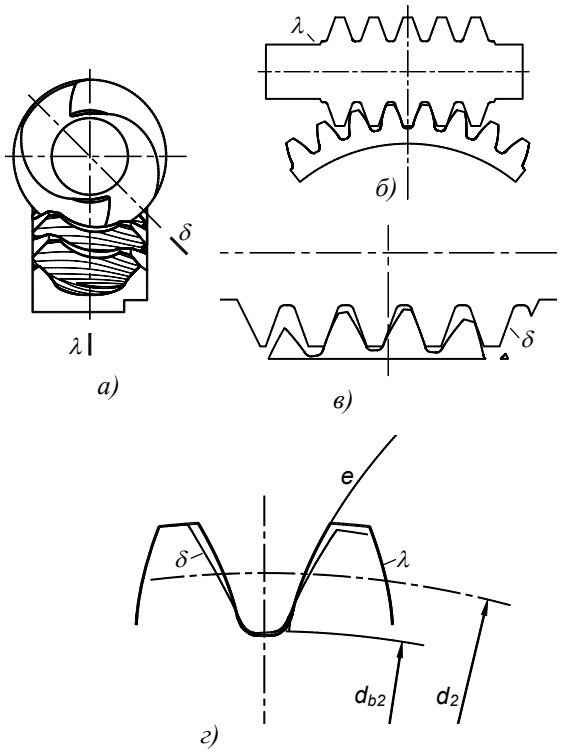


Рис. 16.8. Сечения Архимедовой передачи: *а* – секущие плоскости; *б* – сечение главной плоскостью λ; *в* – сечение плоскостью δ; *г* – сечения впадины колеса

Конволютный червяк

Этот вариант цилиндрического червяка образуется в том случае, если трапецеидальный контур сечения перемещать перпендикулярно траектории гелисы. Конволютный червяк имеет ряд преимуществ перед Архимедовым и создается особой технологией фрезерования. Рабочая поверхность этого червяка – конволютный геликоид [8]. Это линейчатый геликоид, в котором образующие по отношению к оси гелисы являются скрещивающимися прямыми, образуя с ней постоянный угол и постоянное расстояние. Отличие от Архимедова червяка в том, что образующие не пересекают ось гелисы (ось червяка), а касательны к поверхности некоторого цилиндра.

Для построения модели конволютного червяка необходимо перед формированием контура витка или впадины установить трапецеидальный контур в начальную точку делительной гелисы червяка в положение, перпендикулярное гелисе в этой точке. После этого применить команду **SWEEP**.

Количественно отличие геометрической модели конволютного червяка от Архимедова незначительно. В модели, в которой все параметры кроме размещения контура относительно гелисы, были взяты теми же, что и для Архимедова червяка, диаметр конволютного цилиндра составил 1.3 мм при диаметре делительной гелисы червяка 64 мм (см. табл. 16.1), то есть 2%. Было построено осевое сечение конволютного червяка. Сечение рабочей поверхности отличается от прямой линии, характерной для Архимедова червяка. Однако отличие незначительно: стрелка прогиба составила 0.034 при длине боковой стороны 21.98, то есть 0.15%.

16.2. Эвольвентный червяк

Червячная передача с эвольвентным червяком обладает более высокой точностью и технологичностью, чем Архимедова. Поперечным сечением рабочей поверхности зуба эвольвентного червяка является эвольвента окружности (в отличие от спирали Архимеда в Архимедовом червяке). Эвольвентный червяк получают применением фрезы специального профиля. Червячное колесо получают обкаткой производящим эвольвентным червяком.

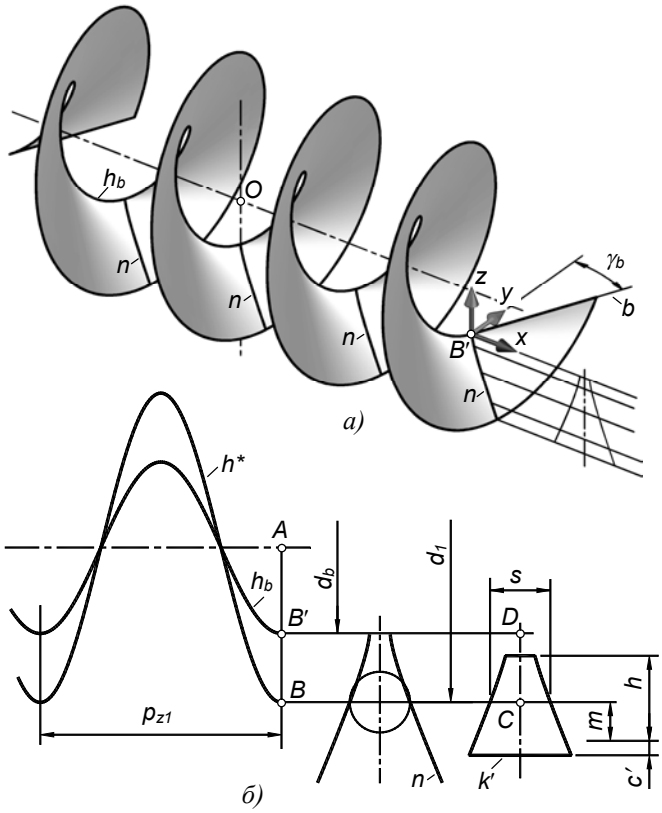


Рис. 16.9. Построение эвольвентного червяка:
а – эвольвентный геликоид; *б* – осевое сечение впадины

Рабочей поверхностью зуба эвольвентного червяка является эвольвентный геликоид [8] (см. разд. 13.4). Построение этой поверхности положено в основу геометрической модели эвольвентного червяка. Построив геликоид, получим его продольное сечение, формирующее контур осевого сечения зуба. Последующие действия повторяют построение Архимедова червяка: получение винтовой впадины червяка, вычитание ее из заготовки червяка, построение червячного колеса обкаткой червяком.

В качестве примера построим эвольвентную передачу с теми же параметрами, что и в рассмотренном выше примере Архимедовой передачи (см. табл. 16.1). Отличие только в форме зуба червяка.

В соответствии с [15] определим дополнительные параметры червяка, необходимые для построения его рабочей поверхности – это угол подъема витка гелисы основной окружности и диаметр основной окружности (табл. 16.2).

Строим эвольвентный геликоид для гелисы основной окружности червяка h_b (рис.16.9). Построение гелисы h_b то же, что гелисы h^* делительной окружности (см. выше для Архимедова червяка), за исключением диаметра основания, который берем из табл. 16.2 как основной диаметр d_b:

- **ucz** /**w** ; **ucz / za** / 100.531,0 / 0,0; **ucz** / **z** / –90;
- включите режим **ORTHO**;
- **helix** / Центральная точка основания: 0,0 / отведите курсор вниз по оси X / Диаметр / 35.4895 // **_Turns**: 4 / **Twist** (Закручивание): **CCW** (ПОЧС, правое) / **Turn height**: 50.2655 – построена гелиса h_b.

Таблица 16.2

Дополнительные параметры передачи с эвольвентным червяком

Параметры и обозначения	Расчетные формулы (индекс *1* – червяк, *2* – колесо)	Значения, мм
Делительный угол подъема γ	γ = arctang (z_1 / q)	0.245 рад = 14.036°
Основной угол подъема γ_b	γ_b =arccos (cos α ·cos γ)	0.424 рад = 24.268°
Основной диаметр червяка d_b	$d_b = \frac{z_1 m}{\text{tg}\,\gamma_b}$	35.489

Повторяем действия по построению эвольвентного геликоида (см. разд. 13.4). Строим образующую геликоида. Это должен быть отрезок *b* прямой, касательной к гелисе в ее начальной точке *B′*. Касание определяется углом наклона к плоскости основания гелисы, равным γ_b (см. табл. 16.2). Отрезок не должен доходить до точки *B* на 0.1...1 мм:

- **`ucs`** / **`za`** / с привязкой **End** укажите конечную точку гелисы h_b, точку *B′* / с привязкой **Cen** укажите центр гелисы, точку *A* – ПСК установлена как на рис. 16.9, *а*;
- **`line`** / 0,0.1 / 0,50 – построен отрезок вдоль оси Y;
- **`rotate`** / укажите построенный отрезок / Базовая точка: 0,0 / Угол поворота: –24.268 – построен отрезок *b*.

Строим сетевую поверхность геликоида и преобразуем ее в solid-объект:

- **`sweep`** / укажите отрезок *b* / **`Align`** / **`No`** / **`Base point`** / 0,0 / **`sweep path`** / укажите гелису h_b как траекторию сдвига – построена сетевая поверхность одной полы геликоида;
- **`thicken`** / укажите сеть / 0.01 – построен геликоид как solid-объект толщиной 0.01;
- сетевой объект следует удалить или “заморозить”.

Строим осевое сечение геликоида – кривые *n*:

- **`ucs`** / **`w`**; **`section`** / укажите геликоид / **`zx`** / укажите точку *B* – построено осевое сечение *n,* содержащее восемь участков. На рис. 16.9, *а* показаны только нижние четыре участка.

Строим контур впадины (см. рис. 16.9, *б*). Он в основе повторяет контур Архимедова червяка за исключением того, что боковые стороны составлены из кривых сечения *n*. Поскольку геликоиду была придана толщина, то линии сечения двойные. Значения *h*, $m = h_{a1}$, *s* – из табл. 16.1, $c' = 1…3$:

- перейдите в окно вида спереди. Переместите сечение *n* ортогонально вдоль оси червяка. Дважды расчлените сечение и оставьте одну из его линий;
- с помощью вспомогательной окружности диаметром, равным ширине впадины *s*, постройте контур впадины. Объедините элементы контура в область.

Строим винтовую впадину. Ее можно создать сдвигом контура впадины вдоль гелисы делительной или основной окружности. Различие – в указании базовых точек контура. В первом случае нужно задать точку *C*, втором – точку *D*. Примем второй вариант – сдвиг по основной гелисе h_b:

- перейдите на новый слой;
- **`sweep`** / укажите контур впадины / **`Align`** / **`No`** / **`Base point`** / укажите точку *D* / **`sweep path`** / укажите гелису h_b – построена винтовая впадина (см. выше рис. 16.4, *г*).

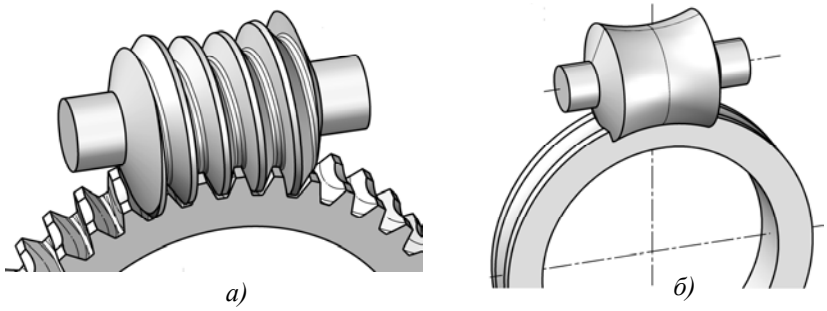


Рис. 16.10. Глобоидная червячная передача:
а – точная модель; *б* – упрощенная модель

Таблица. 16.3

Пример расчета глобоидной червячной передачи

Параметры и обозначения	Расчетные формулы (индекс *1* – червяк, *2* – колесо)	Значения, мм
Межосевое расстояние, a	Исходные данные, задаются конструктором	100
Передаточное число, u		40
Осевой угол профиля червяка, α_x		25°
Число витков червяка, z_1		1
Число зубьев колеса, z_2	$z_2 = u\, z_1$	40
Делительный диаметр червяка, d_1	d_1=(0.4…0.45) a	45
Делительный диаметр колеса, d_2	d_2= (2a – d_1)	155
Модуль, m	m= d_2 / z_2	3.875
Осевая толщина витка в середине червяка, s_1	s_1 = 0.45 π m	5.478
Радиальные зазоры, c	c=0.2 m	0.78
Высота головки витка, h_{a1}	h_{a1} = 0.9 m	3.49
Высота ножки витка, h_{f1}	h_{f1} = m+c	4.66
Радиусы кривизны переходных кривых, ρ	ρ = 0.3 m	1.2
Половина угла расчетного обхвата, ν_c	ν_c =180 (4.55 / $z2$)	20.48°
Ширина венца колеса, b_2	b_2= 0.25 a	25
Наибольший диаметр колеса, d_{ae2}	d_{ae2} = (d_2+ 2 m)+0.1 b_2	165.25

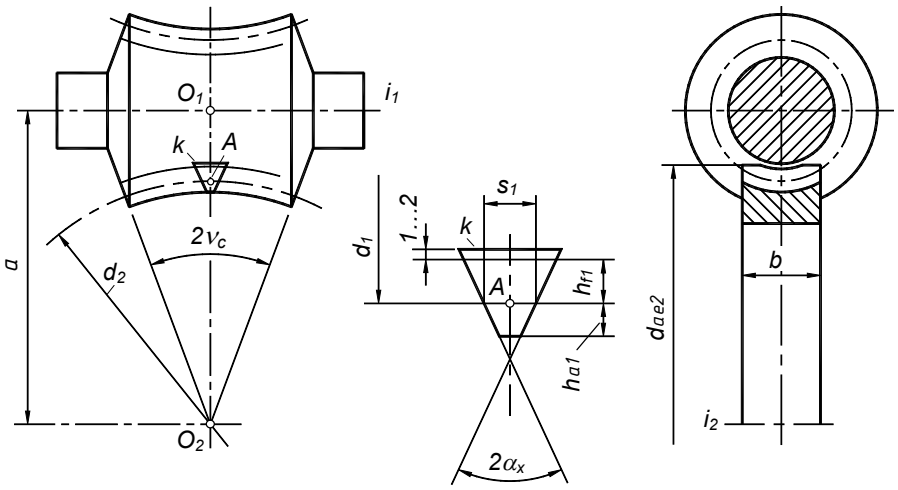


Рис. 16.11. Схема глобоидной червячной передачи

Дальнейшие действия повторяют построение Архимедова червяка: поворот и размножение винтовых впадин массивом, вычитание впадин из заготовки исходного червяка, создание производящего червяка редактированием исходного, создание впадин колеса обкаткой (см. рис. 16.4…16.6).

Оценивая построенные модели эвольвентной и Архимедовой передачи следует отметить, что с иллюстративной точки зрения отличия оказались незначительными. Их можно оценить кривизной боковой стороны контура зуба эвольвентного червяка – кривой *n* (см. рис. 16.9, *б*). В рассмотренном примере стрелка прогиба боковой стороны составила 0.28 при длине стороны 21.96, то есть ≈1.3%.

С позиций точности геометрической модели разница значительна и отражает существенные отличия в геометрических закономертносях и технологии получения этих передач.

16.3. Глобоидная червячная передача

В рассматриваемой передаче червяк имеет форму глобоида, то есть внутренней поверхности кругового тора (рис. 16.10) [17…19]. Такая форма, как будет показано ниже, приводит к тому, что контакт червяка и колеса осуществляется по всем зубьям, находящимся в зацеплении. В ранее рассмотренных передачах в контакте находятся по одному зубу червяка (шестерни) и колеса. В связи с этим глобоидная червячная передача может передавать более высокие мощности по сравнению с другими червячными передачами при тех же габаритных размерах.

Построим модель передачи с характерными параметрами. Расчет параметров выполнен согласно [18] и сведен в табл. 16.3 (рис. 16.11).

Для построения упрощенной модели (рис. 16.10, *б*), состоящей из заготовок червяка и колеса, необходимо во фронтальной плоскости (окно вида спереди) по размерам, взятым из табл. 16.3, построить контур *K1* вращения червяка (рис. 16.12). Образующая окружность глобоида имеет диаметр ($d_2 - 2h_{a1}$). Червяк получим вращением (**REVOLVE**) контура вокруг оси i_1. Контур колеса *K2* располагаем в профильной плоскости (окно вида слева). Колесо получаем вращением контура вокруг оси i_2.

Прежде чем построить точную модель глобоидной передачи, исследуем форму рабочей поверхности витка глобоидного червяка. Контур витка – равнобокая трапеция (см. рис. 16.11, 16.12). Построим два отсека поверхности: расширенный отсек, который наглядно передает форму и закономерности поверхности витка, и ограниченный отсек с размерами витка червяка.

Рабочая поверхность образована перемещением отрезка боковой стороны трапеции (рис. 16.13). Согласно определению глобоидной передачи [14] этот отрезок совершает вращение вокруг оси червяка i_1 со скоростью ω_1 и одновременно вращается вокруг оси колеса i_2 со скоростью ω_2. Отношение скоростей вращения равно передаточному числу, то есть $\omega_1 / \omega_2 = u$.

Для построения поверхности необходимо в плоскости передачи (плоскости видового окна спереди) построить ось червяка i_1 и оси колеса. Построить трапецеидальный контур *k* витка по его размерам (см. рис. 16.12 и табл. 16.3). Контур расположить в осевом сечении витка (см. рис. 16.11, 16.13, *а*).

Для расширенного отсека построим отрезок *b*, удлинив боковую сторону трапеции с одной стороны до оси i_1, с другой – до перпендикуляра, опущенного на отрезок *b* из центра колеса O_2. Далее зададим шаг вращения отрезка *b* вокруг оси червяка i_1 (скорость ω_1), и определим шаг вращения вокруг оси колеса i_2 (скорость ω_2). Например, $\omega_1 = 40°$, тогда $\omega_2 = 1°$.

Для построения поверхности необходимо получить ее каркас из образующих. Для этого нужно установить ПСК осью Z вдоль оси колеса i_2. Командой **ROTATE** с опцией **Copy** построить ряд отрезков вращением отрезка *b* вокруг оси Z с шагом 1°. Затем установить ПСК осью Z вдоль оси червяка i_1 и повернуть построенные отрезки, начиная со второго, вокруг оси Z с шагом 40°. Поверхность (см. рис. 16.13, *б*) получим командой **LOFT (ПОСЕЧЕНИЯМ)**, указав образующие в порядке их следования.

Для получения ограниченного отсека поверхности (см. рис. 16.13, *в–д*) указанный алгоритм нужно применить к отрезку боковой стороны трапеции *k*.

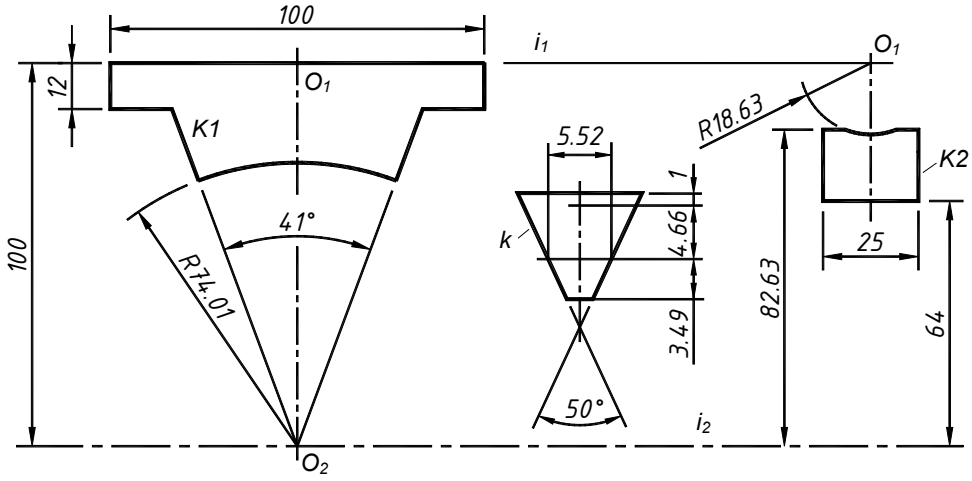


Рис. 16.12. Контуры глобоидной червячной передачи

Установив маркер в точку *B* и перемещая его по указанному алгоритму с последующим построением сплайна, получим траекторию перемещения образующей *b* как спираль, намотанную на поверхность делительного глобоида червяка.

Ручное построение поверхности и траектории весьма трудоемко. Рекомендуем применить lisp-программу 16.2, позволяющую автоматизировать создание поверхности и траектории. О работе с программой см. разд. 9.9.

Программой предусмотрено, что плоскость передачи – плоскость видового окна спереди. Ось червяка – ось X в ПСК этого окна. Ось колеса – направлена на наблюдателя.

Программа строит поверхность для заданного количества оборотов *n* образующего отрезка. Плотность каркаса поверхности задается параметром *n1*. Указав по запросу программы отрезок *b*, при значении *n*=10, указанном в тексте программы, получим расширенный отсек *s* (рис. 16.13, *б*) как сетевой объект. Для преобразования сети в solid-объект необходимо к сетевому объекту применить команду **THICKEN (ТОЛЩИНА)**, задать толщину, равной 0.01…0.001. После этого можно исследовать поверхность, строя командой **SECTION** различные сечения.

Указав отрезок боковой стороны трапеции *k* и задав *n*=3, получим узкий отсек рабочей поверхности витка *s′* (см. рис. 16.13, *д*). Указав маркер, предварительно поставленный в точку *B*, закомментировав строку программы (draw lst) и сняв комментарий со следующей строки, получим спираль (см. рис. 16.13, *в*).

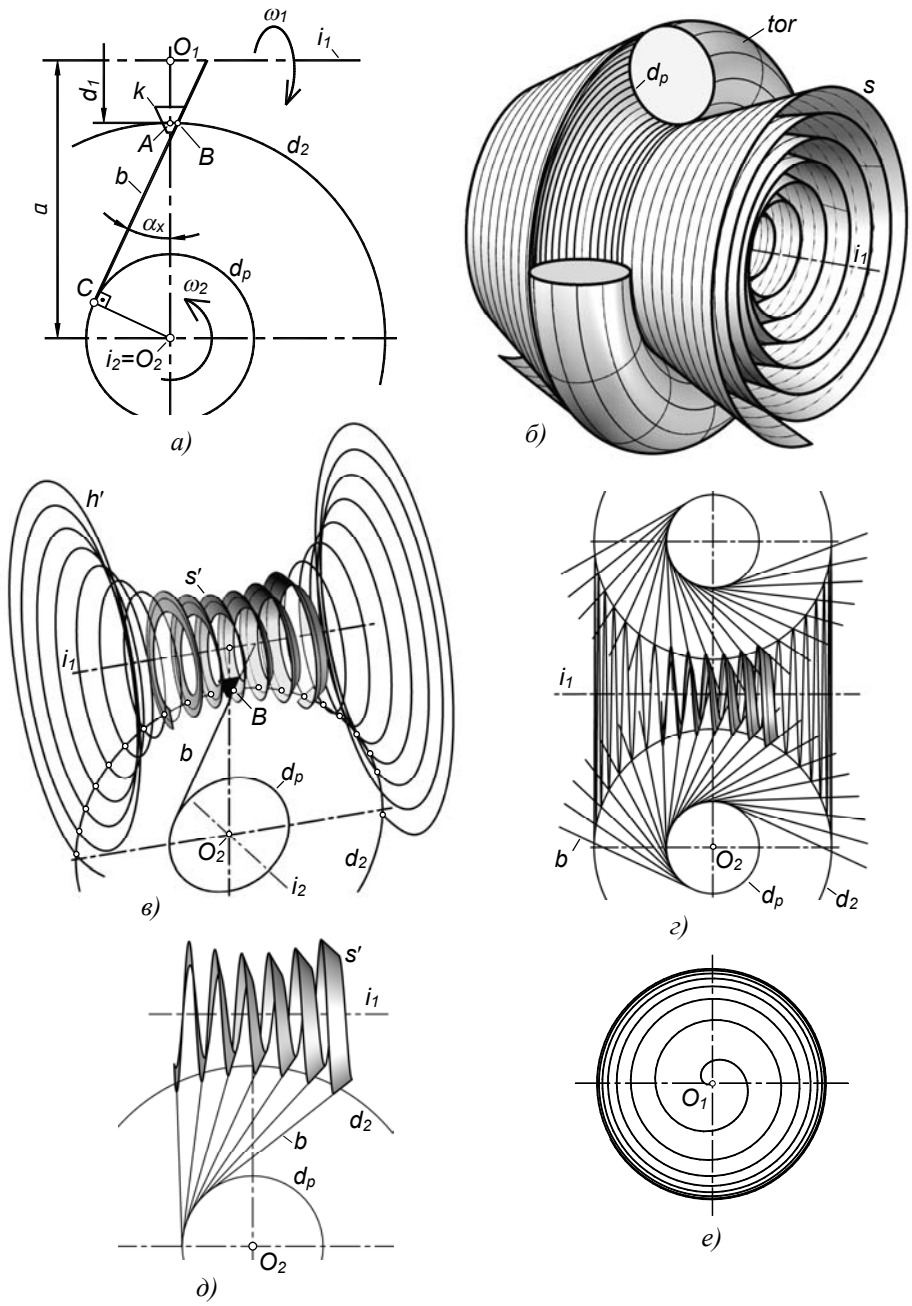


Рис. 16.13. Рабочая поверхность глобоидного червяка:
а – кинематическая схема; *б* – расширенный отсек поверхности;
в – спираль делительного глобоида; *г* – осевое сечение поверхности; *д* – ограниченный отсек поверхности; *е* – поперечное сечение

Программа 16.2

```
;;;Глобоидная передача.
;;;Построение рабочей поверхности, витка или траектории перемещения
;;;=================================================
(defun c:glob ( / a ang1 ang2 d1 d2 i j lst n n1 name name1 nn w z1 z2)
  (command "_undo" "_m") ;_создать метку
  (setvar "cmdecho" 0) ;_отключить эхо-вывод
  (setvar "osmode" 0) ;_отключить объектную привязку
  (command "_mspace") ;_ перейти в пространство модели
  (command "_vscurrent" "_2") ;_установить каркасный стиль визуализации
  (command "_layer" "_m" "alx" "")
```

```
(command "_ucs" "_w")
(setq
  name (car (entsel "\n Укажи перемещаемый объект "))
  n1            15 ;_кол-во вращений червяка на один оборот
  n 10 ;_количество оборотов червяка в одну сторону
  nn            (1+ (fix (* n1 n))) ;_кол-во образующих в одну сторону
  z1            1 ;_ кол-во зубьев червяка
  z2            40 ;_ кол-во зубьев колеса
  d1            45. ;_делительный диаметр червяка
  d2            155. ;_делительный диаметр колеса
  a (* 0.5 (+ d1 d2)) ;_межцентровое расстояние
  w             (/ z2 z1 1.) ;_передаточное число
  ang1 (/ 360. n1) ;_угол поворота червяка на один шаг, градусы
  ang2 (/ ang1 w 1.) ;_угол поворота колеса на один шаг червяка, градусы
  i  0
)
(repeat (* 2 nn)
  (setq j (- nn i))
  (command "_ucs" "_w")
  (command "_ucs" "_x" 90)
  (command "_ucs" "_o" (list 0 (- a))) ;_ ПСК колеса
  (command "_rotate" name "" '(0 0) "_c" (* j ang2)) ;_поворот объекта по колесу
  (setq name1 (entlast));_объект после поворота по колесу
  (command "_ucs" "_w")
  (command "_ucs" "3" '(0 0) '(0 -1) '(0 0 1)) ;_ ПСК червяка
  (command "_rotate" name1 "" '(0 0) (* j ang1)) ;_поворот объекта по червяку
  (setq lst (cons name1 lst));_внести имя объекта в список имен всех объектов
  (setq i (1+ i))
)
(draw lst);_построение поверхности
;;;  (draw1 lst);_построение траектории
  (foreach p lst (entdel p))
)
;;;Формирование поверхности или витка лофтированием
(defun draw (lst /)
  (command "_loft")
  (foreach p lst
    (command p)
  )
  (command ""  "" )
)
;;;Формирование траектории перемещения
(defun draw1 (lst / p1)
  (command "_ucs" "")
  (command "_spline")
  (foreach p lst
    (setq p1 (cdr (assoc 10 (entget p))));_координаты точки в МСК
    (command p1)
  )
  (command "" "" "")
)
(defun c:mu () (command "_undo" "_b"));_ откат на начальную метку
(princ "\nДля выполнения введи c:glob") ;_сообщение при загрузке программы
```

Исследование поверхности *s* (см. рис. 16.13, *а–г*), выполненное построением продольных сечений, показывает, что все образующие касательны к поверхности кругового тора *tor*. Осью этого тора является ось червяка i_1. Образующая тор окружность d_p, называемая *профильной* окружностью, имеет центр в точке O_2, ее радиус определяется как длина перпендикуляра, опущенного из точки O_2 на любую из образующих. В итоге, рассматриваемую поверхность можно определить как линейчатую, образующие которой пересекают ось i_1 и касательны к поверхности тора с той же осью и образующей d_p.

Поперечное сечение исследуемой поверхности (см. рис. 16.13, *е*) – это спираль, шаг которой стремится к нулю по мере разворачивания.

В предыдущих моделях для построения витка применяли команду **SWEEP**. Для рассматриваемой поверхности глобоидной передачи применение команды **SWEEP** связано с техническими осложнениями. Поэтому применена команда **LOFT.** Точность поверхности, создаваемой командой **LOFT**, зависит от плотности каркаса образующих. Оценка точности поверхности по величине отклонения образующей от прямой линии показала, что уже при 6…8 образующих на один оборот червяка отклонение не превышает 10^{-3} мм. В программе 16.2 плотность задана значением *n1*=15, что приводит к отклонению на уровне 10^{-4}, то есть к высокой точности модели.

Для создания витка необходимо построить трапецеидальный контур *k* (см. рис. 16.12). В программе 16.2 задать *n*=3. Это приведет к построению витка, содержащего по три оборота в каждую сторону от точки *A*. Функция **draw** формирует виток как solid-объект (рис. 16.14).

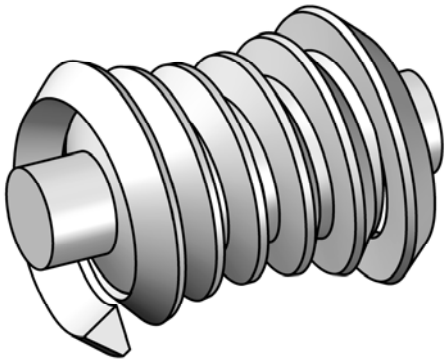


Рис. 16.14. Виток глобоидного червяка

Построенный виток нужно подрезать по краям и объединить с заготовкой червяка. Для этого необходимы две заготовки червяка: по глобоиду выступов (рис. 16.10, *б*) и глобоиду впадин. У глобоида впадин диаметр образующей окружности глобоида равен (d_2 +2h_{f1}). Подрезка краев витка выполнятся командой **INTERSECT** применительно к витку и глобоиду выступов. Подготовленный виток нужно объединить (**UNION**) с глобоидом впадин.

Далее необходимо создать копию построенного червяка, совмещенную с оригиналом, и поместить ее на другой слой. У первого экземпляра командой **FILLET** радиусом ρ (см. табл. 16.3) выполнить сопряжение рабочих поверхности витка с внутренним глобоидом – получен *исходный* червяк.

Из второго экземпляра создадим *производящий* червяк. Для этого командой **SOLIDEDIT** с опциями **Face** / **Offset** поверхность выступов витка нужно сместить наружу на величину радиального зазора *c* (табл. 16.3), затем наружные кромки выступов командой **FILLET** скруглить радиусом 0.7…1.2 мм.

Для нарезания зубьев колеса применим методику, рассмотренную выше при построении Архимедовой передачи. Необходимо создать сектор венца единичной впадины, применить к сектору программу 16.1 и получить объем впадины. Этот объем размножить массивом по количеству зубьев колеса. Затем вычесть все объемы впадин из заготовки колеса. Окончательная модель (см. рис. 16.10, *а*) получается при замене производящего червяка на исходный.

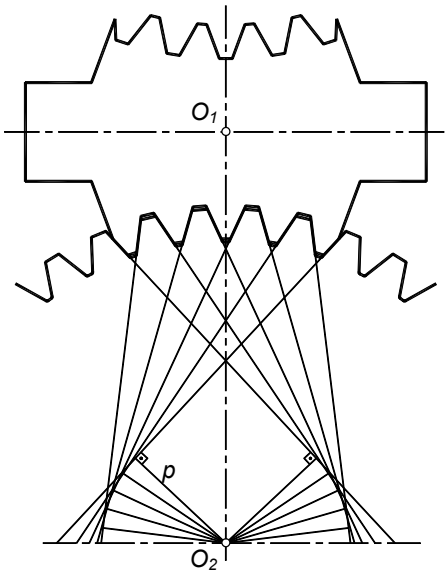


Рис. 16.15. Оценка точности модели глобоидной передачи по сечению главной плоскостью

Для оценки точности построенной модели выполним сечение передачи ее главной плоскостью (рис. 16.15). По конечным точкам контуров сечений витка червяка построим отрезки (**LINE**). Для каждого из них определим расстояние до точки O_2 как длину соответствующего отрезка *p*. Измерения (**LIST**) показали, что длины отрезков совпадают с точностью 10^{-4}, то есть все отрезки касательны к профильной окружности d_p. Это свидетельствует о высокой точности полученной модели.

Сечение (рис. 16.15) наглядно показывает, что в глобоидной передаче *все* зубья червяка находятся в зацеплении с зубьями колеса. Контакт является линейчатым. Это приводит к распре-

делению нагрузки по всем зубьям и является причиной высокой мощности глобоидной передачи. Для сравнения (см. рис. 16.8, 15.7, 14.6) в осевых сечениях других передач виден *точечный* контакт, причем всего лишь в одной паре зубьев.

16.4. Наглядные модели червячных передач

Построение точной модели червячной передачи требует больших трудозатрат и приводит к большим файлам. Работа с такими моделями требует предельных ресурсов компьютера.

Точная модель одного червяка занимает всего 300…500 КБ. Основная трудоемкость и основной объем файла приходятся на создание точной модели колеса. На одну впадину колеса в зависимости от точности "фрезерования" приходится 3…4 МБ, что при 30…50 зубьях приводит к объему файла 100…150 МБ. (Размеры приведены в формате AutoCAD 2007). Поэтому применение точных моделей оправдано при высоких требованиях к точности модели и реали-

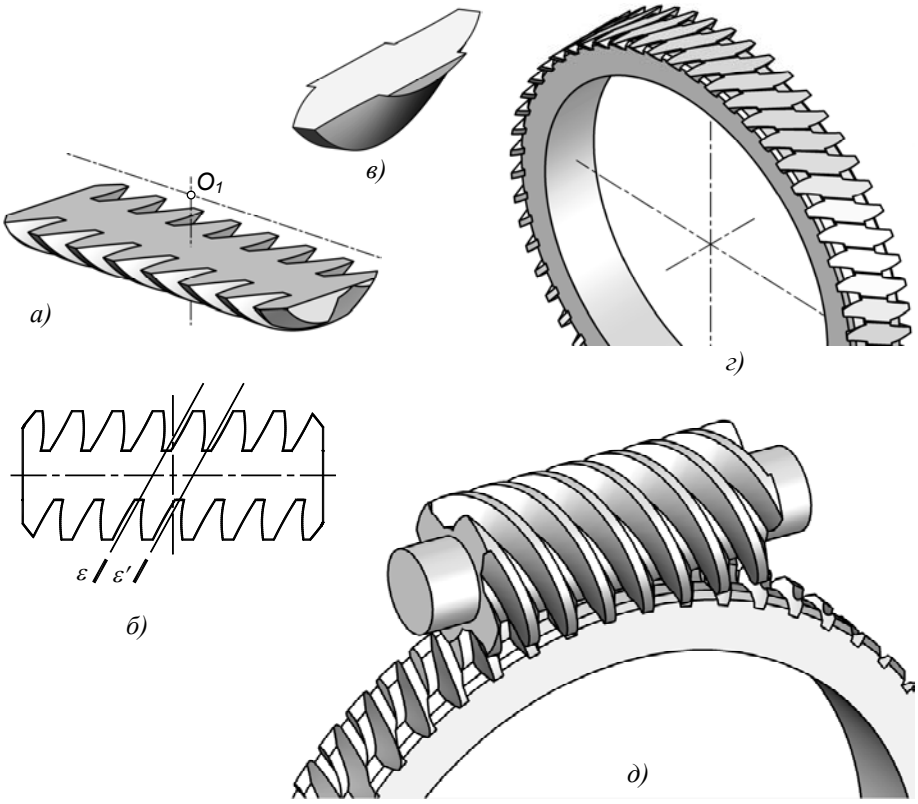


Рис.16.16. Наглядная модель червячной передачи:
а–в – выделение сектора витка; *г* – массив секторов; *д* – общий вид

стичности визуализации.

Если вместо команды **SWEEP** производящий червяк построить командой **LOFT**, "фрезерование" дает экономичную и точную модель колеса. Повышенные трудозатраты на лофтирование компенсируются снижением размера файла в 10 раз. Так, рассмотренная выше точная модель глобоидной передачи, в которой червяк получен лофтированием, имеет объем 10…12 МБ.

Если требуется лишь наглядное отображение червячной передачи, следует применять более простые модели, в которых точная форма впадины колеса заменена на приближенную. Такие модели называем *наглядными*. Для получения наглядной модели колеса нужно (**SLICE**) отделить нижнюю часть червяка (рис. 16.16, *а*), плоскостями ε, ε' выделить единичный зуб (см. рис. 16.16, *б, в*), создать круговой массив (см. рис. 16.16, *г*) и сформировать впадины колеса вычитанием.

Визуальные отличия различных вариантов цилиндрических червяков незначительны. Поэтому вместо эвольвентного и других возможных форм цилиндрического червяка в наглядных

моделях следует применять Архимедов червяк, как наиболее простой в построении и экономичный. Дополнительное снижение объема файла еще на 50…100 КБ без заметной потери наглядности достигается, если на червяке не выполнять сопряжения.

В наглядной модели, ввиду упрощенной формы впадины, при большом увеличении можно увидеть пересечение зубьев червяка и колеса. Однако, в целом, предложенная наглядная модель визуально незначительно отличается от точной. Сравните изображение наглядной (рис. 16.16, *д*) и точной моделей (см. рис. 16.7, *г*).

Файл *наглядной* модели (см. рис. 16.16, *д*) с четырехзаходным червяком и количеством зубьев колеса, равным 55, имеет размер всего 0.8…1 МБ. Для сравнения: размер файла *точной* модели этой передачи, в которой применена команда **SWEEP**, составляет 120…150 МБ, то есть снижение в 100…150 раз. Снижение размера файла передачи в той же мере упрощает работу с файлом узла, в котором эта передача применяется.

16.5. Анимация червячной передачи

Анимацию червячной передачи, в которой наглядно воспроизводится согласованное вращение червяка и колеса, можно создать, применив программу 13.2 (см. разд. 13.5). Дополнительно, программа 15.1 (см. разд. 15.5) позволит повысить наглядность анимации, добавив к вращению червяка и колеса осмотр передачи во время съемки.

Красивую анимацию (рис. 16.17) можно создать программой 16.3. В режиме анимации показано движение отрезка образующей *b*. Движение происходит относительно оси червяка *i* согласно приведенному выше алгоритму. Конечная точка отрезка *b,* точка *C,* касается внутренней поверхности профильного тора *tor* и создает спираль *h*. В итоге, начальный участок образующей формирует рабочую поверхность *s* глобоидного червяка.

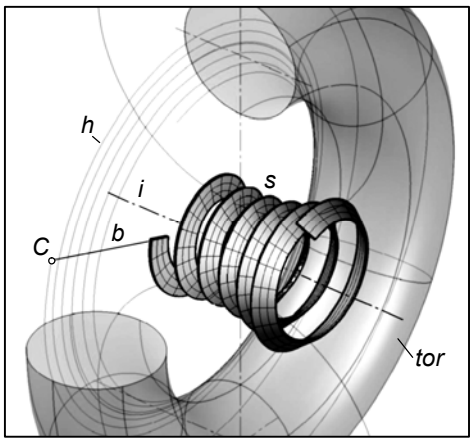


Рис. 16.17. Кадр анимации построения рабочей поверхности глобоидного червяка

Для применения программы 16.3 нужно в окне вида спереди построить две образующие, в программе они названы соответственно *короткая* и *длинная*. Короткая образующая – это боковая сторона трапеции *k* (см. рис. 16.12, *а*). Длинная – отрезок той же образующей от профиля до точки *C* касания с профильной окружностью. Программа 16.3 строит поверхность лофтированием короткой образующей. Перемещение длинной образующей показывает, что все образующие касательны к поверхности тора. Касательный тор предварительно построен, и ему присвоен материал с прозрачными свойствами. Создаваемой поверхности придана толщина (**THICKEN**), повышающая наглядность.

Программа размещает поверхность и образующие на создаваемых ею слоях *alx* и *alx1*. Свойства создаваемых объектов должны быть заданы ***ПО СЛОЮ*** и определяться настройкой слоев. В окне визуализации необходимо настроить визуальный стиль.

Создание рассматриваемой анимации требует значительных ресурсов компьютера. При недостатке оперативной памяти происходит прерывание программы. В этом случае нужно в программе закомментировать строку “ (if (> i 0)…” и раскомментировать следующую за ней, позволяющую продолжить построение анимации с прерванного кадра.

Программа 16.3

```
;;;Анимация формирования рабочего участка поверхности глобоидного червяка
;;;================================================================

(defun c:glob2 ( / a ang1 ang2 d1 d2 i j lst lstp n n1 name name1 name2 name3 name_ name_1 nn num p w
z1 z2)
```

```
 (command "_undo" "_m") ;_создать метку
 (setvar "cmdecho" 0) ;_отключить эхо-вывод
 (setvar "osmode" 0) ;_отключить объектную привязку
 (command "_mspace") ;_ перейти в пространство модели
 (command "_ucs" "_w")
 (command "_ucsicon" "_off") ;_отключить пиктограммы ПСК
 (setq
  name  (car (entsel "\n Укажи короткую образующую, формирующую поверхность "))
  name_ (car (entsel "\n Укажи длинную образующую "))
  n1          15                                    ;_20 ;_кол-во вращений червяка на один оборот
  n  3.5                                  ;_10;_кол-во оборотов червяка в одну сторону
  nn          (1+ (fix (* n1 n))) ;_кол-во образующих в одну сторону
  z1          1 ;_ кол-во зубьев червяка
  z2          40 ;_ кол-во зубьев колеса
  d1          45. ;_делительный диаметр червяка
  d2          155. ;_делительный диаметр колеса
  a  (* 0.5 (+ d1 d2)) ;_межцентровое расстояние
  w           (/ z2 z1 1.) ;_передаточное число
  ang1  (/ 360. n1 -1.) ;_угол поворота червяка на один шаг, градусы
  ang2  (/ ang1 w 1.) ;_угол поворота колеса на один шаг червяка, градусы
  num         101 ;_номер файла
  i   0
 )
 (repeat (* 2 nn)
  (setq j (- nn i))
  (command "_ucs" "_w")
  (command "_ucs" "_x" 90)
  (command "_ucs" "_o" (list 0 (- a))) ;_ ПСК колеса
  (command "_rotate" name_ "" '(0 0) "_c" (* j ang2)) ;_поворот длинной по колесу
  (setq name_1 (entlast))
  (command "_rotate" name "" '(0 0) "_c" (* j ang2)) ;_поворот короткой по колесу
  (setq name1 (entlast))
  (command "_ucs" "_w")
  (command "_ucs" "3" '(0 0) '(0 -1) '(0 0 1)) ;_ ПСК червяка
  (command "_rotate" name_1 "" '(0 0) (* j ang1)) ;_поворот длинной по червяку
  (setq p (cdr (assoc 11 (entget name_1))));_точка касания образующей и тора
  (setq lstp (cons p lstp));_список точек траектории касания
  (command "_rotate" name1 "" '(0 0) (* j ang1)) ;_поворот короткой по червяку
  (setq lst (cons name1 lst)) ;_внести имя короткой образующей в список имен для создания поверхно-
сти
  (if         (> i 0) ;_начиная со второй образующей
;;;   (if         (> num 231);_начиная с кадра прерывания
;;;   (if         (= i (1- (* 2 nn)));_визуализация последнего кадра для отладки программы
    (progn
     (draw lst) ;_построение поверхности
     (setq name2 (entlast)) ;_текущий сегмент  поверхности
     (entdel name_);_временно удалить начальную длинную образующую
     (draw2 lstp);_построение траектории
     (setq name3 (entlast)) ;_текущий сегмент  траектории
     (command "_plot" "" "" "" "" (itoa num) "" "") ;_формирование растрового кадра
     (entdel name2) ;_удалить текущий сегмент  поверхности
     (entdel name3) ;_удалить текущий сегмент  траектории
     (entdel name_);_восстановить начальную длинную образующую
    )
  )
  (entdel name_1) ;_удалить длинную образующую
  (setq i   (1+ i)
      num (1+ num)
  )
  (princ (strcat "\nКадр " (itoa i) "  Осталось " (itoa (- (* 2 nn) i)) "  "))
  (princ)
 )
 (command "_ucsicon" "_on")
)
;;;==== Формирование поверхности
(defun draw (lst / NAME_SURF)
```

```
  (command "_layer" "_m" "alx" "")
  (command "_loft")
  (foreach p lst
    (command p)
  )
  (command "" "")
;;;Придать толщину и создать солид
  (setq name_surf (entlast))
  (command "_thicken" (entlast) "" 0.6);_1.0
  (entdel name_surf) ;_удалить сетевой объект
)
;;;===== Отрисовка траектории перемещения
(defun draw2 (lst /)
  (command "_layer" "_m" "alx1" "")
  (command "_ucs" "")
  (command "_spline")
  (foreach p lst (command p))
  (command "" "" "")
  (command "_ucs" "_p") ;_восстановить ПСК
)
(defun c:mu () (command "_undo" "_b")) ;_возврат к метке
(princ "\nДля выполнения введи glob2") ;_сообщение при загрузке программы
```

Глава 17

Пружины

Рассмотрим 3D-модели наиболее распространенных видов пружин – это винтовые цилиндрические пружины сжатия, растяжения и кручения. Рабочие витки пружин в моделях получают перемещением контура сечения проволоки – окружности – по пространственной винтовой линии. Винтовая линия, называемая еще гелисой или спиралью, начиная с версии AutoCAD 2007, предусмотрена как примитив, создаваемый командой **HELIX (СПИРАЛЬ)**. Перемещение и, в итоге, формирование пружины как solid-объекта выполняется командами **EXTRUDE** (**ВЫДАВИТЬ**) или **SWEEP** (**СДВИГ**).

Сложность моделей пружин определяется построением их конечных витков. Это могут быть прижатые и сошлифованные витки пружин сжатия, зацепы пружин растяжения, прицепы пружин кручения. Реалистичное воспроизведение этих элементов существенно повышает наглядность модели пружины и содержащего ее узла в целом. Кроме того, как неоднократно отмечалось, реалистичная модель создает основу для последующего прочностного расчета детали.

17.1. Пружины сжатия

Получим модель пружины с параметрами: диаметр проволоки d = 1.4 мм; полное число витков t = 20; средний диаметр пружины D = 10 мм; шаг навивки h = 4 мм. Для создания опорной поверхности с каждой стороны пружина имеет по одному поджатому витку, сошлифованному на ¾ окружности сечения проволоки.

В окне аксонометрии, в МСК, в режиме **ORTHO** создаем гелису с параметрами, указанными выше:

- **helix** / 0,0 – центральная точка основания / **Diameter** / 10 – диаметр нижнего основания // **t** (**Turns** – число витков) 20 / **h** (**turn Height** – высота витка) 4 / – построена гелиса *m* (рис. 17.1, *а*).

Построим конечный прижатый виток пружины. Для этого отделим этот виток и сожмем его так, чтобы окружности сечений витка сомкнулись. Строим окружность сечения в конечной точке гелисы:

- **ucs** / **x** / 90 / **ucs** / **or** / с объектной привязкой указать конечную точку гелисы – система координат (ПСК) установлена в плоскость поперечного сечения в конечной точке витка;
- **circle** / 0,0 / **D** / 1.4 – построена окружность *c1*.

Построим окружность сечения предпоследнего витка, сместив *c1* вдоль оси гелисы на величину ее шага:

- **move** / указать *c1* // 0,–4 – построена окружность *c2* предпоследнего витка;
- **copy** / указать *c2* // 0,1.4 – построена окружность *c3* прижатого витка.

Отделяем последний виток:

- **break** / указать гелису / **f** (**First point** – Первая точка) / с привязкой **Cen** указать центр окружности *c2* / @ – гелиса разорвана в центре окружности *c2*, отделен виток *m**.

Сжимаем виток гелисы *m** так, чтобы его верхняя точка перешла в положение центра окружности *c3*. В нашем примере это смещение вдоль оси гелисы на величину $h - d = 2.6$:

- указать виток *m** – выделены ручки витка, указать верхнюю центральную треугольную ручку, ввести перемещение @0, –2.6 – виток сжат до положения *n*;

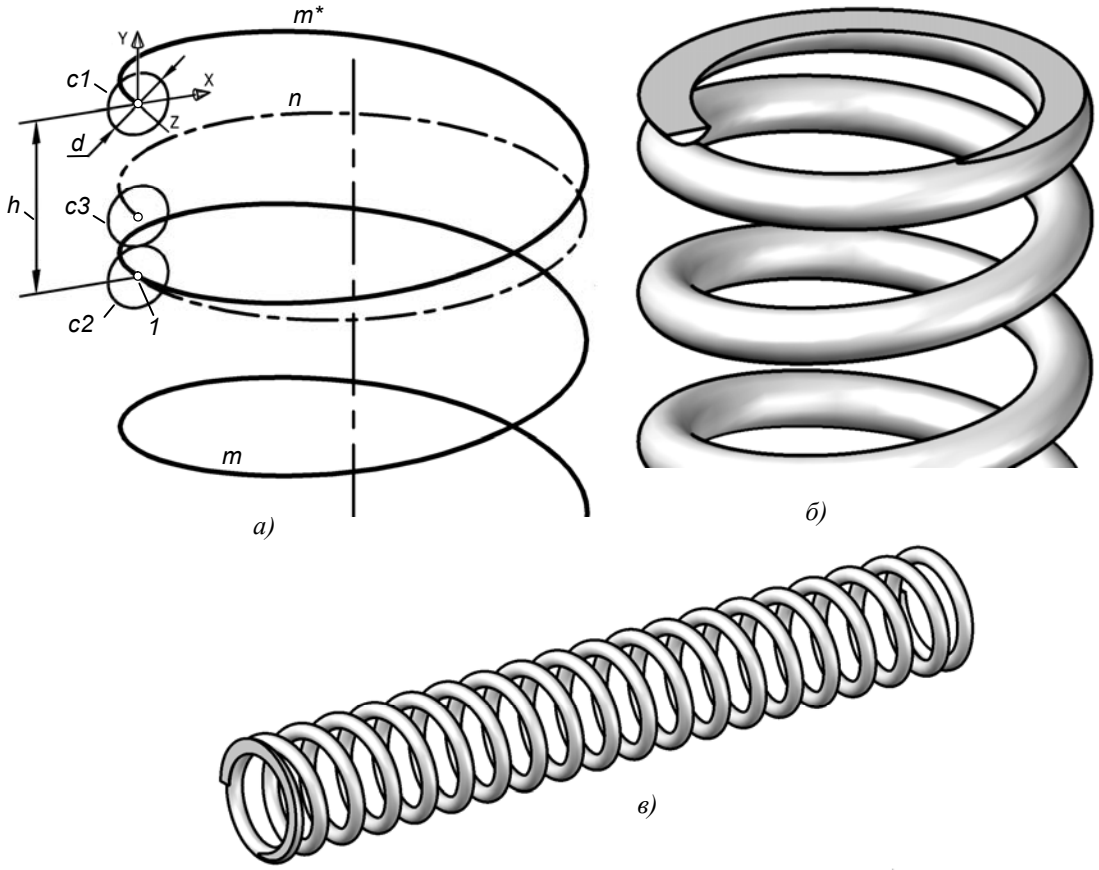


Рис. 17.1. Пружина сжатия с поджатыми и шлифованными витками:
а – разметка поджатого витка; *б* – срез конечного витка;
в – общий вид

- **zoom** – многократно увеличить место разрыва гелисы. Видно расхождение конечных точек витков, возникшее вследствие деформации верхнего витка. Указать виток, для которого конечная точка имеет квадратную ручку, в данном случае это виток *n*. За возникшую ручку с привязкой **End** совместить витки, устранив разрыв;
- **join** / указать основную часть гелисы и виток *n* – выполнено объединение линий.
- Повторите указанные действия для поджатия нижнего витка.

Окончательное формирование пружины можно выполнить командами **SWEEP** (**СДВИГ**) или **EXTRUDE** (**ВЫДАВИТЬ**). Команда **SWEEP** предпочтительна, поскольку формирование идет вдвое быстрей (10…15 сек.), кроме того не требуется дополнительной установки окружности в начальную точку траектории, необходимое для **EXTRUDE**. Итак:

- **sweep** / укажите одну из окружностей *c1*…*c3*, применяемых для разметки / укажите подготовленную гелису – пружина сформирована.

Осталось обрезать концы пружины командой **SLICE** (**РАЗРЕЗ**) так, чтобы секущая плоскость отсекала с каждой стороны ¾ диаметра проволоки *d*. Например, для верхнего витка, в системе координат, указанной на рис. 17.1, *а*, при $d = 1.4$:

- **slice** / указать пружину / **ZX** / 0, –0.35 / указать точку со стороны оставляемой части пружины.

17.2. Пружины растяжения

Рассмотрим построение модели пружины (рис. 17.2), у которой число рабочих витков t = 12, наружный диаметр пружины D_e = 30 мм, диаметр проволоки d = 4.5 мм. С каждой стороны пружина имеет круговые зацепы. Мы рассмотрим два варианта зацепа. Первый вариант в полной мере отражает форму реальных пружин. Второй вариант более простой, с рядом упрощений формы.

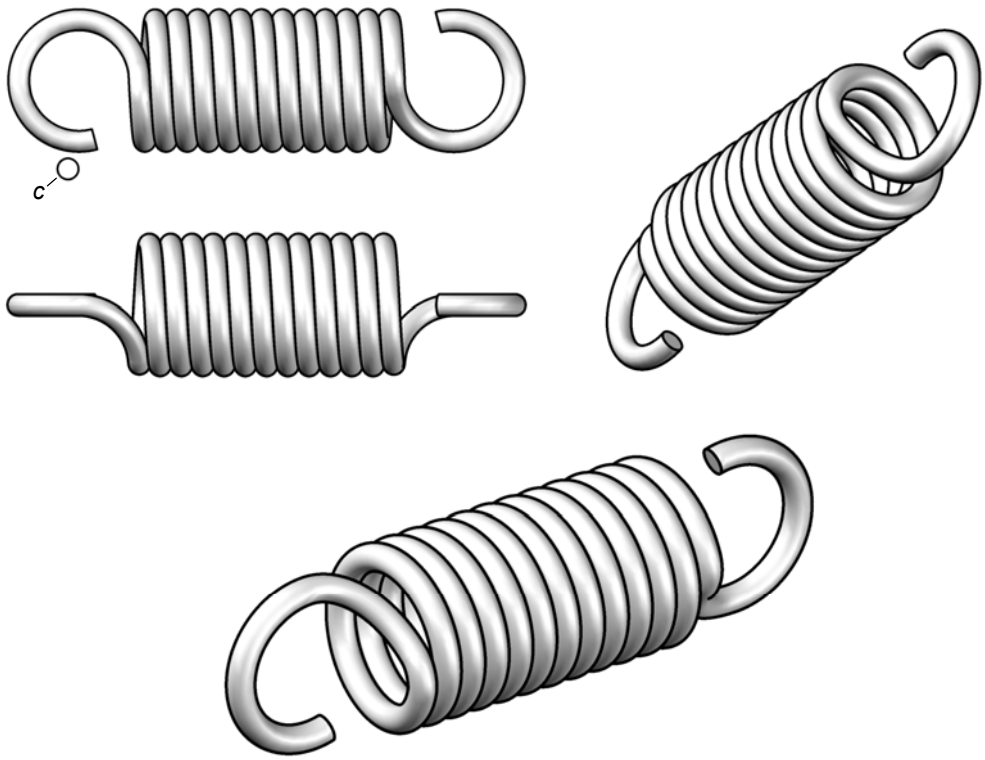


Рис. 17.2. Пружина растяжения (вариант 1)

Рабочие витки

Начнем с построения гелисы, задающей рабочие витки пружины (рис. 17.3). Поскольку эти витки у пружины растяжения плотно прижаты, то высота одного витка (шаг навивки пружины) равна диаметру проволоки. Радиус основания гелисы R = 0.5 (D_e – d) = 12.75 мм. Для наглядности построений пружину расположим горизонтально.

- Перейдем в окно аксонометрии, установим МСК;
- вычертим ось гелисы *i* (рис. 17. 3, *а*): **`line`** / 0,0 / 60,0;
- совместим ось Z системы координат (ПСК) с осью *i*: **`ucs`** / **`za`** / 0,0 / 60,0;
- **`helix`** / 0,0 / 12.75 // **`t`** (число витков) 12 / **`H`** (высота витка) 4.5 / – построена гелиса *h*.

Убедитесь, что начальная точка гелисы, точка *1*, расположена на оси X и имеет отрицательную X-координату. Такое положение гелисы удобно для построения зацепа. Иначе поверните гелису вокруг ее оси на 180°:

- **`rotate`** / указать гелису / 0,0 / 180.

Зацеп. Вариант 1

Форма зацепа зависит от технологии изготовления пружины. Представим зацеп состоящим из трех участков (рис. 17.3, *б*). К гелисе *h* примыкает трехмерный сплайн *s* (*2-3*). Следующий – дуга эллипса *e* (*3-4*). Завершает зацеп дуга окружности *c* (*4-5*). Сопряжение участков плавное, отражающее плавный изгиб проволоки.

Начнем с построения среднего участка зацепа – эллипса (рис. 17.3, *в*). Первоначально построим дугу эллипса между конечными точками *1*, *4* его осей. Конечной точкой малой оси эллипса является точка *1* – она же начальная точка построенной гелисы. Найдем точку *4* большой оси эллипса и его центр, точку *6*:

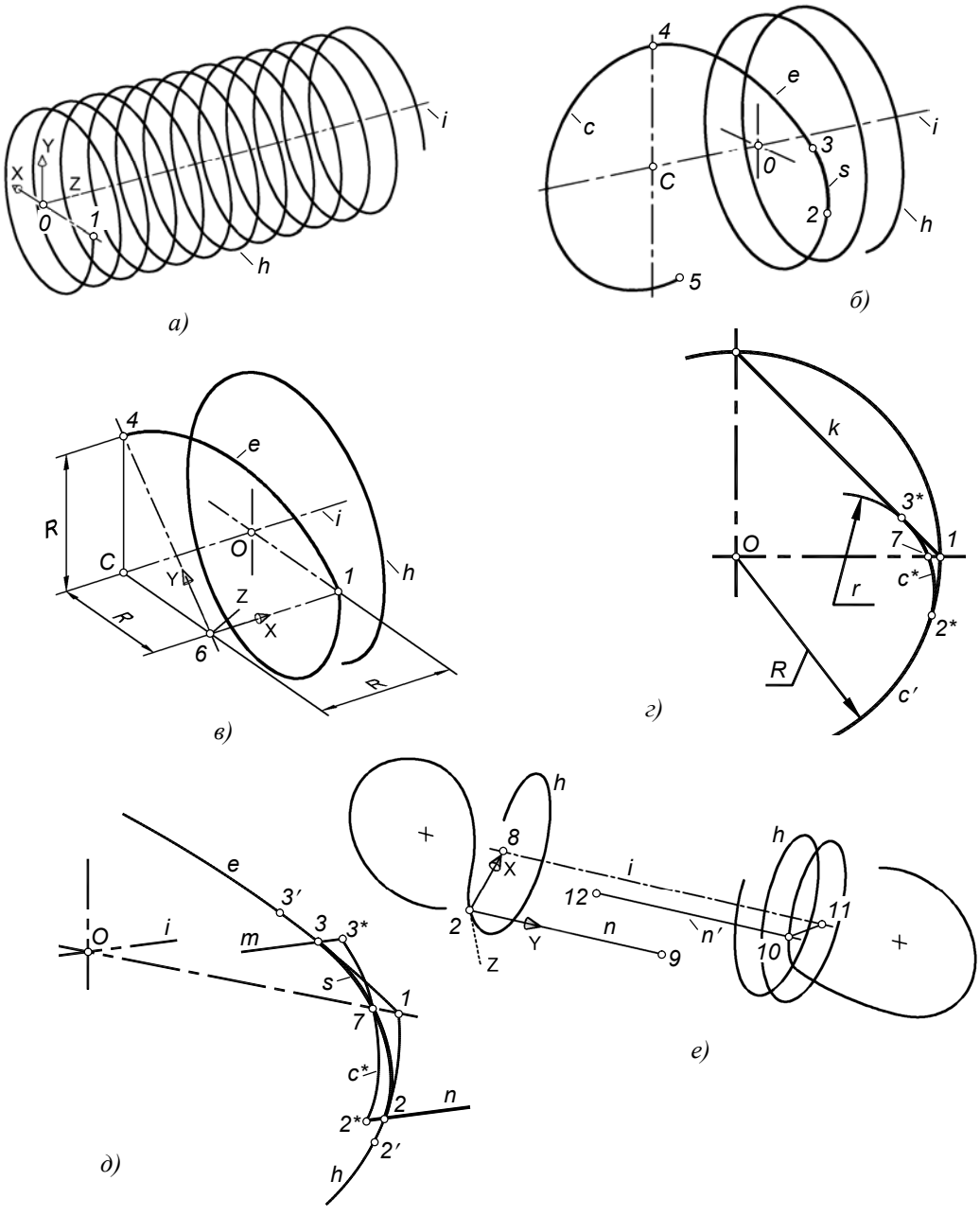


Рис. 17.3. Построение пружины растяжения по варианту 1:
а – спираль рабочих витков; *б* – форма зацепа*; в* – эллиптический участок зацепа; *г*, *д* – построение участка сопряжения; *е* – второй зацеп

- **ucs** / 3 / укажите точки *O*, *1*, произвольную точку оси *i*;
- постройте три ортогональных отрезка, каждый длиной *R* (радиус гелисы, в нашем примере *R*=12.75) – найдены точки *4*, *6*;
- **ucs** / 3 / указать точки *6*, *1*, *4* – ПСК в плоскости эллипса, начало координат в его центре, оси координат направлены по осям эллипса;
- **ellipse** / **Arc** / **Center** / указать точку *6* как центр эллипса / указать точки *1* и *4* как конечные точки осей эллипса / указать точку *1* как начальную точку дуги / указать точку *4* как конечную точку дуги эллипса – построена дуга эллипса *e*.

В точке *1* эллипс и гелиса имеют недопустимый излом. Поэтому вблизи этой точки вставим переходный участок *2–3*, обеспечив плавное сопряжение эллипса и гелисы. Участок *1-2* гелисы и *1-3* эллипса обрежем. Участок *2-3* зададим как трехмерный сплайн. Последовательность его построения следующая:

- установите вид слева. Временно заморозим слои с изображением гелисы и эллипса. В плоскости, перпендикулярной оси гелисы (рис. 17.3, *г*), постройте окружность *c′* радиуса *R* (*R*=12.75). С привязкой **Quadrant** провести отрезок *k*, являющийся проекцией эллипса *e* на плоскость вида. Командой **FILLET** выполнить сопряжение отрезка *k* и окружности *c′*. Радиус сопряжения задать равным *r* ≈ 0.5 R (в нашем примере *r* = 6 мм). Результатом сопряжения является дуга *c** с конечными точками *2**, *3**. Проведя отрезок горизонтальной оси *O–1*, найдем точку *7* пересечения этой оси с дугой сопряжения *c**;
- возвращаемся в окно аксонометрии (рис. 17.3, *д*). Из точек *2**, *3** провести отрезки *m*, *n*, параллельные оси гелисы *i*. Рассматривая отрезки *m*, *n* в качестве режущих кромок обрежем (**TRIM**) эллипс и гелису. В итоге найдены точка *2* гелисы и точка *3* эллипса.

Искомый участок сопряжения *s* построим как сплайн по трем точкам *2*, *7*, *3*, задав направление касательной сплайна в точке *2* по направлению гелисы, а в точке *3* – по направлению эллипса. Для указания точек применяем соответствующие объектные привязки:

- **spline** / с привязкой **End** указать точку *2* / с привязкой **Int** указать точку *7* / с привязкой **End** указать точку *3* / <**Enter**> / с привязкой **Nea** указать точку *2′* гелисы вблизи точки *2* / с той же привязкой указать точку *3′* эллипса вблизи точки *3*.

Завершаем направляющую линию зацепа построением дуги окружности *c* (см. рис. 17.3, *б*) радиуса *R* (12.75) с центром в точке *C*, начальной точкой *4* и конечной точкой *5*. Дуга должна “переходить” вертикальную ось на 15°:

- **ucs** / 3 / указать точки *C*, *O*, *4* – ПСК в плоскости дуги;
- **arc** / с (опция **Центр**) / 0,0 / **A** (опция **Угол**) / 195.

В итоге построена траектория левого зацепа.

Противоположный зацеп

Правый зацеп (рис. 17.3, *е*) создадим копированием левого зацепа. Создадим блок из элементов левого зацепа в его опорной плоскости и вставим этот блок в опорной плоскости правого зацепа:

- опустите перпендикуляр из точки *2* на ось гелисы *i* – найдена точка *8*;
- установите вид спереди, постройте (**MIRROR**) отрезок *n′* симметричный ранее построенному отрезку *n* относительно оси X;
- удлините отрезок *n′* в сторону правого зацепа до конца гелисы – найдена точка *10*;
- **trim** (или **break**) – удалите конечную часть гелисы, начиная с точки *10*;
- из точки *10* опустите перпендикуляр на ось гелисы *i* – найдена точка *11*;
- **ucs** / 3 / указать точки *2*, *8*, *9* – ПСК в опорной плоскости левого зацепа;
- **block** – дайте блоку имя, включите в блок элементы левого зацепа, задайте точку вставки как 0,0; задайте режим **Retain(Оставить)**;

- **ucs** / 3 / указать точки *10*, *11*, *12* – ПСК в опорной плоскости правого зацепа;
- **insert** – вставьте блок зацепа и расчлените его – правый зацеп встал на свое место.

Объемная модель

Создав направляющую линию пружины, включающую основные витки и два зацепа, приступим к построению ее объемной модели. Применим команду **SWEEP**, задав в качестве контура сдвига окружность, построенную на свободном месте в любой плоскости (см. рис. 17.2, окружность *c*). Команду **SWEEP** применим к каждому участку направляющей линии пружины – в рассмотренном выше варианте таких участков семь (гелиса и по три участка каждого зацепа). Окончательную модель получим объединением объемных элементов командой **UNION**.

Команда **SWEEP** не допускает самопересечения создаваемого объекта. Поскольку рабочие витки пружины прижаты, то при задании диаметра окружности сдвига, равном шагу гелисы, формирование может не произойти – возникает сообщение о невозможности создания объекта. В этом случае для компенсации погрешностей построения диаметр *d* окружности сдвига следует задать "чуть" меньше шага пружины, подбирая его значение экспериментально, последовательным уменьшением. В нашем примере объемные элементы можно получить при *d* = 4.3 – 4.5 мм. Итак:

- во фронтальной плоскости строим окружность радиусом 4.45;

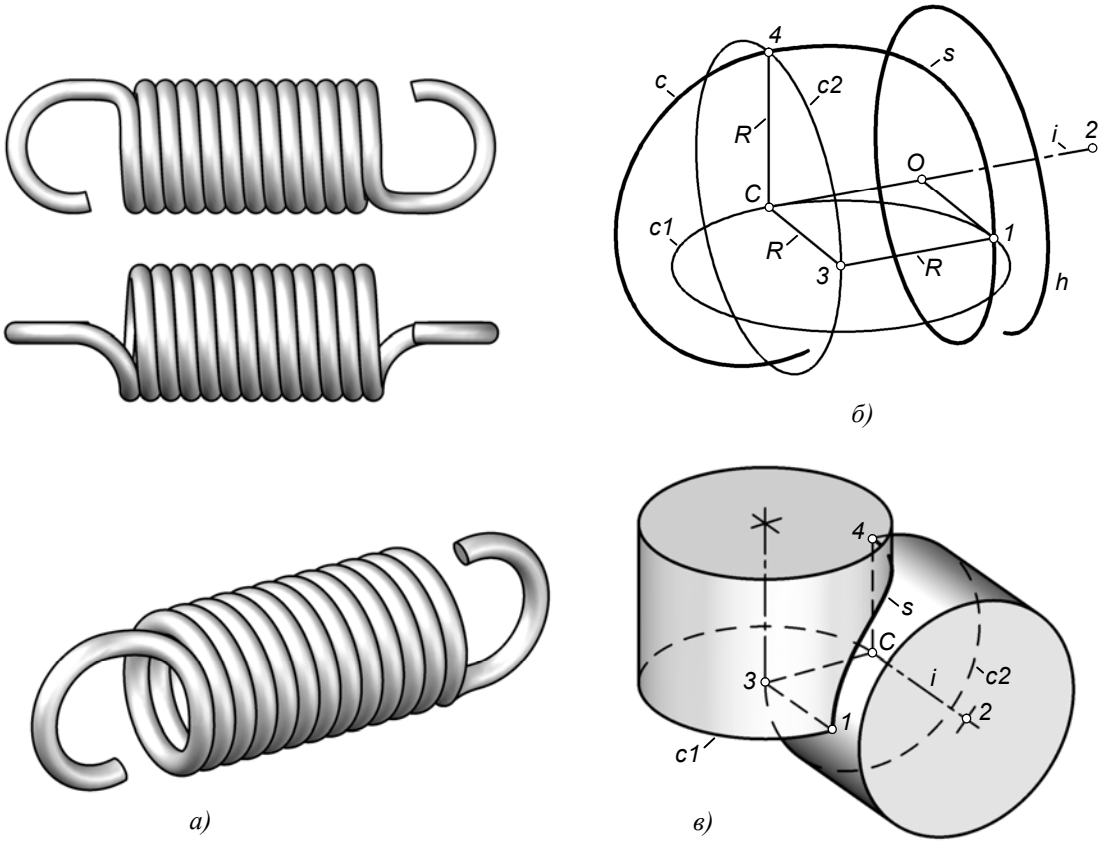


Рис. 17.4. Пружина растяжения (вариант 2):
а – 3D-модель, виды; *б* – разметка; *в* – участок сопряжения

- **sweep** / указать окружность / указать гелису – получена рабочие витки пружины;
- **sweep** / указать окружность / указать примыкающий к гелисе сегмент зацепа;
- повторить построения для остальных шести сегментов пружины;

- **union** / указать все сегменты / – построена объемная модель пружины.

В местах состыковки можно заметить дефекты модели, вызванные недостаточной плавностью сопряжения. Чтобы создать гладкую модель, следует предварительно объединить участки траектории (**JOIN**) и сдвинуть контур сечения по всей траектории. Однако в этом случае существенно возрастают размер файла модели и требования к ресурсам компьютера.

Второй вариант зацепа

Конструктивное отличие второго варианта (рис. 17.4) от рассмотренного выше наглядно проявляется на виде спереди (сравни рис. 17.4 с рис. 17.2) в форме переходного участка от гелисы к дуге зацепа.

По второму варианту зацеп состоит из участка сопряжения *s* и кругового сегмента *c*. Построив гелису рабочих витков (см. выше разд. “Рабочие витки”), приступим к разметке зацепа. Строим (рис. 17.4, *б*) две окружности *c1*, *c2*, каждая радиусом *R* (в нашем примере *R* = 12.75). Для этого установим ПСК в точку *O* основания гелисы, ось X направим в начальную точку гелисы, ось Y – вдоль оси *i* (**ucs** / 3 / указать точки *O*, *1*, *2*). Центр окружности *c1* в точке *3* (R, –R). Построим окружность *c1*.

Для окружности *c2* предварительно установим ПСК осью Z вдоль оси *i* с началом в точке *C*.

Участок сопряжения *s* представим как линию пересечения двух прямых цилиндров с основаниями *c1*, *c2* (рис. 17.4, *в*). Цилиндры получим командой **EXTRUDE**. Высота цилиндров должна превышать *R*. Линию пересечения *s* получим при объединении цилиндров командой **UNION**. Создадим копию линии пересечения (**SOLIDEDIT / EDGE / COPY**…), совместив ее с оригиналом. Сотрем цилиндры, оставив линию *s*.

Дугу зацепа *c*, противоположный зацеп и объемную модель всей пружины строим как в первом варианте (см. выше).

17.3. Пружины кручения

Пружины кручения весьма разнообразны. Их моделирование принципиально не отличается от пружин растяжения: создают направляющую линию пружины из гелисы рабочих витков и примыкающих к ней элементов крепления пружины к внешним устройствам, так называемых “прицепов”. Затем по направляющей линии перемещают контур, как правило окружность. Полученные объемные элементы объединяют. Рассмотрим модели пружин с наиболее часто встречающимися прицепами.

Для пружины с прямыми прицепами, расположенными по касательной к внутренней цилиндрической поверхности пружины (рис. 17.5, *а*), нужно к гелисе *h* в ее конечных точках *1* и *1′* пристоить отрезки прямых *m* и *m′* (которые могут иметь дополнительные элементы зацепления, например, дуги окружностей). Отрезки проводятся касательно к цилиндрической поверхности гелисы. Далее командой **SWEEP** сечение проволоки – окружность – сдвигается по гелисе, образуя винтовую часть модели пружины. Если направляющая прицепов является отрезком прямой или плоской кривой, то для создания прицепов рационально использовать команду **SOLIDEDIT / FACE / EXTRUDE / PATH**. Выбираются торцовые грани конечных витков пружины, указываются направления выдавливания. В этом случае сразу создается единая solid-модель пружины. Иначе применяют команду **SWEEP**.

Пружина с прямыми прицепами, расположенными вдоль оси пружины (рис. 17.5, *б*), содержит переходные участки *s* и *s′* от гелисы *h* к отрезкам прямых *m* и *m′*. Участки *s*, *s′* создают как линию пересечения двух цилиндров. Ось первого цилиндра совпадает с осью гелисы *h*, его основанием является окружность радиуса, равного радиусу гелисы *R*. Радиус основания второго цилиндра $r \approx (0.5 \ldots 1)\ R$. В остальном алгоритм повторяет построение пружины растяжения (см. выше рис. 17.4).

Особенность пружины с прямыми и петлеобразным прицепами (рис. 17.5, *в*) состоит в том, что направление навивки ее секций противоположно: одна из них навита по часовой стрелке (правая навивка), другая против часовой стрелки. Для построения модели этой пружины

создают гелису, командой **BREAK / FIRST POINT** ее разрывают в средней точке. Командой **PROPERTIES (СВОЙСТВА)** меняют направление навивки в одной из частей гелисы. Затем командой **BREAK** убирают влево и вправо от середины часть витков, например по 1.5 витка, и из точек обрыва проводят касательные прямые к гелисам. Эти касательные сопрягают дугой для образования петли. Все звенья петли целесообразно объединить, например, командой **PEDIT**.

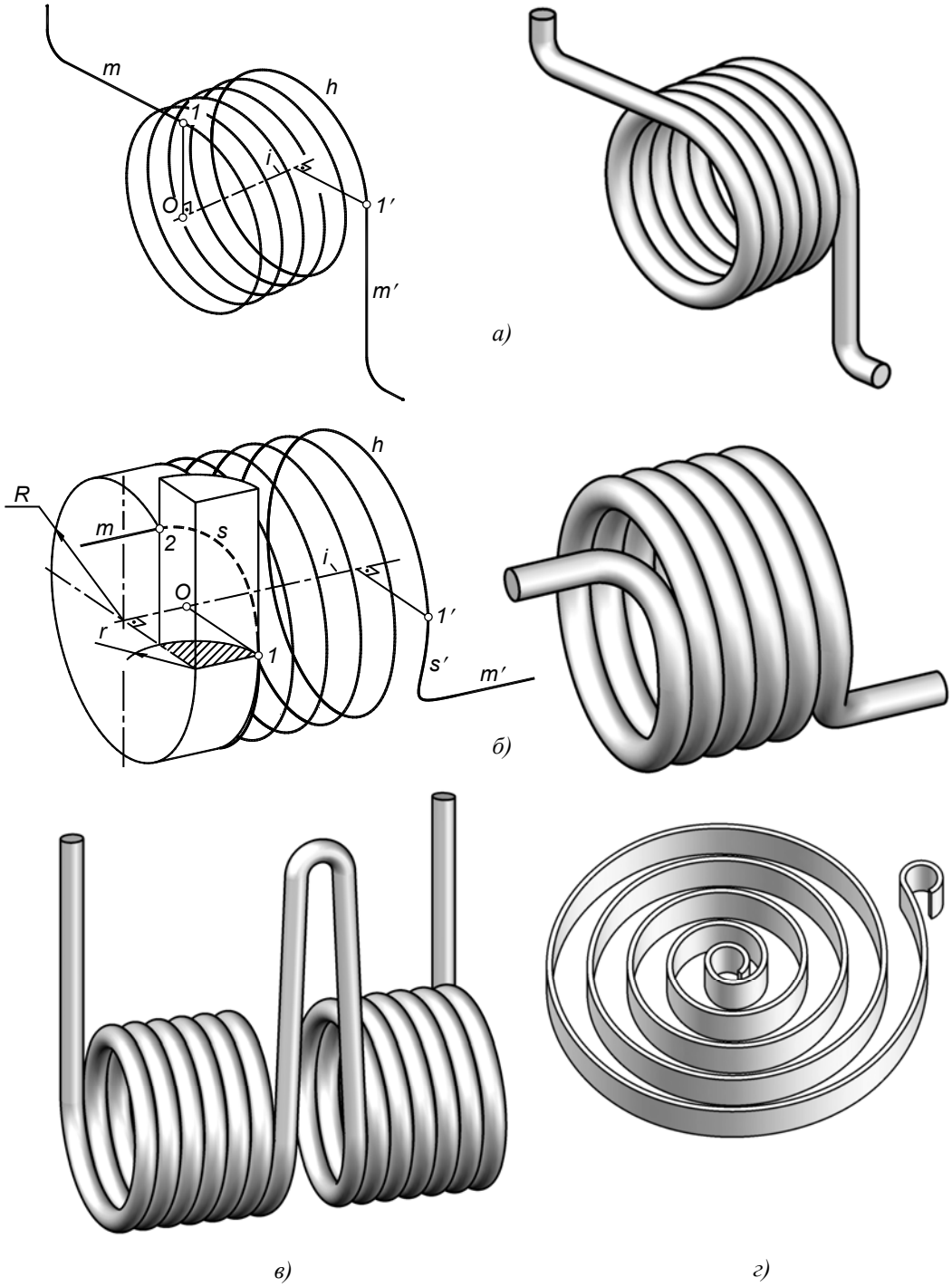
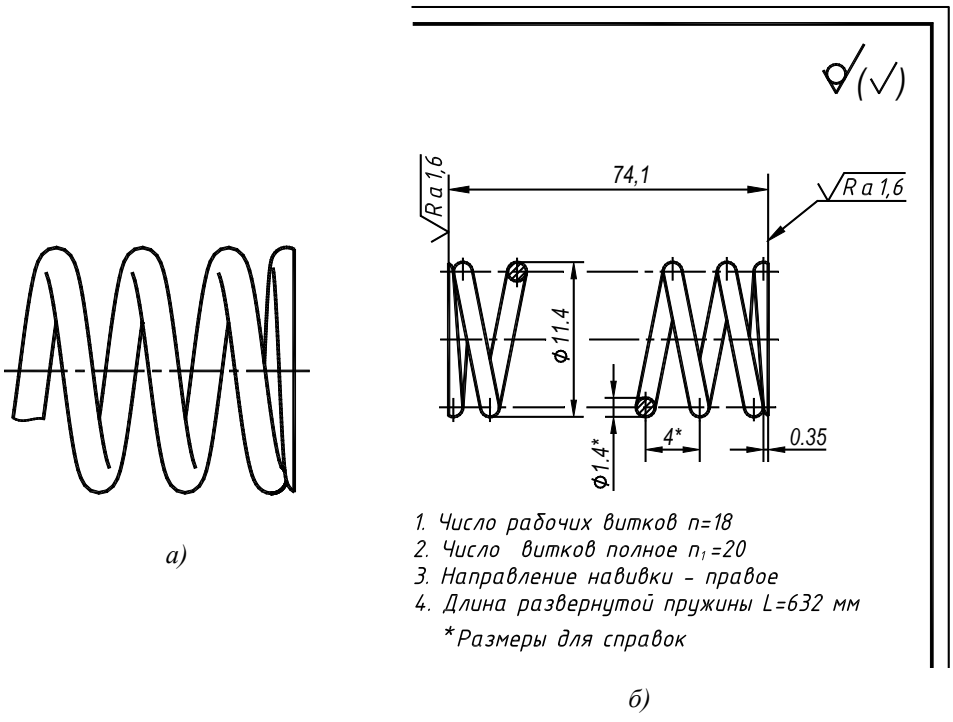


Рис. 17.5. Пружины кручения:
а – пружина с прямыми касательными концами;
б – пружина с прямыми концами, расположенными вдоль оси пружины;
в – пружина с прямыми и петлеобразным прицепами;
г – спиральная листовая пружина с круговыми прицепами

Концевые отрезки строят так же, как и в предыдущей конструкции (см. рис. 17.5, *а*). Создание solid-модели пружины начинают с ее винтовой части. Командой **SWEEP** предварительно построенную окружность (сечение проволоки) сдвигают по обеим гелисам, затем, применив команду **SOLIDEDIT / FACE / EXTRUDE / PATH**, достраивают петлю и концевые прицепы.

Пружина на рис. 17.5, *в* представляет класс пружин из листового материала. Для ее построения нужно создать плоскую спираль, достроить к ней круговые прицепы и командой **SWEEP** сдвинуть по созданной линии предварительно построенный прямоугольник, равный поперечному сечению пружины.



а) *б)*

Рис. 17.6. Пружина сжатия:
а – реалистичное изображение по 3D-модели;
б – условное изображение на чертеже

17.4. Особенности чертежа пружины

3D-модели пружин предназначены в первую очередь для придания наглядности объемным моделям узлов. На чертежах пружины изображают условно, в соответствии с действующими стандартами, ориентированными на “ручную” графику. Условные изображения имеют ряд упрощений и могут существенно отличаться от реалистичных. Витки пружин на чертежах вычерчивают прямыми линиями. Если количество витков больше четырех, то показывают с каждого конца пружины один-два витка, кроме опорных. На чертежах узлов в разрезах допускается изображать только сечения витков и т.д.

Реалистичные изображения пружин, получаемые по созданным 3D-моделям, не всегда могут быть применены при выполнении их чертежей. Рассмотрим два примера.

В пружинах сжатия (рис. 17.6), у которых витки не прижаты друг к другу, очерковые линии витков приближаются к синусоиде. Это отчетливо видно в реалистичных изображениях этих пружин (рис. 17.6, *а*), получаемых по 3D-моделям. Поскольку по стандарту черчения очерковые линии витков должны быть прямыми, применение реалистичных изображений при построении чертежа таких пружин нерационально. Чертежи таких пружин (рис. 17.6, *б*) проще строить средствами плоской графики, а не редактировать изображение 3D-модели. Достаточно

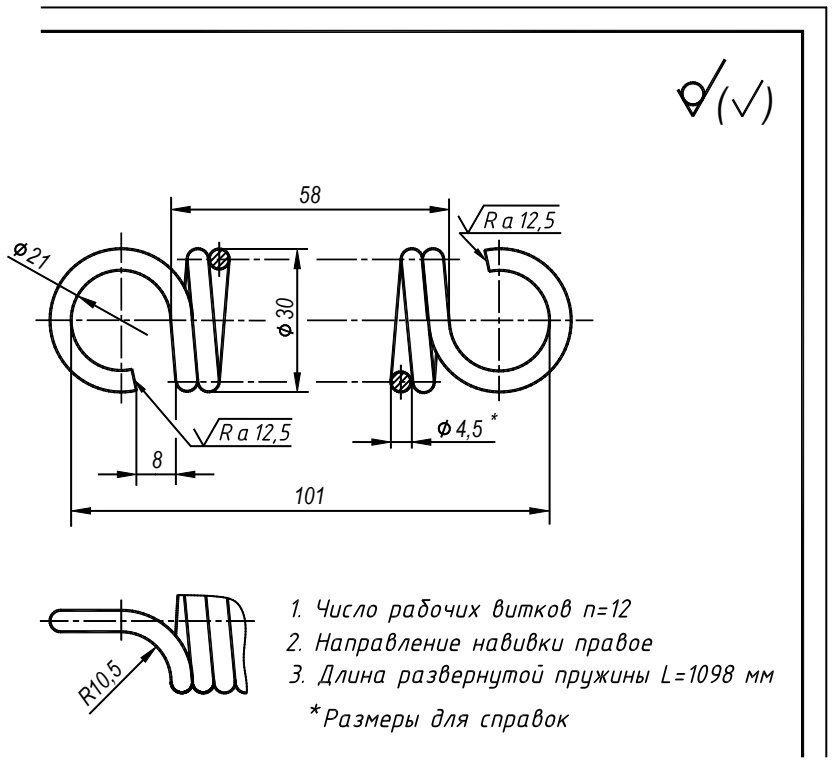


Рис. 17.7. Чертеж пружины растяжения, построенный по 3D-модели

построить сечения витков как окружности, а очерковые линии витков построить как прямые, касательные к ним.

В пружинах растяжения (рис. 17.7), витки которых плотно прижаты, плоское изображение 3D–модели с высокой степенью точности совпадает с принятым условным изображением пружины. Поэтому для построения чертежа достаточно командами **SOLPROF, SOLVIEW+SOLDRAW** или **FLATSHOT** получить плоские изображения по 3D-модели пружины.

Рабочие чертежи пружин содержат технические требования, одной строкой которых является длина развернутой пружины. Имея 3D-модель, эту длину можно определить как свойство направляющей линии пружины, применив к линии команду **LIST** или **PROPERTIES**.

Часть 4. Сборка и деталирование узлов

Глава 18

Рабочий чертеж корпусной детали

Предлагаемая работа является частью учебного задания “Деталирование”, в котором по чертежу узла требуется выполнить чертежи деталей этого узла. Чертеж узла разрабатывает конструктор высокой квалификации. Вам требуется понять замысел конструктора и довести его до чертежей отдельных деталей – так называемых *рабочих* чертежей, по которым детали можно изготовить.

В данной главе приведен пример построения рабочего чертежа корпуса масляного насоса. Примеры построения чертежей еще двух деталей этого узла даны в следующей главе.

18.1. Содержание работы

Дано: чертеж узла общего вида, перечень элементов узла и краткое техническое описание, поясняющее принцип работы узла.

Требуется:

1) средствами 3D-технологии создать рабочие чертежи деталей узла;
2) выполнить фотореалистичную визуализацию одной из моделей.

Последовательность создания чертежа по 3D-технологии была вами изучена при выполнении предыдущих работ, в которых детали имели идеализированные “чистые” формы в виде призм, цилиндров и др. Сейчас требуется применить 3D-технологию для реальных деталей, входящих в состав машиностроительного узла.

Как правило, наиболее сложной деталью узла является его корпус. Понимание пространственной формы корпуса по чертежу узла представляет собой непростую задачу. На основе выявленной формы необходимо создать пространственную 3D-модель корпуса и по ней – чертеж корпуса.

Рассмотрим построение рабочего чертежа корпуса масляного шестеренного насоса. На рис. 18.1 приведен сборочный чертеж насоса, являющийся результатом выполнения второй части задания (см. главу 19) и спецификация к сборочному чертежу (рис. 18.2). Имеется схема работы (рис. 18.3), выдаваемая вместе с чертежом общего вида узла [6].

Корпус получают литьем с последующей фрезерной и токарной обработкой рабочих поверхностей.

18.2. Чтение чертежа узла. Анализ формы детали

Для понимания формы детали по чертежу узла, в который она входит, необходимо, прежде всего, знать основы построения чертежа: как формируются его виды, разрезы, сечения, – все это вами было изучено при выполнении предыдущих заданий. Кроме того, нужно знать особенности построения чертежа узла, а также назначение и принцип работы узла.

К особенностям чертежа узла, облегчающим его понимание, относятся правила штриховки при построении разрезов и сечений. Первое – для сопрягаемых деталей применяется различная штриховка, отличающаяся по типу, углу наклона или шагу. Второе – одна и та же деталь на

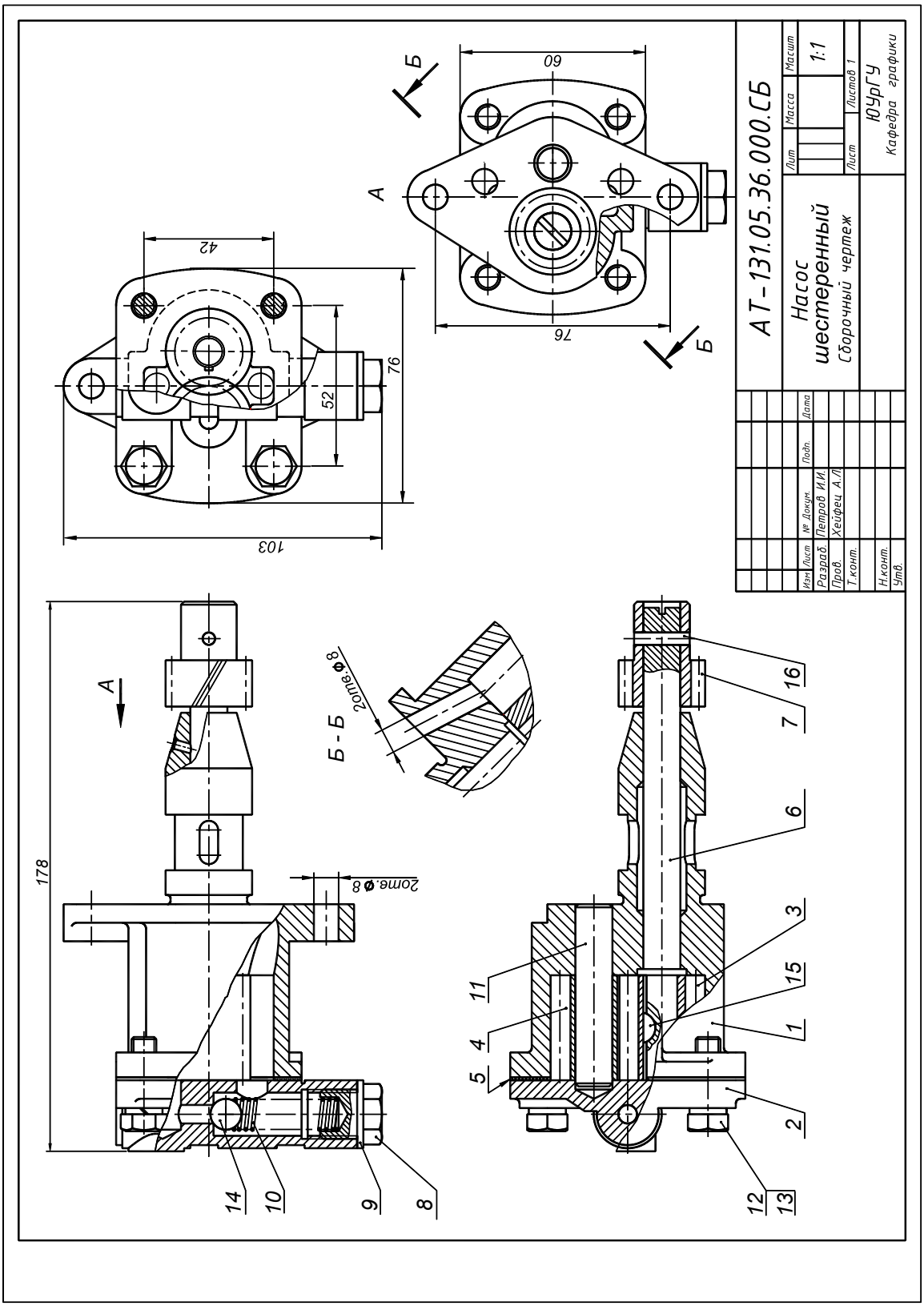
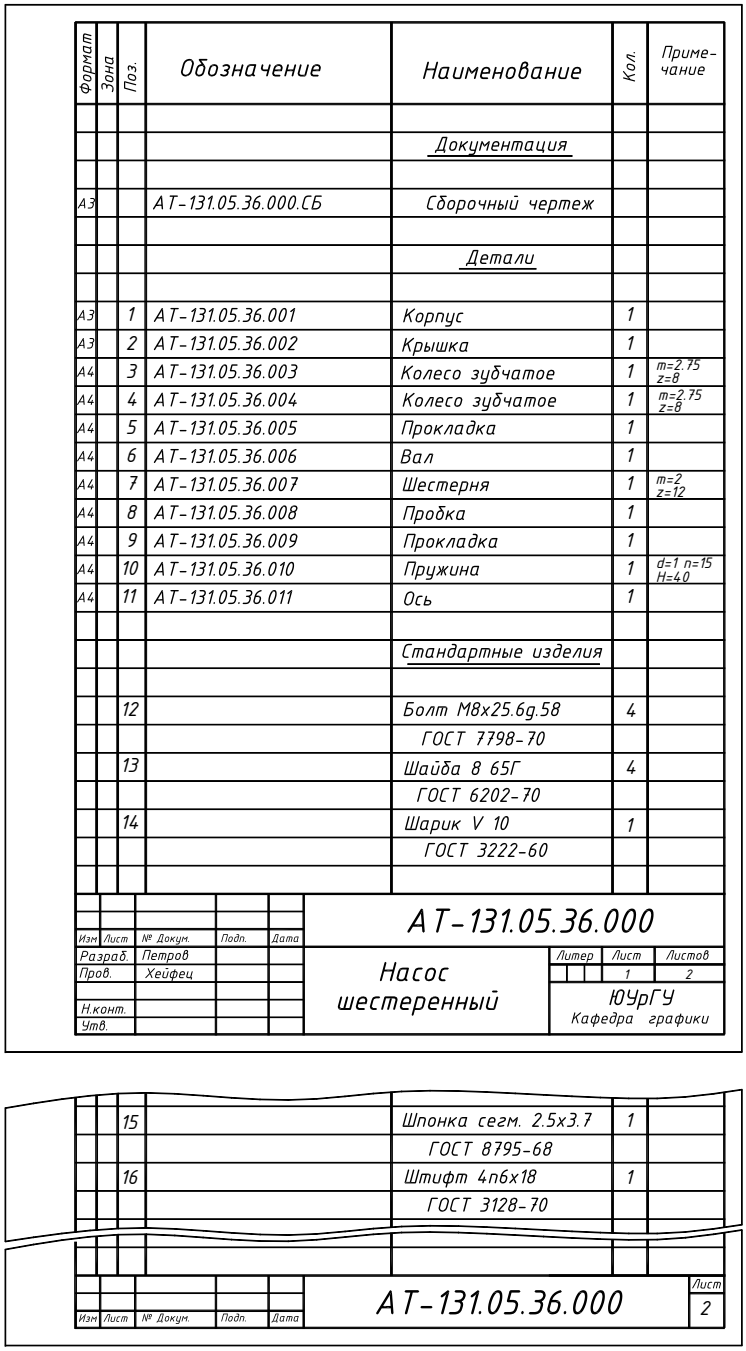


Рис. 18.1. Сборочный чертеж насоса

всех разрезах и сечениях чертежа обязательно заштрихована единообразно, с сохранением всех параметров штриховки. Третье – сплошные детали типа валов, осей, шариков, а также тонкие элементы (ребра жесткости) в продольных разрезах показывают без штриховки.

Каждой детали присваивается позиционное обозначение. Чертеж снабжается перечнем элементов или спецификацией. Приведенные в них названия деталей и комментарии способствуют пониманию принципа работы узла, назначению и пространственной формы деталей.

Как следует из схемы шестеренного насоса (см. рис. 18.3) в корпусе *1* имеется камера, в которой вращаются зубчатые колеса. Вращение от двигателя подается на колесо *2*, соединенное с валом шпонкой *3*; колесо *4* вращается за счет зацепления с первым. Через отверстия *5* и *6* масло поступает в корпус и отводится из него. Вследствие вращения колес в камере, вблизи отверстия *5* создается разряжение. Масло втягивается в камеру и нагнетается в отводящий трубопровод через отверстие 6. Имеется перепускной клапан *7*, предотвращающий избыточное давление масла. При превышении давления шарик клапана отжимает пружину и открывает канал, по которому масло из зоны нагнетания возвращается в зону всасывания.



Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Документация		
А3			АТ-131.05.36.000.СБ	Сборочный чертеж		
				Детали		
А3		1	АТ-131.05.36.001	Корпус	1	
А3		2	АТ-131.05.36.002	Крышка	1	
А4		3	АТ-131.05.36.003	Колесо зубчатое	1	m=2.75 z=8
А4		4	АТ-131.05.36.004	Колесо зубчатое	1	m=2.75 z=8
А4		5	АТ-131.05.36.005	Прокладка	1	
А4		6	АТ-131.05.36.006	Вал	1	
А4		7	АТ-131.05.36.007	Шестерня	1	m=2 z=12
А4		8	АТ-131.05.36.008	Пробка	1	
А4		9	АТ-131.05.36.009	Прокладка	1	
А4		10	АТ-131.05.36.010	Пружина	1	d=1 n=15 H=40
А4		11	АТ-131.05.36.011	Ось	1	
				Стандартные изделия		
		12		Болт М8х25.6g.58	4	
				ГОСТ 7798-70		
		13		Шайба 8 65Г	4	
				ГОСТ 6202-70		
		14		Шарик V 10	1	
				ГОСТ 3222-60		
		15		Шпонка сегм. 2.5х3.7	1	
				ГОСТ 8795-68		
		16		Штифт 4п6х18	1	
				ГОСТ 3128-70		

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	АТ-131.05.36.000		
Разраб.		Петров			Насос шестеренный	Литер	Лист 1 / Листов 2
Пров.		Хейфец					
Н.контр.						ЮУрГУ Кафедра графики	
Утв.							

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	АТ-131.05.36.000	Лист 2

Рис. 18.2. Спецификация к сборочному чертежу насоса

При определении формы какой-либо детали нужно найти все ее изображения на чертеже узла, мысленно удалив изображения других деталей, закрывающих требуемую. На изображениях детали нужно восстановить линии контура, которые были закрыты другими деталями, и вследствие этого, не были показаны на чертеже узла.

Итогом чтения чертежа узла является пространственный образ узла и его деталей. Образы воплощаются в пространственные модели, которые по 3D-технологии являются основой построения их чертежей.

На рис. 18.4, показана модель корпуса, образ которой воссоздан по чертежу узла. Построение этой модели рассмотрено ниже. Корпус содержит основание *1*, оболочку камеры *2*, фланец *3*, штуцер *4*. Внутри имеются рабочая камера *5*, в которой вращаются нагнетающие зубчатые

колеса. Масло подается по одному из двух наклонных отверстий *6* и отводится по другому. В штуцере имеется ступенчатое цилиндрическое продольное отверстие *7* для вала, приводящего колеса во вращение, а также два вспомогательных поперечных отверстия *8* и *9*, предназначенных для сборки узла. Отверстие *10* предназначено для установки оси, на которой вращается ведомое колесо. В основании корпуса содержатся четыре резьбовых отверстия *11* для крепления крышки корпуса (это примыкающая к корпусу деталь) и два отверстия *12* крепления насоса в целом (например, к двигателю автомобиля).

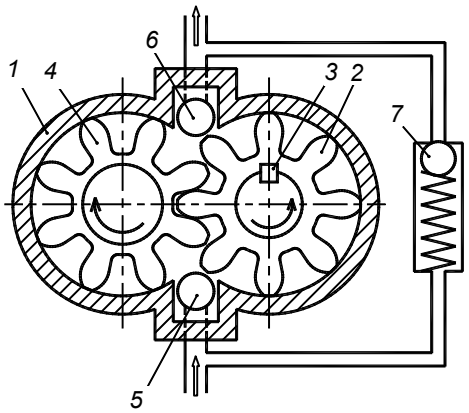


Рис. 18.3. Схема работы шестеренного насоса

18.3. Построения в истинных размерах

Достоинством компьютерной технологии является построение модели и ее чертежа в истинных размерах. Это означает, что, измерив или задав размер, нужно применить его к создаваемой модели, не умножая на масштаб, какой бы большой или малой не была деталь. Такая возможность определяется тем, что на экране можно отобразить модель любых размеров.

Истинные размеры зависят от единицы измерения и исходных данных, по которым они оп-

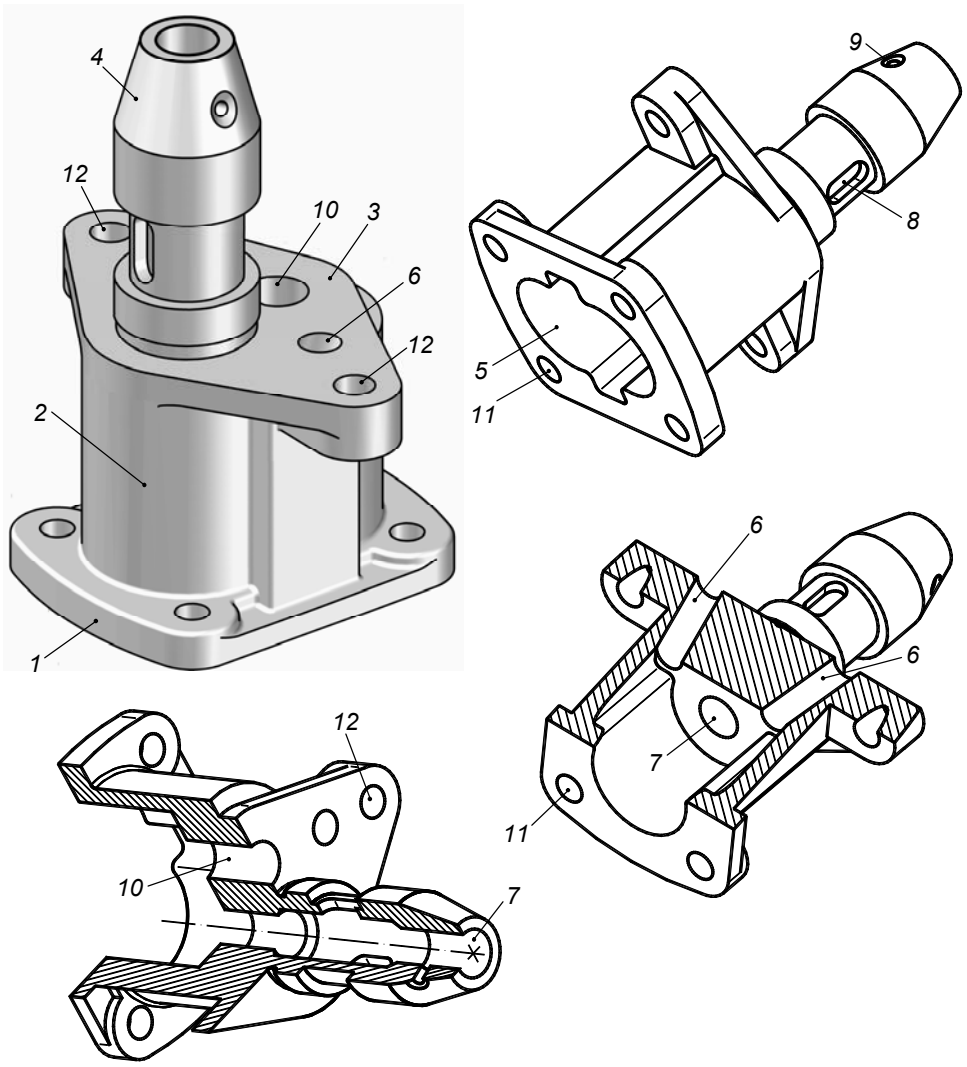


Рис. 18.4. Анализ формы корпусной детали

ределяются. Единицей измерения является, как правило, миллиметр. При обмере детали значения в *мм* принимаются за истинные и присваиваются ее модели. Например, деталь имеет длину 100 мм. Тогда ее модели будет задана длина 100 единиц (эти единицы отслеживаются в статусной строке экрана). То же относится и к модели архитектурного объекта-здания. Если длина здания 100 м, а единицей измерения является мм, то длина модели составит 100000 единиц. И никакого умножения на масштаб в процессе работы над моделью!

При деталировании узла в учебном задании размеры берутся с чертежа узла измерением линейкой с точностью до 0.5…1 мм. Эти размеры следует *временно* рассматривать как истинные и в них строить модель. Если масштаб узлового чертежа равен 1:1, то модель, созданная по размерам, измеренным с чертежа, имеет истинные размеры детали. Иначе она получается больше или меньше детали на величину масштаба. Такую модель после ее построения необходимо привести к истинным размерам, применив команду **`SCALE.`** Модель следует масштабировать с коэффициентом, обратным масштабу чертежа. Например, если чертеж узла выполнен в масштабе 1:2, то модель получается в два раза меньше детали. После завершения модель нужно увеличить в два раза. При масштабе 2:1 модель следует уменьшить вдвое.

Проекции модели (виды, разрезы, сечения), которые создаются в автоматическом режиме, также следует построить в истинных размерах. Масштабирование проекций осуществляется на стадии компоновки чертежа с учетом варианта его построения (оконный или с выносом на лист).

Рекомендуется учесть типографские искажения чертежа узла, вследствие которых масштаб не соответствует значению, указанному на чертеже в основной надписи (штампе). Чтобы определить масштаб типографского варианта чертежа, нужно измерить линейкой один из габаритных размеров, которые обязательно приводятся на чертеже узла, и поделить его на значение этого размера, указанное на чертеже. После этого построенную модель нужно масштабировать с коэффициентом, обратным масштабу типографского варианта.

Независимо от масштаба чертежа размеры детали на ее рабочем чертеже должны быть указаны истинные. Если проекции выполнены в масштабе 1:1, то это требование выполняется автоматически. Иначе при простановке размеров нужно в настройке размерного стиля задать линейный масштаб, позволяющий автоматически проставлять истинные размеры (см. разд. 4.4 “Настройка линейного масштаба для простановки размеров”). Значение линейного масштаба обратно масштабу чертежа. Например, если чертеж выполнен в масштабе 1:2, то линейный масштаб следует задать равным 2.

18.4. Модель корпуса

Построение 3D-модели проходит через уже известные этапы: анализ формы детали, предварительные настройки, построение элементов детали, их объединение или вычитание.

Анализ формы корпуса насоса был выполнен выше (см. разд. 18.2). Корпус насоса представлен состоящим из конструктивных элементов: основания, камеры, штуцера и др. Далее, при построении каждого конструктивного элемента, приведен более подробный анализ их формы.

Предварительные настройки

Основную часть настроек следует выполнить, как сказано в разделах 5.1 и 6.3. При настройке пространства модели нужно учесть истинные размеры модели.

Будем строить модель, расположив основание корпуса в горизонтальной плоскости, направив штуцер вверх (см. рис. 18.4). Поскольку основание корпуса (см. рис. 18.1) вписывается в прямоугольник 100×100, эти размеры следует задать как лимиты пространства модели. Для таких лимитов шаг рекомендуется установить равным 1; сетку задать с ячейкой, равной 5.

При настройке листа следует задать лимиты чертежа. Как правило, формат чертежа корпусной детали равен формату чертежа узла. В нашем примере это формат А3. На листе рекомендуем задать шаг и сетку, удобные для построения чертежа такого формата: шаг 1, сетка 5.

На листе, вне лимитов, создадим три-четыре видовых окна в “мир модели” для пространственных построений.

Рекомендуем воспользоваться кафедральным прототипом *proto.dwt* (см. разд. 6.3), в котором выполнены основные настройки, соответствующие рассмотренным.

Дополнительно создайте слои с именами *Оси*, *Элемент* и *Модель*. На слое *Элемент* будем формировать текущий конструктивный элемент модели. Затем элемент будем переносить на слой *Модель,* где из элементов будем формировать модель. Понадобится ряд слоев для размещения на них контуров выдавливания или вращения, назовем эти слои *Контур 1*, *Контур 2*…

Установите значение системной переменной **DELOBJ** равным 0. Для этого с командной строки введите имя переменной, а затем ее значение. Данная настройка позволит сохранять контуры после создания тел на их основе. Это желательно сделать для исправления ошибок, допущенных при построении модели.

Позднее понадобятся слои для простановки размеров, выполнения штриховки и надписей.

Основание корпуса

Потребуется контур основания *1* (рис. 18.5, *а*), построение которого приведено в разд. 3.9 “Контуры корпусной детали” (см. рис. 3.11). Контур следует дополнить четырьмя окружностями ∅6.7 мм для создания крепежных отверстий и двумя отрезками *2*, касательными к очерковым окружностям R9. Диаметр ∅6.7 задан как внутренний диаметр резьбы М8. Добавленные окружности концентричны окружностям R9:

- перейдите в окно вида сверху, убедитесь, что установлена МСК;
- на слое *Контур 1* создайте контур *1*, дополненный четырьмя окружностями ∅6.7 и двумя отрезками *2*. Центр контура, точку *О*, поместите в начало координат;
- временно “заморозьте” оси – они будут мешать применению команды **PRESSPULL**;

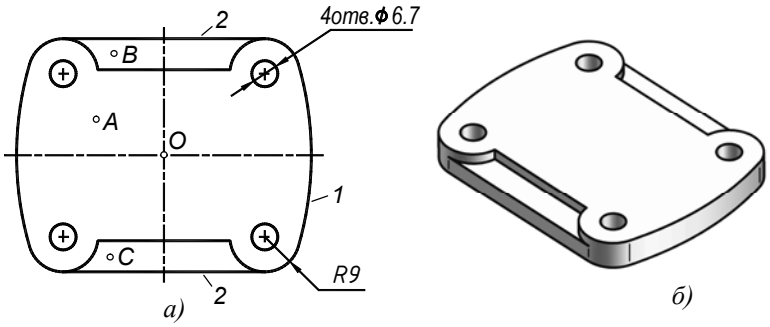


Рис. 18.5. Построение основания:
а – контуры вытягивания; *б* – результат объединения

- перейдите на слой *Элемент*;
- **presspull** / укажите точку *A* – выделен контур, окружающий указанную точку, за вычетом окружностей ∅6.7 / введите высоту вытягивания 8 – создан solid-объект высотой 8 мм;
- примените команду **PRESSPULL** для точек *B*, *C*, задав в каждом случае высоту вытягивания 5 мм;
- **union** / укажите три построенных solid-объекта – объекты объединены.
- Переместите основание на слой *Модель*.

Построено основание корпуса с крепежными отверстиями (см. рис. 18.5, *б*).

Камера

Камеру можно построить командой **EXTRUDE** или **PRESSPULL**. В окне вида сверху нужно построить контуры *3*, *4* (рис. 18.6, *а*) – для наружной и внутренней поверхности камеры. Построение контуров приведено в разд. 3.9 (см. рис. 3.12).

Для применения команды **EXTRUDE** каждый контур необходимо объединить в область. Перейти на слой *Элемент*. Затем контур *3* выдавить на высоту 50 мм, контур *4* – на высоту 33 мм.

Получены два тела – наружный и внутренний объем камеры. Наружный объем камеры переместить на слой *Модель* и объединить с основанием (см. рис. 18.6, *б*). Затем из объединенного тела вычесть внутренний объем (см. рис. 18.6, *г*).

Для применения команды **PRESSPUL** необходимо наружный *3* и внутренний *4* контуры поместить на раздельные слои. Перейти на слой *Элемент*. Оставив в видовом окне только наружный контур, применить к нему команду **PRESSPUL**, указав произвольную точку внутри контура, и вытянуть контур вверх на 50 мм. Построенное тело наружного объема камеры перенести на слой *Модель* и объединить с основанием. Затем в окне аксонометрии установите направление взгляда снизу (см. рис. 18.6, *г*), оставьте на основании только внутренний контур *4*, остальные контуры следует "заморозить". Примените команду **PRESSPUL**, указав точку внутри контура *4* и задав высоту его вытягивания 33 мм в сторону от наблюдателя.

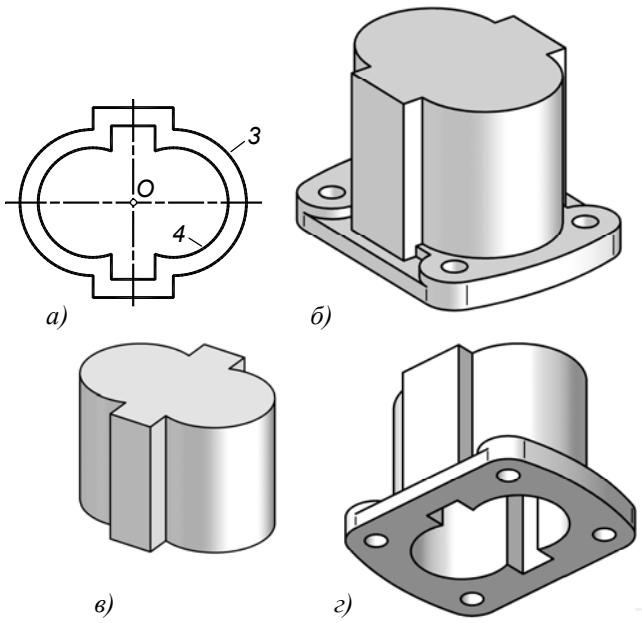


Рис. 18.6. Построение камеры:
а – контуры; *б* – наружный объем; в – внутренний объем; *г* – итог

Фланец

В окне вида сверху на новых слоях постройте контуры *5* и *6* (рис. 18.7, *а*). Построение контура *5* рассмотрено в разд. 3.9 (см. рис. 3.13). Контур *6* постройте, на основе контура *5*, добавив два отрезка, касательных к окружностям R9. Каждый контур объедините в область (**REGION**). Добавьте две окружности ∅8.4 для создания отверстий для крепления насоса с помощью болтов.

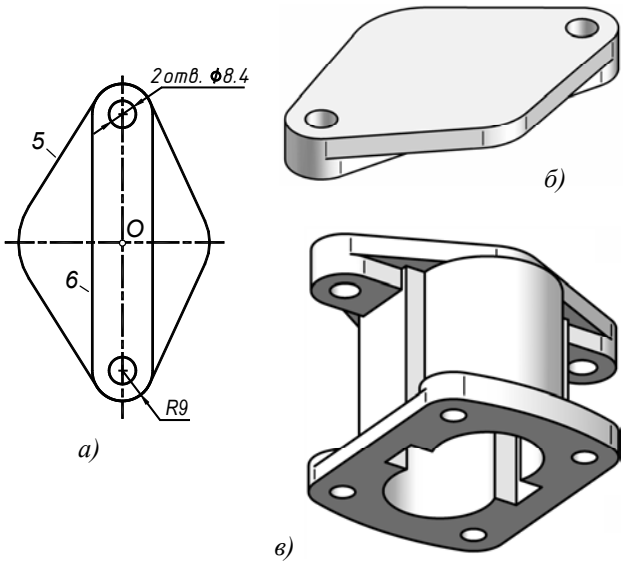


Рис. 18.7. Построение фланца:
а – контуры; *б* – фланец как элемент; в – добавление фланца к модели

Перейдя на слой *Элемент*, примените команду **EXTRUDE** и выдавите контур *5* вниз на –6 мм, затем выдавите контур *6* также вниз на –12 мм. Оба тела объедините (**UNION**). Применив команду **PRESSPULL**, вытяните окружности ∅8.4 сквозь фланец для получения отверстий (см. рис. 18.7, *б*).

Созданный фланец перенесите на слой *Модель*, переместите (**MOVE**) вверх на 56 мм (см. рис. 18.7, *в*) и объедините с моделью.

Штуцер

Штуцер представляет собой тело вращения со ступенчатым продольным отверстием (рис. 18.8). Для его построения нужно создать два контура и сформировать на их основе два тела вращения:

- перейдите в окно аксонометрии и убедитесь, что активна МСК;
- постройте оси верхней грани фланца (см. рис. 18.8, *а*) как отрезки, концы которых заданы с объектной привязкой **Center** по отношению к очерковым окружностям этой грани.

Установите ПСК в плоскость фланца:

- **ucs** / 3 / укажите точки *1*, *2*, *3* – установлена система координат с началом в точке *1*, ось X направлена в точку *2*, ось Y – в точку *3*;
- поставьте маркеры точек (**POINT**), отложив по оси *1–2* расстояние 11 мм в обе стороны от начала координат – найдены точки *O*, *A*.

Те же точки можно найти, проецируя (фильтр **XY**) центральные точки контуров камер на плоскость текущей ПСК.

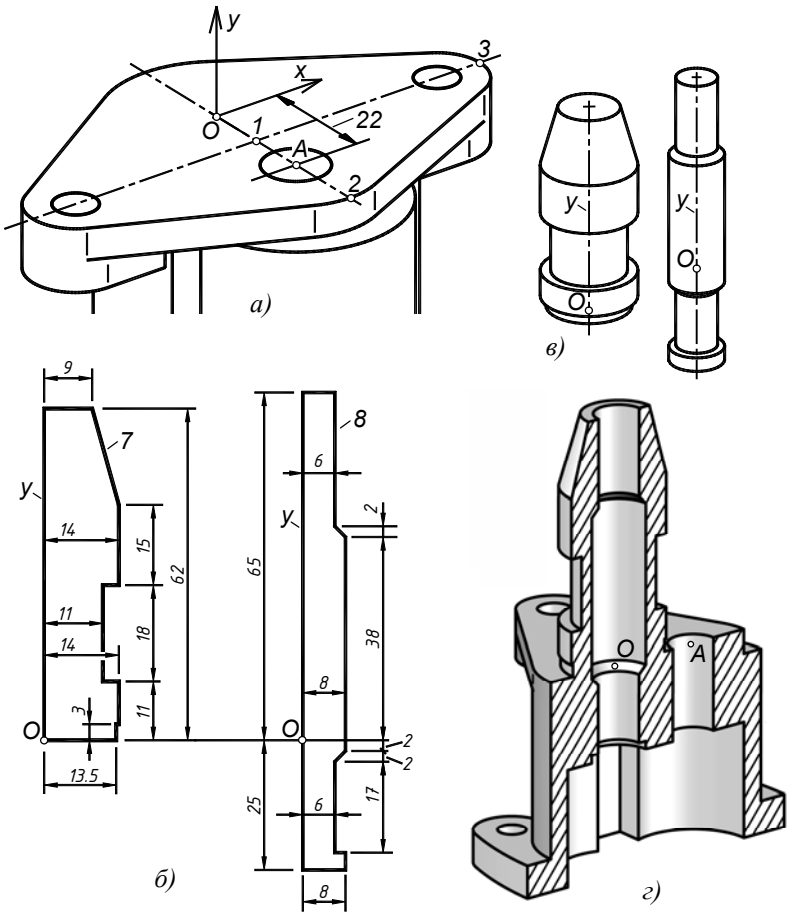


Рис. 18.8. Построение штуцера:
а – разметка и плоскость построений; *б* – контуры; *в* – компоненты штуцера; *г* – добавление к модели

- В точке *A* выполним сквозное вертикальное отверстие ∅12. Для этого в плоскости верхнего основания фланца достаточно построить окружность ∅12 с центром в точке *A* и командой **PRESSPULL** вытянуть отверстие до выхода в камеру.

Переходим к построению контуров вращения штуцера. Установим плоскость построений контуров (см. рис. 18.8, *а*):

- в видовом окне аксонометрии задайте МСК, перенесите начало координат в точку *O*, поверните ПСК вокруг оси Z на 90° и вокруг оси X на 90°;
- **plan** / **C** – в видовом окне установлена плоскость построений XOY и вид на эту плоскость.

В установленной плоскости строим контуры *7* и *8* (см. рис. 18.8, *б*). Для каждого контура создайте свой слой (слои *Контур 7*, *Контур 8*). Контуры совмещены в точке *O* и имеют общую ось Y. Координаты вершин контуров измерены на исходном чертеже узла (см. рис. 18.1).

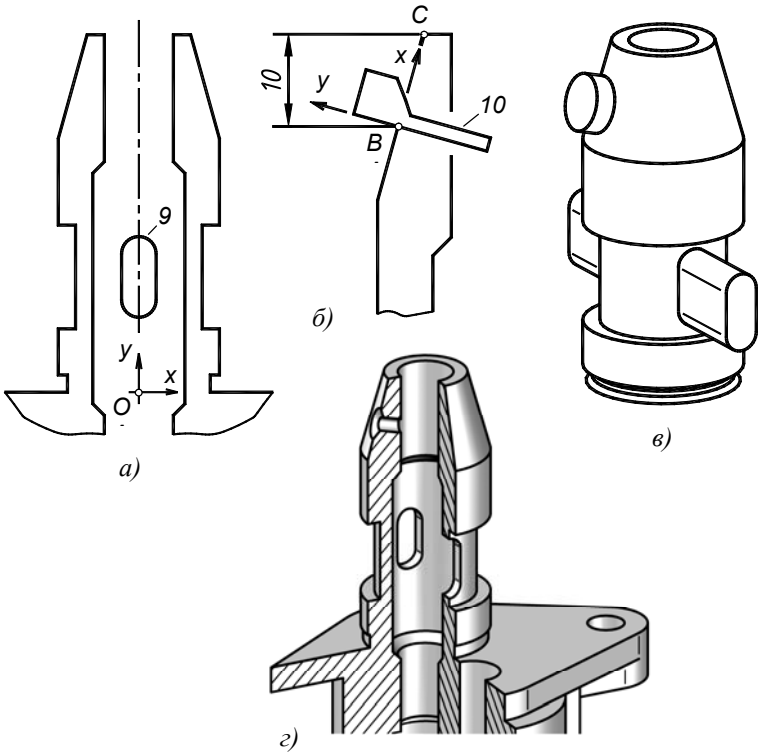


Рис. 18.9. Поперечные отверстия в штуцере:
а – осевое сечение и контур вытягивания; *б* – контур вращения; *в* – формирование отверстий; *г* – итог

Построение контура *7* наружной поверхности штуцера:

- **`pline`** / 0,0 / 13.5,0 / @0,3 / @0.5,0 / @0,8 / 11,11 / @0,18 / @3,0 / @0,15 / 9,62 / 0,62 / **`Cl`**.

Построение контура *8* внутренней поверхности штуцера:

- **`pline`** / 0,0 / 0,65 / @6,0 / 6,40 / 8,38 / 8, –2 / 6, –4 / @0, –17 / @2,0 / 8, –25 / @–8,0 / **`Cl`**.

Строим два тела вращения и добавляем их к модели:

- перейдите на слой *Элемент*;
- **`revolve`** / укажите контуры вращения *7*, *8* / Y (опция, задающая вращение вокруг оси Y) – созданы два тела вращения (см. рис. 18.8, *в*), совмещенные по общей оси вращения.

В окне аксонометрии объедините ранее созданную часть модели с наружной частью штуцера и выполните вычитание внутренней части штуцера (рис. 18.8, *г*).

Для построения в штуцере двух поперечных отверстий (см. рис. 18.4, поз. *8*, *9*) создадим их контуры. Построения продолжаем в плоскости XOY системы координат, показанной на рис. 18.8, *а*:

- перейдите на новый слой *Контур 9*. Командой **`SECTION`** постройте сечение штуцера плоскостью XY, проходящей через его ось (рис. 18.9, *а*).

Создайте контур *9* поперечного отверстия:

- **`rectang`** / **`F`** (опция **`Fillet`** – Сопряжение) / радиус 3 / –3,27 / 3,13.
- Командой **`PRESSPULL`** вытяните контур *9* в обе стороны на 20…30 мм до пересечения с наружной поверхностью штуцера (см. рис. 18.9, *в*) и выполните вычитание (**`SUBTRACT`**) построенных тел из модели – построено сквозное поперечное отверстие.

Для построения контура *10* наклонного отверстия необходимо задать ПСК как на рис. 18.9, *б*:

- постройте горизонтальную прямую, проходящую ниже точки *C* на 10 мм;
- перенесите начало координат в точку *B*;
- **ucs / z** (поворот ПСК вокруг оси Z) / 0,0 / с объектной привязкой **Endp** укажите точку *C* – ось X направлена в точку *C*.

Строим контур *10*:

- **pline** / 0,5 / 0, –10 / 1.5, –10 / 1.5, –1.2 / @4<30 / @4<90 / **Cl** – построен контур *10*;
- **rotate** / укажите контур *10* / **Y** (ось Y как ось вращения) / – построено тело вращения;
- **subtract** – выполните вычитание созданного тела из модели – построено наклонное отверстие в штуцере (см. рис. 18.9, *г*).

Наклонные отверстия в корпусе

Наклонные отверстия для подачи и отвода масла (см. рис. 18.4, поз. 6) построим в окне аксонометрии. На рис. 18.10 штуцер временно срезан, чтобы не закрывать построения. Вы можете также временно его срезать командой **SLICE** и спрятать на замороженный слой. Далее:

- задайте ПСК (см. рис. 18.10, *а*) с началом в точке *D*, как *исходную* систему координат для получения отверстий. Для этого постройте отрезок, соединив центральные точки крепежных отверстий фланца. Перенесите начало координат МСК в середину этого отрезка.

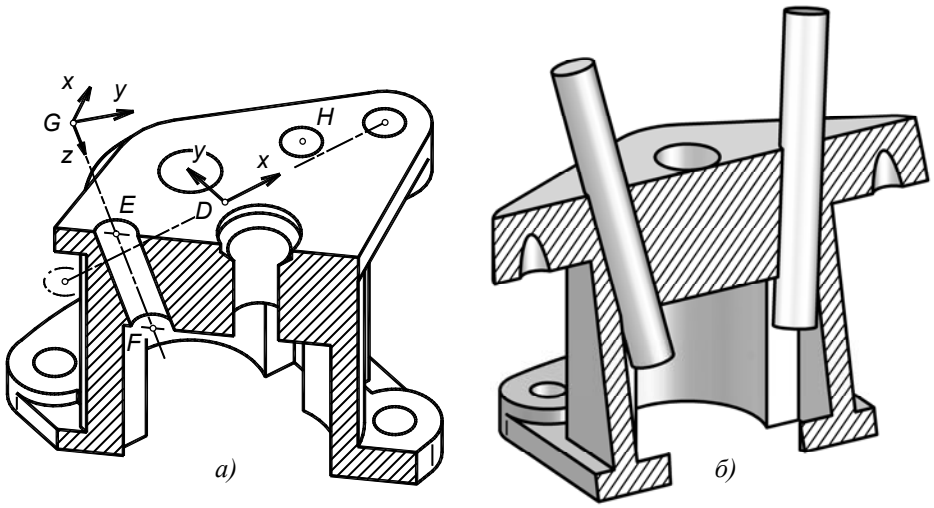


Рис. 18.10. Наклонные отверстия в корпусе:
а – построение оси отверстия; *б* – разрез по осям отверстий

Строим ось одного из отверстий. В соответствии с исходными данными ось проходит через точки *E* и *F*. Точка *E* задает точку входа сверла. Она расположена в верхней плоскости фланца, ее положение можно определить на виде справа (см. рис. 18.1, вид А и рис. 18.10, *а*.). В *исходной* ПСК координаты точки *E* равны (–21,5,0). Точка *F* – точка выхода сверла, расположена внутри камеры, на ее верхней плоскости. Сверло должно выйти по оси симметрии камеры в ее призматической части. Координаты точки *F* в исходной ПСК равны (–17,0,–23):

- по приведенным координатам, в исходной ПСК, постройте отрезок *EF* как ось отверстия. Командой **LENGTHEN** с опцией **Delta** удлините отрезок *EF* со стороны точки *E* на 20…25 мм, и на 5…10 мм со стороны точки *F*.

Для выполнения отверстий создадим два “сверла” (см. рис. 18.10, *б*):

- установите ПСК (команда **UCS** с опцией **ZAxis**) с началом в точке *G*, направив ось Z вдоль оси отверстия;

- постройте solid-цилиндр диаметром 8 мм, для задания высоты цилиндра укажите противоположную точку только что построенной оси отверстия. Второй цилиндр получите зеркальным отражением относительно оси Y исходной ПСК;
- выполните вычитание цилиндров из объема модели.

Если штуцер был срезан, восстановите его.

18.5. Построение рабочего чертежа

Чертеж корпусной детали, как правило, является весьма сложным. Так, чертеж корпуса насоса (рис. 18.11) содержит горизонтальный разрез на месте вида сверху, вид спереди с двумя или тремя (см. рис. 18.12) местными разрезами, вид слева, совмещенный с половиной профильного разреза А–А, вид Б – вид справа с местным разрезом, наклонное сечение В–В, выносные элементы Г и Д.

Чертеж получен средствами 3D-технологии AutoCAD на основе команд **SOLVIEW и SOLDRAW** Или новыми командами **SECTIONPLANE и FLATSHOT**. Эти команды подробно рассмотрены в предыдущих главах (см. разд. 7…10), поэтому мы остановимся только на примере их применения при создании чертежа корпуса.

Корректировка положения модели

Положение детали на ее рабочем чертеже определяется требованиями наглядности чертежа и технологии изготовления детали. Это положение может не совпадать с тем, в котором модель была построена. Сказанное соответствует рассматриваемому примеру построения модели и чертежа корпуса насоса. Продольная ось модели, исходя из удобства построения, была задана вертикальной. На чертеже (см. рис. 18.1, 18.11) продольная ось расположена горизонтально, причем, основание корпуса расположено слева, и к наблюдателю обращена сторона модели, в которой фланец касается наружной поверхности камеры. Поэтому модель следует повернуть:

- установите в окне вид сверху, убедитесь, что установлена МСК, начало которой является центром основания модели;
- **rotate** \ укажите модель \ 0,0 \ 90;
- установите вид спереди и поверните модель на –90.

Сейчас положение модели соответствует виду спереди – главному виду чертежа (рис. 18.11).

Вид спереди с местными разрезами

Вид спереди с тремя местными разрезами построим как комбинированное изображение, составленное из частей вида спереди и трех простых фронтальных разрезов. Первоначально рассмотрим традиционный вариант применения команд **SOLVIEW и SOLDRAW** (рис. 18.12):

- на основе окна вида сверху (см. рис. 18.12, *а*) постройте четыре видовых окна с проекциями вида спереди и трех фронтальных разрезов, соответствующих секущим плоскостям требуемых местных разрезов (см. рис. 18.12, *б*);
- в окне вида спереди проведите три волнистые линии обрыва (**SPLINE**), задающие границы местных разрезов. Для линий нужно создать новый слой, который должен быть размножен в окнах совмещаемых изображений. Вследствие этого построенные линии появляются в видовых окнах разрезов;
- в окне вида спереди обрежьте и сотрите линии, расположенные в области местных разрезов. В окнах разрезов удалите линии вне границ разрезов (см. рис. 18.12, *в*). Штриховку разрезов во всех окнах сотрите, а затем выполните заново, уже в ограниченных областях местных разрезов.

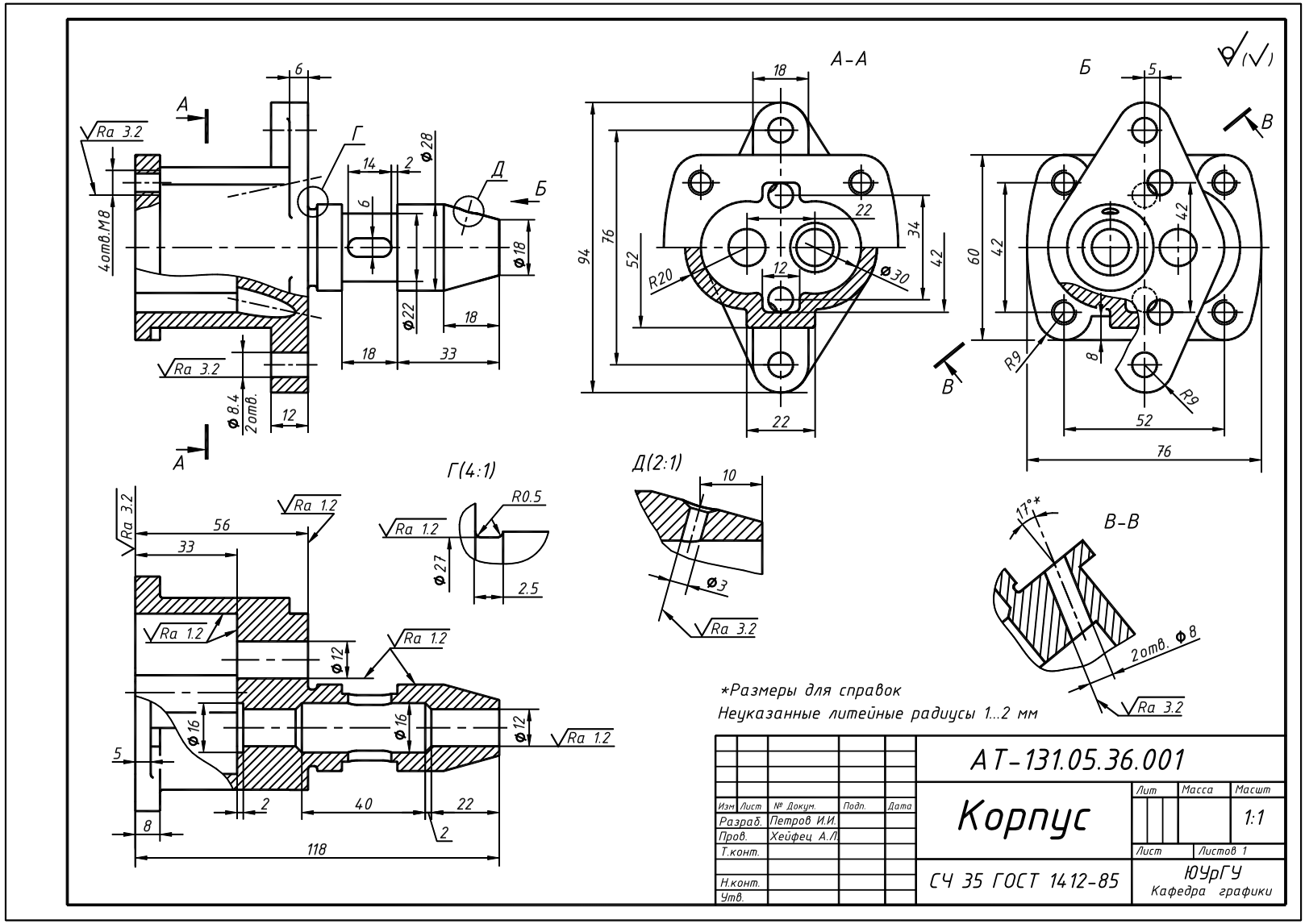


Рис. 18.11. Рабочий чертеж корпуса насоса

Чтобы объединить подготовленные изображения, вспомним, что при построении проекций для каждого видового окна автоматически создаются специальные слои, на которых помещаются линии этой проекции. Линии видимого контура помещены на слои с суффиксом *VIS*, штриховка – на слои с суффиксом *HAT*. В каждом окне видны линии только своей группы слоев. Остальные слои избирательно заморожены, поэтому линии других видовых окон не отображаются.

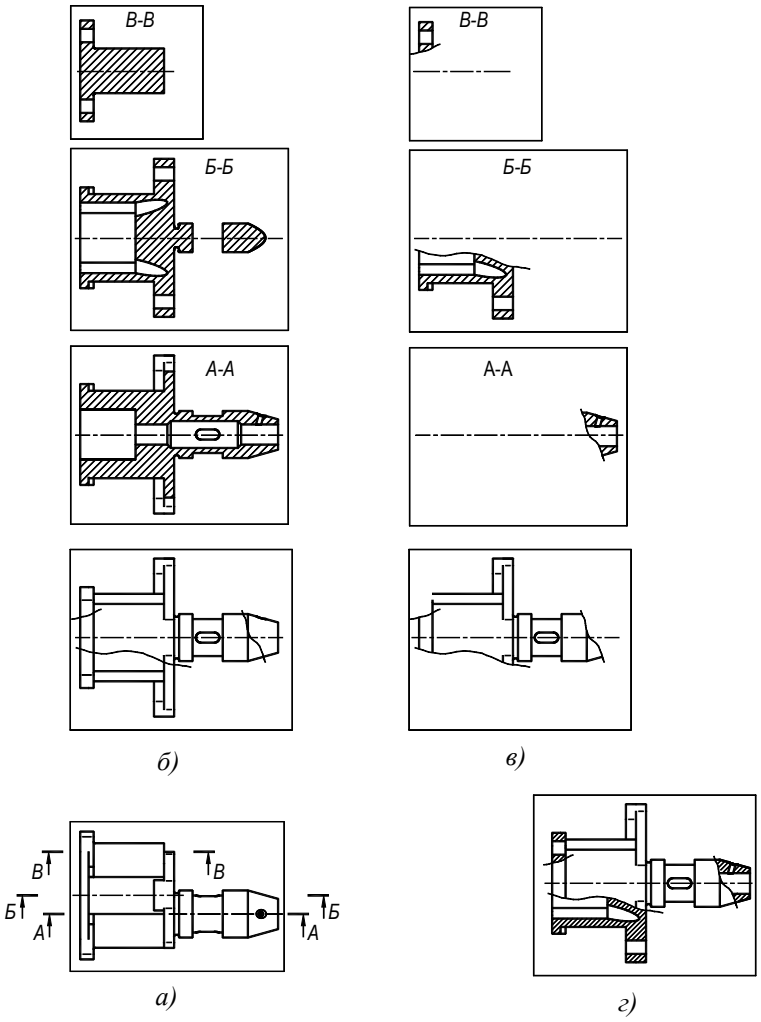


Рис. 18.12. Построение вида спереди с тремя местными разрезами (**SOLVIEW+SOLDRAW**): *а* – окно вида сверху; *б* – окна вида спереди и фронтальных разрезов; *в* – подрезка изображений в видовых окнах; *г* – итоговое изображение

После того, как изображения в окнах подготовлены, в одном из видовых окон осталось разморозить слои других окон. Возьмем за основу окно вида спереди:

- перейдите в окно вида спереди. Разморозьте слои с суффиксами *VIS* и *HAT*, соответствующие окнам трех разрезов – комбинированное изображение получено (см. рис. 18.12, *г*);
- подрежьте (**TRIM**) выступающие части линий обрыва.

В варианте с применением новых команд изображения также создаются в видовых окнах: вид создается командой **FLATSHOT**, простые разрезы – командой **SECTIONPLANE**. Построенные четыре изображения следует из видовых окон вынести на лист. Создав линии обрыва на изображении вида, скопировать эти линии на изображения разрезов. Обрезать изображения (**TRIM**) и собрать (**MOVE**) в единое целое.

Вид сверху с разрезом

Для построения (рис. 18.13) нужны изображения вида сверху и горизонтального разреза Г–Г. Изображение вида сверху уже получено (см. рис. 18.12, *а*; 18.13, *б*). Также ранее построено окно вида спереди (см. рис. 18.12, *б*; 18.13, *а*), необходимое для построения разреза Г–Г. Для команд **SOLVIEW и SOLDRAW**:

- создайте окна видов спереди и сверху или воспользуйтесь ранее созданными (рис. 18.13, *а, б*);

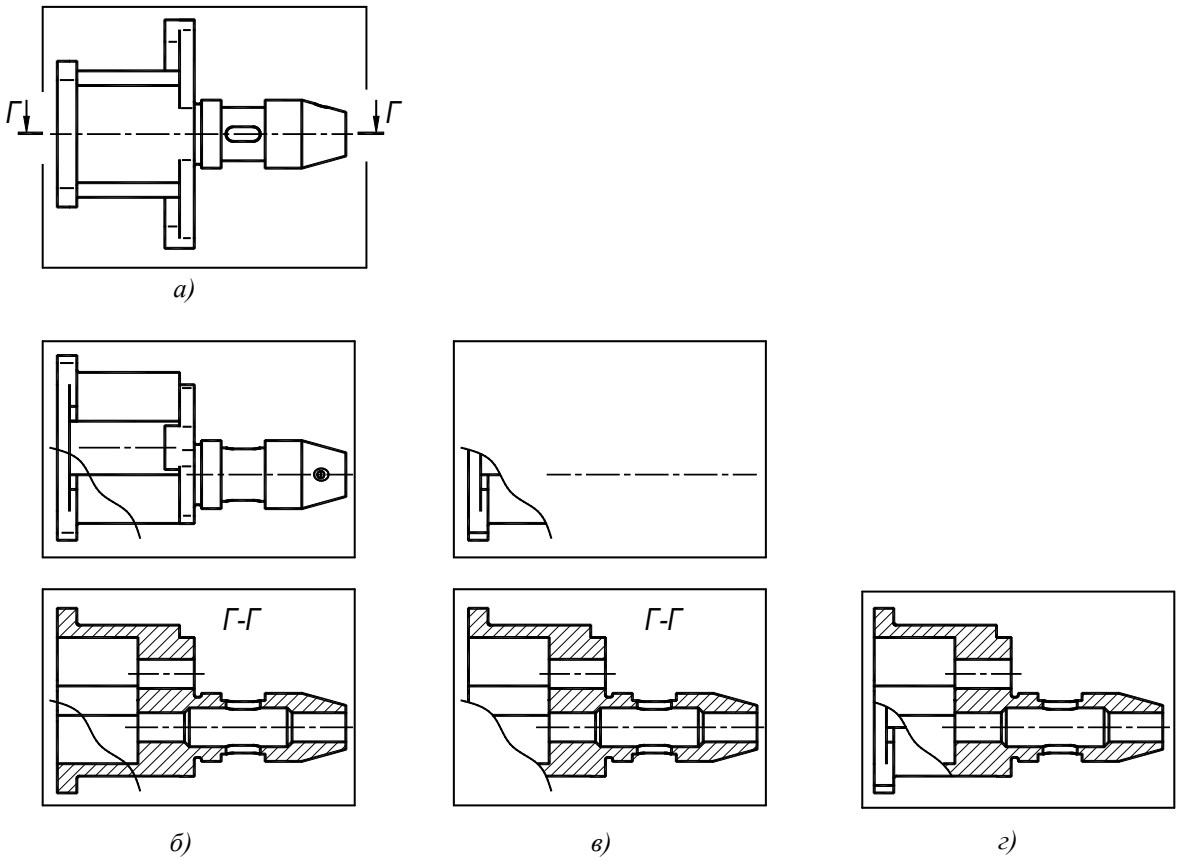


Рис. 18.13. Построение вида сверху с разрезом:
а – окно вида спереди; *б* – вид сверху и горизонтальный разрез; *в* – подрезка изображений; *г* – итоговое изображение

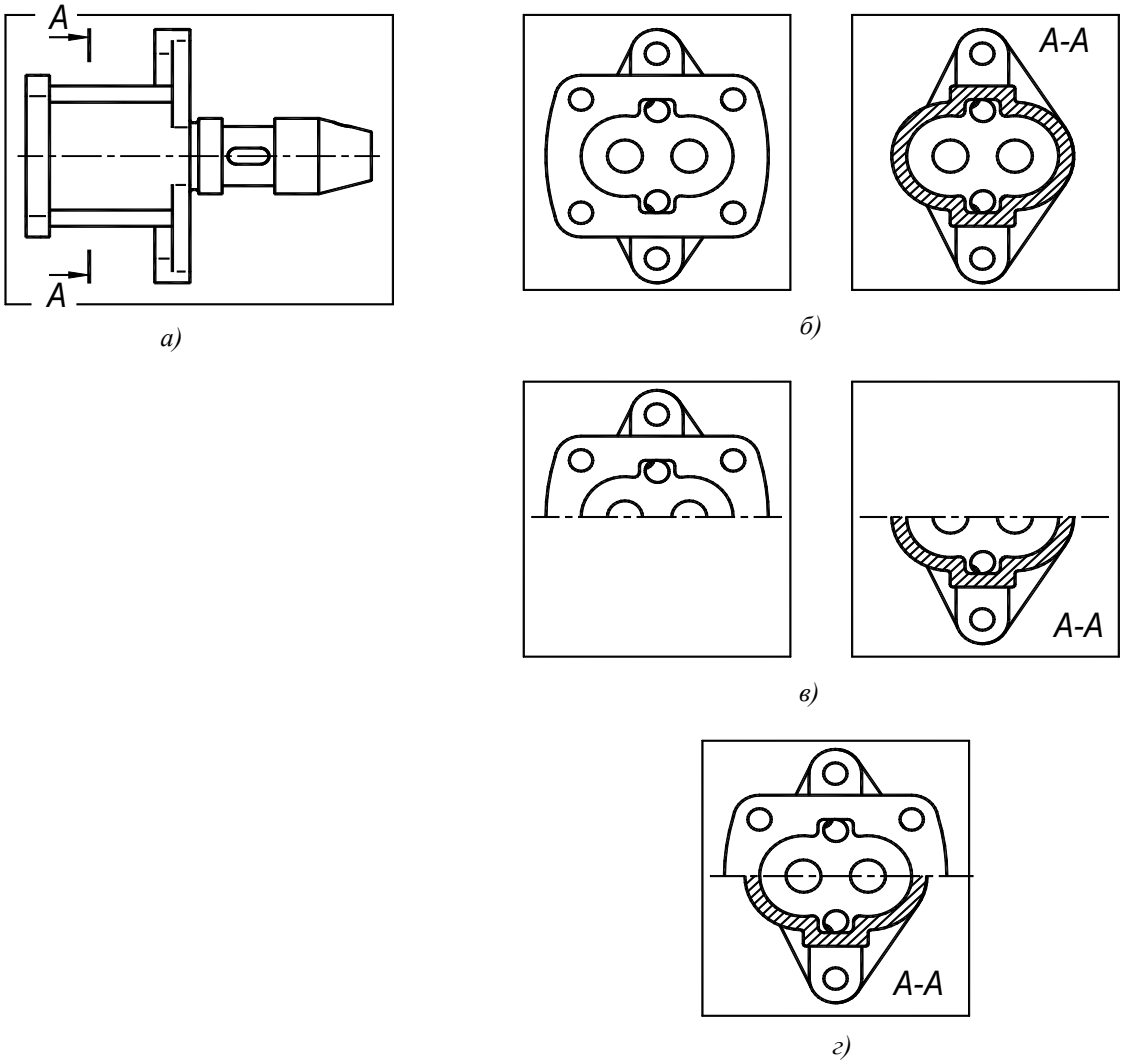
- считая окно вида спереди исходным, командами **SOLVIEW** и **SOLDRAW** постройте разрез Г–Г (рис. 18.13, *б*);
- в окне вида сверху (см. рис. 18.13, *б*), на новом слое, постройте линию обрыва, разделяющую вид и разрез. Эта линия должна появиться и в окне разреза Г–Г;
- удалите части вида и разреза в соответствии с линией обрыва (см. рис. 18.13, *в*). Удалите штриховку разреза и постройте ее заново в области разреза;
- в окне вида сверху разморозьте слой **VIS**, соответствующий видовому окну разреза Г–Г (см. рис. 18.13, *г*).

В варианте с применением команд **FLATSHOT, SECTIONPLANE** завершение построений выполняется на листе (см. выше построение вида спереди с разрезами).

Вид слева с профильным разрезом

Найдите на чертеже (см. рис. 18.11) вид слева, совмещенный с разрезом А–А. Построение этого комбинированного изображения выполняется (рис. 18.14) в рассмотренной выше последовательности: на основе вида спереди (см. рис. 18.14, *а*) создать профильный разрез А-А (см. рис. 18.14, *б*). Создать вид слева. На дополнительном слое провести горизонтальную разделяющую осевую линию, с помощью которой удалить части изображений вида слева и разреза (см. рис. 18.14, *в*). Итоговое изображение можно получить, например, в окне вида слева при размораживании слоя VIS, соответствующего окну разреза (см. рис. 18.14, *г*).

Применение команды **SECTIONPLANE** позволяет сразу получить совмещенное изображение, если объект-сечение ОС задать ступенчатой линией (рис. 18.15, *а*) в окне вида спереди (см. также разд. 8.6. "Совмещение половины вида и половины разреза командой **SECTIONPLANE**"). Точки *1*…*5* приведены в порядке их указания при построении ОС. В этом случае рекомендуется предварительно для контроля создать 3D-псевдоразрез (см. рис. 18.15, *б*) и лишь затем построить 2D-разрез.



а) *б)* *в)* *г)*

Рис. 18.14. Совмещение половины вида слева с половиной профильного разреза (команды **SOLVIEW+SOLPROF**):
а – окно вида спереди; *б* – вид слева и профильный разрез; *в* – подрезка изображений; *г* – итоговое изображение

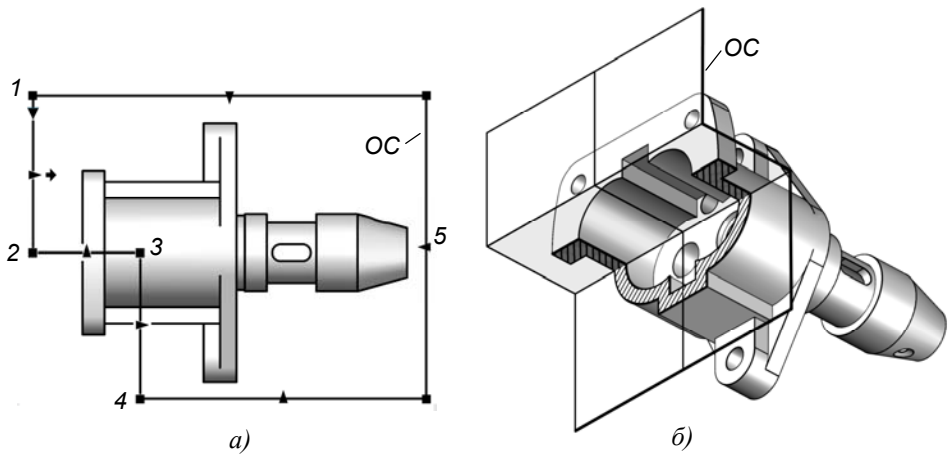


Рис. 18.15. Совмещение половины вида слева с половиной профильного разреза (команда **SECTIONPLANE**):
а – объект-сечение в окне вида спереди; *б* – псевдоразрез

Подобным образом создается вид справа с местным разрезом (см. рис. 18.11, вид Б). Исходным по-прежнему является окно вида спереди.

Наклонное сечение

Для построения наклонного сечения (см. рис. 18.11, сечение В–В) в качестве исходного окна нужно задать окно вида справа (рис. 18.16, *а*), по отношению к которому плоскость сечения является проецирующей. Изображение в этом окне следует увеличить так, чтобы наглядно показать одно из наклонных отверстий (см. рис. 18.16, *б*). Применяем команду **SOLVIEW** с опцией **Section**. Положение секущей плоскости задаем по точкам *E* и *F* (см. также рис. 18.10, *а*). Эти точки можно выявить объектной привязкой **Center** как центры эллипсов, по которым наклонное отверстие пересекается с плоскостями фланца и камеры.

После получения наклонного разреза (см. рис. 18.16, *в*) удалите линии, расположенные за секущей плоскостью. В полученном сечении проведите линии обрыва. Обрежьте изображение, оставив ту его часть, которая относится к наклонному отверстию (см. рис. 18.16, *г*).

Применение команды **SECTIONPLANE** позволяет избежать построения наклонного разреза и сразу получить сечение. Для этого в настройке команды нужно отключить линии заднего плана.

Передать форму и положение тех же наклонных отверстий можно посредством другого наклонного сечения (рис. 18.17). Его построение выполняется в той же последовательности, что и предыдущего сечения. В этом варианте секущая плоскость является фронтально проецирующей, поэтому за исходное берется окно вида спереди (см. рис. 18.17, *а*). Положение секущей плоскости задается по точкам *C* и *C′* (см. рис. 18.17, *б*), выявляемым объектной привязкой **Center**. Далее (**SOLVIEW**) получаем наклонный разрез (см. рис. 18.17, *в*) и после удаления “лишних” линий оставляем наклонное сечение (см. рис. 18.17, *г*), либо (**SECTIONPLANE**) сразу строим сечение.

На чертеже корпуса должно быть приведено только одно из построенных сечений.

Выносные элементы

Выносной элемент – это дополнительное увеличенное изображение какой-либо части вида, разреза или сечения, требующей графических пояснений формы и размеров. Чертеж корпуса насоса содержит два выносных элемента (см. рис. 18.11). Элемент *Г* поясняет форму проточки, элемент *Д* – форму отверстия в штуцере.

Выносные элементы можно создать в оконном варианте. Для этого в пространстве модели следует скопировать изображение, на основе которого создается выносной элемент, выделить

(**TRIM**) фрагменты этого изображения. На листе для каждого фрагмента создать видовое окно, в котором увеличить изображение до полного выявления его формы. Увеличение можно выполнить “физически” (**SCALE**), либо масштабом отображения видового окна (**ZOOM**).

Создание выносного элемента существенно упрощается, если компоновка чертежа выполняется с выносом изображений на лист (рис. 18.18). Здесь не требуются манипуляции с рамками видовых окон. Достаточно скопировать исходное изображение, выделить из него необходимую часть и выполнить ее масштабирование командой **SCALE**.

Изображения выносных элементов требуют доработки: детализации формы, проведения линий обрыва. Если выносной элемент содержит разрез, то с увеличением изображения шаг штриховки также возрастает. Его нужно восстановить, сделав равным шагу штриховки остальных изображений чертежа.

Компоновка чертежа

Для компоновки нужно выбрать формат чертежа, определить масштаб чертежа как основ-

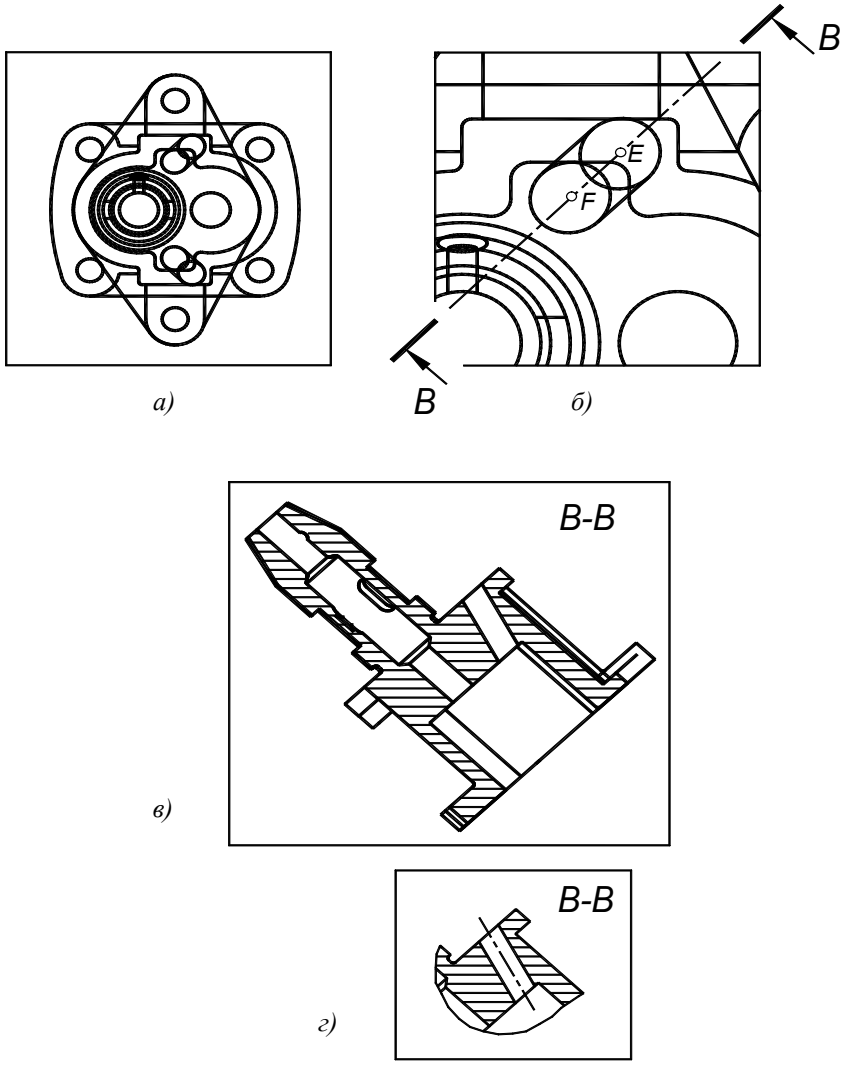


Рис. 18.16. Построение наклонного сечения:
а – окно вида справа – исходное; *б* – область вблизи отверстия; *г* - наклонный разрез; *д* – наклонное сечение

ной части его изображений, определить масштабы его отдельных изображений, расположить проекции внутри рамки формата. При компьютерной технологии компоновка не является критичной: “примерив” один формат или масштаб, можно в случае их несоответствия легко перейти к другим вариантам.

Для корпусной детали формат и масштаб чертежа, содержание и размещение проекций, как правило, те же, что и для чертежа узла. Поэтому в нашем примере, в соответствии с чертежом узла, выбираем формат А3 и масштаб 1:1.

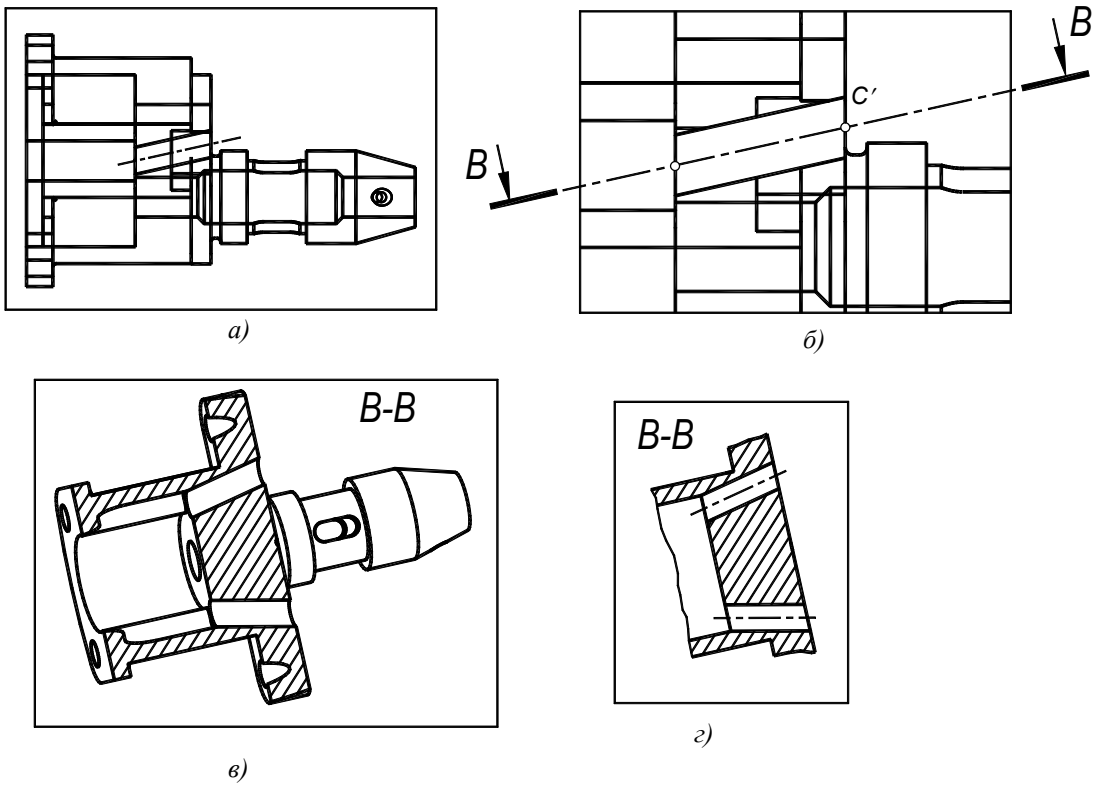


Рис. 18.17. Второй вариант наклонного сечения:
а – исходное окно вида сверху; *б* – область вблизи отверстия; *в* – наклонный разрез; *г* – наклонное сечение

Необходимо выбрать вариант формирования чертежа: оконный или с выносом проекций на лист. В оконном варианте (см. также разд. 4.4 “Варианты масштабирования и компоновки”) чертеж компонуется как набор видовых окон. Вариант с выносом на лист означает, что все линии из пространства модели копируются в единое пространство листа. Каждый вариант имеет свои достоинства и недостатки. Оконный вариант (рис. 18.19, *а*) не требует дополнительных действий по выносу проекций на лист, но приводит к осложнениям при простановке размеров, связанным с работой в разных видовых окнах. Вариант с выносом на лист (см. рис. 18.19, *б*) упрощает простановку размеров, поскольку она выполняется в едином пространстве построений, но требует затрат по выносу проекций на лист.

Мы рекомендуем завершать чертеж с выносом проекций на лист. В этом случае дальнейшая работа по созданию чертежа выполняется в следующей последовательности.

Вынесите изображения из видовых окон на лист (см. разд. 7.5). Если применяли команду **SOLVIEW**, вынос выполните созданием блоков в пространстве модели каждого окна и вставкой блоков на листе. Задайте масштаб вставки равным масштабу изображения на чертеже. Новые команды **FLATSHOT** и **SECTIONPLANE** позволяют выносить на лист через буфер памяти. Масштабировать изображения на листе можно командой **SCALE** после выноса изображений. В на-

шем примере для всех изображений, кроме выносных элементов, масштаб равен 1. Масштаб вставки выносного элемента *Г* равен 4, масштаб элемента *Д* равен 2.

На свободное место листа вставьте рамку и основную надпись, в нашем примере, это формат А3.

Переместите вставки блоков проекций в область рамки чертежа. Расположите их в соответствии с требованиями оформления чертежа: главный вид на месте вида спереди, виды сверху, слева и справа в проекционной связи (см. рис. 18.19). На свободное место чертежа перемещаем вставки наклонного сечения и выносных элементов.

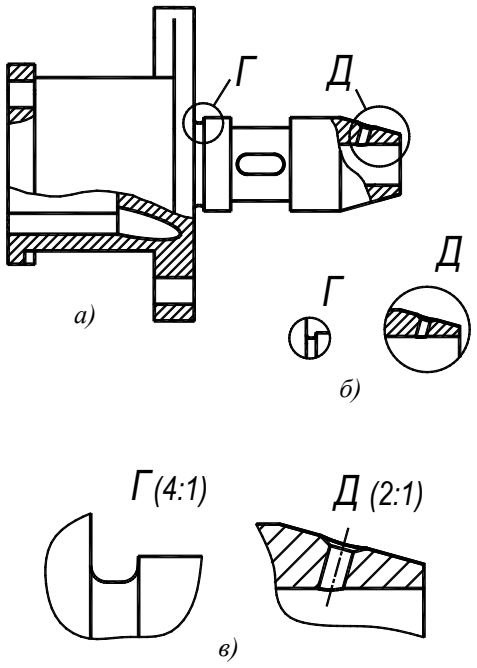


Рис. 18.18. Построение выносных элементов: *а* – исходное изображение; *б* – копирование фрагментов изображения; *в* – увеличение изображений и корректировка границ

Завершение чертежа

Осталось проставить размеры, выполнить надписи, сделать завершающую корректировку изображений. Эти вопросы рассмотрены в разделах 4.6, 7.8. Дополнительно отметим следующие моменты.

- После завершения компоновки вставки блоков следует расчленить (**EXPLODE**).
- Все линии контура, которые к этому моменту находятся на различных слоях, рекомендуем перенести на единый слой с именем *Контур*. То же относится к линиям штриховки, все их следует перенести на единый слой *Штриховка*. Линии обрыва местных разрезов и линии, обозначающие резьбу, следует поместить на отдельный слой с именем *Тонкие*, или на слой штриховки. Размеры – на слой *Размеры,* осевые линии – на слой *Оси*.
- Для каждого масштаба изображений рекомендуется свой размерный стиль, в котором линейный масштаб размера равен величине, обратной масштабу изображения. То же относится к штриховке – для каждого масштаба своя штриховка. В оконном варианте возможен современный стиль работы с применением аннотативного размерного стиля и стиля штриховки (см. разд. 4.5). Если чертеж содержит много размеров с односторонней стрелкой, то следует создать размерный стиль и для этих размеров.
- Отрегулируйте длину штриха осевых и пунктирных линий величиной линейного масштаба.
- Линиям контура следует придать толщину 0.5…0.8 мм. Для остальных линий толщина должна быть 0.2…0.3 мм. Толщина линий задается как свойство слоя, на котором они расположены.

Очистка файла

После того, как чертеж закончен, рекомендуем очистить файл от лишних слоев, блоков, линий, которые были созданы при построении проекций. Это существенно сократит объем файла.

Для удаления слоя нужно чтобы на нем не было каких-либо элементов. Для удаления блока чертеж не должен содержать вставок этого блока. То же относится к типам линий, гарнитурам шрифтов, размерным стилям – эти элементы не должны быть задействованы в построениях. Поэтому очистка файла выполняется в два этапа. Сначала удаляют лишние графические примитивы, затем удаляют освободившиеся слои, блоки, стили и гарнитуры.

Рассмотрим пример очистки файла в случае компоновки с выносом на лист. Все линии проекций, созданные в видовых окнах и находящиеся в пространстве модели, после копирования их на лист стали не нужны:

- укажите закладку **Model**, расположенную слева в ряду закладок. Произошел переход в пространство модели. Видна модель детали и ее проекции, созданные во всех видовых окнах;
- заморозьте слой, содержащий модель – она еще может понадобиться. Остальные объекты пространства модели сотрите командой **ERASE**;
- вернитесь на лист и убедитесь, что видовые окна стали пустыми, но чертеж остался невредимым, поскольку он создан на листе;
- сотрите рамки пустых видовых окон;
- **purge** (**Очистить**) – возникло диалоговое окно, в котором несколько раз укажите кнопку **Purge All** / **Yes to All** / указанные действия следует повторять до тех пор, пока кнопка **Purge All** будет активна (то есть имеются объекты для удаления).

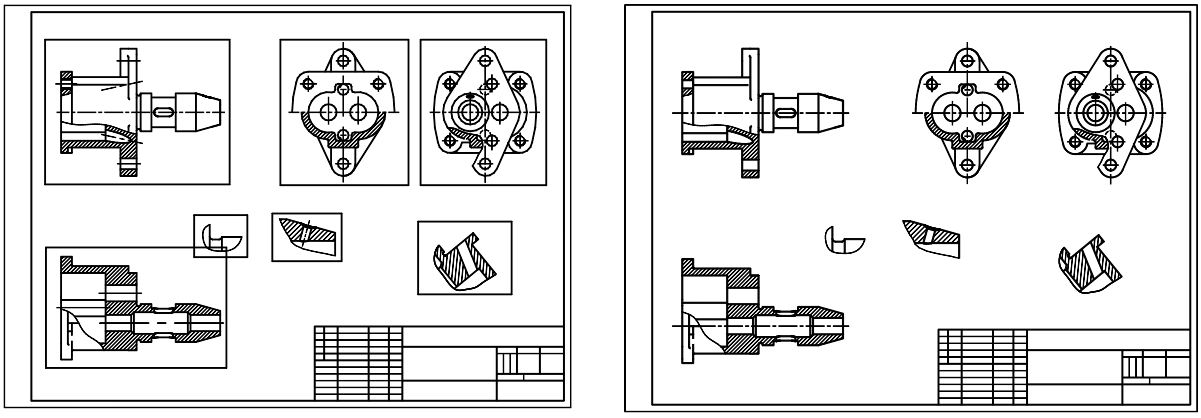
Файл очищен от освободившихся слоев, блоков и др. элементов. Его объем сократился в несколько раз.

18.6. О построении сопряжений пространственной модели

Детали, полученные литьем, имеют плавные сопряжения поверхностей по ребрам. Размеры литейных радиусов на чертеже, как правило, не проставляют, а поясняют в технических требованиях, например, фразой “Неуказанные литейные радиусы 3..5 мм” (см. рис. 18.11).

Литейные радиусы воспроизводятся на пространственной модели командой **FILLET** (**СОПРЯЖЕНИЕ**). Команда требует указать радиус сопряжения и ребра модели, по которым выполняется сопряжение. Для изолированных единичных ребер сопряжения выполняются без проблем. В остальных случаях нужно учесть следующие рекомендации:

1) радиус сопряжения по указываемому ребру не должен превышать расстояния от сопрягаемого ребра до другого ближайшего ребра;
2) если сопряжение выполняется по нескольким рядом расположенным ребрам, то сумма радиусов сопряжения не должна превышать расстояния между ребрами;
3) если сопрягаемые ребра пересекаются, то для получения качественного сопряжения в узловых точках в виде сферической или тороидальной поверхности эти ребра следует сопрягать одновременно, то есть при одном выполнении команды **FILLET**;



а) *б)*

Рис. 18.19. Компоновка чертежа:
а – оконный вариант; *б* – с выносом на лист

4) если при соблюдении приведенных рекомендаций AutoCAD все-таки не может выполнить сопряжение, нужно упростить геометрию, вырезав (**SLICE**) из модели фрагмент, содержащий сопрягаемые ребра. После выполнения сопряжения фрагмент следует объединить с остальной частью модели.

На рис. 18.20 показан фрагмент пространственной модели корпуса до и после сопряжения. Контур сопряжения (см. рис. 18.20, *а*) содержит пересекающиеся дуговые и линейные ребра. Ввиду сложности геометрии контура выполнить сопряжение на всей модели не удалось: команда выдает сообщение "Сбой при выполнении сопряжения". Поэтому командой **SLICE** из модели был вырезан фрагмент (см. рис. 18.20, *б*). Сумма радиусов сопряжения по вертикальным ребрам *1* и *2* не должна превышать расстояния между этими ребрами, составляющего 4 мм, по остальным ребрам ее можно задать равной 1…1.5 мм. Примем радиусы сопряжения по ребрам *1* и *2* (см. рис. 18.17, *б*) равными 2 мм, по остальным ребрам 1 мм:

- **fillet** / **R** (опция задания радиуса сопряжения) / 2 – радиус сопряжения по ребрам *1* и *2* / укажите ребра *1* и *2* / **R** – задать новое значение радиуса / 1 – радиус сопряжения по остальным ребрам / укажите остальные ребра *3* в произвольном порядке – сопряжение выполнено.

Набольшую сложность сопряжения вызывают ребра, касательные к поверхностям. В рассматриваемом примере это два ребра (круговое *3* и линейное *4*) касающиеся цилиндра в точке *K*. Для сопряжения таких ребер в точке *K* требуется подбор алгоритма указания ребер. Так, круговое ребро *3* было сопряжено при едином выполнении сопряжении основной части ребер. Для ребра *4* команда **FILLET** применена повторно.

В ряде случаев можно применить опцию **Chain**, позволяющую команде **FILLET** выявлять цепочки сопрягаемых ребер.

Сопряжение ребер фланца (см. рис. 18.20, *г*) также построены с предварительным выделе-

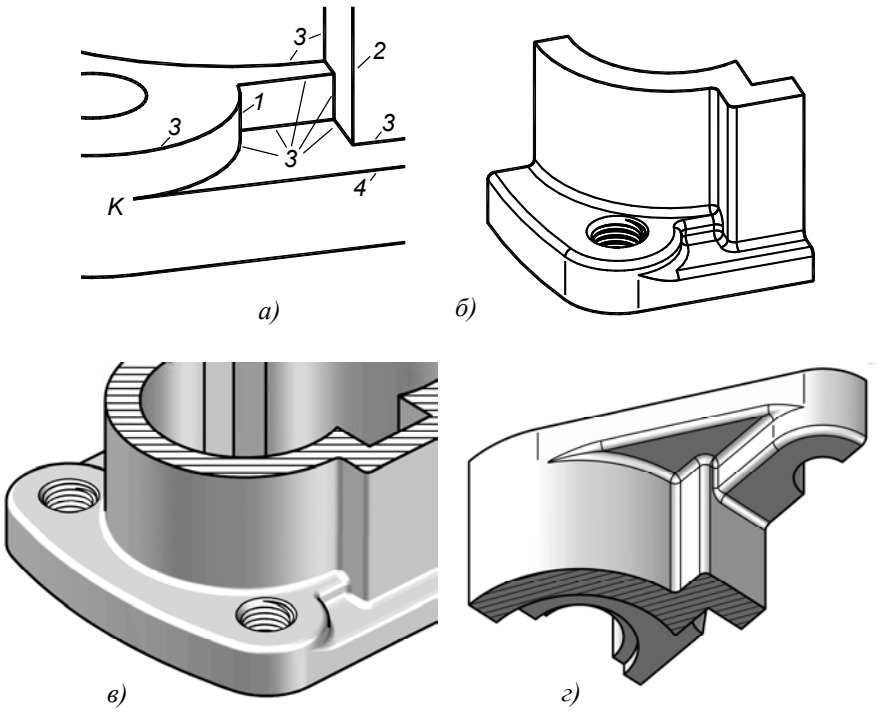


Рис. 18.20. Построение сопряжений:
а – последовательность сопряжения; *б* – каркасная модель вырезанного фрагмента; *в, г* – наглядные изображения

нием фрагмента модели. Радиус сопряжения по всем ребрам задан равным 1 мм. Исключение составляет короткое вертикальное ребро, радиус сопряжения которого задан 0.5 мм.

Подобным образом, с расчленением модели на фрагменты, были выполнены сопряжения всех ребер модели. После сопряжения фрагменты были объединены в исходную модель. Если при выделении фрагмента секущие плоскости задать как плоскости симметрии модели, то после сопряжения ребер выделенного фрагмента остальные фрагменты проще получить зеркальным преобразованием.

После выполнения сопряжений сложность модели существенно возрастает, увеличивается размер файла. Так, размер файла построенной корпусной детали без сопряжений в формате AutoCAD 2007 составил 300…310 КБ. Добавление всех сопряжений при прочих равных условиях увеличило размер файла до 710…720 КБ.

Подобно плавному сопряжению (**FILLET**) выполняется фаска, как сопряжение по линейчатой поверхности. Фаска выполняется командой **CHAMFER** (**ФАСКА**). В рассматриваемом примере фаска выполнена в крепежных отверстиях основания корпуса (см. рис. 18.20, *б*, *в*). Для наглядности в этих отверстиях нарезана резьба (о построении резьбы см. разд. 12.5 “Наглядные модели резьбовых соединений”). Добавление резьбы в четыре отверстия дополнительно увеличило размер файла до 860 КБ.

Построение литейных сопряжений корпусных деталей является сложной задачей, как для студента, так и для AutoCAD’a. Сопряжения вызывают увеличение объема файла, сложность работы с ним, возрастает вероятность нарушений. В связи с этим сопряжения объемной модели выполняются как завершающий этап ее построения. Если не требуется фотореалистичность модели, то сопряжения можно выполнить на чертеже модели, в плоском 2D-варианте. Такой же подход при построении чертежа можно рекомендовать и относительно других мелких элементов формы – их можно ”дорисовать” на чертеже. Оптимальная степень детализации 3D-модели определяется опытом работы.

Глава 19

Объемная сборка. Чертеж узла

Построение объемной сборки является современным методом конструирования узлов, машин, механизмов. Конструктор разрабатывает узел в виде его объемной 3D-сборки.

Объемная сборка узла позволяет наглядно представить его форму, выполнить контроль собираемости узла. После согласования и уточнения формы всех деталей узла методами 3D-технологии может быть получен окончательный чертеж узла и чертежи входящих в него деталей.

На кафедре графики ЮУрГУ, пока студенты еще не могут конструировать, объемная сборка выполняется либо на основе чертежа узла (задание №5), либо на основе рабочих чертежей деталей узла и схемы его сборки (задание №6).

В данной главе рассмотрен пример построения объемной сборки шестеренного масляного насоса.

19.1. Содержание работы

Дано: чертеж узла, схема работы, перечень деталей и техническое описание узла (задание № 5).

Требуется:

1) выполнить 3D-модели всех деталей узла;
2) собрать узел, то есть получить его объемную сборку;
3) по объемной сборке построить аксонометрию узла;

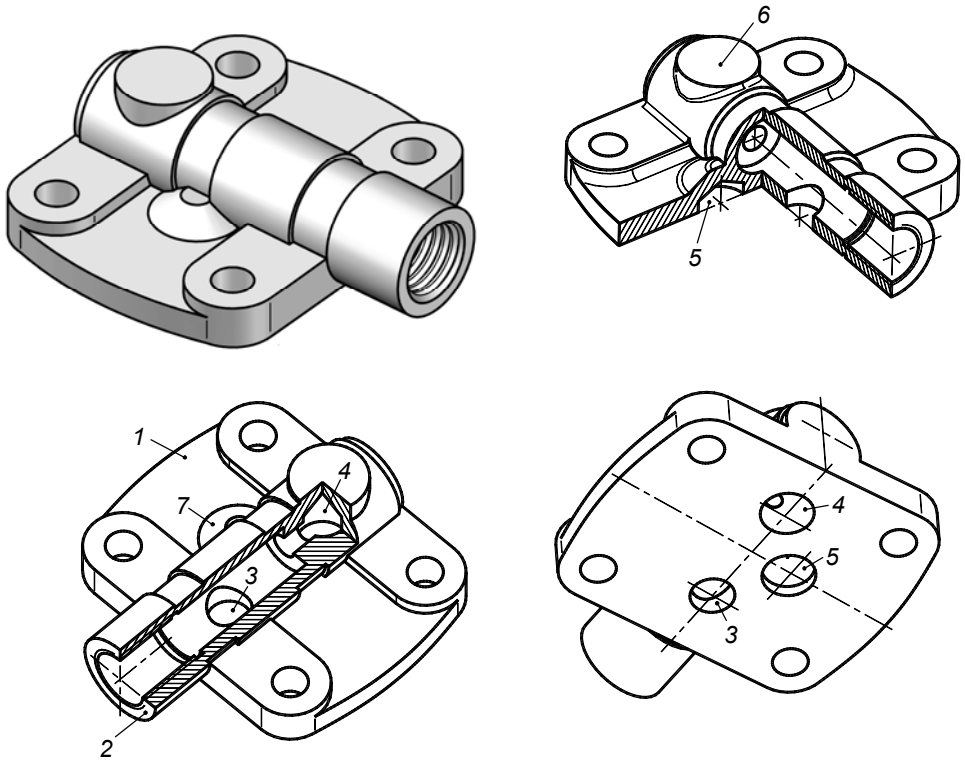


Рис. 19.1. Анализ формы крышки насоса

4) методами 3D-технологии построить сборочный чертеж узла;

5) оформить спецификацию деталей узла;

6) построить рабочие чертежи ряда деталей узла;

7) построить наглядное, в том числе фотореалистичное, изображение узла.

Последовательность выполнения задания соответствует приведенным выше пунктам задания. В частности, чертежи деталей выполняют после сборки узла и контроля его собираемости. Контроль может выявить необходимость корректировки моделей. Чертежи деталей получают уже известными методами 3D-технологии.

Получив в качестве исходных данных чертеж узла *общего вида*, студент должен построить *сборочный чертеж* узла на основе созданной им объемной сборки. Учебный сборочный чертеж по содержанию близок к чертежу узла общего вида. Поэтому в рассматриваемом задании (задание № 5) требуется практически повторить полученный чертеж, отрабатывая 3D методы построения сборочного чертежа.

В полной мере чертеж узла студент строит в следующем задании (задание №6), в котором даны рабочие чертежи всех деталей узла и схема его сборки.

Ниже рассмотрен пример построения объемной сборки узла масляного насоса [6]. Чертеж, схема и техническое описание, а также построение модели и рабочего чертежа корпуса приведены в гл. 18. Ниже показано построение моделей остальных деталей этого узла и чертежей некоторых из них.

19.2. Крышка корпуса

Крышка (поз. *2*, см. рис. 18.1) получена литьем с последующей механической обработкой. Построение крышки во многом повторяет построение корпуса (см. гл. 18).

Анализ формы

Крышка (рис. 19.1) состоит из основания *1* и пустотелого штуцера *2*, в котором размещается перепускной клапан насоса. Со стороны основания в полость штуцера просверлены сквозные отверстия *3* и *4* для отвода масла при избытке его давления. Глухое отверстие *5* предназначено для крепления оси ведомого колеса насоса и центровки крышки относительно корпуса. Для повышения прочности в местах сверления отверстий крышка усилена цилиндрическим 6 и коническим *7* приливами.

Для построения модели выполните подготовительные операции по созданию видовых окон, слоев, настройке режимов (см. разд. 18.4 “Предварительные настройки”).

Контур основания по сопряженной детали

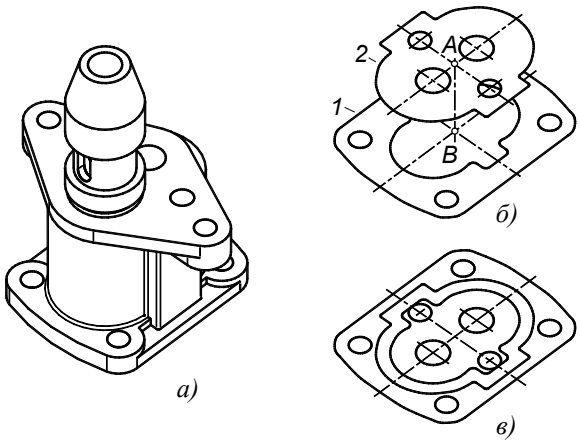


Рис. 19.2. Построение контура основания крышки: *а* – сопрягаемая деталь – корпус; *б* – сечения корпуса; *в* – совмещение сечений в единую плоскость

Создание модели крышки начинается с построения контура ее основания. Контур можно построить по размерам, взятым с чертежа узла. Однако проще и рациональнее получить его на основе сечений уже созданного корпуса (рис. 19.2, *а*), к которому крышка примыкает, поскольку наружные контуры оснований корпуса и крышки равны между собой. Для этого нужно (**SECTION**) получить сечение *1* корпуса плоскостью, совпадающей с его основанием (рис. 19.2, *б*). Понадобится сечение *2* плоскостью, совпадающей с верхним основанием камеры корпуса. Сечение *2* следует переместить в плоскость сечения *1* (см. рис. 19.2, *в*), задав (**MOVE**) вектор пе-

ремещения из точки *A* в точку *B*. Собранные контуры через буфер памяти нужно перенести в файл крышки и удалить в них лишние элементы.

Рассмотренный прием полезен во многих случаях, если детали имеют общие поверхности и модель одной из них уже построена.

Основание крышки

Основание состоит из пластины с контуром *1*, двух планок с контуром *4* (рис. 19.3) и четырех крепежных отверстий *2*.

Контур основания (см. рис. 19.3, *а*), полученный на основе сечений корпуса, после удаления элементов, не относящихся к крышке, содержит линии наружного контура *1*, четыре окружности *2* и окружность *3* диметром 12 мм отверстия “под ось” ведомого зубчатого колеса насоса.

Диаметр окружностей *2* следует увеличить до 8.4 мм как диаметр сквозных отверстий под болт М8. Это можно сделать редактированием отверстий, включив кнопку быстрых свойств, указав сразу все отверстия и введя в окно свойств новое значение.

Найдите центр основания, точку *A*, на пересечении отрезков, соединяющих середины (объектная привязка **Mid**) противоположных сторон наружного контура. Перенесите в точку *A* начало координат ПСК.

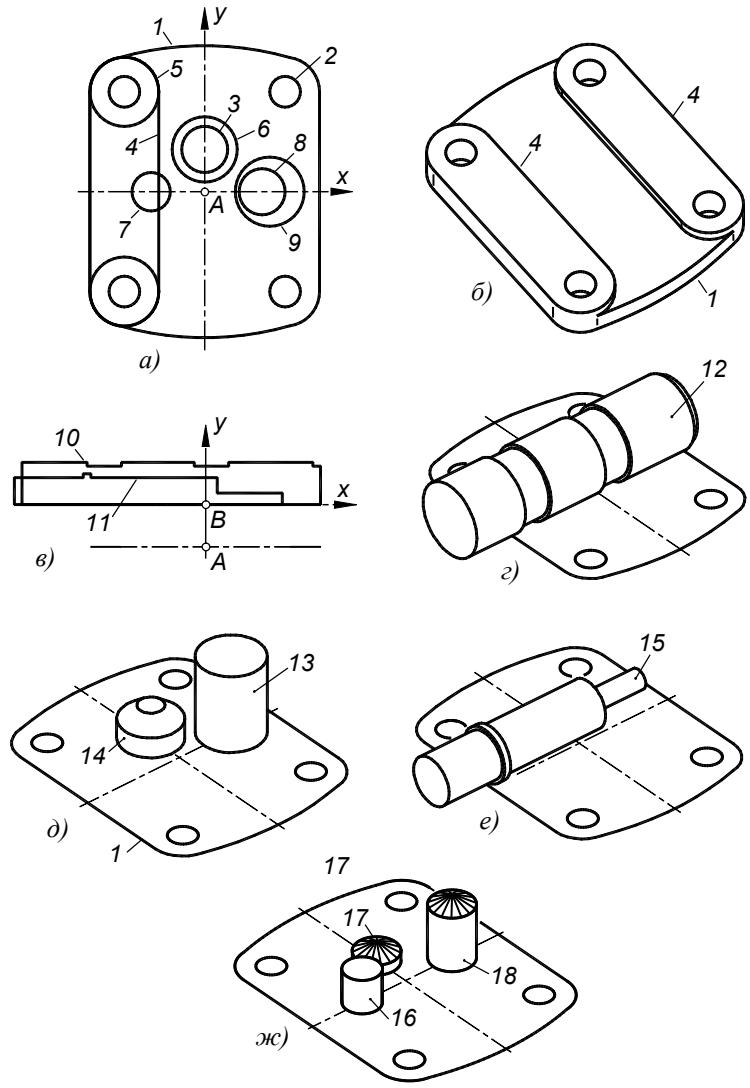


Рис. 19.3. Последовательность построения модели крышки: *а* – контуры основания; *б* – основание в сборе; *в* – контуры штуцера; *г* – наружный объем штуцера; *д* – остальные элементы наружного объема; е, *ж* – внутренние элементы

Объедините (**REGION**) линии наружного контура *1* в область. Перейдите на другой слой и выдавите (**EXTRUDE**) контур *1* на высоту 6 мм – получена пластина основания (см. рис. 19.3, *б*).

Вернитесь на слой, содержащий контур *1*, и постройте контур *4*. Для этого понадобятся две окружности *5*, центры которых находятся с объектной привязкой **Cen**, а радиусы – указанием точки с объектной привязкой **Nea** на дуге сопряжения наружного контура. Далее следует провести два отрезка, касательных к окружностям *5*, и обрезать внутренние части этих окружностей. После объединения двух дуг и двух отрезков в контур *4* выдавите его на высоту 9 мм – получена планка. Вторую планку создайте зеркальным отображением первой планки. Планки и плиту следует объединить (**UNION**).

Для формирования крепежных отверстий (см. рис. 19.3, *б*) вытяните (**PRESSPULL**) окружности *2* сквозь основание крышки. Можно построить четыре цилиндра как четыре сверла и вычесть их из основания.

В плоскости контура *1* постройте еще четыре окружности, которые понадобятся для построения отверстий и усиливающих элементов. Окружность *6* концентрична окружности *3* и имеет диаметр 17 мм. Окружность *7* имеет центр с координатами (–14,0) и диаметр 10 мм. Окружность *8* имеет центр в точке (15,0) и диаметр 12 мм. Окружность *9* имеет центр в точке (17,0) и диаметр 18 мм.

Штуцер

Для построения штуцера перейдите в окно вида спереди (см. рис. 19.3, *в*) и передайте в него ПСК из окна вида сверху. После этого установите ПСК по виду окна и перенесите начало координат вверх на 11 мм, в точку *B*, соответствующую высоте продольной оси штуцера. Постройте контур *10* наружной и контур *11* внутренней поверхности штуцера:

- убедитесь, что в видовом окне оси координат ПСК направлены как на рис. 19.3, *в*;
- **`pline`** / –48,11 / –31,11 / –31,10 / –22,10 / –22,11 / –3,11 / –3,10 / 6,10 / 6,11 / 28,11 / 28,10 / 30,10 / 30,0 / –48,0 / **`cl`** – контур *10*;

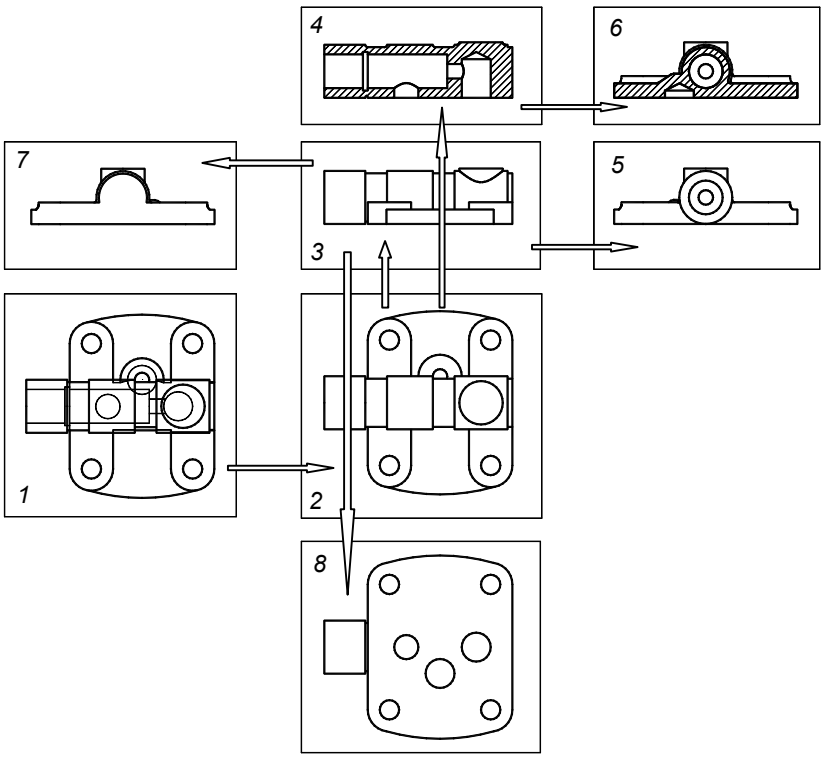


Рис. 19.4. Формирование видовых окон для построения чертежа крышки

- **`pline`** / –50,0 / 20,0 / 20,3 / 3,3 / 3,7 / –30,7 / –30,8 / –32,8 / –32,7 / –50,7 / **`cl`** – контур *11*.

Вращением контура *10* создайте наружный объем штуцера *12* (см. рис. 19.3. *г*). Создайте остальные два элемента наружного объема (см. рис. 19.3. *д*). Цилиндр *13* получите выдавливанием окружности *9* (∅ 18 мм) на высоту 23 мм. Для построения цилиндра *14* с конической фаской выдавите окружность *6* (∅17) на высоту 10 и снимите фаску размером 4 мм вдоль образующей цилиндра и 5 мм в направлении оси:

- **`chamfer`** / укажите одну из *образующих* цилиндра *14* / первый размер фаски: 4 / второй размер фаски: 5 / укажите окружность верхнего основания цилиндра.

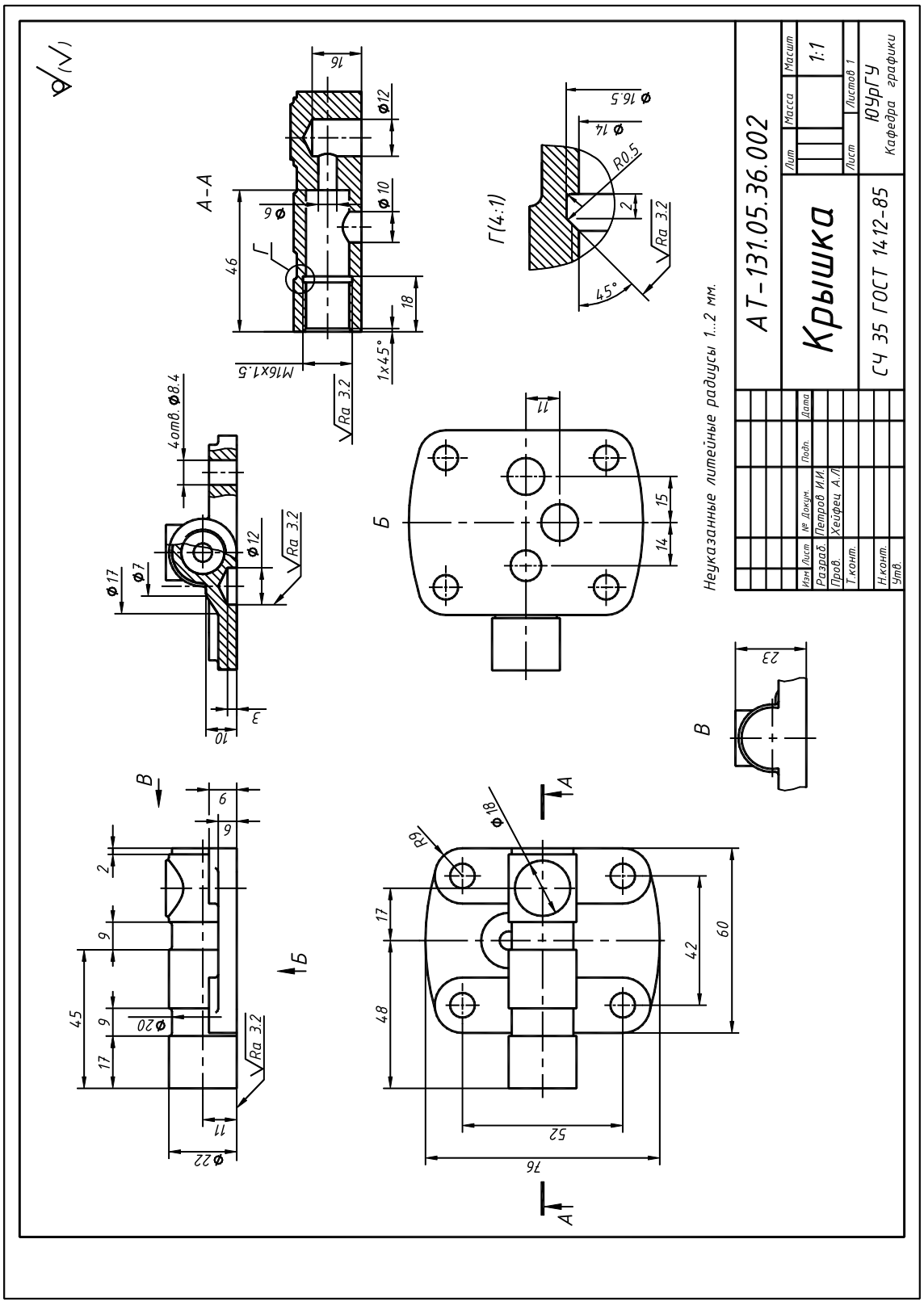


Рис. 19.5. Рабочий чертеж крышки

Внутренний объем крышки

Создаем элементы внутреннего объема крышки (см. рис. 19.3, *е*). Тело вращения *15*, формирующее ступенчатое продольное отверстие в штуцере:

- **`revolve`** / укажите контур *11* / ось X.

Цилиндры *17* и *18* (см. рис. 19.3, *ж*), воспроизводящие "глухие" отверстия ∅12 мм в основании, должны заканчиваться конусом, соответствующим заточке сверла. Для этого к длине цилиндра нужно добавить по 3 мм, а затем снять фаску той же высоты. Второй размер фаски должен быть равен радиусу цилиндра.

Например, для цилиндра *17*:

- **`extrude`** / укажите окружность *3* / 6 – получен цилиндр ∅12 высотой 6 мм;
- **`chamfer`** / укажите одну из образующих цилиндра / первый размер фаски: 3 / второй размер фаски: 6 / укажите окружность верхнего основания цилиндра.

Цилиндр *18* образуется выдавливанием окружности *9* на высоту 21 мм и снятием фаски тех же размеров.

Для завершения модели крышки осталось объединить ее основание с элементами наружного объема *12*, *13*, *14* и вычесть элементы внутреннего объема *15*, *16*, *17*, *18*.

Чертеж крышки

Создается после того, как ее модель согласована с моделями остальных деталей узла. На рис. 19.4 показаны видовые окна, необходимые для построения проекций чертежа крышки. Найдите исходное видовое окно *1*, окна вида сверху *2*, вида спереди *3*, фронтального разреза *4*, вида слева *5*, профильного разреза *6*, вида справа *7*, вида снизу *8*. На основе профильного разреза сформирован местный разрез на виде слева. Техника построений та же, что для чертежа корпуса (см. разд. 18.5).

Проекции вынесены на лист и размещены на формате А3 (рис. 19.5). Проставлены размеры. Выполнен выносной элемент, поясняющий форму резьбовой канавки.

19.3. Пробка

Пробка (поз. *8*, см. рис. 18.1) состоит из шестигранной головки и пустотелой цилиндрической части с наружной резьбой (рис. 19.6, *а*). Головка позволяет затягивать пробку гаечным ключом. Пробка создается токарной обработкой с фрезерованием граней шестигранника.

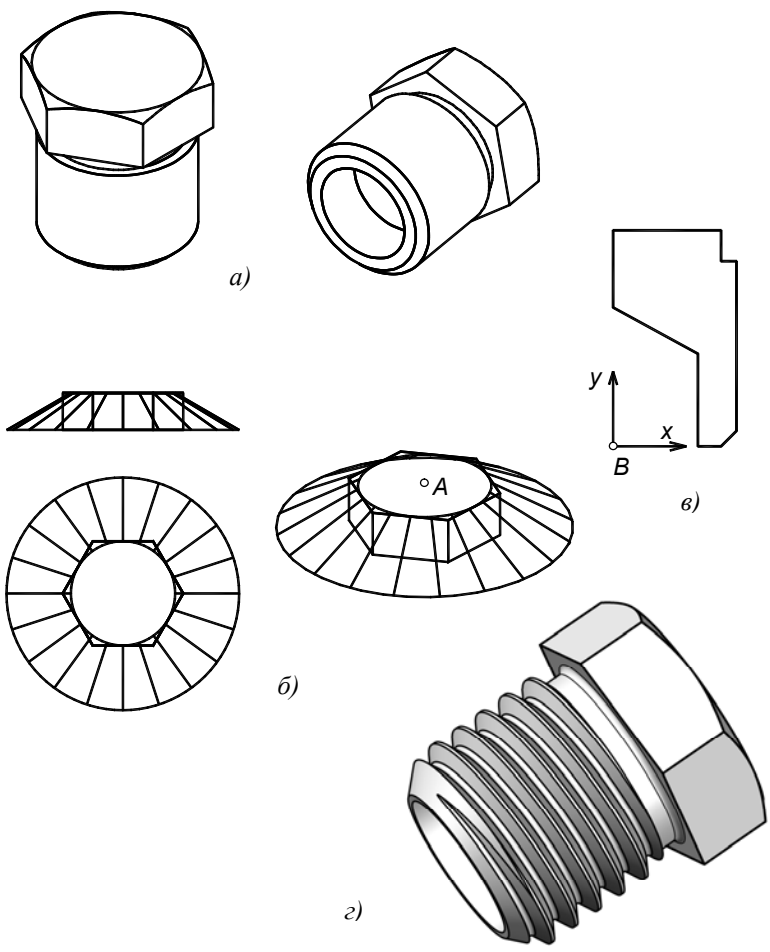


Рис. 19.6. Построение модели пробки:
а – форма пробки; *б* – построение шестигранной головки;
в – контур вращения; *г* – пробка с резьбой

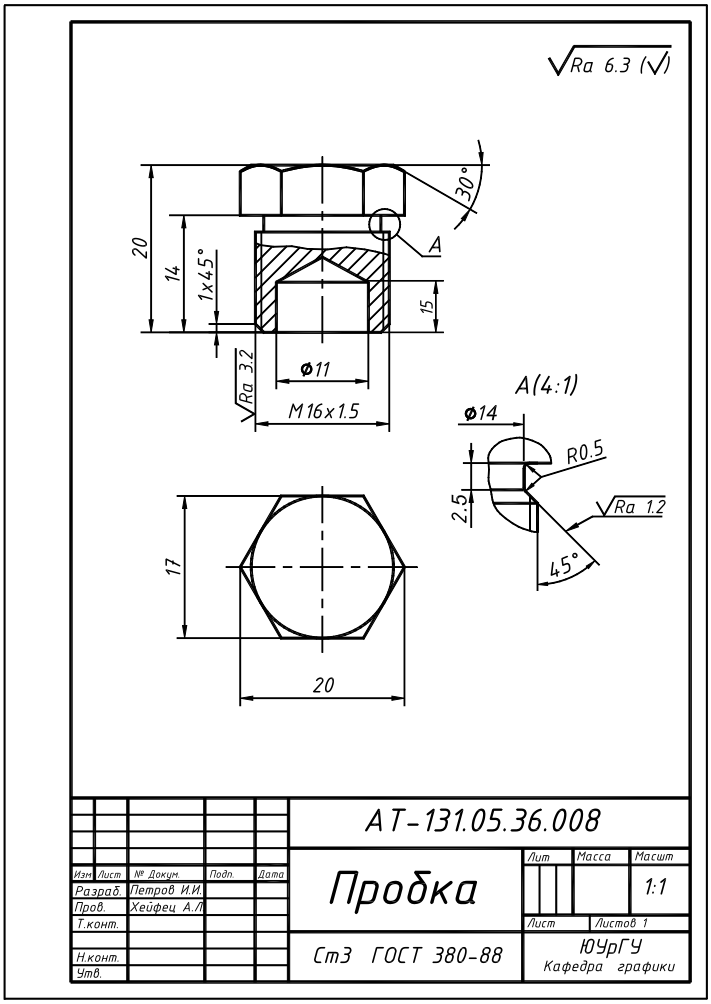


Рис. 19.7. Чертеж пробки

Головка имеет форму распространенных крепежных изделий: гаек и болтов (см. разд. 12.1, 12.2). Ее определяющими размерами являются размер “под ключ” и угол фаски, равный, как правило, 30^0.

Для построения головки (см. рис. 19.6, *б*) нужно создать правильную шестигранную призму и конус. Поверхность фаски образуется при пересечении этих тел, выполняемом командой **`INTERSECT.`** В свою очередь, призма создается выдавливанием правильного шестиугольника, размеры которого определяются размером “под ключ”. Конус является усеченным. Его можно получить выдавливанием верхнего основания, вниз. В соответствии со значением угла фаски и отрицательным направлением выдавливания задается угол между образующей конуса и его осью, равный -60^0. Верхнее основание конуса должно иметь диаметр, равный размеру “под ключ”, высота конуса – не менее высоты призмы.

Рассмотрим построение модели шестигранной головки с фаской. Размер “под ключ” согласно исходным данным равен 17 мм, высота шестигранника 6 мм. Построение модели удобно выполнять в окне аксонометрии, контролируя результат в окнах видов сверху и спереди:

- **`polygon`** / количество сторон: 6 / центр 0,0 / **`c`** (опция **`Circumscribed about circle`** – вокруг окружности) / радиус окружности 8.5 – построен шестиугольник с заданным размером “под ключ”;
- **`extrude`** / укажите шестиугольник /–6 – получена призма;
- **`circle`** / 0,0 / 8.5 – получена окружность верхнего основания усеченного конуса;
- **`extrude`** / укажите окружность / высота выдавливания: –6 / угол выдавливания: –60 – построен конус;
- **`intersect /`** укажите призму и конус – построена головка пробки**`.`**

Для построения цилиндрической части пробки, содержащей фаску, резьбовую канавку и продольное отверстие с коническим завершением из-под сверла, создадим контур вращения (рис. 19.6, *в*):

- **`ucs`** / **`Or`** / 0, –20 – начало координат перенесено из точки *A* в точку *B*;
- **`ucs`** / **`x`** / 90; **`plan`** / **`C`**;
- **`pline`** / 0,9 / 5.5,6 / 5.5,0 / 7,0 / 8,1 / 8,12 / 7,12 / 7,14 / 0,14 / **`Cl`**.

Осталось создать цилиндрическую часть пробки вращением контура и объединить ее с шестигранной головкой.

Чертеж пробки (рис. 19.7) получен известными методами 3D-технологии. Он содержит виды сверху и спереди. На виде спереди дан местный разрез. Для пояснения формы резьбовой канавки выполнен выносной элемент.

19.4. Пружина

Построим модель пружины, входящей в состав деталируемого узла (поз. *10*, см. рис. 18.1). Это винтовая цилиндрическая пружина сжатия, у которой наружный диаметр D=11 мм, диаметр проволоки d=1 мм, количество рабочих витков n=15, длина в рабочем поджатом состоянии h=34 мм. Предусмотрим еще по одному опорному поджатому витку с каждой стороны, сошлифованному на ¾ окружности сечения. Таким образом, полное количество витков равно 17.

Построение выполним согласно методике, приведенной в разд. 17.1. Пружину строим в рабочем сжатом состоянии (рис. 19.8). С учетом сошлифованных витков шаг пружины в рабочем состоянии определяем выражением $t = (h - 1.5d) / n$, что в нашем примере составляет 2.17 мм. Диаметр направляющей винтовой линии равен $D - d$ = 10 мм:

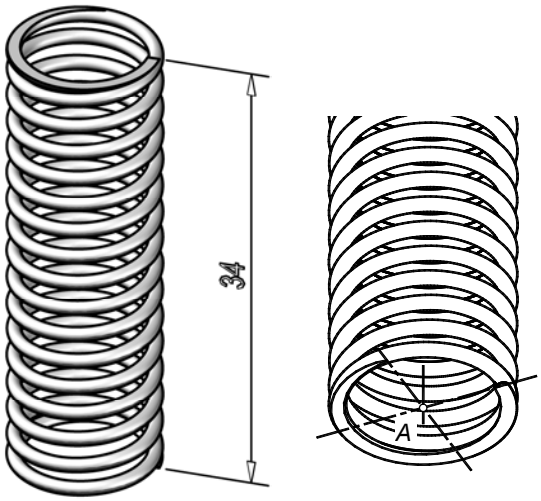


Рис. 19.8. Пружина масляного насоса

- перейдите в окно аксонометрии, установите МСК и режим **ORTHO**;
- **helix** / 0,0 – центральная точка основания / **Diameter** / 10 – диаметр нижнего основания // **t** (**Turns** – число витков) 17 / **h** (**turn Height** – высота витка) 2.17 / – построена гелиса *m* (обозначения по рис. 17.1, *а*);
- **ucs** / **x** / 90 / **ucs** / **or** / с объектной привязкой указать конечную точку гелисы – ПСК установлена в плоскость поперечного сечения в конечной точке витка;
- **circle** / 0,0 / **D** / 1 – построена окружность *c1*;
- **move** / указать *c1* // 0,–2.17 – построена окружность *c2* предпоследнего витка;
- **copy** / указать *c2* // 0,1 – построена окружность *c3* прижатого витка;
- **break** / указать гелису / **f** (**First point** – Первая точка) / с привязкой **Cen** указать центр окружности *c2* / @ – гелиса разорвана в центре окружности *c2*, отделен виток *m**;
- указать виток *m** – выделены ручки витка, указать верхнюю треугольную центральную ручку, ввести перемещение @0, –1.17 – виток сжат до положения *n*;
- **zoom** – в окне аксонометрии многократно увеличить место разрыва гелисы. Совместить витки, устранив разрыв;
- повторите указанные действия для поджатия нижнего витка;
- **join** – объединить гелисы: основную и две поджатых;
- **sweep** / укажите одну из окружностей, применяемых для разметки / укажите подготовленную гелису – пружина сформирована.

Осталось обрезать концы пружины. Например, для верхнего витка, в системе координат, указанной на рис. 17.1, *а*:

- **slice** / указать пружину / **ZX** / 0, –0.25 / указать точку со стороны оставляемой части пружины;
- **slice -** обрезать часть нижнего витка;

- проверить длину пружины простановкой вертикального размера – длина должна составить 34 мм.

Для последующей установки пружины в узел необходимо сохранить ось пружины и одну из точек оснований на уровне среза витка, например, нижнюю точку *A* (см. рис. 19.8). В эту точку можно поставить маркер или провести оси основания.

19.5. Зубчатые колеса

Узел насоса содержит пару цилиндрических прямозубых колес (поз. *3*, *4*, см. рис. 18.1), обеспечивающих нагнетание масла, и косозубое колесо (поз. *7*) привода насоса, расположенное на его валу. Зубчатые колеса можно показать упрощенно, без зубьев, в виде цилиндров (см. рис. 13.2). Однако реалистичная модель зубчатой пары, с отображением зубьев, существенно повышает наглядность объемной сборки.

Мы применим наглядные модели, не претендующие на высокую точность, но обеспечивающие хорошую наглядность при невысокой сложности и малых размерах файлов.

Прямозубые цилиндрические колеса

Параметры колес: модуль m и число зубьев z – приведены в перечне элементов узла и спецификации (см. рис. 18.2) в качестве исходных данных для определения размеров колес. В нашем примере оба колеса имеют m=2.75 и одинаковое количество зубьев $z_1 = z_2 = 8$.

Выполним минимально-необходимый расчет передачи для построения ее наглядной модели. Межцентровое расстояние $a = (z_1 + z_2)\ m\ /\ 2 = 22$ мм. Ввиду равенства количества зубьев колес их диаметры делительных окружности $d = z \cdot m = 22$ мм; диаметры вершин зубьев $d_a = d + 2m = 27.5$ мм; диаметры впадин $d_f = d - 2.5m \approx 15.1$ мм.

Примем, что плоскость вращения колес совпадает с плоскостью окна вида спереди. Поэтому переходим в видовое окно вида спереди. Строим контур впадины согласно методике, приведенной в разд. 13.6. Контур впадины размножаем круговым массивом (рис. 19.9, *а*). К контуру

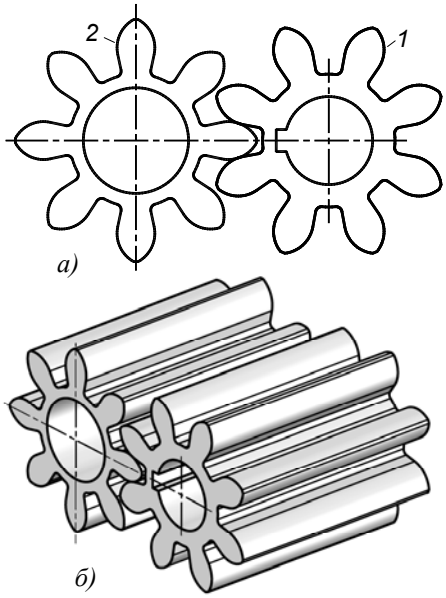


Рис. 19.9. Цилиндрические прямозубые колеса шестеренного насоса:
а – контуры колес;
б – наглядная модель

Таблица 19.1

Расчет косозубого цилиндрического колеса масляного насоса

Параметры	Значения
Число зубьев z_1	12
Нормальный модуль m_n	2
Нормальный угол зацепления α	20°
Угол наклона линии зуба β	30°
Окружной (торцовый) модуль m_t	2.31
Делительный диаметр d	27.7
Диаметр вершин зубьев d_a	31.7
Угол зацепления (в торцовом сечении) α_t	22.8
Радиальный зазор c	0.5
Диаметр впадин d_f	22.7
Радиус переходной кривой зуба ρ	0.8

ведущего колеса *1* добавляем окружность посадочного отверстия ∅10 с контуром шпоночного паза под сегментную шпонку. Ширина паза 2.5 мм, глубина 1 мм [2, 9].

Контур ведомого колеса *2* получим копированием контура *1* со смещением на величину межцентрового расстояния *a* = 22 мм. К контуру *2* добавляем окружность ∅12 посадочного отверстия. Окончательно колеса получим, применив команду **PRESSPULL** или **EXTRUDE**, вытянув контуры на 33 мм (см. рис. 19.9, *б*).

Косозубое цилиндрическое колесо

Колесо построим по методике, приведенной в разд. 14.3. Создадим наглядную модель, в которой эвольвента рабочей поверхности заменена дугой окружности (см. разд. 14.5). Параметры колеса, необходимые для наглядной модели, сведены в табл. 19.1. Расчетные формулы – см. табл. 14.1.

В окне аксонометрии, в МСК строим заготовку колеса как тело вращения контура (рис. 19.10, *а*) вокруг горизонтальной оси.

Выходим на лист и строим контур впадины (рис. 19.10, *б*). Комментарии – см. рис. 13.10, *б*. Контур впадины и делительную окружность переносим на поверхность заготовки (рис. 19.10, *в*). Строим гелису *h*, у которой расчетная длина витка 150.8 мм, а общая высота 17 мм (с учетом запаса по 1 мм в обе стороны).

Перемещаем контур *k* по гелисе *h* и создаем объем впадины. Размножаем его круговым массивом с центром в точке *O* и количеством элементов 12. Окончательно впадины вычитаем из заготовки – колесо построено (рис. 19.10, *г*).

19.6. Вал в сборе

Вал масляного насоса (см. рис. 18.1, поз. 6) содержит цилиндрический стержень *1* (рис. 19.11), паз *2* для сегментной шпонки, посредством которой вращение с вала передается на шестерню, буртик *3*, фиксирующий вал в корпусе в осевом направлении. Имеется поперечное отверстие *4* под штифт, фиксирующий косозубую шестерню, и шлицевой паз *5* на торце вала.

При построении модели вала целесообразно одновременно создать модели сопряженных с ним деталей – шпонки *6* и штифта *7* (см. рис. 18.1, поз. *15*, *16*; рис. 19.11). Последовательность построений следующая:

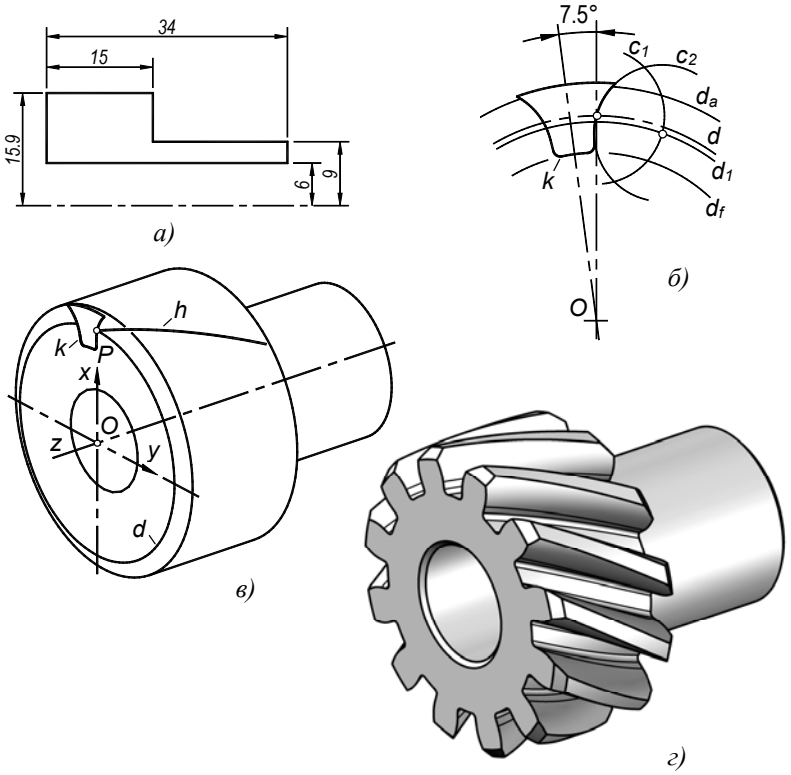


Рис. 19.10. Косозубое колесо масляного насоса:
а – контур вращения заготовки; б – контур впадины
в – совмещение контура впадины и гелисы с заготовкой;
г – итог

- в новом файле, в окне вида спереди создайте контур вращения вала *8* и окружность контура шпоночного паза *9* (рис. 19.11, *а*). Размеры шпоночного паза и шпонки берутся по справочной литературе [2, 9];

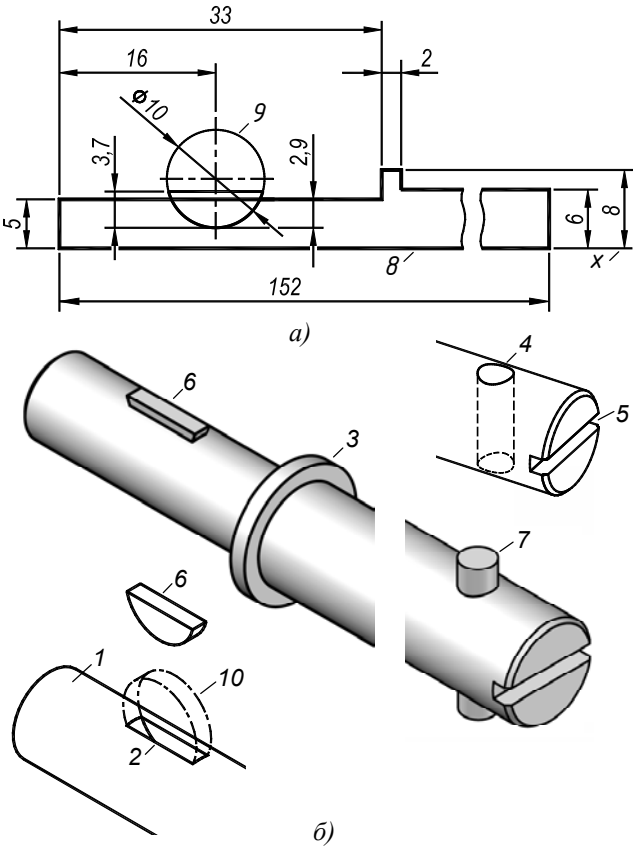


Рис. 19.11. Вал в сборе: *а* – контуры; *б* – элементы вала в сборе;

- вращением (**REVOLVE**) контура *8* вокруг оси *X* создайте тело вала;
- выдавив (**EXTRUDE**) окружность *9* на 2.5 мм (ширина шпоночного паза), создайте цилиндр и расположите его по оси вала. Получена модель дисковой фрезы *10* (рис. 19.11, *б*). Сделайте ее копию, совмещенную с оригиналом;
- выполните вычитание (**SUBTRACT**) "фрезы" из тела вала – получен шпоночный паз *2*;
- срежьте (**SLICE**) дубликат "фрезы" на расстоянии 6 мм от оси вала – получена сегментная шпонка *6*, выступающая на 1 мм из вала;
- в окне вида сверху постройте цилиндр диаметром 4 мм, длиной 18 мм. Центр основания цилиндра задайте на 9 мм ниже оси вала и на расстоянии 10 мм от правого торца вала – получена модель штифта *7*. Сделайте ее копию, совмещенную с оригиналом. Вычитанием штифта из тела вала получите поперечное цилиндрическое отверстие *4* под штифт;
- вычитанием вспомогательной призмы выполните горизонтальный шлицевой паз;
- поместите вал, шпонку и штифт на различные слои. Слоям присвойте имена, соответствующие названию деталей: *Вал*, *Шпонка*, *Штифт*.

19.7. Крепеж

Масляный насос содержит четыре болта с шайбами для крепления крышки насоса к корпусу (см. рис. 18.1, поз. *12*, *13*). Рекомендуем первоначально строить упрощенную модель болта без резьбы. На завершающем этапе построения узла, для повышения наглядности можно болт дополнить резьбой (см. разд. 12.5, рис. 19.17, *в*).

Модели болта и шайбы можно построить по размерам (см. разд. 12.1). Основные размеры: резьба М8, длина стержня болта 25 мм, размер головки болта "под ключ" 13 мм, высота головки 5.5 мм [9].

Если имеется ранее построенная модель болта для другой резьбы, то необходимую модель проще получить редактированием. Например, имеется модель болта М16 с размером "под ключ" 24 мм (см. разд. 12.1). Для получения болта с указанны-

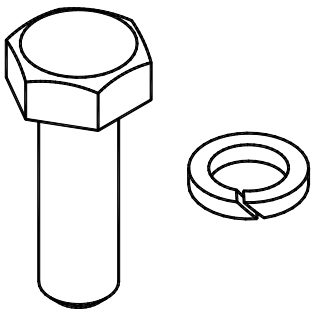


Рис. 19.12. Крепеж масляного насоса

ми выше размерами необходимо масштабировать (**SCALE**) модель болта М16 с коэффициентом 0.5 – диаметр стержня принял требуемое значение 8 мм. Размер головки под ключ стал 12 мм. Отделим (**SLICE**) головку от стержня и масштабируем головку относительно ее центральной точки с коэффициентом 13:12= 1.0833 – размер "под ключ" стал равным 13 мм. Простановкой размера видим, что высота головки стала 5.4 мм. Поэтому командой **SOLIDEDIT** / **FACE** / **OFFSET** перемещаем основание головки на 0.1 мм до требуемой величины 5.5. Осталось обрезать стержень до длины 25 мм, состыковать (**MOVE**) с головкой и объединить (**UNION**).

Модель пружинной шайбы следует создать в рабочем поджатом состоянии либо по размерам, либо масштабированием модели имеющейся шайбы.

19.8. Сборка узла

Для сборки создают новый файл. Модели из своих файлов загружают в файл сборки и устанавливают в необходимое пространственное положение.

Рекомендации по сборке

Основной вариант загрузки моделей – копирование через буфер памяти. Для копирования нужно открыть файл модели и файл сборки. Перейти в файл модели и занести модель в буфер, затем перейти в файл сборки и вставить модель из буфера. Чтобы перейти из одного файла в другой, укажите раздел **Window** (Окно) главного меню. В нижней части раскрывшегося подменю приведены имена открытых файлов. Указав имя файла, вы сделаете его активным.

Удобно работать в оконном варианте. Для этого в окне каждого файла указать кнопку  , расположенную в правом верхнем углу окна файла. Перемещая рамки окон, нужно придать им положение, удобное для совместной работы с файлами модели и сборки. Переключение между файлами осуществляется указанием окна нужного файла.

Команды работы с буфером памяти сосредоточены в меню **Edit** (Редакт). Для копирования детали в буфер памяти применяют команду **COPYBASE**. Для вставки из буфера – команду **PASTECLIP**.

Загрузка выполняется в последовательности, соответствующей сборке реального узла. Первой загружается корпусная деталь. В файле сборки ее устанавливают в положение, при котором вид спереди будет наиболее наглядно передавать форму узла (то есть будет главным видом чертежа). Затем загружают и устанавливают в корпус внутренние детали, затем крышку, наружные детали, крепеж.

Целесообразно делать промежуточные сборки в отдельных файлах и целиком загружать их в файл общей сборки. Часть несложных по форме деталей можно создавать в процессе сборки в файле общей сборки, "по месту".

В нашем примере промежуточные сборки: вал в сборе со штифтом и шпонкой, крышка в сборе с перепускным клапаном, два цилиндрических колеса, предварительно установленные в зацепление зубьев. Детали "по месту" – штифты и прокладка.

В файле сборки каждая модель должна находиться на своем слое с характерным именем: *Корпус*, *Крышка* и т.д. Слой можно задать в файле модели и поместить на него модель – в этом случае слой переходит в файл сборки вместе с моделью. Иначе это нужно сделать в файле сборки после загрузки модели.

Установка загруженных моделей в корпус выполняется их перемещением и вращением моделей относительно корпуса или совмещением по трем точкам командой **3DALIGN** (**3DВЫРОВНЯТЬ**).

Рассмотрим сборку узла масляного насоса.

Файл сборки и загрузка корпусной детали

Создадим файл сборки узла:

- создайте новый файл. В нем откройте на листе три видовых окна с настройками для пространственных построений. Рационально применить прототип *proto.dwt* (см. разд. 6.3).

Загружаем корпус. В файле корпусной детали находится ее модель и дополнительные объекты, созданные при построении модели и ее чертежа. В файле сборки нам понадобится только модель корпуса:

- откройте файл корпусной детали;
- перейдите в окно вида сверху, в котором установлена МСК;
- **Edit** (Редакт, Правка) / **Copy with Base Point** (Копировать с базовой точкой) или <Ctrl>+<Shift>+<C> / укажите базовую точку, например, центр основания / укажите корпус – объект скопирован в буфер.

Вставьте корпус из буфера памяти в файл узловой сборки:

- перейдите в файл сборки, активизируйте окно вида сверху с МСК;
- **Edit** / **Paste** (Вставить) или <Ctrl>+<V> / укажите точку вставки, обеспечив размещение объекта в средней части видового окна. Можно ввести 0,0 – модель корпуса скопирована в файл сборки.

После этого файл корпуса можно закрыть. В файле сборки убедитесь, что положение корпуса такое же, как на сборочном чертеже: в окне вида сверху как на виде сверху чертежа корпуса (см. рис. 18.1), в окне вида спереди – как на виде спереди. Иначе поверните корпус в требуемое положение.

Установка вала в сборе

Вал был собран как промежуточная сборка со шпонкой и штифтом. При установке в корпус эти детали следует временно объединить в блок. Для этого достаточно, скопировав вал в сборе в буфер, вставку в файл сборки выполнить командой **PASTEBLOCK** (**ВСТБЛОК**), расположенной в меню **Edit**. После вставки вал в сборе расположите рядом с корпусом (рис. 19.13, *а*).

При установке вала в корпус необходимо выполнить два условия: совместить буртик вала и предназначенную для него цилиндрическую выемку в корпусе и определенным образом ориентировать шпонку и штифт вала (рис. 19.13, *г*).

Если были выдержаны рекомендации по созданию корпуса и вала, то после загрузки ось вала параллельна оси предназначенного для него посадочного отверстия в корпусе. Осталось переместить вал так, чтобы совместить плоскости окружностей *c* и *c′* и расположить их концентрично. Это достигается командой **MOVE** с объектной привязкой **Cen**.

Универсальным методом установки является применение команды **3DALIGN**. Рассмотрим ее применение на примере установки вала в корпус.

- В файле сборки создайте два видовых окна. В одном из них отобразите буртик вала, в другом – посадочное отверстие под буртик в корпусе. Окна расположите рядом (рис. 19.13, *б, в*).

При выполнении команды **3DALIGN** возникает динамическое слежение перемещаемых объектов. В ряде случаев это мешает указанию опорных точек. Динамическое слежение отключается, если в окнах применить каркасный стиль визуализации и выполнить команду **HIDE** (**СКРЫТЬ**):

- выполните в окнах команду **HIDE**;
- перейдите в окно, в котором отображен буртик (рис. 19.13, *б*);
- **3dalign** / укажите вал в сборе / с привязкой **Cen** укажите точку *1* как центр окружности *c*, с привязками **Qua** укажите точки *2* и *3* той же окружности;
- не прерывая команды, укажите окно, где отображено посадочное отверстие (рис. 19.13, *в*);
- укажите с теми же привязками ответные точки *1′*, *2′*, *3′* – установка вала в корпус выполнена;
- для отмены команды **HIDE** выполните команду **REGEN**;
- проверьте правильность установки в окнах видов спереди и слева.
- **explode** – расчлените блок вала в сборе. Блок распался на детали: вал, шпонка, штифт.

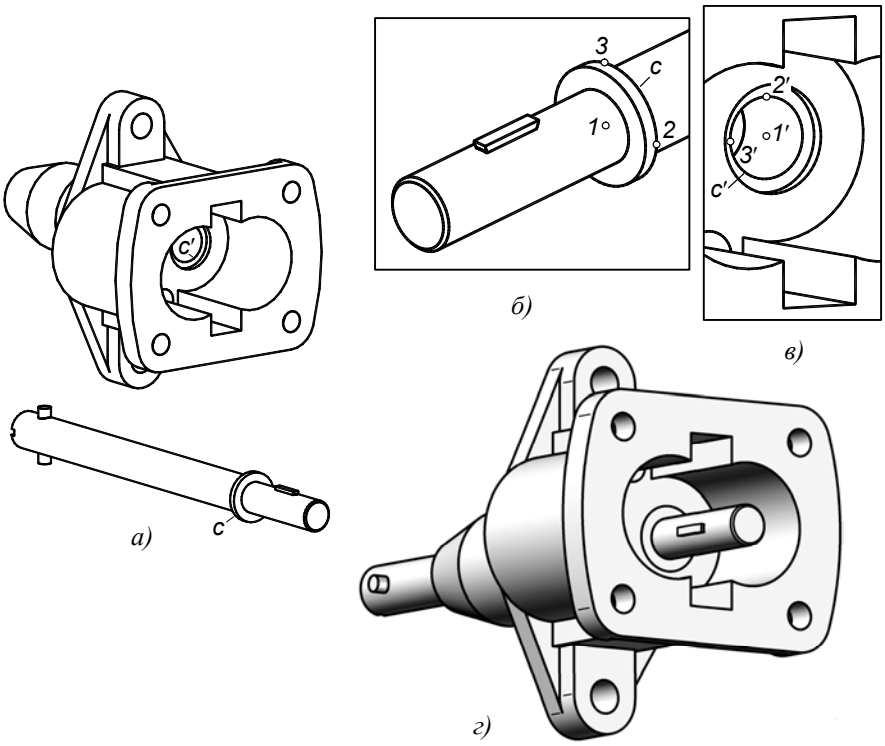


Рис. 19.13. Установка вала в сборе в корпус насоса:
а – загрузка вала в файл сборки; *б, в* – задание трех точек;
г – результат установки

Установка зубчатых колес и прокладки

Создадим ось ведомого колеса (см. рис. 18.1, поз. *11*). Его можно построить вытягиванием контура посадочного отверстия ∅12 в верхнем основании корпуса на длину 60 мм:

- установите вид на верхнее основание корпуса (рис. 19.14, *а*);
- **ucs** / **fa** – Выровнять по грани / Укажите грань верхнего основания / **Принять** – знак ПСК переместился в указанную грань.
- **presspull** / Укажите точку внутри окружности ∅12 – окружность *с* / переместите курсор, создавая цилиндр / –60 – внутри корпуса создана ось *1*;
- проверьте правильность создания оси, установив вид на нижнее основание корпуса (рис. 19.14, *б*). На виде сверху проверьте, что ось выступает из корпуса в сторону крышки на 4 мм.

Откройте файл, в котором подготовлены прямозубые цилиндрические колеса в зацеплении. Загрузите колеса в файл узловой сборки (рис. 19.14, *б*). Загрузку выполните единым блоком или объедините колеса в блок после загрузки.

Если оси колес параллельны осям вала и оси, то переместите оба колеса (**MOVE**), указав в качестве базовой центр ведущего колеса, точку *2*. В качестве конечной укажите центр торцевой окружности вала, точку *3*. Если после загрузки оси колес и вала оказались перпендикулярны, тогда достаточно повернуть колеса на ±90°. При более сложном взаимном положении колес и корпуса примените команду **3DALIGN**. После установки (рис. 19.14, *в*) по изображениям в окнах видов сверху и спереди проверьте взаимное положение колес. Ведущее колесо должно быть расположено на валу, причем шпонка располагается в шпоночном пазе этого колеса. Ведомое колесо расположено на оси. Оба колеса находятся в зацеплении.

Косозубое колесо устанавливают в той же последовательности (рис. 19.14, *г*). После загрузки колеса в файл сборки его установку выполняют совмещением центральных точек ок-

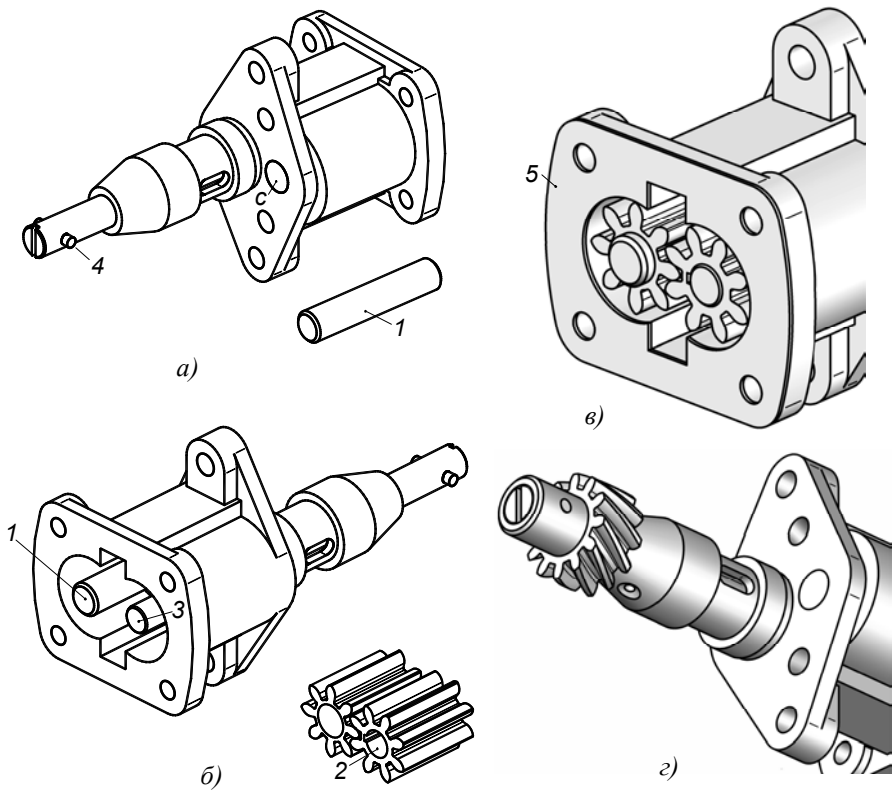


Рис. 19.14. Установка оси (*а*), прямозубых колес (*б*), построение прокладки (*в*), установка косозубого колеса (*г*)

ружностей на торце колеса и вала. Для построения отверстия под штифт крепления колеса на валу, следует создать копию штифта *4* и вычесть ее из тела колеса.

Часть моделей несложной формы можно (и рекомендуется) создавать в процессе сборки узла, "по месту". Примером может служить созданная выше ось *1* ведомого колеса. Второй пример – это прокладка *5* между корпусом и крышкой насоса (рис. 19.14, *в*). Для формирования прокладки нужно создать "отпечаток" основания корпуса и выдавить его на толщину прокладки:

- создайте слой с именем *Прокладка* и сделайте его текущим;
- установите вид на нижнее основание корпуса;
- **`ucs`** / **`fa`** / укажите грань нижнего основания / **`Принять;`**
- **`section`** / укажите корпус / **`XY`** / – построено сечение как отпечаток основания;
- **`extrude`** / укажите сечение / 1 (это толщина прокладки) – прокладка построена.

Крышка в сборе

Сборку крышки и установленных в ней деталей перепускного клапана рекомендуем выполнить в отдельном файле, затем крышку в сборе установить на корпус насоса.

Создайте файл для крышки в сборе и через буфер загрузите в него (рис. 19.15, *а*) крышку *1* и детали перепускного клапана: прокладку *2*, пробку *3*, болт *4*, пружинную шайбу *5* и пружину *6*. Вместе с пружиной загрузите ее оси, что позволит выполнить точную установку пружины в крышке.

Выполните предварительную сборку (рис. 19.15, *б*): установите прокладку *2* на пробку *3*, в пробку установите пружину *6*, на болт *4* установите шайбу *5*. Пружину следует координировать по точке *A* пересечения ее осей. Поверните модели в соответствии с их положением относительно корпуса *1*.

Установите детали в крышку, например, для установки пробки с прокладкой и пружиной нужно совместить центральные точки окружности прокладки *c* и окружности *c′* крышки.

Далее следует проверить правильность сборки перепускного клапана. Для этого выполните сечение собранных моделей плоскостью, проходящей через точку *B* и ось штуцера крышки (рис. 19.15, *в*). Убедившись в правильности установки деталей клапана, построим в плоскости сечения окружность *c** (∅10) как сечение шарика перепускного клапана. Центр окружности *c** находится на оси штуцера. Окружность примыкает к пружине. Видим, что между шариком и отверстием клапана, имеется зазор *δ*. Этот зазор является недопустимым, поскольку шарик должен упираться в отверстие и перекрывать его, будучи прижатым пружиной. Возникновение зазора вызвано, вероятнее всего, ошибкой расчета узла.

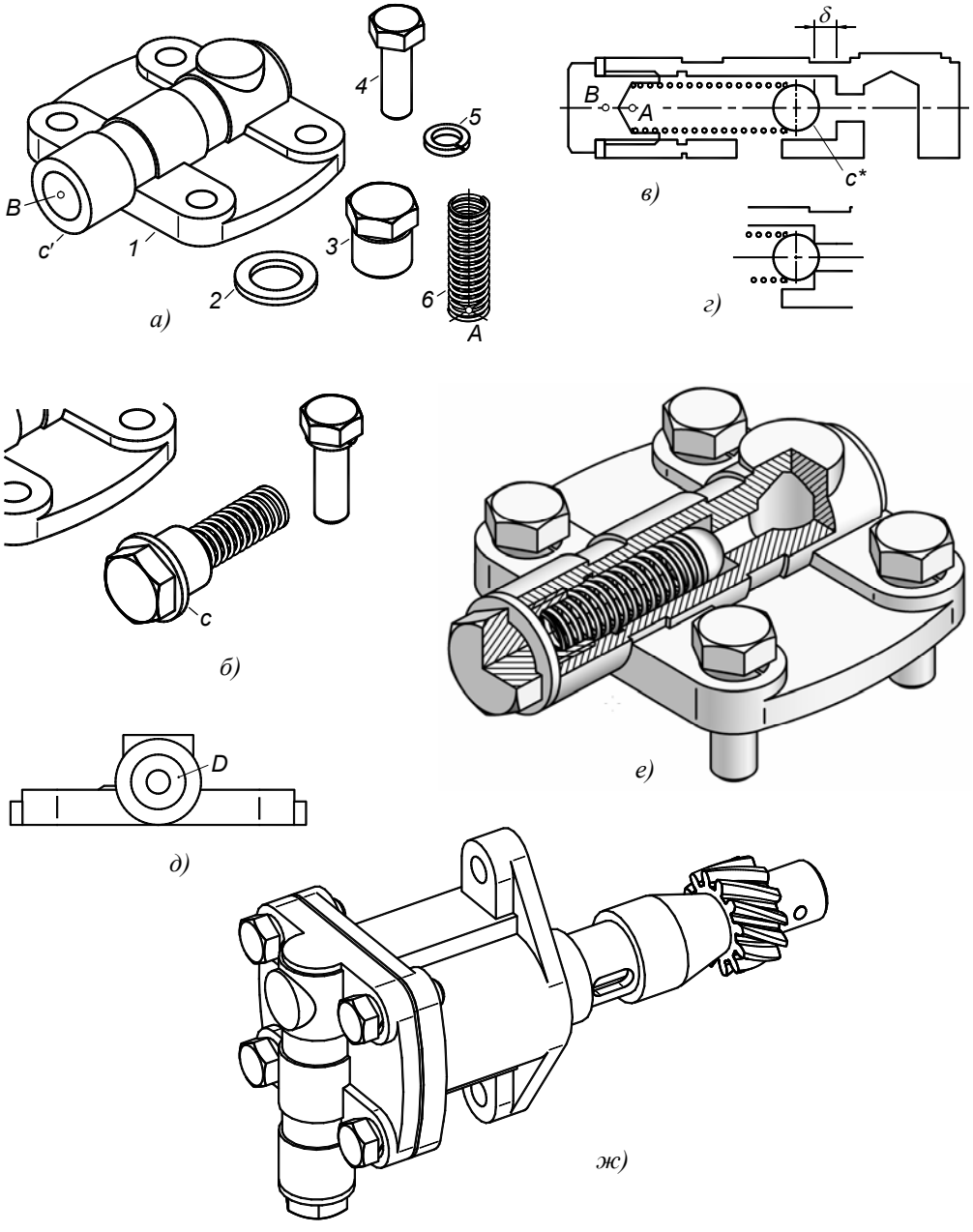


Рис. 19.15. Крышка в сборе:
а – загрузка моделей; *б* – предварительная сборка и координирование;
в, *г, д* – сборка и корректировка перепускного клапана;
е – результат сборки; *ж* – установка крышки

Для устранения зазора нужно измерить его величину. В нашем примере $\delta = 4.7$ мм. Затем в модели крышки переместить грань, в которую должен упираться шарик и имеющую форму кольца, на величину выявленного зазора. Для перемещения грани установим точку зрения так, чтобы корректируемая грань была видимой, и применим к ней команду **SOLIDEDIT** с опцией **Offset**:

- установите вид слева (рис. 19.15, *д*), заморозьте все детали, кроме крышки;
- **solidedit** / **Face** / **Offset** / укажите точку *D*, принадлежащую корректируемой грани – грань выделена в виде кольца / задайте величину смещения, равную величине устраняемого зазора δ.

Повторное построение сечения показывает, что после корректировки грани зазор устранен (рис. 19.15, *г*). Осталось на основе окружности, по ее центру и радиусу, создать шарик клапана (**SPHERE**) и поместить его на свой слой. Крышка в сборе готова (рис. 19.15, *е*).

Крышку в сборе следует загрузить в файл общей сборки как блок. Блок повернем в вертикальное положение и совместим с ранее собранными деталями узла (рис. 19.15, *ж*). Совмещение выполняется по соответствующим друг другу точкам основания крышки и прокладки узла, примыкающей к основанию корпуса насоса.

После установки в узел блок крышки в сборе расчленяем. Каждая деталь становится "самостоятельной".

Проверьте, что после загрузки каждая деталь находится на своем слое с характерным именем *Корпус, Пружина, Болт* и.т.д. Иначе выполните это условие, оно упростит окончательную доработку узла и построение его чертежа.

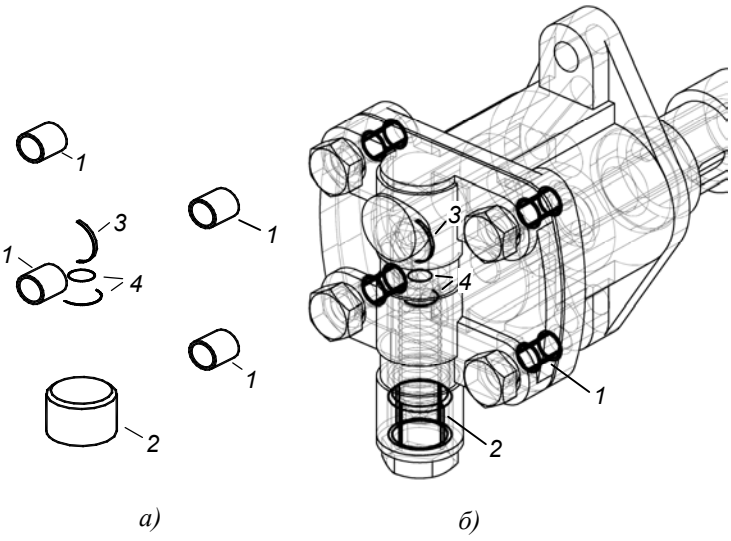
Сборка узла насоса закончена. Для справки: размер файла сборки насоса без промежуточных построений составил в формате AutCAD 2007 850 КБ.

19.9. Корректировка и контроль точности сборки

Корректировка моделей в процессе сборки узла является необходимой операцией, отражающей процесс конструирования узла. Преимущественно корректировка выполняется командой **SOLIDEDIT (РЕДТЕЛ).** Рассмотренная выше опция **Offset** позволяет перемещать не только плоские, но и криволинейные грани. Например, этой опцией можно изменить диаметр отверстия или вала. Опция **Move** позволит целиком переместить конструктивный элемент, например, отверстие или буртик на валу, в произвольном направлении. Опция **Rotate** позволит повернуть грань. Опция **DELETE** удаляет грани, сопряжения, отверстия.

Контроль правильности сборки, ее точности, выполняется построением сечений, как это было показано выше для перепускного клапана насоса (рис. 19.15, *в*, *г*). Контроль по сечениям позволяет выявить недопустимые пересечения, зазоры и другие ошибки расчета или построения узла.

Одно из условий правильности сборки – это отсутствие пересечений моделей, входящих в узел. Модели не должны врезаться одна в другую. Для проверки узла на отсутствие пересе-



а) *б)*

Рис. 19.16. Проверка взаимопересечений деталей узла:
а – объекты пересечения; *б* – размещение объектов в узле

чений имеется специальная команда **INTERFERE (ВЗАИМОД)**. Она выявляет объекты пересечения и сохраняет их как solid-объекты для принятия мер по устранению ошибок. Рассмотрим применение этой команды для контроля созданного узла:

- в файле узловой сборки создайте и установите текущим новый слой с именем *Взаимодействие*;
- **interfere** / выберите рамкой весь узел / <ПРоверить> / в диалоговом окне *Проверка взаимодействий* снять флажок *При закрытии удалить объекты взаимодействия* / **Закрыть**.

На текущем слое возникли объекты пересечения. Их следует рассмотреть в дополнительном видовом окне (рис. 19.16, *а*), заморозив слои со всеми моделями, и на фоне узла (рис. 19.16, *б*). В нашем примере объекты пересечений содержат цилиндры *1* и *2* – это пересечение резьбовых деталей с отверстиями под резьбу. Эти объекты нельзя считать ошибкой сборки, поскольку детали с наружной резьбой созданы по наружному диаметру резьбы, а отверстия – по внутреннему. Сектор *3* указывает на пересечение оси ведомого колеса с отверстием в крышке. Это уже ошибка сборки, которую можно исправить, сместив отверстие в крышке **(SOLIDEDIT / Move)** на толщину сектора *3*. Измерение толщины объектов взаимодействия выполняется построением их сечений и простановкой размеров. Толщина сектора *3* составила 0.003 мм. Столь малую погрешность можно считать допустимой и корректировку не производить. Секторы *4* отражают оставшиеся погрешности сборки перепускного клапана (неточности установки шарика). Их толщина также незначительна.

19.10. Объемный разрез и аксонометрия узла

Для наглядного отображения внутренней формы узла выполняют его объемный разрез. Построение разреза основано на применении команды **SLICE.** Корпусные детали рассекают плоскостями, параллельными координатным плоскостям XY, XZ, YZ. После рассечения части корпусных деталей, закрывающие внутреннее пространство узла, удаляют. В тех случаях, когда разрез является стандартным (простой, ступенчатый или ломаный), возможно применение команды **SECTIONPLANE**.

Разрез масляного насоса (рис. 19.17) был выполнено командой **SLICE**. Применено пять секущих плоскостей. Сначала плоскостями *1*, *2* была отрезана ближняя четверть крышки. Это позволило передать конструкцию расположенного в ней перепускного клапана. Плоскостью *3* были удалены правая верхняя четверть крышки, часть прокладки между крышкой и корпусом и болт крепления с шайбой, которые закрывали зубчатые колеса, расположенные в камере корпуса. Но и этого оказалось недостаточно. Тогда плоскостями *1*, *3*, *4* была удалена ближняя часть корпуса насоса, что позволило показать положение зубчатых колес. В завершение плоскостями *3*, *5* удалена четверть штуцера корпуса, что позволило отобразить его внутреннее строение.

Аксонометрия разреза выполняется на формате А3. Лист (рис. 19.17, *в*) содержит наглядное изображение узла в разрезе. Рекомендуется применять диметрию или близкий к ней наглядный вариант аксонометрии, раскрывающий форму узла. Можно добавить разрезы отдельных фрагментов узла, недостаточно отраженные в основном изображении. Особенно “украшают” аксонометрию изображения с реалистичным изображением резьбы, зубчатых и червячных передач.

Техника построения объемных разрезов и аксонометрии приведена в разд. 7…10.

19.11. Чертеж узла

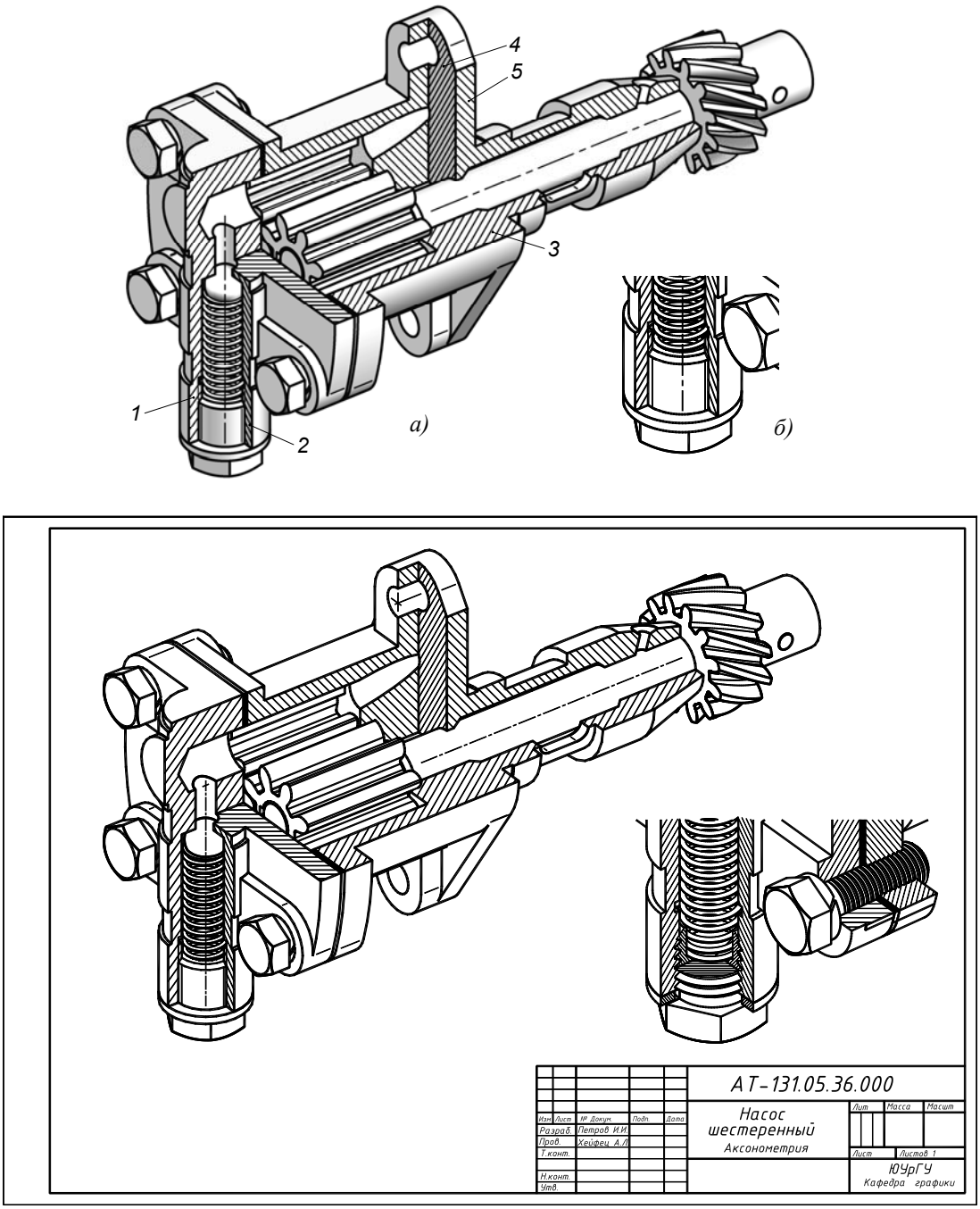
Построение узлового чертежа выполняется в той же последовательности, что и чертеж детали. Техника построения подробно рассмотрена в разд. 7…11. Возможны два варианта: первый – командами **SOLVIEW** и **SOLDRAW**, второй – командами **SECTIONPLANE** и **FLATSHOT**.

При построении разреза узла по первому варианту AutoCAD выполняет штриховку воедино, без разделения на штриховку отдельных деталей. Поэтому штриховку приходится выполнять заново для каждой детали, задавая различные значения углов наклона и шаг.

Во втором варианте каждая деталь заштрихована автономно, то есть по контуру ее сечения. Штриховку остается лишь отредактировать.

Необходимо учесть особенности выполнения разреза узлового чертежа (см. разд. 18.2). Ряд деталей, попадающих в секущую плоскость, для наглядности показывают нерассеченными. Это валы и резбовой крепеж в продольном разрезе, шарики и др. Ребра жесткости показывают рассеченными, но без штриховки.

Изображение резьбы, зубчатых передач, пружин выполняется на чертеже упрощенно, поскольку действующие ГОСТ ориентированы на ручное построение чертежа. Поэтому изобра-



в)

Рис. 19.17. Объемный разрез узла:
а – секущие плоскости; *б* – изображение резьбы;
в – аксонометрия разреза

жения зубчатых колес и пружин, автоматически получаемые на чертеже при построении наглядных моделей этих деталей, необходимо дорабатывать (упрощать).

Рассмотрим в качестве примера построение вида спереди узла масляного насоса (см. рис. 18.1). Вид совмещен с местным разрезом, показывающим строение перепускного клапана. Секущая плоскость разреза проходит по оси клапана:

- перейдите в окно вида спереди. Командой **FLATSHOT** создайте вид спереди. При настройке команды отключите линии заднего плана и включите линии сопряжения. Построенное изображение вынесите на лист (рис. 19.18, *а*);
- переходим в окно вида сверху. Командой **SECTIONPLANE** создайте объект-сечение фронтальной плоскостью, проходящей по оси крышки;
- настройте режим команды **SECTIONPLANE**: создание 2D-блоков. Следует исключить построение невидимых линий за секущей плоскостью и линий плавного перехода. Параметры штриховки задать *Из линий*, угол 45. Цвет, типы и толщины линий – *По слою*;
- постройте 2D-блок разреза и вынесите его на лист (рис. 19.18, *б*);
- расчлените блоки созданных изображений вида и разреза на составляющие их линии;
- на изображении вида постройте линию обрыва и скопируйте ее на изображение разреза. Используя эту линию как режущую кромку, удалите часть вида (рис. 19.18, *в*) и часть раз-

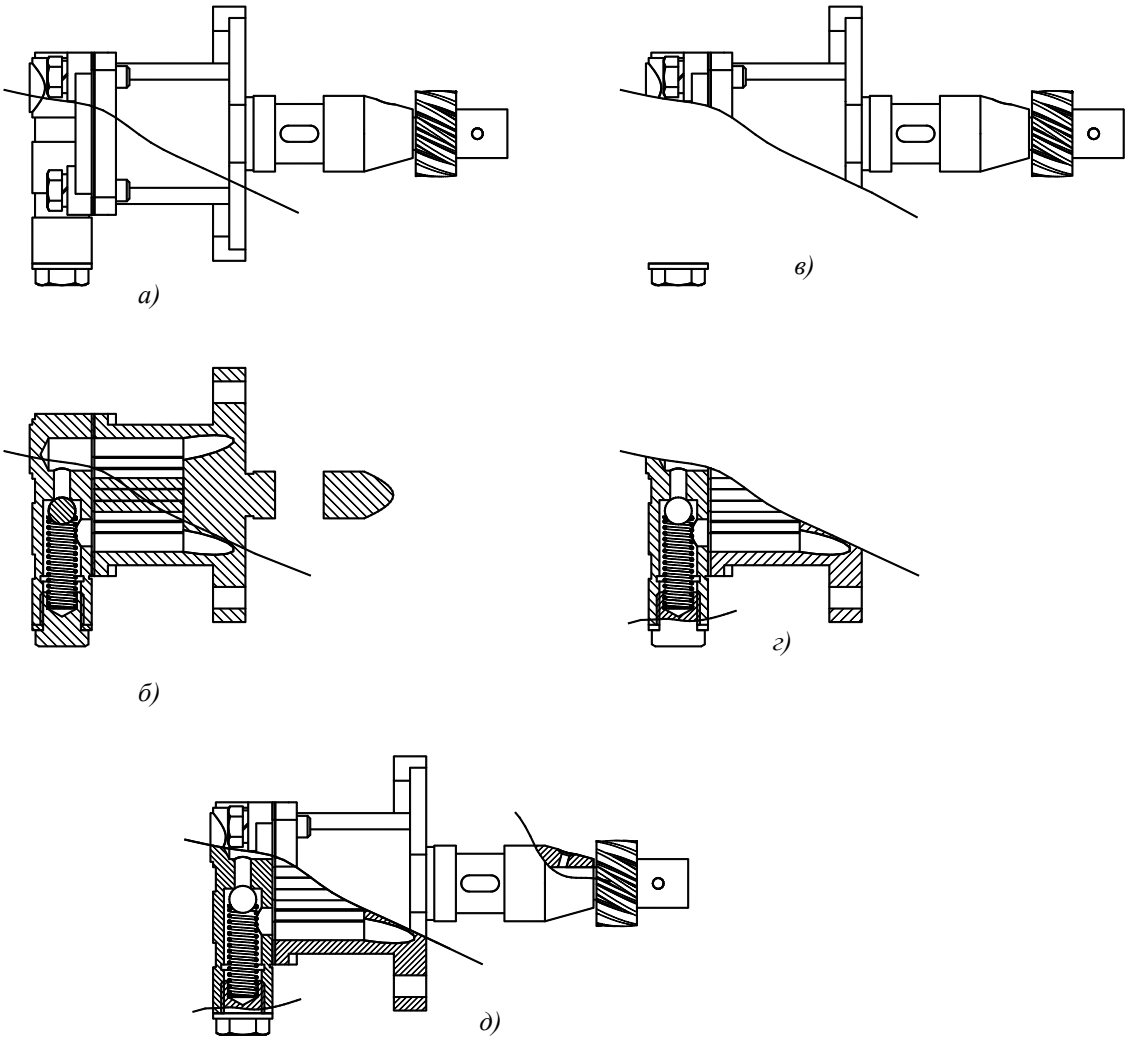


Рис. 19.18. Схема построения вида спереди узла с местным разрезом:
а – вид; *б* – полный разрез; *в,г* – подготовка вида и разреза;
д – совмещение изображений

реза (рис. 19.18, *г*). Штриховку разреза, пересекаемую линией обрыва, приходится удалить и выполнить заново;

- совместите (**MOVE**) подготовленные изображения.

Изображение содержит еще один местный разрез на штуцере корпуса (рис. 19.18, *д*), поясняющий наклонное отверстие. Для построения этого разреза можно командой **FLATSHOT** повторно создать вид спереди, включив построение линий невидимого контура.

Созданное изображение вида и разреза необходимо доработать. Доработка (см. рис. 18.1) включает замену наглядного изображения пружины на условное, содержащее по 2…3 витка с каждой стороны. Синусоидальные кривые витков пружины необходимо заменить отрезками прямых. Истинные изображения зубьев шестерен заменяют условными. Выполняют условное изображение резьбы.

Окончательное формирование чертежа узла (см. рис. 18.1) выполняется после получения всех необходимых изображений и их компоновки в рамке формата А3 или А2. Завершается чертеж приданием линиям необходимой толщины и типа, простановкой размеров и позиционных обозначений. Для сборочного чертежа выполняется спецификация (см. рис. 18.2).

Глава 20

Червячный редуктор. Корпусные детали

Рассмотрим пример разработки 3D модели и чертежей червячного редуктора. Это сложный узел, состоящий из 55 деталей. Работа с подобными узлами завершает цикл графической подготовки студентов конструкторских специальностей ЮУрГУ. Подробность изложения обеспечивает возможность его повторения студентом, выполнившим приведенные ранее задания. Часть материала отражает задания по деталированию сложного узла (задание №7 по реестру кафедры графики ЮУрГУ). Остальной материал главы может рассматриваться как пример реферативной работы или подготовки студента к олимпиаде.

20.1. Содержание работы

Дан чертеж узла общего вида, перечень его элементов и схема работы, позволяющие в полной мере понять конструкцию узла и форму всех его деталей.

Требуется:

1) выполнить 3D-модели двух наиболее сложных деталей узла (корпуса и крышки редуктора);
2) выполнить аксонометрию построенных 3D-моделей;
3) для деталей, модели которых созданы, выполнить рабочие чертежи по 3D-технологии;
4) построить чертежи еще трех деталей по 2D или 3D-технологии на усмотрение студента.

Дополнительное задание для реферативной работы или олимпиадной подготовки:

5) построить 3D-модели всех деталей узла;
6) построить объемную 3D-сборку узла;
7) по 3D-сборке построить сборочный чертеж узла;
8) построить реалистичные модели резьбовых соединений, зубчатых и червячных передач, подшипниковых узлов и пружин;
9) построить фотореалистичное изображение узла.

По исходным данным задания студент должен представить конструкцию узла. О чтении узлового чертежа – см. разд. 18.2. Затем линейкой с чертежа измеряют размеры деталей и строят 3D модели. С них по 3D-технологии выполняют рабочие чертежи.

В рамках дополнительного задания создают объемную сборку узла. В процессе сборки проверяют правильность созданных моделей и собираемость узла, выполняют корректировку моделей. Сборочный чертеж узла и рабочие чертежи деталей создают после проверки собираемости узла.

Реалистичные модели характерных деталей строят с учебной целью и для наглядности модели узла.

Рассмотрим выполнение задания на примере червячного редуктора [1]. Объемная сборка (рис. 20.1) является результатом прочтения исходного чертежа и выполнения п. 7 задания. Учебный сборочный чертеж (рис. 20.2), построенный согласно п. 8 задания, практически совпадает с исходным чертежом общего вида редуктора.

Конструкция узла

Редуктор предназначен для уменьшения угловой скорости при передаче вращения от двигателя к исполнительным механизмам. Червячные редукторы применяют, если оси входного и выходного валов скрещиваются. Одним из достоинств червячной передачи является возможность получения большого передаточного числа при компактной конструкции редуктора.

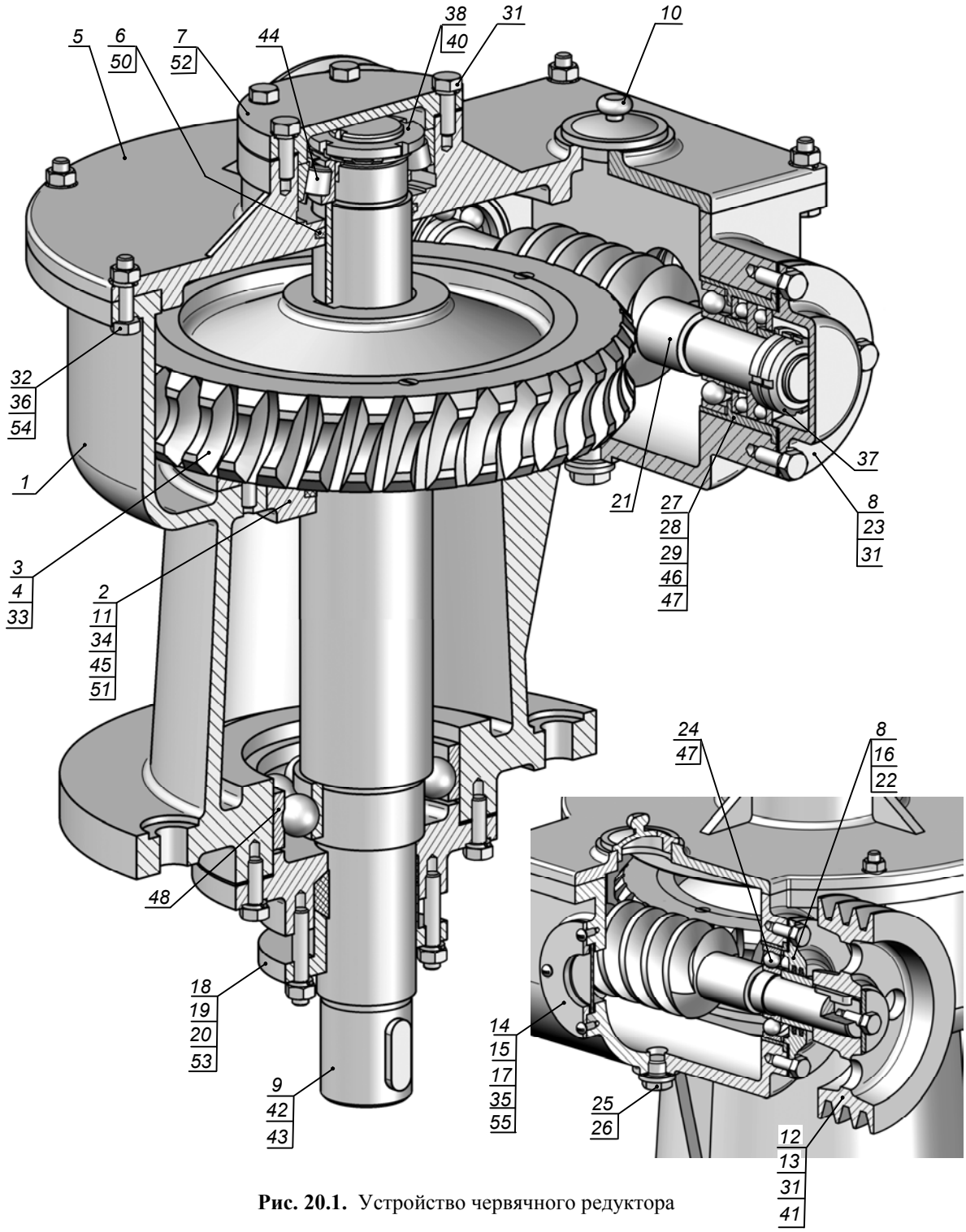


Рис. 20.1. Устройство червячного редуктора

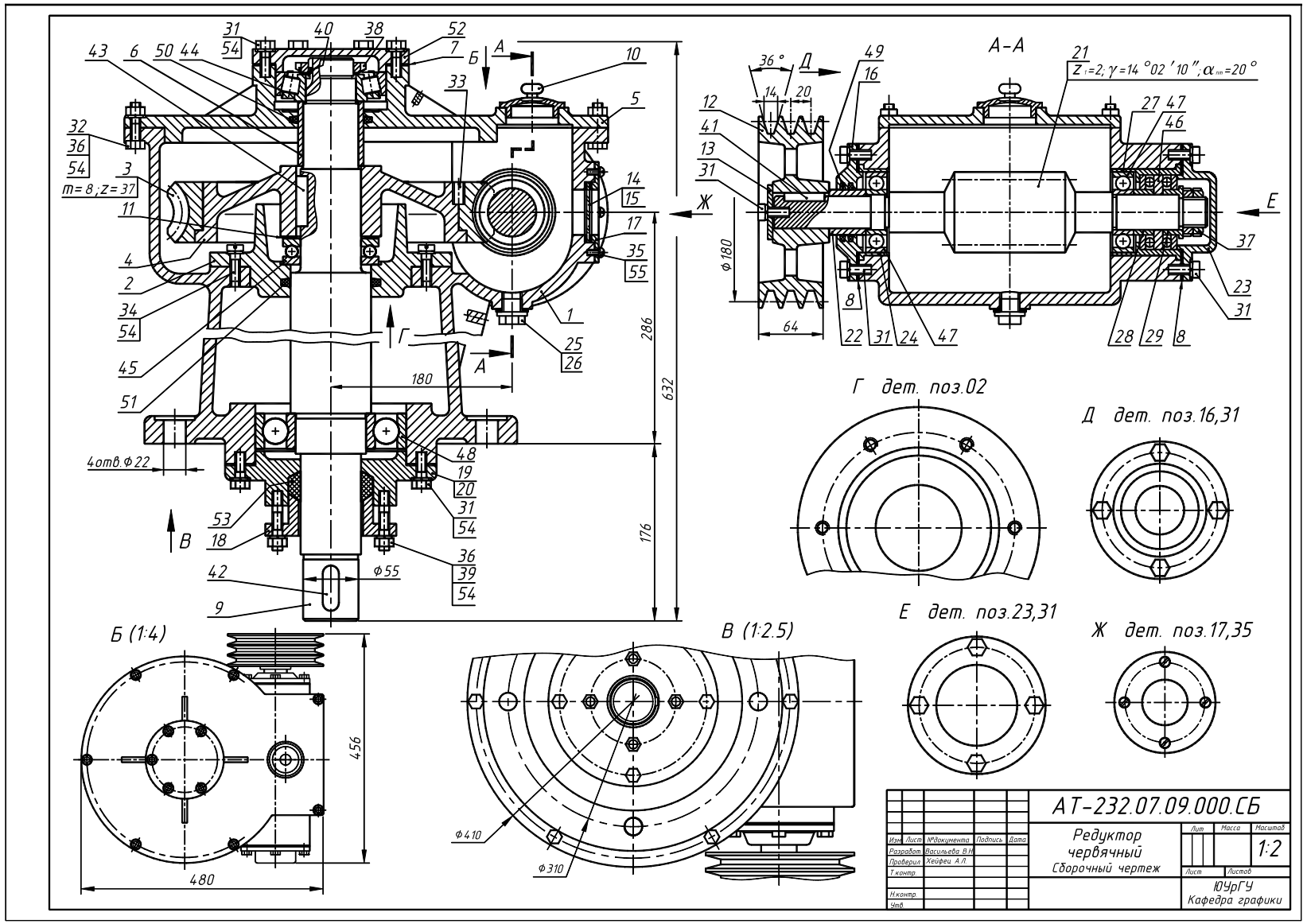


Рис. 20.2. Чертеж червячного редуктора

Вращение с двигателя передается через шкив *12* клиноременной передачи на вал червяка *21*, с него через составное червячное колесо (зубчатый венец *3*, ступица *4*) на вал *9*. Венец *3* напрессован на ступицу *4* и дополнительно закреплен тремя установочными винтами *33*. Опорами вала червяка служат подшипники качения *46* и *47*. Опорами вала колеса являются подшипники *44*, *48* и *45*. Опора *2* с установленным в ней подшипником *45*, войлочным кольцом *51*, регулировочной прокладкой *11* расположены под зубчатым колесом (см. рис. 21.3, *д, 22.11*). Крышки *23*, *52* узлов подшипников обеспечивают герметичность узла и фиксируют подшипники в осевом направлении.

Для фиксации подшипников применены шлицевые гайки *37* и *38*. Для смазки червячного зацепления масло заливается через отверстие в крышке *5*, закрываемое крышкой *10*. Слив отработанного масла выполняется через отверстие, закрываемое пробкой *25*. Смотровое стекло *15* предназначено для контроля работы и одновременно служит указателем уровня масла. Для уплотнения вала применено войлочное кольцо *50*, установленное в канавке крышки *5*, и сальниковое устройство (корпус сальника *19*, крышка *18*, набивка *53*).

Крепление деталей в узле выполнено стандартными резьбовыми изделиями – болты, гайки, винты, шпильки (*31*, *32*, *33*, *36*, *39*).

20.2. Модель корпуса

Корпус редуктора (рис. 20.3) состоит из двух частей. В части *А* располагается червячное колесо с валом. Отверстия *9* служат для крепления опоры подшипника. Отверстия *10* – для крепления корпуса сальника, отверстия *11* – для крепления крышки редуктора, отверстия *12* – для крепления всего редуктора на машине.

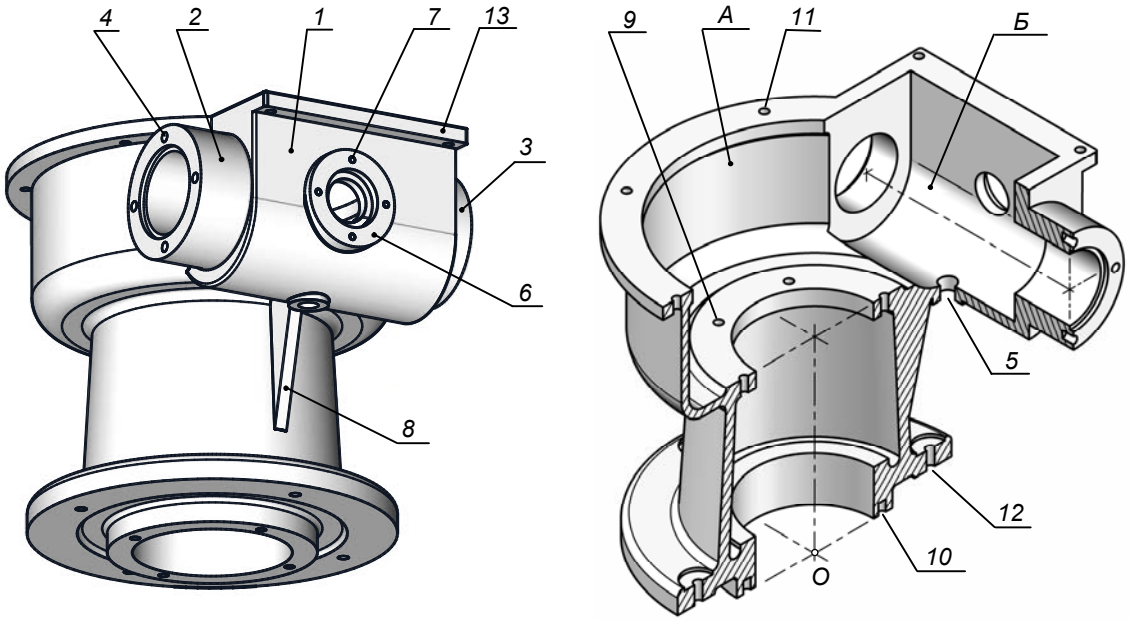


Рис. 20.3. Анализ формы корпуса

Часть *Б* содержит камеру *1* и две цилиндрические опоры *2* и *3*. Внутри камеры вращается червяк, опорами которому служат подшипники, установленные во фланцах *2* и *3*. Оба фланца имеют по четыре резьбовых отверстия *4* для крепления крышек подшипников. Снизу в камере имеется отверстие *5* для слива масла, на боковой поверхности – смотровое окно *6* с отверстиями *7* для крепления крышки окна. Снизу камера подкреплена ребром жесткости *8*.

Построение модели корпуса выполняется в истинных размерах в пространстве модели и отображается на лист через видовые окна. За основу рекомендуем взять кафедральный прототип *proto.dwt*:

- откройте новый файл и выполните в нем предварительные настройки (см. разд. 18.4).

Наружный объем корпуса

Первоначально создадим весь наружный объем модели корпуса. Затем из него вычитаем элементы внутреннего объема, формируя отверстия, пазы. Это общая схема построения моделей, особенно сложной формы, каким является рассматриваемый корпус редуктора. Итак:

- перейдите в окно вида спереди, убедитесь, что ПСК установлена по виду окна;
- на слое *Контуры* постройте контуры *1* и *3*, прямоугольники *5* (50×82) и *7* (20×96), треугольник *9* (рис. 20.4, *а*).

Например, построение контура *1*. По исходному чертежу линейкой измеряем координаты контура относительно точки *O*:

- **pline** / 0,0 / 105,0 / 105,25 / 135,25 / 135,20 / 185,20 / 185,48 / 130,48 / 120,235 / 150,235 / **A** (Дуга) / 180,265 / **L** (Отрезок) / 180,375 / 205,375 / 205,390 / 0,390 / **Cl**.

Для построения контура *3* начало координат перенесите в точку *B* (180, 390). Треугольник *9* находится построением: его гипотенузу строим по точкам *C* (0, –84) и *D* (последняя находится на пересечении отрезка, проведенного на высоте 75, и контура *1*). Все контуры должны быть замкнутыми полилиниями или областями.

На основе контуров создаем тела наружного объема корпуса:

- перейдите на слой *Модель*;
- вращением (**REVOLVE**) контура *1* вокруг оси Y создайте тело вращения – построен наружный объем вращения корпуса;
- выдавите (**EXTRUDE**) контур *3* на глубину –130;
- еще раз выдавите контур *3*, теперь на глубину 110 – построены две части наружного объема камеры;
- выдавите треугольник *9* в обе стороны на ±7 мм – построены две половины ребра жесткости;
- вращением прямоугольника *5* вокруг горизонтальной оси, проходящей через точку *C*, и вращением прямоугольника *7* вокруг оси *BC* создайте два цилиндра – наружные объемы фланцев смотрового и сливного отверстий;
- перенесите начало координат в точку *C*, переместив начало координат вниз на 84 мм;
- **cylinder** / Центр основания 0,0,–150 / Диаметр 136 / Высота 320 – построен наружный объем фланцев для крышек подшипников червяка;
- объедините (**UNION**) созданные тела – получен наружный объем корпуса (см. рис. 20.4, *е*).

Внутренний объем корпуса

На слое *Контуры* постройте контур *2*:

- восстановите ПСК по виду окна с началом в точке *O*;
- **pline** / 0,0 / 75,0 / 75,60 / 100,60 / 100,48 / 118,48 / 108,232 / 75,232 / 75,252 / 120,252 / 120,245 / 150,245 / **A** (Дуга) / 170,265 / **L** (Отрезок / 170,375 / 165,375 / 165,390 / 0,390 / **Cl** – контур 2;
- перенесите начало координат в точку *B* и постройте контур *4*, прямоугольники *6* (22.5×85) и *8* (10×100);
- перейдите на слой *Модель*;
- вращением контура *2* вокруг оси Y создайте тело вращения;
- дважды выдавите контур *4*, первый раз на –120 мм, второй – на 100 мм;
- перенесите начало координат в точку *C*;

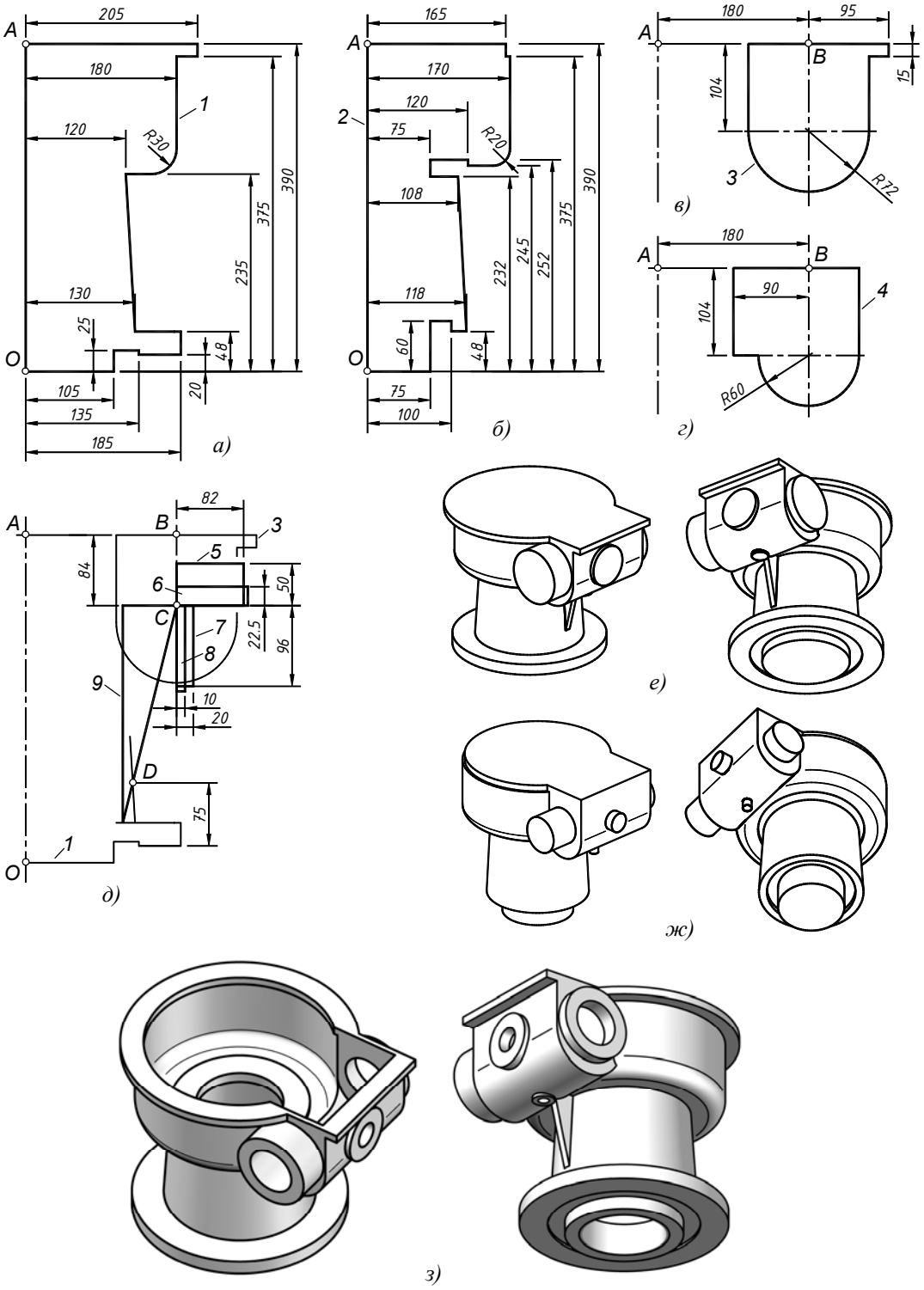


Рис. 20.4. Построение модели корпуса:
а–д – контуры вращения и выдавливания; *е* – наружный объем;
ж – внутренний объем; *з* – результирующий объем

- **`cylinder`** / Центр основания 0,0,–155 / Диаметр 86 / Высота 330 – создан цилиндр горизонтального отверстия ∅86 мм под подшипники червяка;
- вращением прямоугольника *6* создайте цилиндр для смотрового отверстия ∅45 мм;

- вращением прямоугольника *8* вокруг оси *BC* создайте цилиндр сливного отверстия ∅20 мм;
- объедините элементы внутреннего объема – получен суммарный внутренний объем (см. рис. 20.4, *ж*);
- выполните вычитание внутреннего объема из внешнего – построена основа корпуса (см. рис. 20.4, *з*).

Крепежные отверстия и проточки во фланцах

Корпус содержит семь фланцев, в которых выполнены крепежные отверстия и кольцевые проточки (рис. 20.5, *а*). Во фланцах, кроме *Ф1* и *Ф6*, отверстия резьбовые. Во фланцах *Ф1* и *Ф6* отверстия сквозные под болтовые соединения, без резьбы. В них со стороны литой поверхности выполнены цилиндрические углубления под головку болта (цековка).

Резьбовые отверстия в модели выполним упрощенно: без нанесения резьбы, без конического завершения и фаски. Диаметр этих отверстий зададим равным наружному диаметру резьбы болта. Конструктивное изображение резьбовых отверстий со всеми элементами выполним позднее, на чертеже.

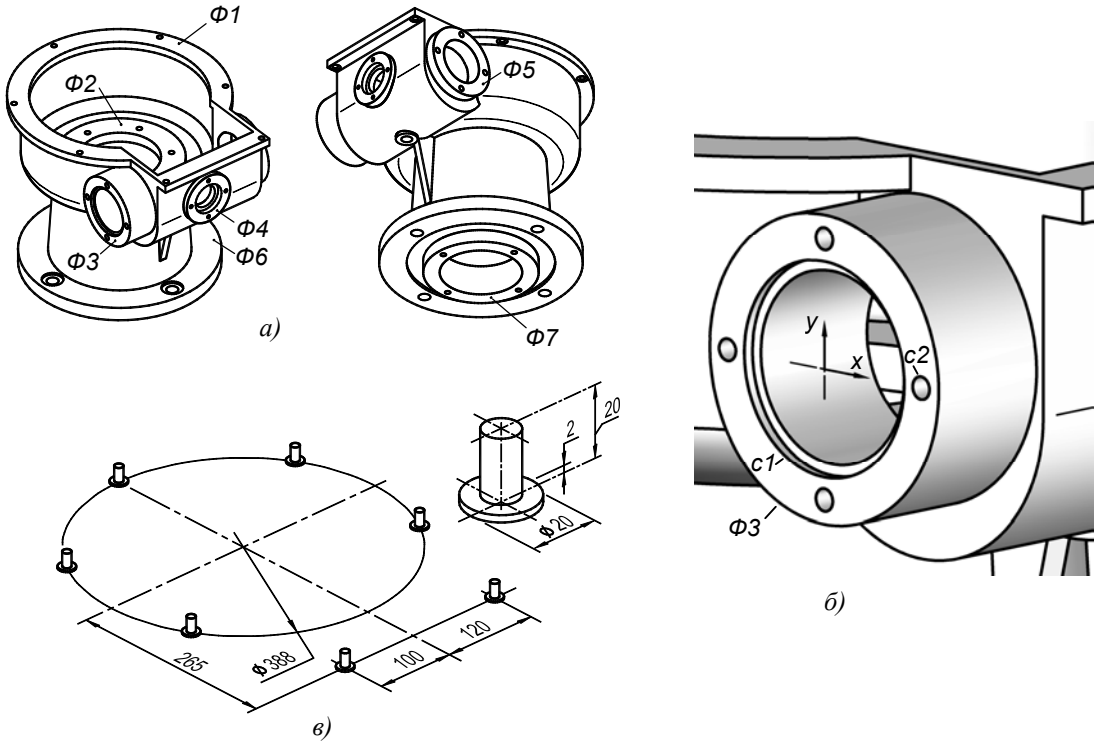


Рис. 20.5. Построение проточек и отверстий во фланцах корпуса:
а – фланцы с отверстиями; *б* – построения для фланца *Ф3*; *в* – для фланца *Ф1*

Построение отверстий и проточек рассмотрим на примере фланца *Ф3* (см. рис. 20.5, *б*). Фланец имеет проточку ∅95 глубиной 5 мм и четыре отверстия ∅10 глубиной 25 мм с центрами на окружности диаметром 114 мм:

- установить ПСК в плоскость фланца, начало – в центре окружности фланца;
- **`circle`** / Центр: 0,0 / Диаметр: 95 – окружность *c1* кольцевой проточки;
- **`circle`** / Центр: 57,0 / 5 – окружность *c2* одного из отверстий;
- **`array`** / создать круговой массив из четырех окружностей *c2*;
- **`presspull`** / указать точку фланца внутри окружности *c1* и вытянуть область внутри окружности на –5;

- **presspull** / указать точку внутри окружности *c2* и вытянуть область на –25;
- повторить вытягивание для каждого отверстия.

При большом количестве крепежных отверстий во фланце рекомендуем строить цилиндры, размножать их круговым массивом и вычитать из тела фланца (см. рис. 20.5, *в*).

- Постройте отверстия и проточки для остальных фланцев корпуса (рис. 20.6).

Модель корпуса (без литейных сопряжений) построена. Размер файла в формате AutoCAD 2007 составляет 160 КБ.

20.3. Построение чертежа корпуса

Для корпусной детали формат и масштаб чертежа, содержание и размещение проекций, как правило, те же, что и для исходного чертежа узла. Поэтому, в соответствии с чертежом узла (см. рис. 20.2), выбираем формат чертежа А2 и масштаб 1:2,5.

Чертеж корпуса (см. рис. 20.6.) в нашем примере должен содержать фронтальный разрез на месте вида спереди, вид сверху, профильный разрез А–А на месте вида слева. Эти изображения получим по 3D модели с применением команд **SECTIONPLANE** и **FLATSHOT**. В полной мере возможно использование "старых" команд **SOLVIEW** и **SOLDRAW**. Кроме указанных изображений потребуются выносные элементы В–З для показа резьбовых отверстий и наложенное сечение ребра жесткости. Эти изображения получим в 2D-варианте, то есть "дорисуем" их на чертеже. Литейные радиусы также построим только на чертеже. На 3D модели литейные сопряжения выполним позднее и в том случае, если они требуются по условию задания, например, для фотореалистичности или прочностных расчетов. Компоновку чертежа, простановку размеров и завершение будем выполнять на листе.

Убедимся, что на экране положение модели такое, как на чертеже узла (например, в окне вида сверху изображение как на виде сверху создаваемого чертежа), иначе модель поворачиваем (**ROTATE**). Проверяем, что размеры модели являются истинными, иначе модель масштабируем до истинных размеров. Необходимость масштабирования возникает в том случае, если исходный чертеж узла был в масштабе, отличающемся от 1:1 и измерения проводились по этому чертежу.

Последовательность построения чертежа корпуса следующая:

- в окне вида сверху командой **FLATSHOT** строим изображение вида сверху и выносим его на лист;
- в том же окне командой **SECTIONPLANE** строим объект-сечение *ОС1* для фронтального разреза (рис. 20.7, *а*). Выполняем настройки 2D блока, строим этот блок и выносим его на лист;
- в окне вида спереди строим объект-сечение *ОС2* для профильного разреза (см. рис. 20.7, *б*). Изображение разреза также выносим на лист.

Дальнейшая работа над чертежом продолжается на листе:

- удаляем штриховку ребра жесткости на фронтальном разрезе. Для этого восстанавливаем контур ребра жесткости и заново выполняем штриховку сечения уже без ребра;
- масштабируем (**SCALE**) изображения. Коэффициент масштабирования для фронтального и профильного разрезов в соответствии с масштабом 1:2.5 устанавливаем 0.4. Для вида сверху (масштаб 1:4) – коэффициент 0.25;
- загружаем рамку и основную надпись формата А2 и размещаем подготовленные изображения с соблюдением проекционной связи;
- строим выносные элементы. За основу берем фрагменты созданных изображений, масштабируем их и добавляем конструктивные элементы. Для резьбовых отверстий добавляем изображение резьбы, фаски, конус "из-под сверла".

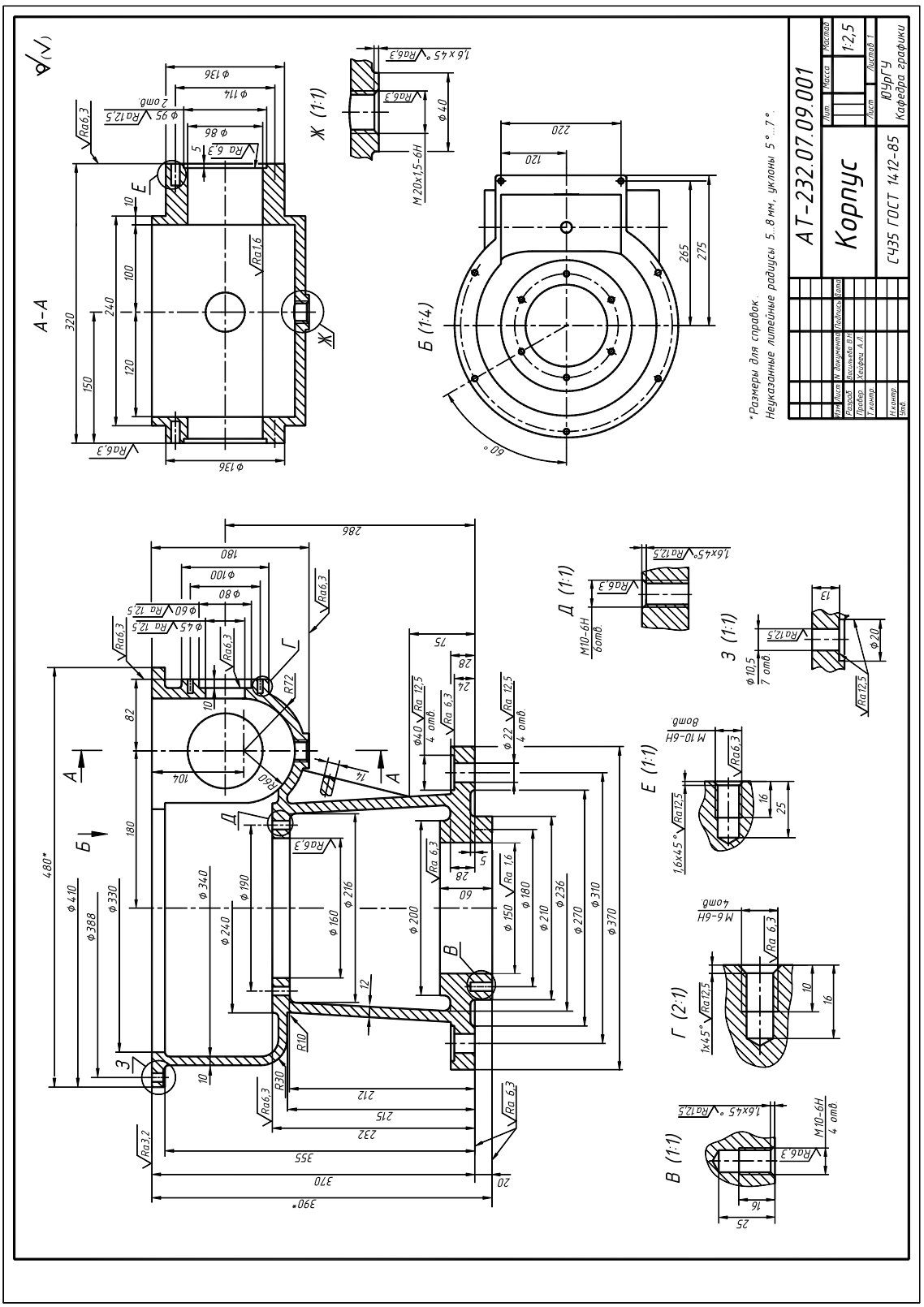


Рис. 20.6. Чертеж корпуса

Для простановки размеров создаем четыре размерных стиля, по количеству масштабов изображений. Стили отличаются величиной линейного масштаба, который назначается как величина, обратная масштабу изображения. Так, для простановки размеров на разрезах, выполненных в масштабе 1:2.5, линейный масштаб размерного стиля нужно задать 2.5:

- создайте размерные стили с линейными масштабами 0.5, 1, 2.5, 4;
- выполните простановку размеров;
- окончательно завершите чертеж корпуса, придав линиям необходимую толщину и тип, заполнив основную надпись. Если требуется, проставьте знаки шероховатости.

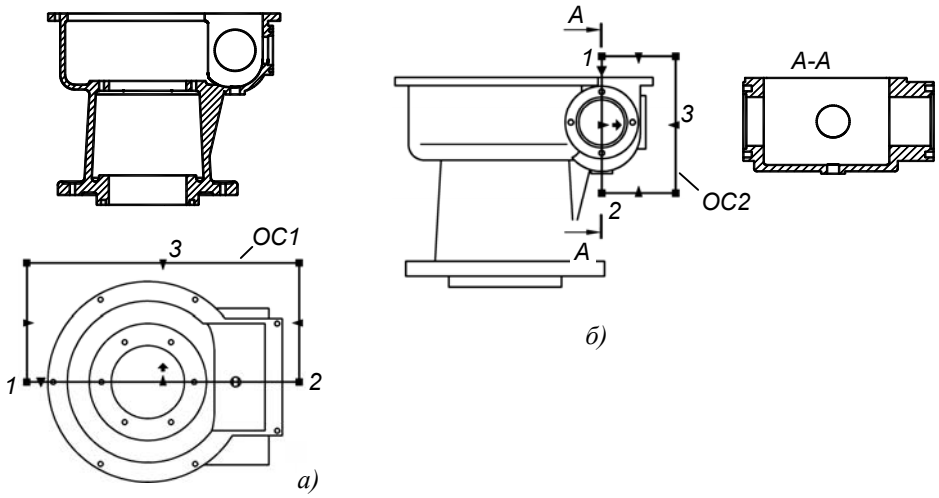


Рис. 20.7. Построение разрезов корпуса командой **SECTIONPLANE**:
а – фронтальный разрез; *б* – профильный разрез

20.4. Модель и чертеж крышки

Крышка редуктора (см. 20.1, рис. 20.2, поз. *5*,) состоит (рис. 20.8, *а*) из пластины *1*, ступенчатого фланца *2* под подшипник вала, фланца *3* заливного отверстия, четырех треугольных ребер жесткости *4*, центровочного кольца *5* и углубления *6*. По периметру крышки выполнены семь крепежных отверстий с цековкой под болты. Во фланце *2* выполнены шесть резьбовых отверстий.

Строим пластину, фланцы и кольцо. Поскольку контур крышки повторяет контур верхней грани корпуса, к которой крышка прилегает, сделаем отпечаток этой грани и возьмем его за основу. Это существенно сократит объем построений и повысит их точность:

- создать файл с настройками для пространственных построений;
- создать слои *Контур 1*, *Контур 2*, *Модель*;
- в файле корпуса сделайте отпечаток его верхней грани, через буфер памяти перегрузите отпечаток в файл крышки, поместив на слой *Контур 1*. Отпечаток можно сделать командой **SECTION** или **SOLIDEDIT** / **Face** / **Copy** / (см. рис. 20.8, *б*);
- переносим начало координат ПСК в точку *О*;
- **explode** – расчленить контур. На слое *Контур 1* оставить наружный контур и окружности крепежных отверстий. Внутренний контур перенести на слой *Контур 2* и заморозить;
- **presspull** – вытянуть область наружного контура вверх на 12 мм – получена пластина *1* с крепежными отверстиями;

- переместить пластину на слой *Модель*;
- разморозить слой *Контур 2*. На этом слое (см. рис. 20.8, *в*) по дуге внутреннего контура построить окружность *7*. Построить окружность *8* диаметром 295 мм, концентричную предыдущей *7*;
- **`presspull`** – указать точку между окружностями *7*, *8* и вытянуть кольцо вниз на –14 мм;
- переместить кольцо на слой *Модель*;
- **`cylinder`** / **`Центр:`** 0,0 / **`Диаметр`**: 150 / **`Высота:`** 42 – построен нижний цилиндр фланца *2*;

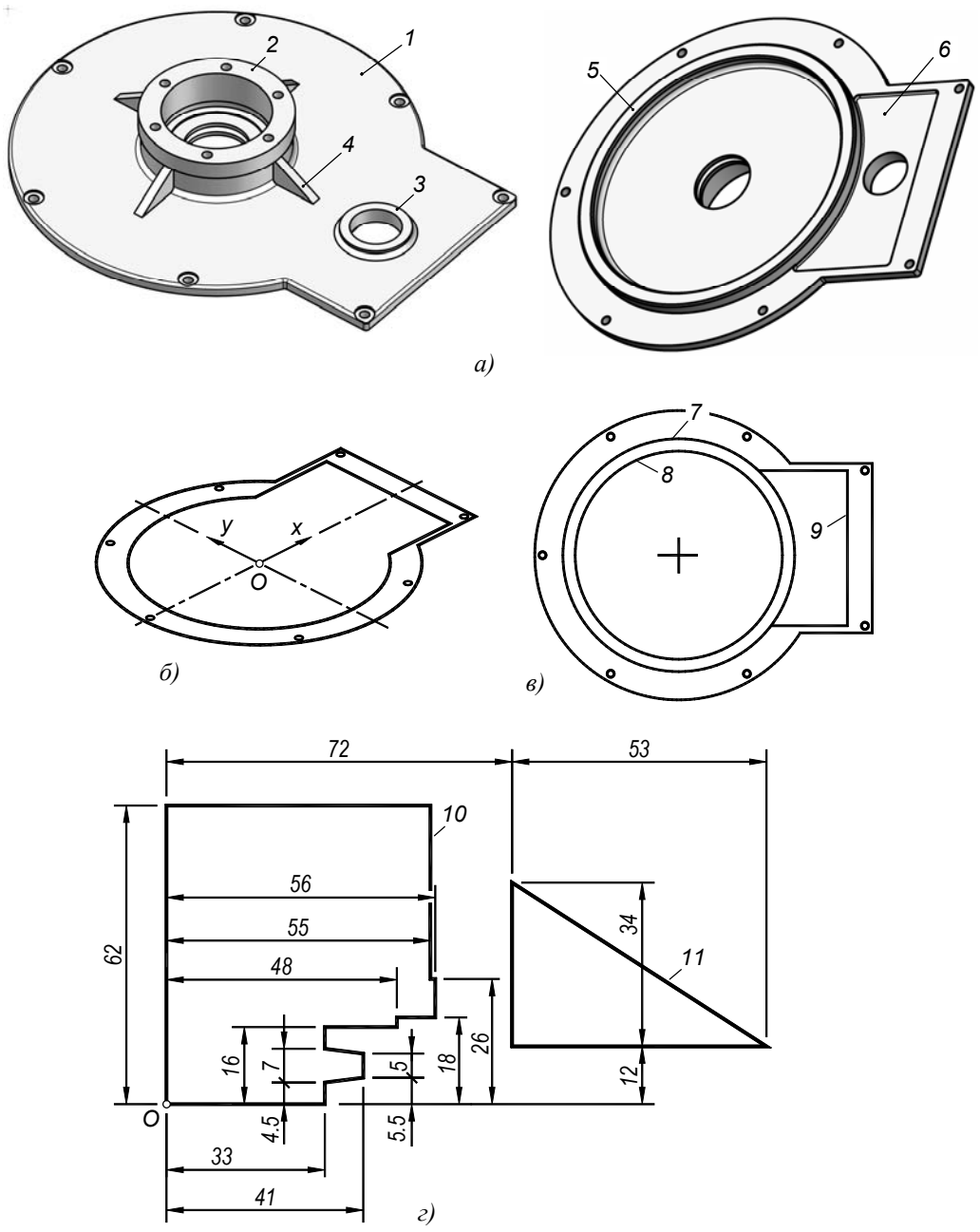


Рис. 20.8. Построение крышки редуктора:
а – анализ формы; *б, в* – контуры пластины;
г – контуры горловины и ребра жесткости

- **cylinder** / 0,0,42 / 160 / 20 – построен верхний цилиндр фланца *2*;
- **cylinder** / 200,0 / 72 / 20 – построен наружный цилиндр фланца *3*;
- **cylinder** / 200,0 / 52 / 25 – построен цилиндр отверстия во фланце *3*;
- **union** – объединить пластину и три наружных цилиндра – построен наружный объем крышки (без ребер);
- в окне аксонометрии установить вид на пластину снизу, должны быть видны окружности *7* и контур *9*;
- **presspull** – указать точку внутри контура *9* и вытянуть выделенную область на –3 мм – в пластине выполнено углубление *6*;
- **subtract** / вычесть цилиндр отверстия во фланце *3*.

Строим центральное отверстие во фланце *2*. В окне вида спереди создадим контур *10* ступенчатого отверстия (см. рис. 20.8, *г*):

- перейти в окно вида спереди. Установить ПСК по виду с началом в точке *О*;
- **pline** / 0,0 / 33,0 / 33,4.5 / 41,5.5 / @0,5 / 33,11.5 / 33,16 / 48,16 / 48,18 / 56,18 / 56,26 / 55,26 / 55,62 / 0,62 / **Cl**;
- **revolve** – построить тело вращения контура *10* вокруг оси Y и вычесть его из наружного объема крышки.

Строим ребра жесткости:

- **pline** / 72,12 / @53,0 / 72,46 / **Cl** – создан треугольный контур *11* ребра жесткости;
- **extrude** – дважды выдавить треугольник *11* в обе стороны на 5 мм;
- круговым массивом построить четыре ребра жесткости и объединить их с крышкой.

Строим резьбовые отверстия во фланце *2* и цековку отверстий в плите. Методика построений та же, что для корпуса (см. выше, рис. 20.5):

- на фланце *2* постройте шесть отверстий: диаметр отверстий 10, глубина 25, центры отверстий расположены на окружности диаметром 130 мм;
- на поверхности плиты концентрично с крепежными отверстиями постройте цилиндрические углубления (цековки) под гайки. Диаметр цековок 20 мм, глубина 2 мм.

Чертеж крышки (рис. 20.9) содержит вид сверху, полный фронтальный разрез А-А, вид снизу Б. Имеются четыре выносных элемента. Элемент В поясняет форму канавки под сальниковое уплотнение; элемент Г – резьбовое отверстие; элемент Д – канавка для выхода шлифовального круга, Е – отверстие с цековкой для крепления крышки к корпусу. Изображения выполнены в различных масштабах на формате А3. Чертеж получен по 3D технологии. Последовательность выполнения та же, что для чертежа корпуса редуктора (см. выше разд. 20.3).

Завершением 3D-деталирования является построение аксонометрии выполненных моделей (рис. 20.10) . Эта работа выполняется на формате А3. Лист содержит наглядные изображения моделей в разрезе. Техника построения аксонометрии приведена в разд. 7…10.

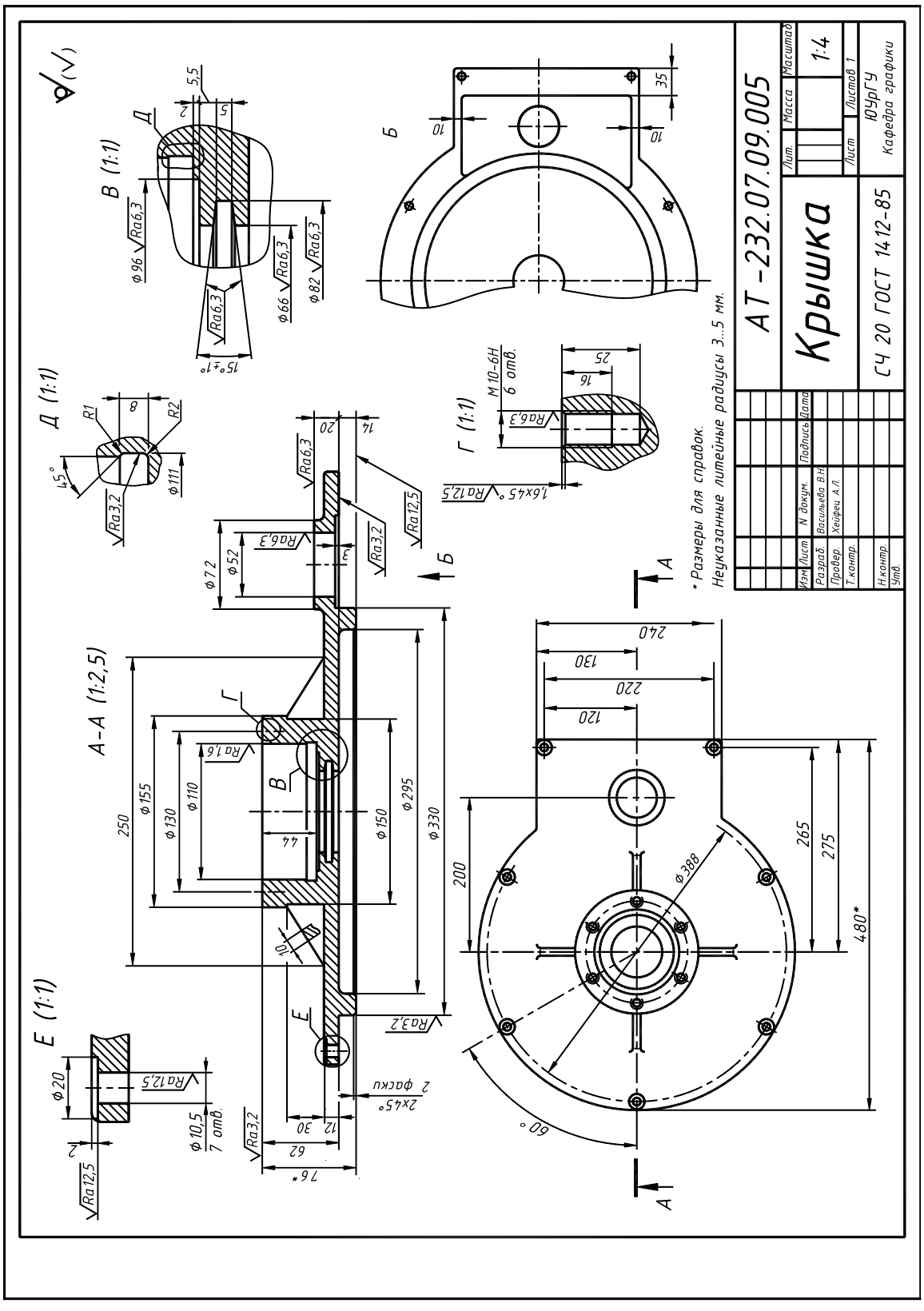


Рис. 20.9. Рабочий чертеж крышки корпуса червячного редуктора

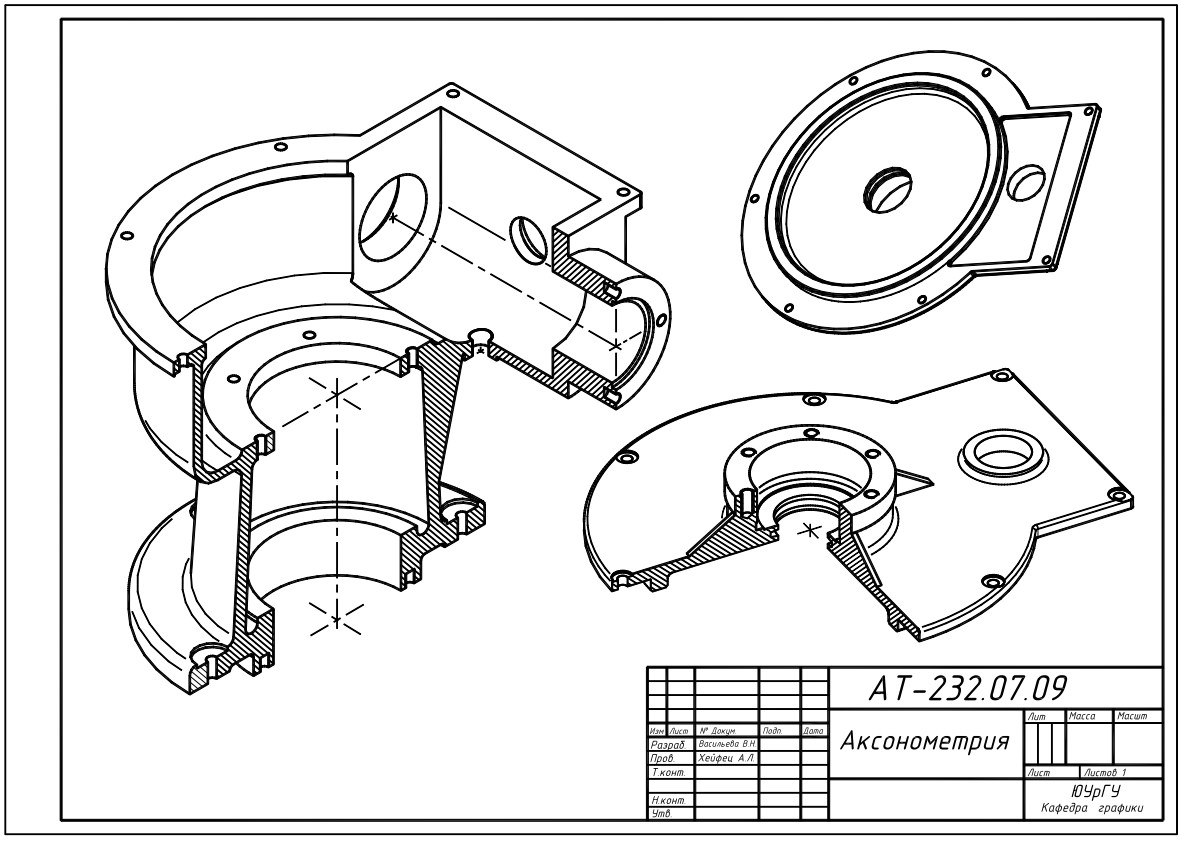


Рис. 20.10. Аксонометрия 3D-моделей корпуса и крышки редуктора

Глава 21

Червячный редуктор. Сборка сложного узла

В главе рассмотрено построение моделей всех деталей, входящих в червячный редуктор. Корпус и крышка редуктора уже построены (см. гл. 20). Параллельно с созданием моделей ведется построение объемной сборки узла.

21.1. Рекомендации по построению 3D-сборки сложных узлов

Приступая к построению объемной сборки сложного узла повторите общие рекомендации по выполнению сборок (см. разд. 19.8). Все они в полной мере применимы к сложным сборкам и будут отражены в нашем примере червячного редуктора. В дополнение к ним необходимо учесть следующее.

В реальном проектировании создание объемной сборки выполняется одновременно с конструированием узла. Так, в червячном редукторе первоначально рассчитывают червячную передачу, конструируют подшипниковые узлы. Затем разрабатывают корпус, в котором размещают детали узла.

В учебном задании по кафедре графики разработку конструкции и расчет узла выполнять не нужно, поскольку конструкция отражена на исходном чертеже узла. Задание состоит в том, что по размерам, снятым с исходного чертежа, следует построить модель корпуса и наполнять его моделями деталей по мере их создания. В процессе сборки согласовать модели между собой, компенсируя неточности измерений исходного чертежа.

Последовательность создания моделей – от главного к второстепенному, с группировкой по функциональным узлам (подузлам). Созданный подузел следует сразу установить в общую сборку, не дожидаясь, пока будут созданы модели всех деталей узла. Такая поэтапная сборка позволит на ранней стадии выявить и устранить допущенные ошибки в моделях. Кроме того, наглядно виден нарастающий конечный результат – собранный узел. Желательно, чтобы последовательность создания подузлов соответствовала последовательности сборки реального узла.

В нашем примере первоначально строим подузлы: червячную передачу, вал колеса в сборе, затем опору этого вала в сборе, верхний и нижний подшипниковые узлы вала колеса, далее строим подшипниковые узлы червячного вала. В завершение – модели пробки, смотрового окна и т.д. Создаваемые подузлы сразу загружаем в ранее созданный корпус, формируя общую сборку редуктора.

Все модели следует первоначально строить в упрощенном варианте: зубчатые колеса и червяки – в виде цилиндров, без зубьев, подшипники также в виде цилиндров, крепеж – без резьбы. По упрощенной сборке выполняется сборочный чертеж узла и рабочие чертежи его деталей.

На завершающем этапе для получения наглядных изображений упрощенные модели могут быть заменены на реалистичные. Придание реалистичности обычно требует больших трудозатрат и ресурсов компьютера.

По возможности следует создавать модели “по месту”, то есть копированием граней ранее созданных моделей, к которым примыкает разрабатываемая модель. Модели следует размещать на “своих” слоях. Имя слоя следует начинать с номера позиции детали согласно узловому чертежу, например, *1_Корпус*, *2_Опора*.

При построении контуров вращения или выдавливания моделей рекомендуем “пропускать” сопряжения и фаски на деталях. Их проще выполнить после создания 3D моделей путем их редактирования известными командами **CHAMFER** и **FILLET**. Кроме того, фаски и сопряжения, добавляя множество линий, затрудняют обработку изображений узла в процессе его сборки. По-

этому целесообразно собирать узел из моделей без фасок и сопряжений и выполнять их после создания сборки.

21.2. Червячная передача

Передача содержит зубчатое колесо и червяк. Колесо состоит из зубчатого венца (см. рис. 20.2, поз. *3*) и ступицы (поз. *4*). Венец напрессован на ступицу и дополнительно закреплен тремя винтами (поз. *33*). Червяк (поз. *21*) выполнен воедино с валом. На валу имеется шпоночный паз для призматической шпонки (поз. *41*).

Полный расчет червячной передачи приведен в разд. 16.1. Сейчас строим упрощенные модели как тела вращения. Размеры передачи берем из табл. 16.1. Остальные размеры – с исходного узлового чертежа, ранее построенной модели корпуса и чертежа этого корпуса (см. рис. 20.2, 20.6).

Строим контуры вращения ступицы и венца (рис. 21.1, *а*):

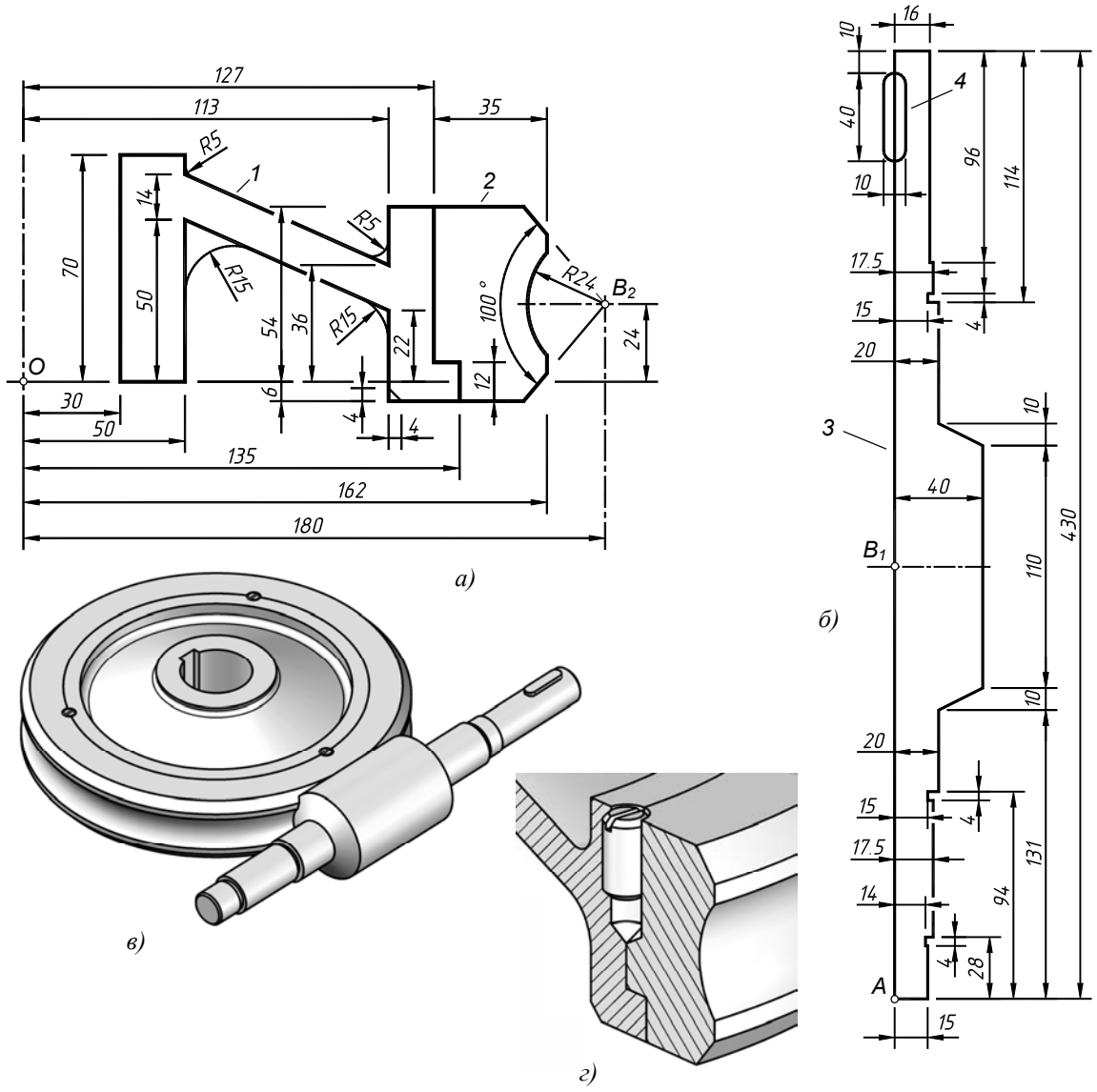


Рис. 21.1. Червячная передача:
а – контуры ступицы и венца зубчатого колеса; *б* – контур червяка и шпонки;
в – упрощенная модель передачи; *г* – установочный винт

- перейдите в окно вида спереди;
- установить ПСК по виду. Принимаем, что точка *O* – начало координат;
- установите слой *Контуры*;
- **pline** / 30,0 / 50,0 / 50,50 / 113,22 / 113,-6 / 135,-6 / 135,6 / 127,6 / 127,54 / 113,54 / 113,36 / 50,64 / 50,70 / 30,70 / **cl** – построен контур *1* ступицы;
- по размерам (см. рис. 21.1, *а*) постройте контур *2* венца.

Переместим контуры так, чтобы точка B_2 оказалась в плоскости XY МСК:
- **move** / указать контуры *1*, *2* // 0,–24.

Создаем тела вращения:
- перейти на слой *Модель*;
- вращением (**REVOLVE**) контуров *1, 2* создать тело ступицы и венца (см. рис. 21.1, *в*).

Контур *3* червяка и вала (см. рис. 21.1, *б*) строим в горизонтальной плоскости XY МСК. Для совмещения с колесом необходимо, чтобы точка B_1 контура червяка совпала с точкой B_2 контура венца:
- перейти в окно вида сверху, вернуться на слой *Контуры*;
- **ucs** / **w**;
- **ucs** / **or** / 180,–196 – начало координат перенесено в точку *A*;
- **pline** / 0,0 / 15,0 / 15,24 / 14,24 / 14,28 / 17.5,28 / 17.5,90 / 15,90 / 15,94 / 20,94 / 20,131 / 40,141 / 40,251 / 20,261 / 20,316 / 15,316 / 15,320 / 17.5,320 / 17.5,334 / 16,334 / 16,430 / 0,430 / **cl** – контур *3* вала червяка;
- **rectang** / **Сопряжение** 5 / –5,380 / @10,40 – контур *4* шпоночного паза;
- вращением контура *3* вокруг оси вала создать тело червяка и вала;
- в ступице выполнить сопряжения (**FILLET**) R5 и R15 и фаску (**CHAMFER**) 4×45° (см. рис. 21.1, *а*);
- у вала по торцам снять две фаски 1.6×45°.

Шпоночный паз в ступице (см. рис. 21.1, *в*):
- в окне аксонометрии установить ПСК в плоскость верхнего фланца ступицы с началом в его центре;
- **rectang** / 0,–9 / –34.4,9 – прямоугольник с размерами шпоночного паза;
- выдавить (**PRESSPULL**, **EXTRUDE**) контур паза на 80 мм и вычесть (**SUBTRACT**) тело паза из ступицы.

Модель установочного винта М12×22 ГОСТ 1477–93 (см. рис. 21.1, *г*) строим (**CYLINDER**) в окне аксонометрии на свободном месте: диаметр цилиндра 12 мм высота 22. Затем (**CHAMFER**) на цилиндре выполняем две фаски 1.6×45°. Шлиц “под отвертку” шириной 2 глубиной 3 выполнен вычитанием призмы. Далее на окружности сопряжения венца и ступицы вычитанием дополнительных цилиндров выполняем три отверстия ∅12 глубиной 32 (добавление 10 мм на запас резьбы и недорез) и устанавливаем (**COPY**) в них винты.

Шпоночный паз и шпонка на валу червяка. Шпонка имеет высоту 8 мм. Глубина паза равна 5 мм [2, 9]. Радиус вала в месте установки шпонки равен 16 мм. Поэтому расстояние от шпонки до оси вала равно 11 мм. Строим шпоночный паз с установленной в нем шпонкой:
- в окне вида сверху, на слое *Модель* выдавить контур *4* на высоту 8 мм – построена шпонка;
- перенести (**MOVE**) шпонку вверх на (0,0,11);
- сделайте копию шпонки, совмещенную с оригиналом. Создайте шпоночный паз, выполнив вычитание шпонки из вала.

- В завершение разместите созданные модели на слоях: *3_Венец, 4_Ступица, 21_Червяк, 33-_Винт установочный, 41_Шпонка 10_ 8_ 40*. Первая цифра в имени слоя – это номер позиции детали по чертежу узла.

21.3. Вал колеса в сборе

Вал (см. рис. 20.2, поз. *9*) формируется как тело вращения контура *1* (рис. 21.2, *а*). Вал имеет канавку для выхода резьбы и еще три канавки для выхода шлифовального круга. Имеются два шпоночных паза. Паз *2* под шпонку поз. *42*. Паз *3* под шпонку поз. *43*. Выполнен также паз *4* под выступ стопорной шайбы поз. *40*.

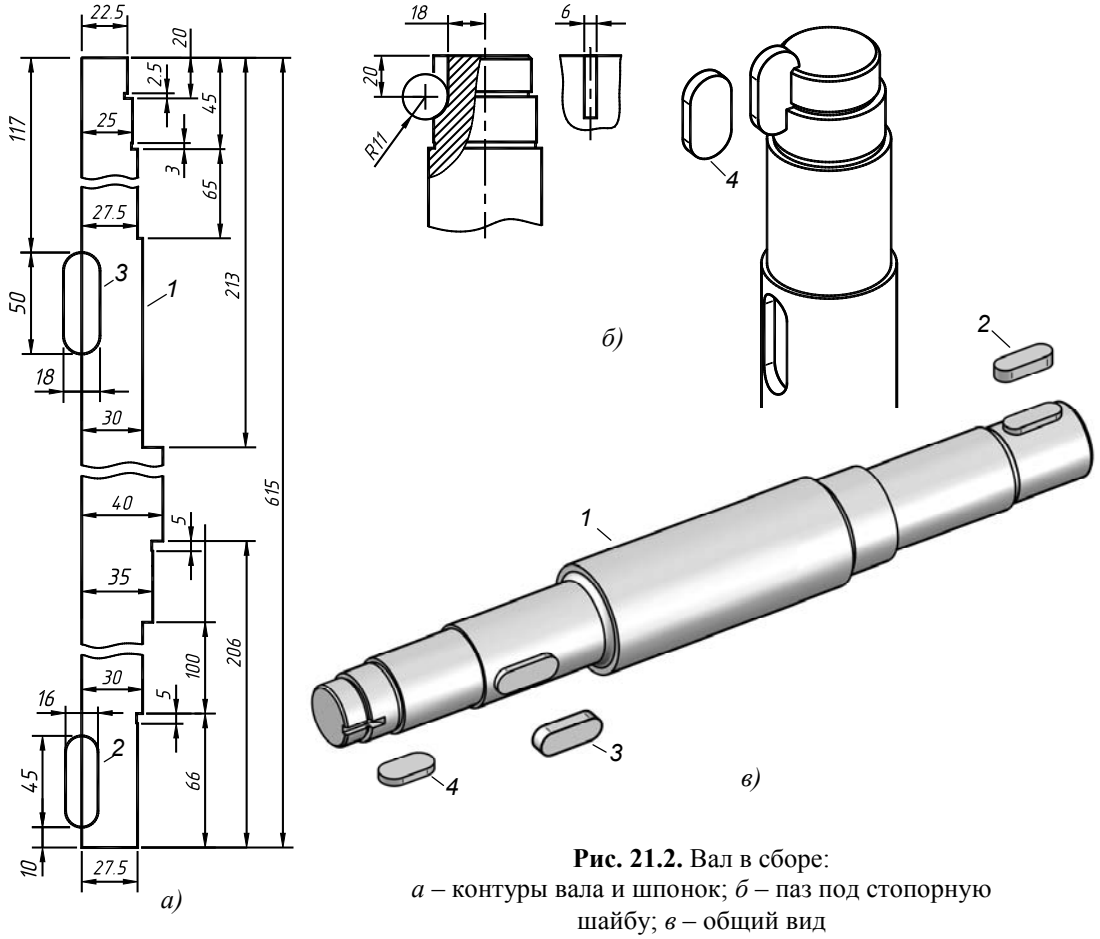


Рис. 21.2. Вал в сборе:
а – контуры вала и шпонок; *б* – паз под стопорную шайбу; *в* – общий вид

Строим вал вместе с установленными в него шпонками:

- в окне вида спереди постройте контур *1*. Глубину канавки, имеющей ширину 2.5, задайте равной 1.5. Глубину остальных трех канавок задайте 0.5 мм;
- вращением контура *1* создайте тело вала;
- постройте шпоночные пазы *2* и *3* с установленными в них шпонками. Паз *2* имеет глубину 7 мм при высоте шпонки 11 мм [2, 9]. Паз *3* имеет глубину 6 мм при высоте шпонки 10 мм. Построение пазов и шпонок – см. выше, разд. 21.2;
- для построения паза под стопорную шайбу (см. рис. 21.2, *б*) создайте тело, воспроизводящее движение дисковой фрезы, и выполните его вычитание из тела вала (см. также рис. 21.7, *б,* 22.10, *е*).

В завершение (см. рис. 21.2, *в*) на торцах вала необходимо снять фаски 1.6×45° и выполнить сопряжение R5 при переходе диаметра с ∅60 на ∅80. Разместите модели на слоях: *9_Вал колеса*, *42_Шпонка 16_10_45*, *43_Шпонка 18_11_50*.

21.4. Опора в сборе

Опора (см. рис. 20.2, поз. *2*) служит для установки подшипника (поз. *45*) вала червячного колеса. В опоре имеется трапециевидная канавка для установки уплотнительного сальникового войлочного кольца (поз. *51*). Во фланце опоры выполнены отверстия для крепления ее к корпусу редуктора. Крепление осуществляется шестью винтами с пружинными шайбами (поз. *34*, *54*).

Опору выполним в сборе с указанными подшипником, уплотнительным кольцом, винтами и шайбами (рис. 21.3). Подшипник шариковый упорный однорядный (Шарикоподшипник 8212

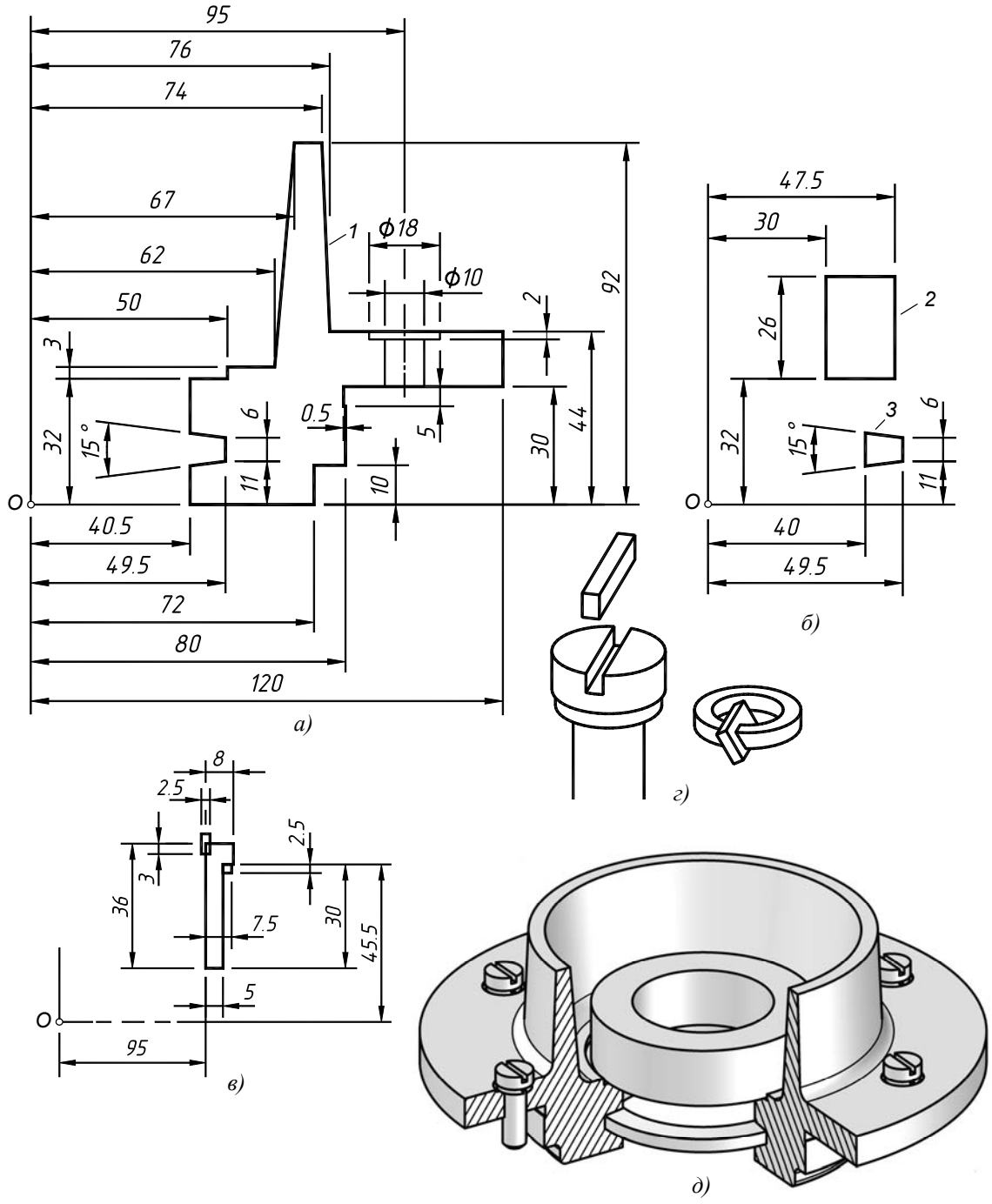


Рис. 21.3. Опора в сборе:
а – контур опоры; *б* – контуры подшипника и кольца; *в, г* – построение винта и шайбы; *д* – общий вид

ГОСТ 7872-89, см. рис. 22.7, *а*). Винты М10 с цилиндрической головкой по ГОСТ 1491-80. Длина винтов 30 мм. Размеры стандартных изделий и канавки – см. [2, 9]:

- в окне вида спереди постройте контур *1* опоры (см. рис. 21.3, *а*), контур *2* подшипника и контур *3* уплотнительного кольца (рис. 21.3, *б*). Вращением вокруг общей оси, проходящей через точку *О*, создайте тело опоры, кольца и упрощенную модель подшипника в виде цилиндра с отверстием (см. рис. 21.3, *д*). Позднее подшипник можно будет заменить на его реалистичную модель;
- во фланце опоры выполните шесть сквозных отверстий ∅10 под винты крепления. Отверстия равномерно расположены на окружности ∅ 190. Со стороны головки винтов выполните цековки – цилиндрические углубления ∅18 глубиной 1…2 мм. О построении отверстий с цековками см. рис. 20.5, *в*;
- создайте контуры (см. рис. 21.3, *в*), вращением и вытягиванием которых постройте тело винта и шайбы (см. рис. 21.3, *г*). Наклонный паз в шайбе получите вычитанием призмы толщиной 1.5 мм, предварительно наклоненной на 30° (см. также разд. 12.1). Винты и шайбы размножьте круговым массивом (см. рис. 21.3, *д*);
- модели поместите на слои: *9_Опора*; *34_Винт М10*; *45_Подшипник*; *51_Кольцо уплотнительное*; *54_Шайба*.

21.5. Подшипниковый узел верхний

Приступим к построению верхнего подшипникового узла вала червячного колеса. В него входят: подшипник (см. рис. 20.2, поз. *44*), гайка (поз. *38*) со стопорной многолапчатой шайбой (поз. *40*), крышка (поз. *52*) с прокладкой (поз. *7*), втулка распорная (поз. *6*), уплотнительное кольцо (поз. *50*) и кольцо компенсирующее (поз. *11*). Строим модели указанных деталей.

Гайка шлицевая в сборе с шайбой стопорной

Гайка круглая шлицевая по ГОСТ 11871-88 (см. рис. 20.2, поз. *38*) служит для регулировки и стопорения вала колеса в осевом направлении. По наружной поверхности гайки выполнены четыре шлица под ключ. Параметры гайки определяются диаметром ее резьбы М45×1,5 [2, 9]:

- в окне вида сверху, в МСК, постройте контур гайки и выдавите его на 5 мм (рис. 21.4, *а*). Для снятия конической фаски постройте вспомогательный усеченный конус с диаметром верхнего основания 52 мм и углом при вершине 60° (см. также рис. 12.1 и рис. 19.6).

Стопорная многолапчатая шайба (Шайба 45 ГОСТ 11872-89, см. рис. 20.2, поз. *40*) предотвращает раскручивание шлицевой гайки. Стопорение осуществляется за счет того, что шип шайбы входит в паз вала, а одна из лапок отгибается и заходит в шлиц гайки.

Размеры шайбы определяются диаметром резьбы гайки [2, 9]. Шайба изготовляется тонколистовой штамповкой. Для выполняемой шайбы (резьба М45) толщина листа 1.6 мм.

Модель шайбы получим, воспроизводя технологию штамповки. Создадим пуансон, который при штамповке вдавливает лист в матрицу. С поверхности пуансона снимем оболочку толщиной 1.6. Модель строим для шайбы в рабочем положении, когда она прижата к конической поверхности гайки с отогнутой лапкой:

- в окне вида сверху, в МСК, постройте контур пуансона (рис. 21.4, *б*) и выдавите его на 5 мм вверх (см. рис. 21.4, *в*).

Для придания наклона лапкам выступы пуансона необходимо срезать под углом 30°:

- **`ucs`** / **`3`** / укажите с объектными привязками точки *1*, *2*, *3* (см. рис. 21.4, *в*);
- **`ucs`** / **`y`** / –30 – ПСК установлена в положение режущей плоскости;
- **`slice`** – срежьте верхнюю часть шлица плоскостью XY;
- повторите срез для всех выступов пуансона (см. рис. 21.4, *г*);
- для воспроизведения радиусов штамповки выполните в пуансоне сопряжения: по ребру *c* радиусом R1.6, по ребру *d* – R0.5.

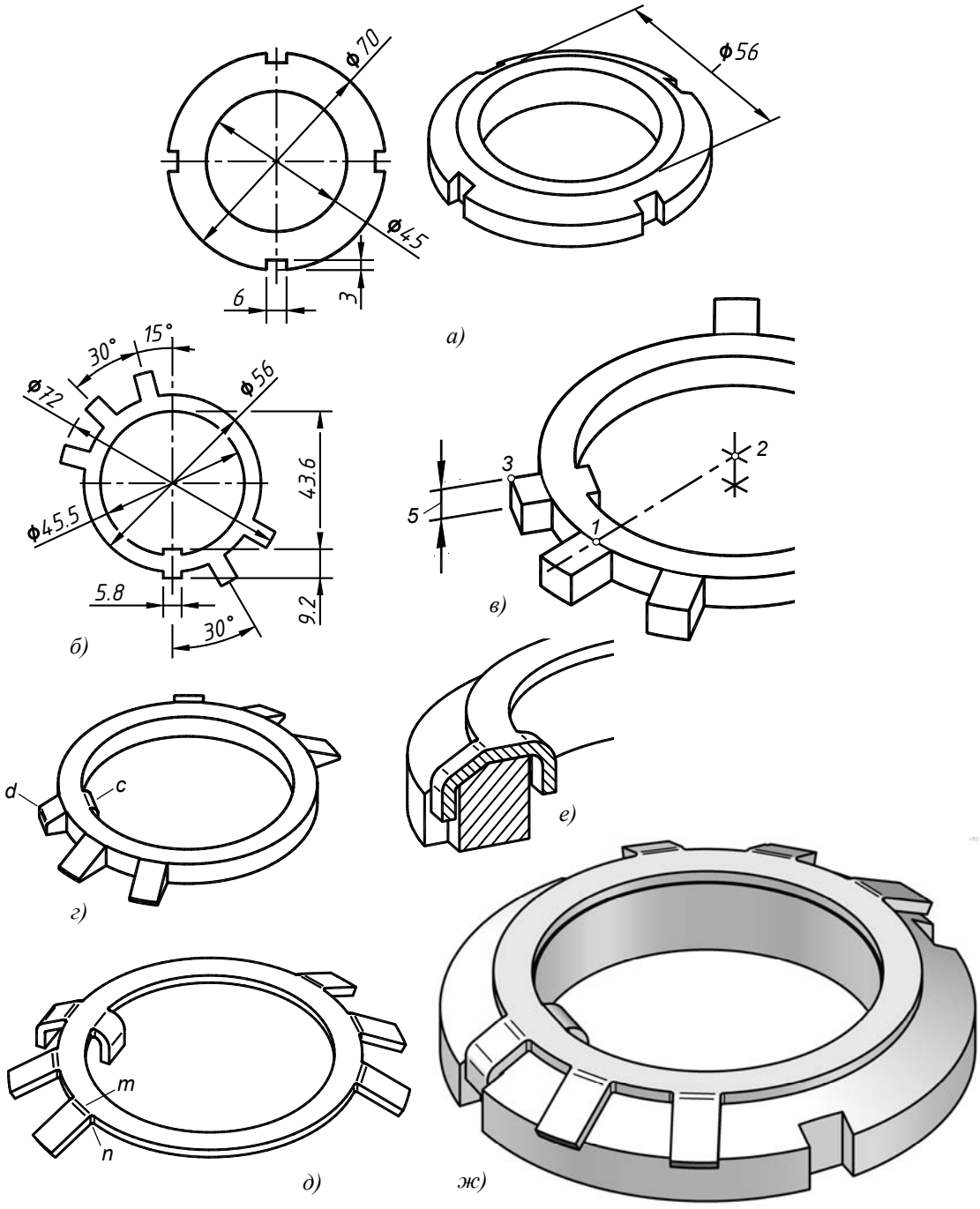


Рис. 21.4. Гайка шлицевая в сборе с шайбой стопорной:
а – построение гайки; *б* – контур шайбы; *в* – задание плоскости гиба лапок; *г* – пуансон;
д – шайба как оболочка; *е* – установка шайбы

Пуансон построен. Строим шайбу как оболочку с рабочей поверхности пуансона (см. рис. 21.4, *д*). Рекомендуем установить режим каркасного отображения. Сначала следует отменить все грани, затем указать нужные. При указании пользоваться орбитой. Если оболочка формируется наружу, как в нашем случае, ее толщина задается отрицательной:

- перейдите в окно аксонометрии;
- **solidedit** / **body** / **shell** (Оболочка) / укажите пуансон / **Remove** (Отменить) : **All** (Все) / **Add** (Добавить) / указать грани пуансона, участвующие в формировании оболочки / –1.6 – толщина оболочки при выдавливании наружу;

- с помощью вспомогательного конуса подрежьте торцы лапок так, чтобы они были перпендикулярны наклонной плоскости лапок;
- выполните сопряжения по ребрам *m* R1.6, по ребрам *n* R0.5 – шайба построена.

В завершение установите шайбу на гайку, совместив центральные точки окружностей. С помощью разреза или сечения проконтролируйте, что отогнутая лапка вошла в шлицевой паз гайки (рис. 21.4, *е*, *ж*).

Остальные детали верхнего подшипникового узла

- Создайте новый файл для оставшихся четырех моделей подшипникового узла и их сборки.

Крышка (Крышка 22-110 ГОСТ 18511-73, см. рис. 20.2, поз. *52*) крепится шестью болтами к крышке редуктора. Она прижимает червячное колесо и вал к среднему фланцу корпуса и герметизирует редуктор.

Для построения крышки в окне вида спереди создаем контур вращения (рис. 21.5. *а*). Крышку получим как тело вращения. Выполняем шесть цилиндрических отверстий с цековками под болты крепления.

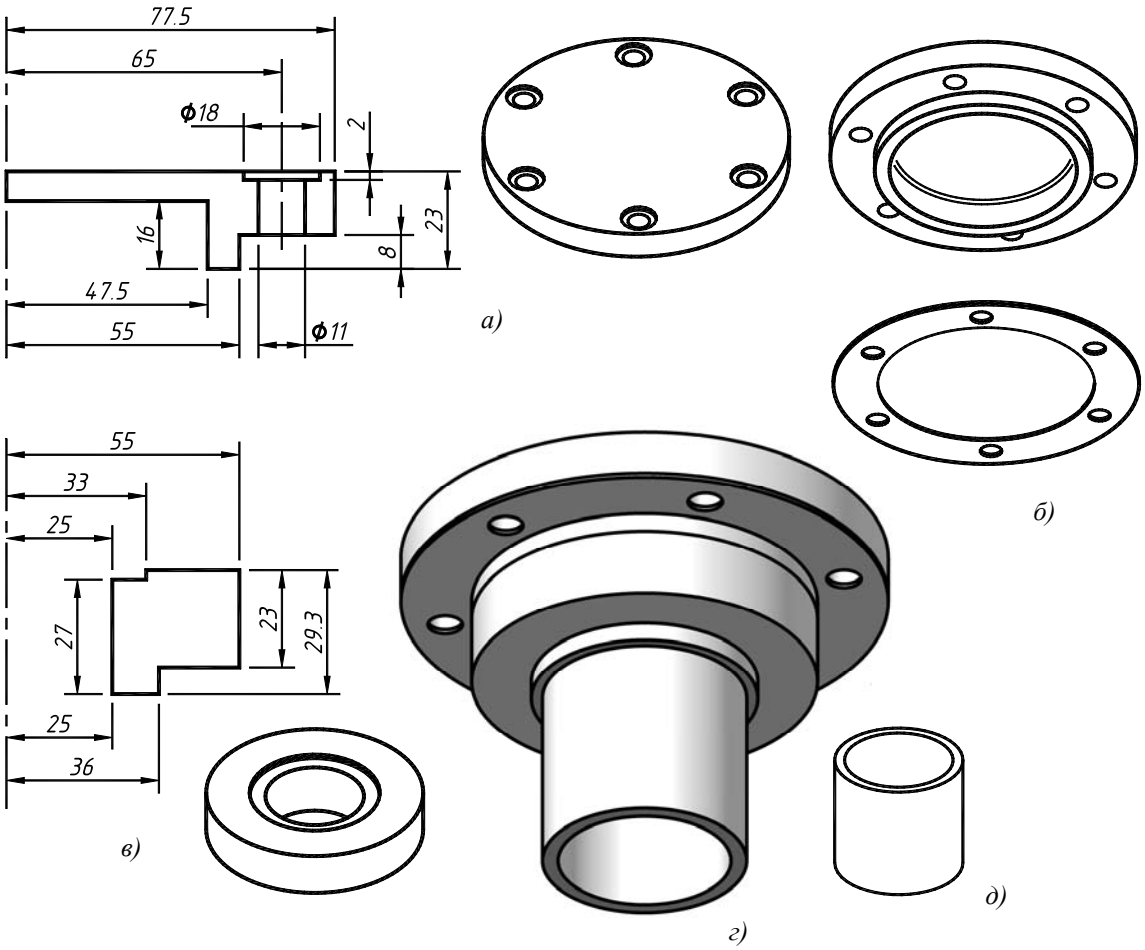


Рис. 21.5. Подшипниковый узел верхний:
а – крышка подшипника; *б* – прокладка; *в* – подшипник;
г – узел в сборе; *д* – втулка распорная

Герметизирующая прокладка (поз. *7*) (см. рис. 21.5, *б*) с отверстиями под болты. Ее создадим по месту, копированием и вытягиванием посадочной грани крышки:

- в окне аксонометрии установите вид снизу на кольцевую посадочную грань крышки;

- **solidedit** / **face** / **copy** / укажите точку на копируемой грани / 0,0 // – построен отпечаток посадочной грани;
- **extrude** / укажите отпечаток грани и выдавите его на 1 мм – это толщина прокладки.

Подшипник роликовый конический однорядный 7310А ГОСТ 27365-87 (см. рис. 20.2, поз. *44* и рис. 21.16) в упрощенном виде – это тело вращения контура (см. рис. 21.5, *в*).

Втулка распорная (см. рис. 20.2, поз. *6*) устанавливается на вал колеса между радиально-упорным роликоподшипником и ступицей и фиксирует их взаимное положение. Это пустотелый цилиндр (см. рис. 21. 5, *д*) с внутренним диаметром 55 мм, толщиной стенки 5 мм, высотой 64 мм. Построение втулки можно выполнить вычитанием внутреннего цилиндра из наружного, вращеним контура поперчного сечения, вытягиванием кольца. Еще один вариант – применение команды **POLYSOLID** (Полителo):

- в горизонтальной плоскости начертите окружность диаметром 55 мм;
- **polysolid** / Высота: 64 / Ширина: 5 / Выравнивание: слева / Объект: укажите окружность – втулка построена.

Сборка подузла. Выполним сборку подшипникового узла для его загрузки в общую сборку. Шлицевая гайка и стопорная шайба в соответствии с методикой их построения уже находятся в необходимом взаимном положении. Их будем загружать совместно, не нарушая взаимного положения.

Остальные модели нужно расположить соосно в следующем порядке сверху вниз (рис. 21.5, *г*): крышка, прокладка, подшипник и втулка. Прокладка уже установлена на крышке. Осталось переместить подшипник и втулку. Выполняя перемещение, применяйте объектную привязку **Center**. Например, для установки подшипника под прокладкой:

- **move** / укажите подшипник / Базовая точка: с привязкой **Cen** укажите верхнюю окружность подшипника / Вторая точка: с той же привязкой укажите нижнюю окружность прокладки.

21.6. Начало сборки

Модели и подузлы, по мере их готовности, следует устанавливать в общую сборку узла, проверяя правильность и согласование моделей, при необходимости корректируя их форму в файле сборки.

Предварительно собранные и проверенные подузлы рекомендуем вставлять в общую сборку как блоки. Цельность блока упрощает его установку. Блоки следует сохранять до окончания всей сборки, выполняя редактирование моделей внутри блока в редакторе блоков. В любой момент блок можно расчленить и перейти к работе с его отдельными моделями.

Устанавливаемые модели рекомендуем первоначально расположить рядом с корпусом, скорректировать их пространственное положение, а затем переместить в корпус (см. разд. 19.8). При достаточном опыте модели можно сразу устанавливать в корпус, предварительно устанавливая согласованные системы координат в файле модели и в файле сборки.

В нашем примере уже создана группа моделей и подузлов, позволяющая начать сборку редуктора. Сборку начнем с установки опоры в корпус редуктора. Далее добавим червячную пару, вставим вал колеса. Затем установим крышку редуктора и загрузим верхний подшипниковый узел.

Установку каждой модели будем проверять активацией псевдоразреза и, при выявлении неточностей формы, редактировать модели по месту.

Подготовка к сборке

- Создайте файл сборки (см. разд. 19.8) и через буфер памяти загрузите в него корпус редуктора.

Положение корпуса должно соответствовать его положению на исходном узловом чертеже. Центр опорной поверхности корпуса следует поместить в начало координат МСК (рис. 21.6):

- перейдите в окно аксонометрии;

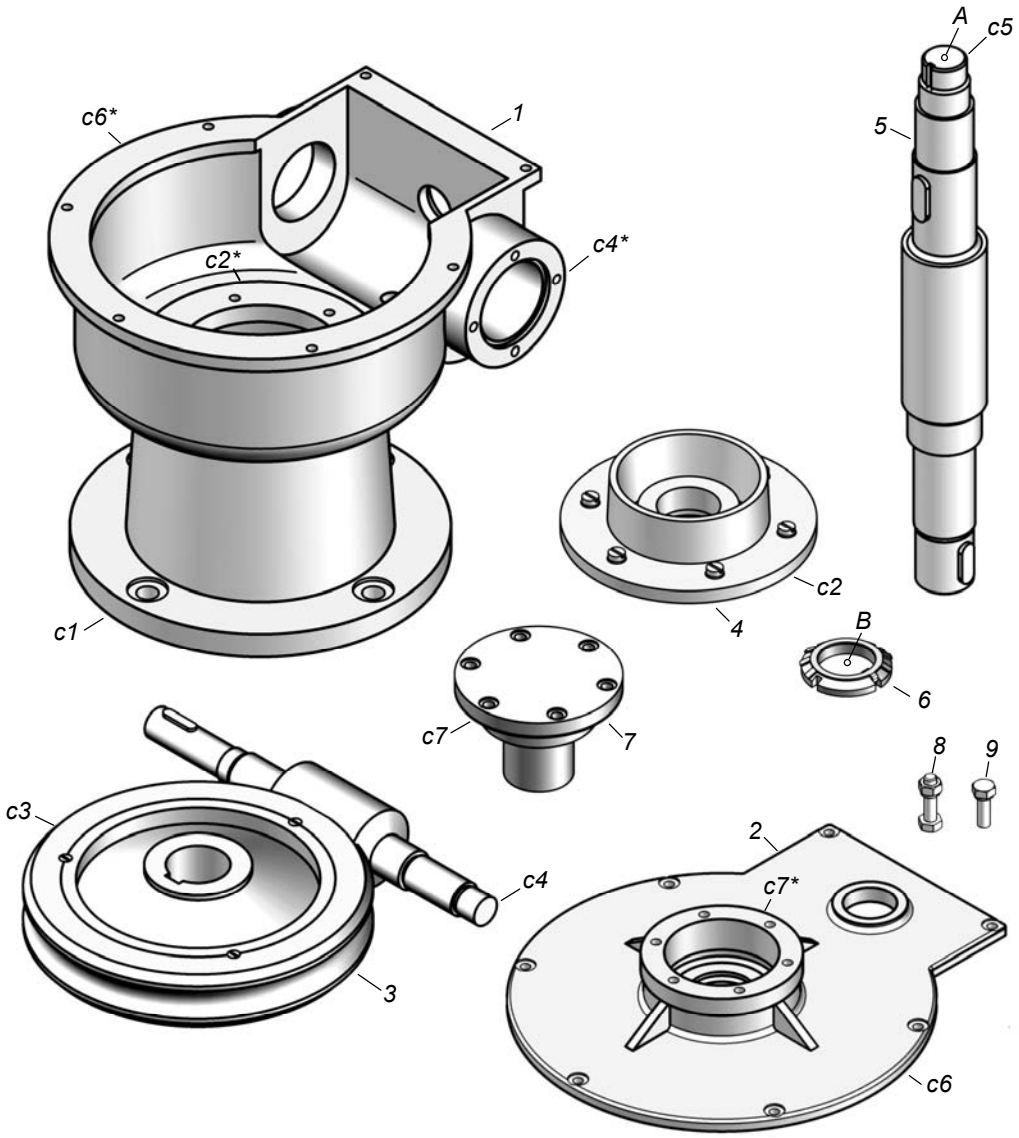


Рис. 21.6. Начало сборки редуктора:
1 – корпус; *2* – крышка редуктора; *3* – червячная пара; *4* – опора в сборе; *5* – вал в сборе; *6* – шлицевая гайка и стопорная шайба в сборе; *7* – верхний подшипниковый узел в сборе; *8, 9* – крепеж в сборе

- установите МСК;
- при необходимости поверните (**ROTATE**) корпус так, чтобы ось редуктора (ось колеса) стала параллельна оси Z, а ось червяка – параллельна оси Y;
- **move** / с привязкой **Cen** укажите окружность *c1* основания корпуса / 0,0 – корпус установлен.

Рекомендуем выполнять сборку с контролем в режиме псевдоразреза.

- на отдельном слое создайте объект-сечение ОС (**SECTIONPLANE**) фронтальной плоскостью. Активируйте псевдоразрез, убедившись в правильности его создания.

Псевдоразрез препятствует перемещению моделей с объектной привязкой. Поэтому его необходимо активировать для контроля и отменять для продолжения сборки. Удобно работать с двумя видовыми окнами. В одном из них выполнять сборку. В этом окне ОС следует избирательно заморозить. Во втором окне управлять активацией псевдоразреза.

Сейчас отключите псевдоразрез. Начинаем сборку узла.

Установка опоры

- Откройте файл опоры в сборе с подшипником, уплотнительным кольцом, винтами (см. рис. 21.3). Перейдите в окно аксонометрии и установите МСК;
- скопируйте опору в сборе в буфер памяти (см. разд. 19.8);
- перейдите в файл сборки и вставьте модели опоры в виде единого блока на свободное место (см. рис. 21.6).

Осталось переместить опору так, чтобы центр ее окружности *c2* совместить с центром окружности корпуса *c2**. Подчеркнем, что вставленную в виде блока опору не следует расчленять на составляющие ее модели:

- **`move`** / укажите опору в сборе / Базовая точка: с привязкой **Cen** укажите окружность *c2* / Точка вставки: с привязкой **Cen** укажите окружность *c2** корпуса – опора установлена;
- активируйте псевдоразрез. Убедитесь в правильности установки опоры по высоте;
- отключите псевдоразрез;
- на виде сверху проверьте совпадение центров отверстий под крепежные винты.

При выявлении ошибок выполните редактирование по месту (см. ниже).

Редактирование по месту

Вполне вероятно, что в учебной работе, особенно с учетом низкой точности измерений, выполняемых линейкой по исходному чертежу, при сборке выявляются ошибки в построении моделей. Характерными являются несовпадение центров отверстий, ошибки в радиусах окружностей, ошибки по высоте граней. Все это легко устраняется редактированием моделей в файле сборки.

Для редактирования следует создать специальное видовое окно. В нем заморозить все слои с моделями деталей и оставить модель, подлежащую редактированию:

- создайте копию окна аксонометрии и перейдите в него. Откройте диспетчер свойств слоев. В нем с клавишей Shift укажите верхнюю и нижнюю строки имен слоев – выделятся все слои. Укажите знак заморозки – 11-ый столбец свойств слоев. Все слои заморожены. По этой причине созданное видовое окно пустое. Осталось в нем разморозить слой с единственной редактируемой моделью и сделать его текущим.

Редактированию подлежат как загружаемые модели, так и корпус. Редактирование выполняется применением команды **`SOLIDEDIT`** с опциями **`Move`** и **`Offset`** (см. разд. 19.9. “Корректировка и контроль точности сборки”). Если модель входит в состав блока, то редактировать ее можно в редакторе блоков или в контекстном режиме (см. разд. 8.8). В сложных ситуациях блок следует расчленить на отдельные модели.

Установка червячной пары

Загружаем червячную пару в сборе (зубчатый венец, ступица, установочные винты, червяк, см. рис. 21.1) в виде блока в файл сборки. Ее нужно установить так, чтобы оси колеса и червяка совпали с предусмотренными для них положениями в корпусе редуктора. Это можно сделать двумя перемещениями. Первое перемещение выставляет объекты в плане, второе – по высоте:

- остаемся в окне аксонометрии, в МСК;
- **`move`** / с привязкой **Cen** укажите одну из окружностей колеса, например *c3* / 0,0 – червячная пара перемещена в нижнюю часть редуктора, ось колеса совпала с осью редуктора;
- **`move`** / укажите перемещенную червячную пару / Базовая точка: вызовите координатный фильтр .XZ, с объектной привязкой **Cen** укажите окружность *c4* вала червяка / Требуется Y: введите 0 / Вторая точка: вновь фильтр .XZ, привязка **Cen** укажите окружность *c4** корпуса / Требуется Y: введите 0 – червячная пара установлена;
- проверьте правильность установки активацией псевдоразреза.

Установка вала колеса

Загружаем вал в сборе со шпонками (см. рис. 21.2) в файл сборки узла в виде блока. Устанавливаем вал по оси редуктора так, чтобы точка *A* – центр окружности *c5* – имела высоту 439, определенную измерением по исходному чертежу редуктора:

- **move** / с привязкой **Cen** укажите центр окружности *c5* / 0,0,439.

На виде сверху убедитесь, что шпонка вала вошла в шпоночный паз ступицы колеса. Иначе выполните необходимую корректировку поворотом вала вместе со шпонкой.

- Проверьте правильность установки вала активацией псевдоразреза.

Установка остальных моделей

Установка остальных моделей выполняется в рассмотренной выше последовательности: загрузка в виде блока, перемещение до совпадения центров соответствующих окружностей модели и корпуса, проверка правильности установки активацией псевдоразреза, при необходимости корректировка моделей по месту.

Так, для установки крышки редуктора необходимо совместить центры окружностей *c6* и *c6**. Для установки верхнего подшипникового узла (см. рис. 21.6) – совместить центры окружности *c7* и окружности *c7**.

Гайку вместе со стопорной шайбой (см. рис. 21.4) после загрузки необходимо дважды повернуть, установив ее в рабочее положение: шайба снизу, шлицевой выступ – слева, в соответствии с положением шлицевого паза на валу. После этого переместить гайку с шайбой в корпус, расположив их по оси вала и обеспечив упор шайбы в ранее установленный подшипник. Ориентировочно координаты точки *B* должны быть 0,0,423.

Построения по месту

Эффективным методом построения несложных моделей является их построение в файле сборки, по месту. Выше построение по месту было рассмотрено для создания прокладки подшипникового узла (см. рис. 21.5, *б*). Рассмотрим еще два примера.

Для построения по месту нужно выполнить 2D разрез или сечение, построить контур и применить к нему вращение или выдавливание. Например, контур уплотнительного кольца (см. рис. 20.2, поз. *50*) можно построить, обведя с объектной привязкой трапециевидный контур (рис. 21.7, *в*) под это кольцо в крышке редуктора и удлинив боковые стороны трапеции до упора в распорную втулку.

Так же, по месту, следует создать компенсирующее кольцо (см. рис. 20.2, поз. *11*). Это кольцо позволяет при сборке реального узла регулировать положение червячной пары по оси редуктора. Толщина кольца подбирается в процессе сборки. В нашей модели следует по 2D сечению измерить толщину зазора между ступицей и подшипником (см. рис. 21.7, *г*), создать прямоугольный контур и получить кольцо вращением этого контура.

21.7. Контроль и корректировка сборки

Контроль сборки не сводится только к проверке совпадений поверхностей. Разобравшись в принципе работы и сборки узла, следует проверить характерные размеры, наличие и величину необходимых зазоров, обеспечивающих возможность сборки и настройки узла и т.д. Контроль выполняется построением 2D разрезов и простановкой размеров на этом разрезе.

Проверка зазоров

В рассматриваемом червячном редукторе после выполнения начального этапа сборки (рис. 21.7, *а*) выполним фронтальный 2D разрез. Увеличив изображение, убедимся, что шип стопорной шайбы вошел в шлицевой паз вала (см. рис. 21.7, *б*), и имеется возможность осевого перемещения шайбы при дополнительной затяжке гайки. Следует проверить установку уплотнительного кольца, убедившись, что кольцо обжимает распорную втулку (см. рис. 21.7, *в*) и меж-

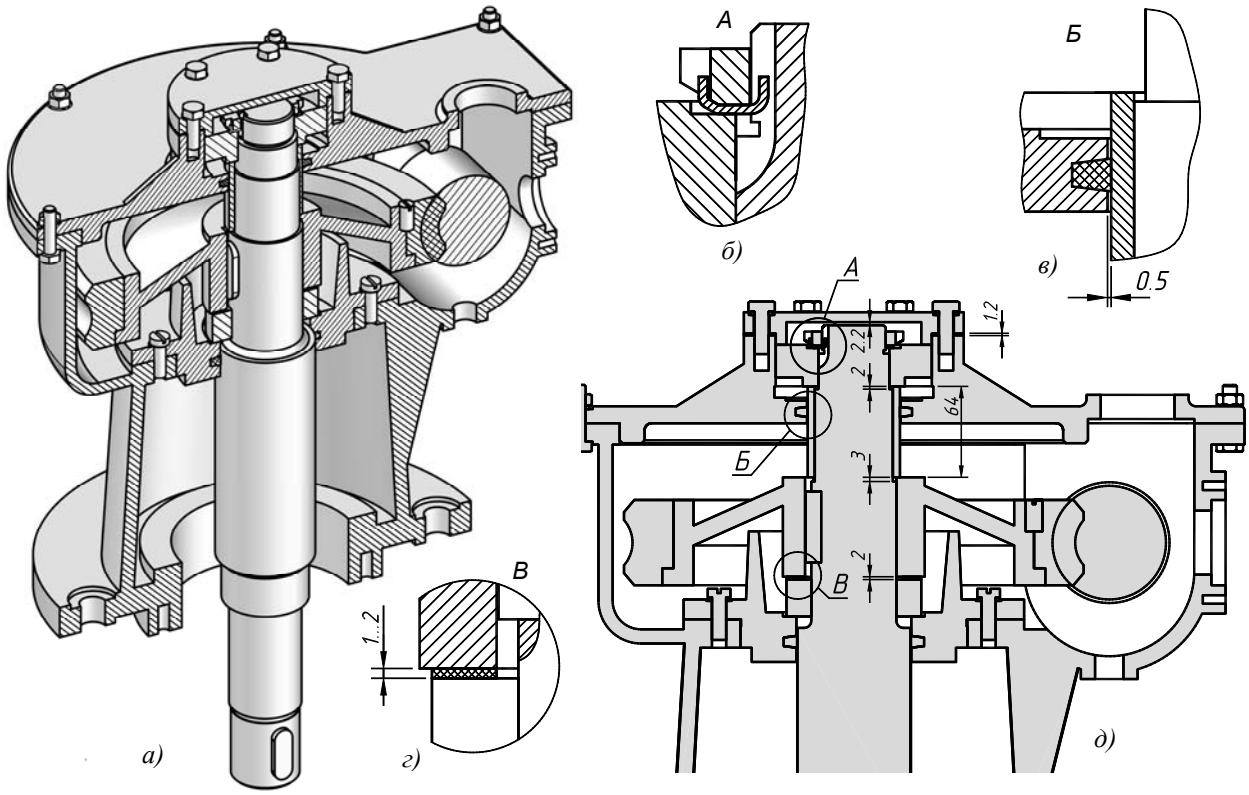


Рис. 21.7. Контроль начального этапа сборки:
а – 3D разрез; *б* – контроль установки стопорной шайбы; *в* – кольцо уплотнительное по месту; *г* – кольцо компенсирующее по месту; *д* – контроль зазоров по 2D разрезу

ду крышкой и втулкой имеется зазор 0.5 мм, гарантирующий правильную работу уплотнительного кольца [2]. Следует проверить, что толщина компенсирующего кольца находится в пределах 1…2 мм.

Для правильной сборки и работы редуктора в конструкции предусмотрены осевые зазоры (см. рис. 21.7, *г*). Следует проверить величину этих зазоров, которая должна находиться в пределах 1…3 мм.

В процессе сборки следует контролировать и редактировать список слоев (рис. 21.8), который должен отражать установленные в узел модели и соответствовать перечню элементов или спецификации исходного чертежа.

Проверка взаимодействия моделей

Проверка взаимодействия, выполняемая командой **INTERFERE**, выявляет пересечение моделей узла. Для выполнения команды создаем и устанавливаем текущим новый слой. Активизируем окно редактирования, в котором остальные слои заморожены (см. разд. 19.9).

При выполнении команды **INTERFERE** применительно к рассмотренной выше начальной сборке редуктора возникло сообщение о проверке взаимодействия 68 объектов. (Это 20 оригинальных деталей и 48 повторяющихся крепежных деталей). Проверка длится несколько секунд. Характерный результат проверки даже качественно выполненной сборки (рис. 21.9) может содержать объекты взаимодействия (взаимопересечения) моделей. Для каждого объекта следует определить местоположение и толщину (см. разд. 19.9).

В рассмотренном примере объект *1* – пересечение упрощенных цилиндрических моделей венца и червяка, его не следует принимать во внимание. Объект *2* отражает нарушение соосности распорной втулки и вала. Измерение толщины показало, что толщина этого объекта не превышает 10^{-5} мм. Кольцо *3* указывает на погрешность установки подшипника в крышке ре-

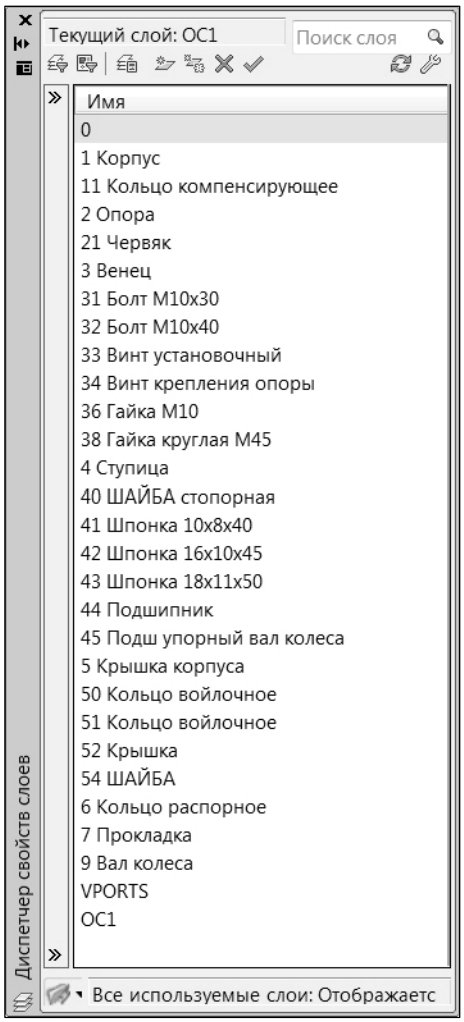


Рис. 21.8. Пример организации слоев (начальный этап сборки)

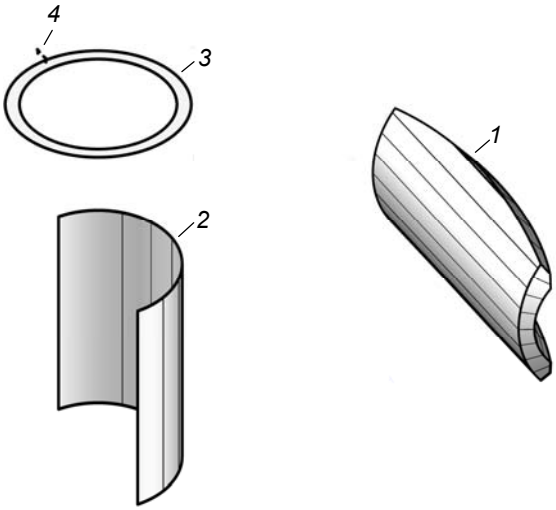


Рис. 21.9. Объекты взаимодействия начальной сборки редуктора

дуктора. Толщина кольца составила 0.05 мм. Присутствуют также мелкие элементы *4*, отражающие погрешности сборки гайки и стопорной шайбы, их толщина не превышает 10^{-3} мм. Объекты *2…4* можно устранить более тщательной сборкой, однако малая толщина объектов позволяет ими пренебречь.

Размер файла сборки редуктора после его очистки командой **PURGE** на данном этапе составляет 600 КБ.

21.8. Подшипниковый узел нижний

В нижний узел входит шарикоподшипник 314 ГОСТ 8338-75 (см. рис. 20.2, поз. *48* и рис. 22.6) и сальниковое устройство, обеспечивающее герметизацию редуктора. Сальниковое устройство содержит крышку (поз. *18*), корпус (поз. *19*), прокладку (поз. *20*) и набивку (поз. *53*). Герметизация достигается при перемещении крышки в осевом направлении в результате затяжки гаек на шпильках (поз. *36*, *39*, *54*). “Сальник” крепится к корпусу редуктора четырьмя болтами (поз. *31*, *54)*.

Контуры всех моделей строим в окне вида спереди (рис. 21.10). Корпус сальника создается вращением контура (рис. 21.10, *а*). В корпусе следует выполнить четыре отверстия ∅10 с цековкой ∅20 глубиной 1…2 мм (см. рис. 21.10, *в*) под головки болтов крепления.

Прокладка толщиной 1…2 мм создается по месту, копированием и вытягиванием верхней кольцевой грани корпуса.

Крышка сальника создается вращением контура (см. рис. 21.10, *б*). Контур крышки следует совместить с контуром корпуса, обеспечив осевой размер 18 мм (см. рис. 21.10, *в*). После создания крышки и корпуса в них единообразно выполняют четыре отверстия ∅10 под шпильки вычитанием цилиндров.

Контур набивки строим по месту (см. рис. 21.10, *в*). Набивку также создаем как тело вращения.

Подшипник создается вращением прямоугольника (см. рис. 21.10, *в*). Подшипник следует установить соосно с корпусом и крышкой на расстоянии 5…10 мм выше корпуса.

Шпильки создаем упрощенно как цилиндры ∅10 длиной 60 мм.

Собранный и проверенный узел загружаем в общий файл сборки и устанавливаем в корпус редуктора путем совмещения центральных точек посадочных окружностей (рис. 21.11, *а*).

После этого выполняем проверку сборки построением псевдоразреза (см. рис. 21.11, *б*).

Размер файла сборки на этом этапе 1 МБ.

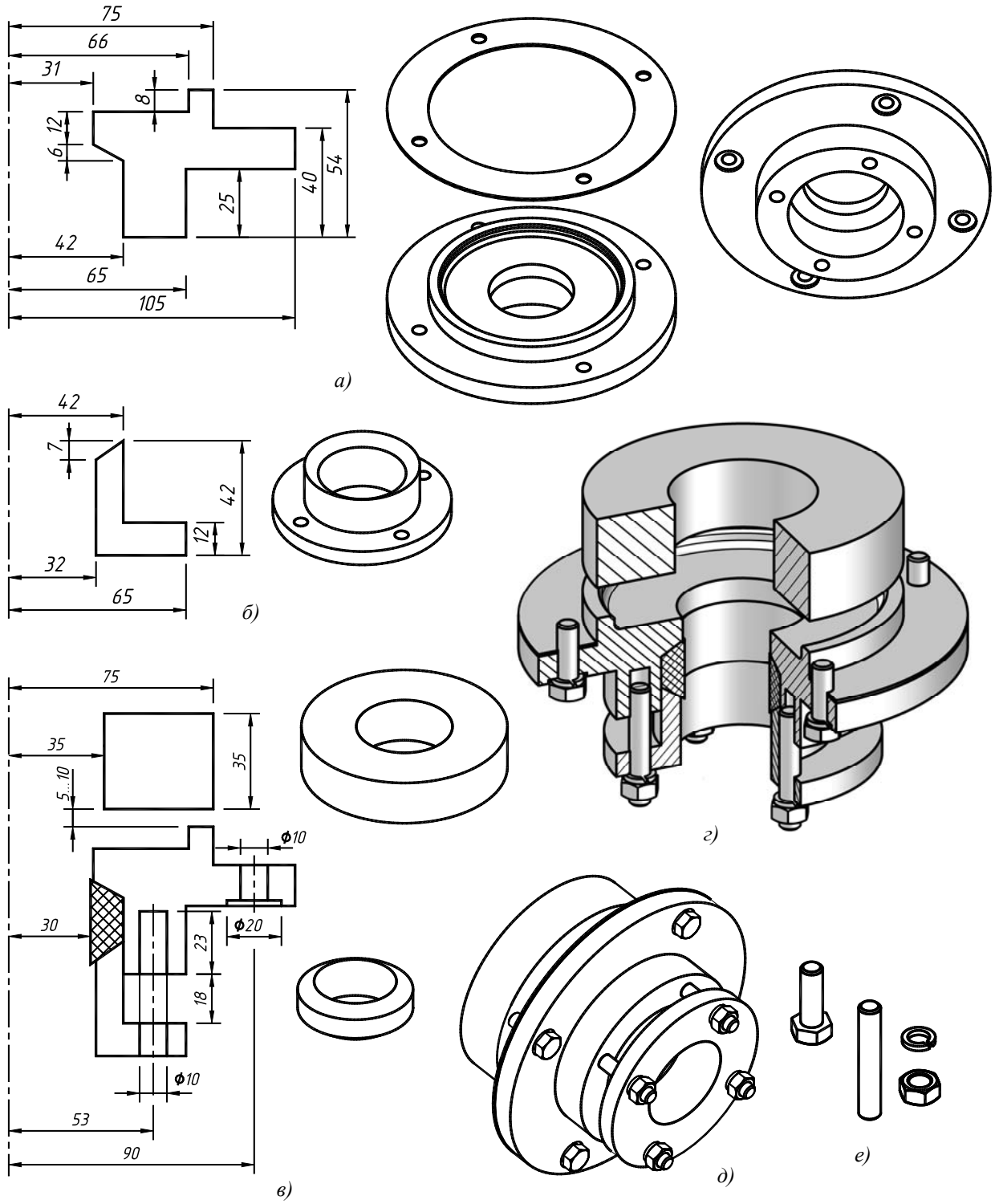
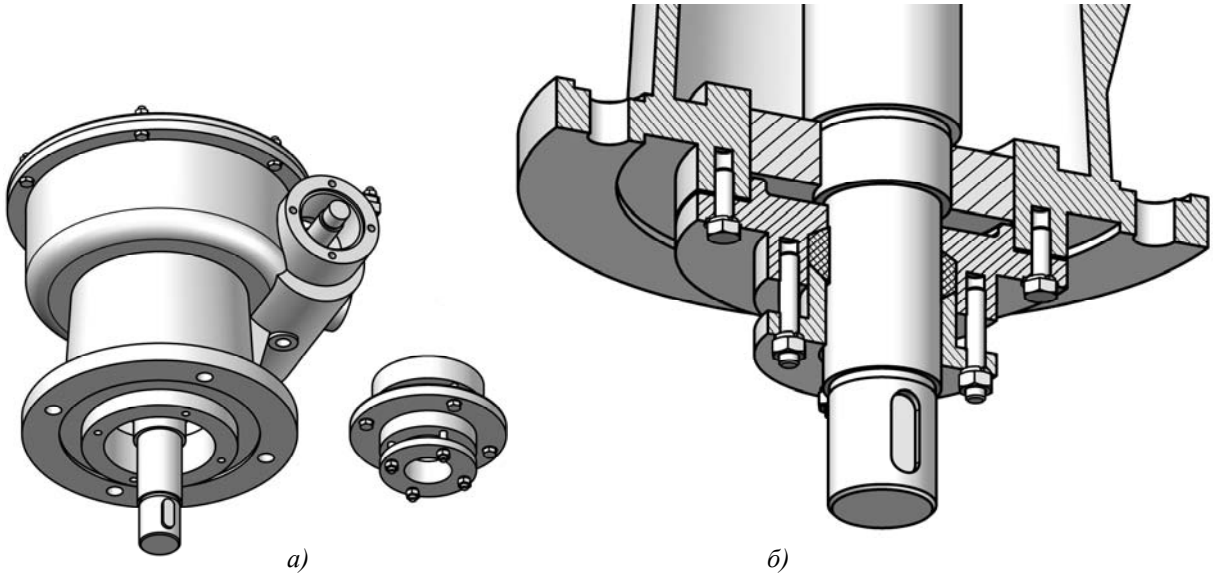


Рис. 21.10. Подшипниковый узел нижний:
а – корпус сальника и прокладка; *б* – крышка сальника; *в* – подшипник и набивка;
г, *д* – узел в сборе; *е* – крепеж (болт, шпилька, гайка, шайба)



а) *б)*

Рис. 21.11. Установка подшипникового узла нижнего:
а – загрузка подшипникового узла в файл сборки; *б* – 3D разрез собранного узла

Глава 22

Червячный редуктор. Завершение сборки и чертеж узла

В главе завершается построение объемной сборки червячного редуктора, рассматриваемого в качестве примера сложного узла. Начало построения модели редуктора дано в главе 20, продолжение – в главе 21. Показан переход от упрощенных моделей к реалистичным, существенно повышающим наглядность изображений. Приведены особенности построения чертежа сложного узла.

22.1. Подшипниковые узлы червячного вала

Червячный вал установлен в двух подшипниковых опорах. Конструкция узлов показана на разрезе А-А исходного чертежа (см. рис. 20.2). С учетом их положения на этом разрезе узлы назовем “правым” и “левым”.

Правый подшипниковый узел

Содержит два подшипника (рис. 22.1). Это радиальный шарикоподшипник 307 ГОСТ 8338-75 (см. рис. 20.2, поз. *47* и рис. 22.6, *б*) и шарикоподшипник упорный двойной 38209 по ГОСТ 7872–89 (см. рис. 20.2, поз. *46* и рис. 22.8). Подшипники установлены в цилиндрический стакан (поз. *27*). Упорный подшипник зафиксирован двумя втулками (поз. *28*, *29*). Оба подшипника закреплены на червячном валу двумя круглыми шлицевыми гайками М30 по ГОСТ 11871-88 (поз. *37*). Узел закрыт крышкой (поз. *23*), которая через прокладку (поз. *8*) крепится четырьмя болтами (поз. *31*) с шайбами (поз. *54*) к фланцу корпуса редуктора.

В соответствии с положением узла контуры всех его моделей строим в окне вида слева (см. рис. 22.1, *а–е*). Модели получаем вращением контуров вокруг общей оси. В крышке на посадочном фланце выполним четыре отверстия ∅10 с цековками. После этого копированием посадочной кольцевой грани создадим прокладку толщиной 1…2 мм.

Гайку М30 создаем вращением ее контура (см. рис. 22.1, *д*). Ширина каждого шлица 5, глубина 2.5 (см. также разд. 21.5) [2, 9].

При соблюдении размеров, определяющих положение контуров вдоль оси вала, созданные модели собраны в узел (см. рис. 21.1, *з*). Иначе их нужно собрать согласно схеме (см. рис. 21.1, *ж*). На схеме приведены осевые зазоры, которые нужно проверить после сборки узла построением 2D-разреза.

Рекомендуем на фланце крышки сразу установить крепежные болты с шайбами.

Левый подшипниковый узел

Содержит (рис. 22.2) еще один радиальный шарикоподшипник 307 ГОСТ 8338-75, установленный в стакан (см. рис. 20.2, поз. *24*), крышку (поз. *16*) с прокладкой (поз. *8*). В крышке установлены два уплотнительных войлочных кольца (поз. *49*). На валу установлен шкив клиноременной передачи. Шкив через распорную втулку упирается в подшипник. Крепление деталей на валу осуществлено болтом с шайбой.

Построение моделей левого узла аналогично правому узлу (см. рис. 22.2).

Подготовленные узлы загружаем в файл сборки и устанавливаем на фланцы корпуса (рис. 22.3), совмещая центры окружностей прокладок и посадочных окружностей фланцев.

Размер файла после установки подшипниковых узлов червяка составляет 1.5 МБ.

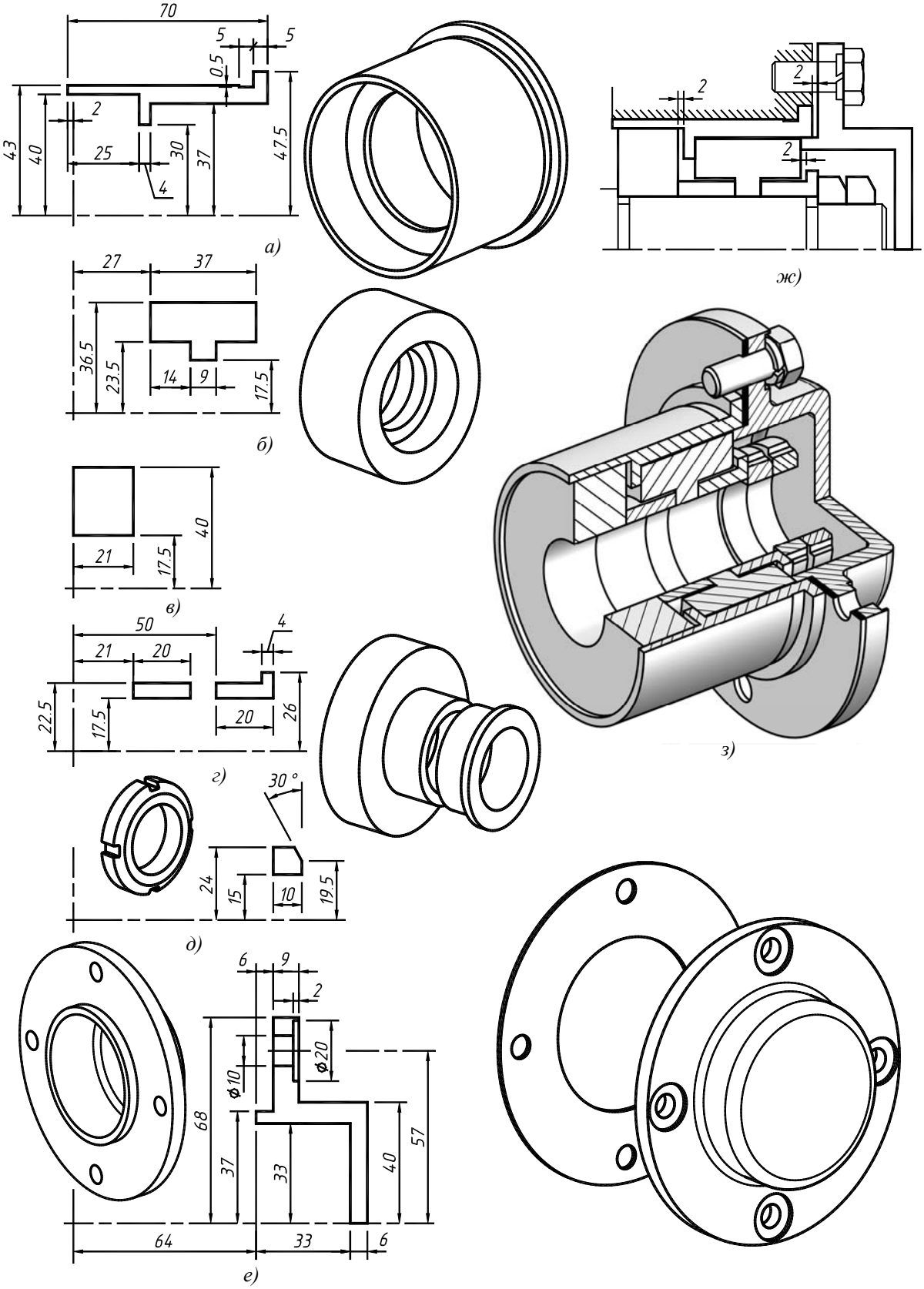


Рис. 22.1. Подшипниковый узел червяка правый:
а – стакан; *б* – подшипник упорный; *в* – подшипник радиальный; *г* – втулки;
д – гайка круглая М30; *е* – крышка правая; *ж* – схема сборки; *з* – 3D-разрез собранного узла

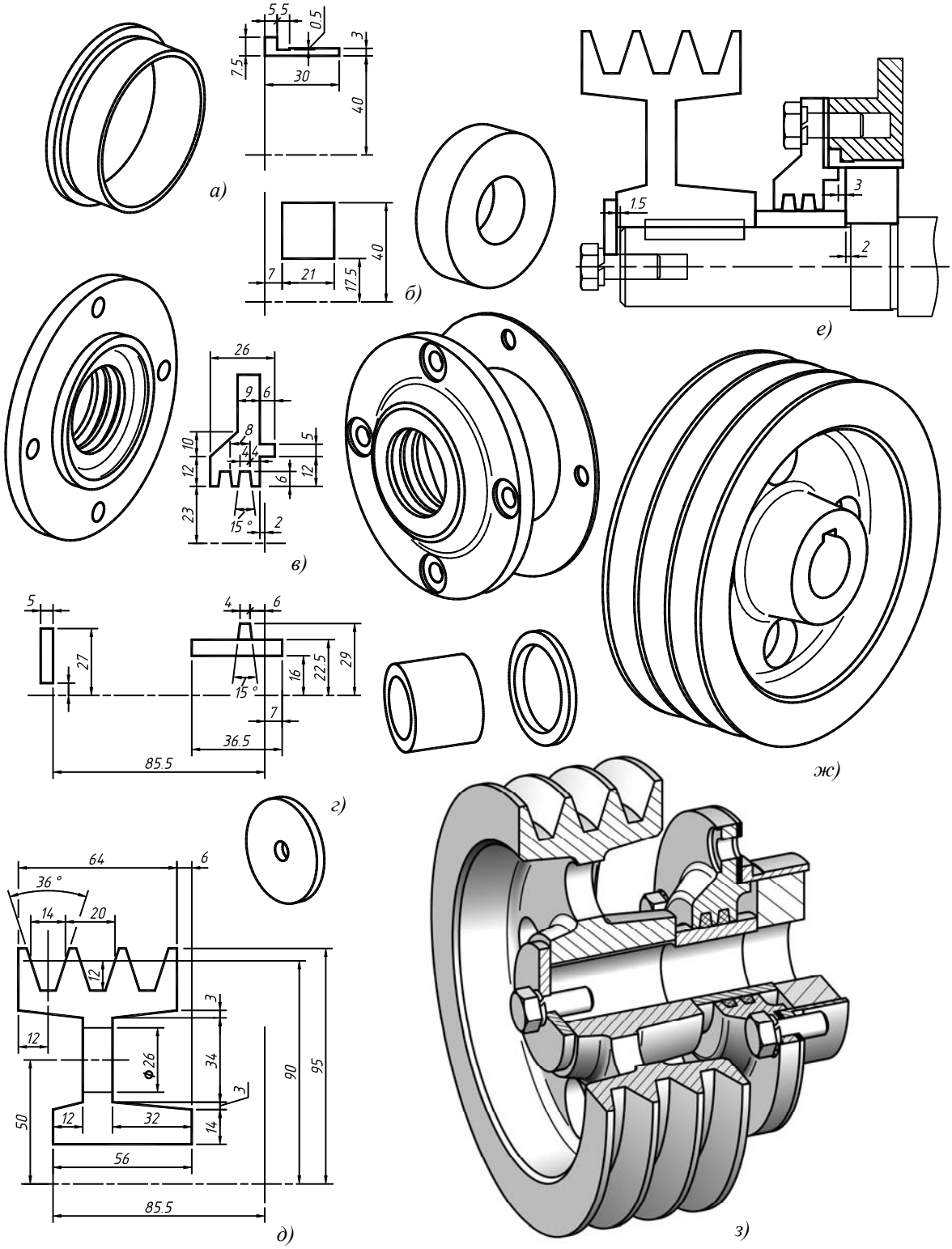


Рис. 22.2. Подшипниковый узел червяка левый:
а – стакан; *б* – подшипник радиальный; *в* – крышка левая; *г* – шайба, втулка, кольцо уплотнительное; *д*, *ж* – шкив; *е* – схема сборки; *з* – 3D-разрез собранного узла

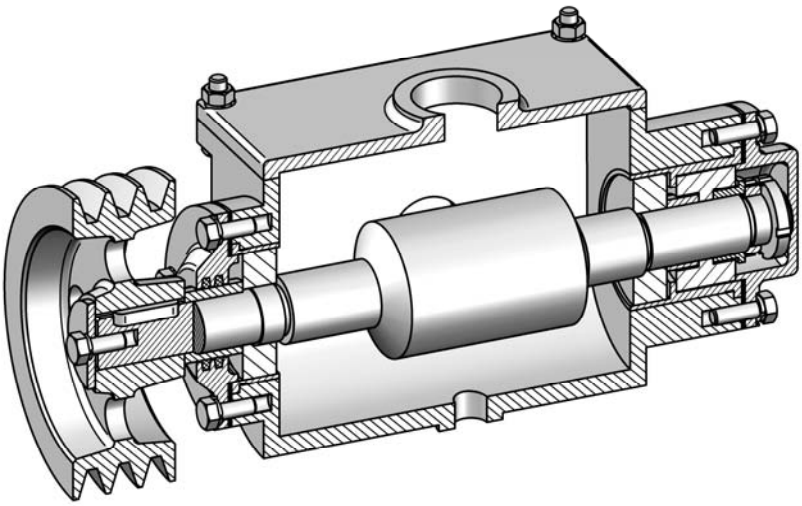


Рис. 22.3. Подшипниковые узлы червяка

22.2. Смотровое окно, крышка, пробка

В смотровое окно входит крышка (см. рис. 20.2, поз. *17*), стекло с двумя прокладками (поз. *14*, *15*) и четыре винта с шайбами (поз. *35*, *55*).

Все модели смотрового окна являются телами вращения. Построение их контуров (рис. 22.4, *а*) выполняем в окне вида спереди. На фланце крышки выполним четыре отверстия ∅6 под винты крепления.

Винт с полукруглой головкой. Приведем построение (см. рис. 22.4, *в*) винта (Винт М6х14 ГОСТ 17473-80) [2, 9]:

- установите ПСК в плоскость основания головки винта. Пусть это будет МСК, центр основания головки – начало координат;
- **`sphere`** / 0,0,-0.9 / 5.1 – сферическая часть головки;
- **`slice`** / XY / 0,0 / 0,0,1 – срез плоскостью основания головки;
- **`cylinder`** / Центр: 0,0 / Радиус: 5 / Высота: 10 – вспомогательный цилиндр;
- **`intersect`** / укажите полусферу и цилиндр – выполнено цилиндрическое притупление головки;
- **`box`** / 0.9,–6,1.7 / 0.9,6,7 – параллелепипед шлицевого паза;
- **`subtract`** – выполните вычитание параллелепипеда из полусферы – сформирован паз;
- **`cylinder`** / 0,0 / 3 / –14 – стержень винта;
- **`chamfer`** / снимите фаску 1 мм на нижнем торце стержня;
- **`union`** – объедините головку и стержень – винт построен.

Шайбу пружинную под резьбу М6 с достаточной точностью можно построить масштабированием ранее созданной шайбы М10.

Винт с шайбой установите в отверстие на фланце крышки и размножьте их круговым массивом по всем крепежным отверстиям.

Пробка сливная. Построение пробки (см. рис. 20.2, поз. *25*, рис. 22.9, *в* и разд. 19.3) выполним по размерам [2] (см. рис. 22.4, *б*). Прокладка под пробку (поз. *26*) имеет наружный диаметр 32 и толщину 3 [2].

Крышка (см. рис. 20.2, поз. *10*) – тело вращения (см. рис. 22.4, *д*). Контур вращения постройте в окне вида спереди. Необходимо выдержать приведенные посадочные размеры. Остальные размеры – свободные.

После установки рассмотренных элементов в корпус редуктора, размер файла общей сборки составил 1.6 МБ.

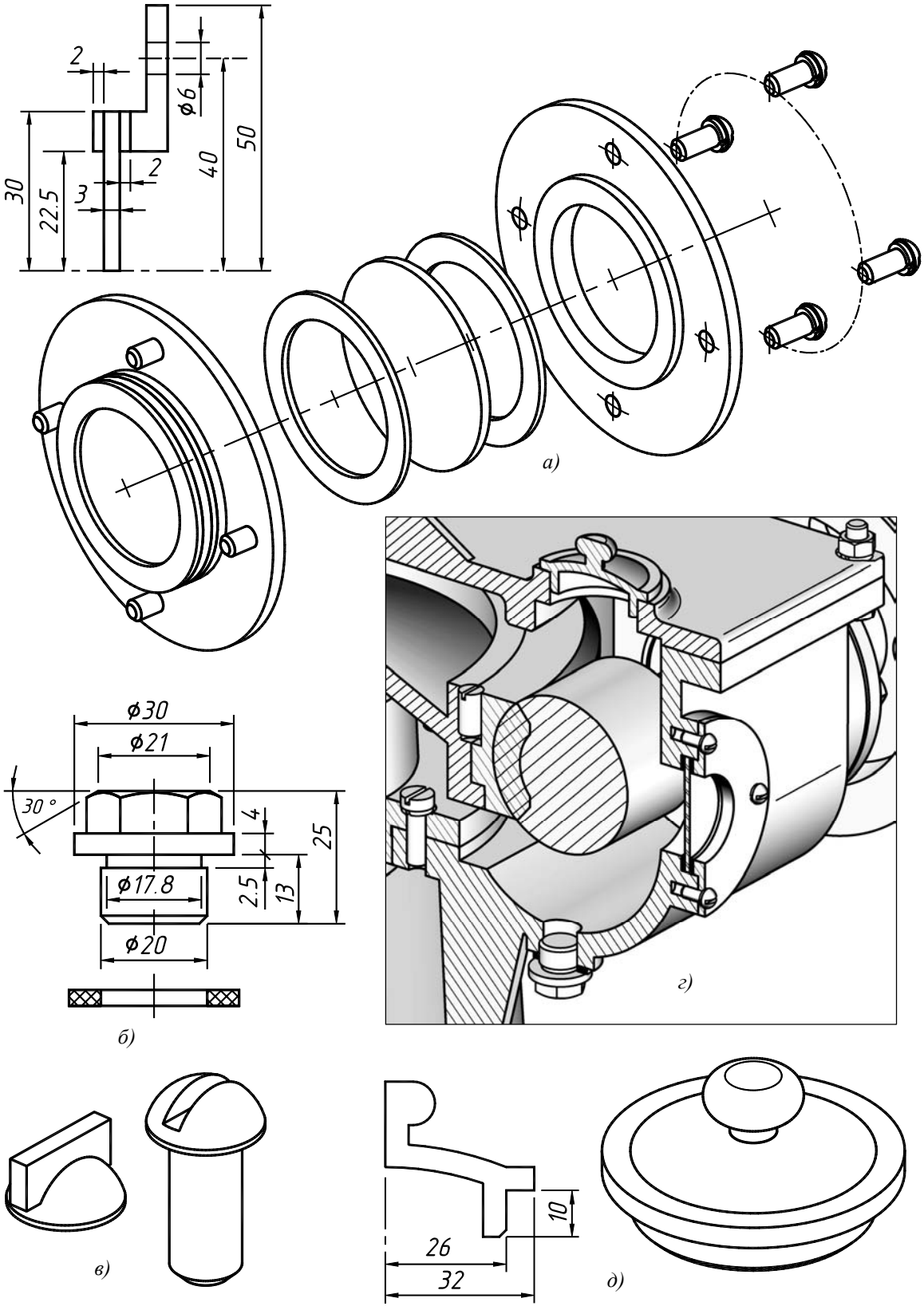


Рис. 22.4. Смотровое окно, крышка и пробка:
а – контуры и схема сборки смотрового окна; *б* – пробка и прокладка; *в* – винт с полукруглой головкой; *г* – 3D-разрез собранного узла; *д* – крышка

22.3. 3D-разрез сложного узла

В процессе создания объемной сборки выполнялись контрольные 3D-псевдоразрезы. При этом, как правило, не обращали внимание на оформление разреза. Важно было проверить точность сборки.

По окончании сборки, в качестве завершающего этапа, следует выполнить наглядный 3D-разрез всего узла, уделив должное внимание его оформлению.

Объемный разрез должен отвечать требованиям, предъявляемым к аксонометрическим изображениям. Отметим следующие из них. Первое требование – винты, шпонки, сплошные валы, шарики, болты, шайбы и т. п. в продольных разрезах показывают не рассеченными. Второе – штриховка сопряженных деталей должна быть различной. Третье – участки деталей, рассеченных двумя или более пересекающимися плоскостями, должны быть заштрихованы встречной штриховкой (“ёлочкой”). Выполнение этих требований автоматически не реализовано.

3D-разрез сложных узлов, содержащих большое количество деталей, следует выполнять

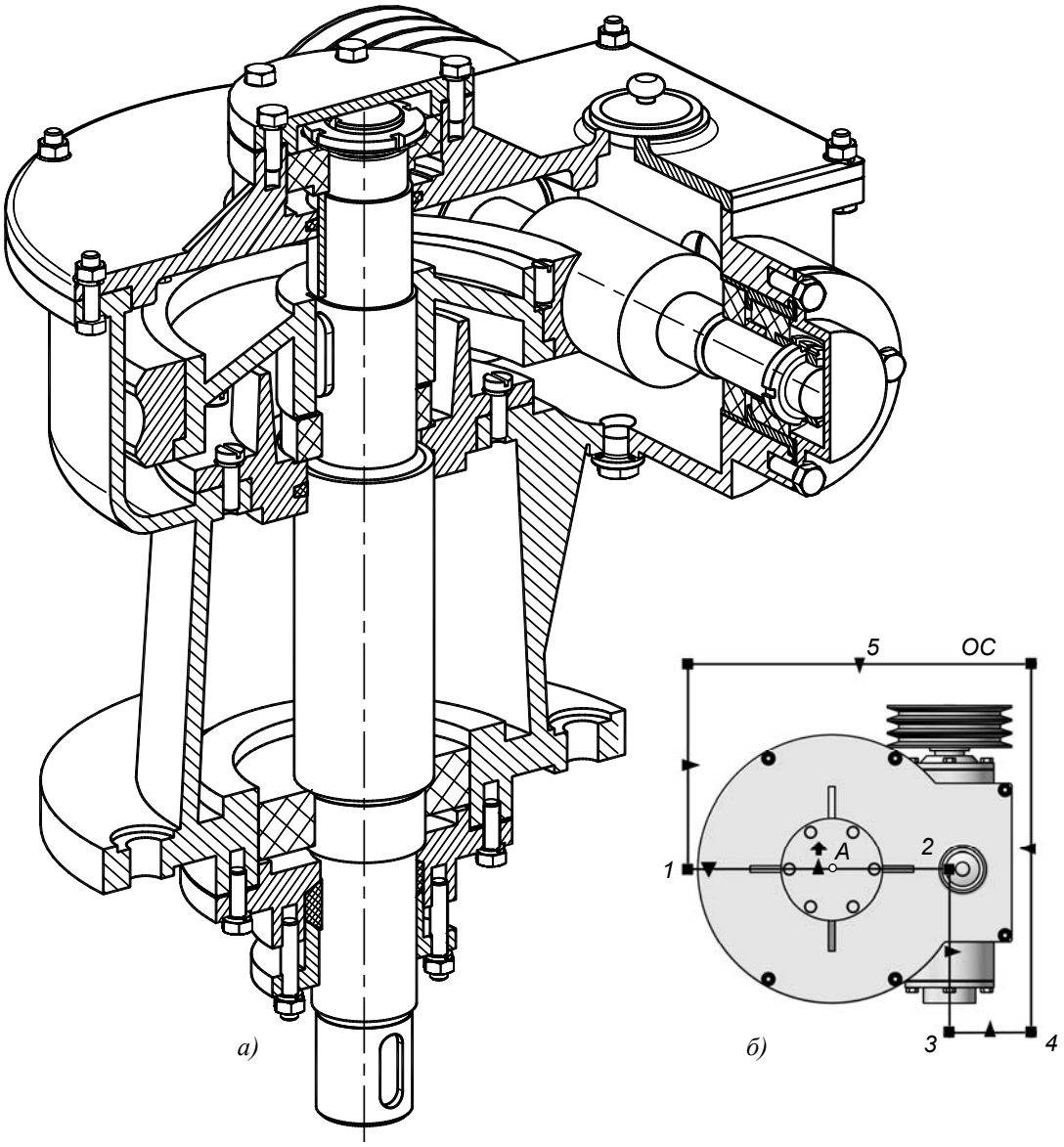


Рис. 22.5. Упрощенная модель редуктора:
а – 3D-разрез; *б* – объект-сечение ОС ступенчатого разреза

командой **SECTIONPLANE**. Эта команда позволяет сохранить части разрезанных моделей, расположенные перед секущей плоскостью. Останется объединить их с частями за секущей плоскостью, восстановив цельность болта, шарика, вала и др. моделей, которые не должны быть разрезаны.

Штриховка сечения узла командой **SECTIONPLANE** хотя и выполняется единообразно, но распределена по моделям. Это позволяет быстро отредактировать штриховку каждой модели, придав ей необходимый угол, тип, шаг, смещение. Редактирование приходится выполнять вручную, но это значительно проще, чем для каждой модели строить штриховку заново (как в "старых" командах построения разрезов).

Рассмотрим пример построения 3D-разреза редуктора (рис. 22.5, *а*). Начинаем с выполнения объекта-сечения (ОС) ступенчатого разреза (см. рис. 22.5, *б*). Он создается последовательным заданием координат точек 1…5. Построение выполняем в окне вида сверху, в МСК, точка *А* – начало координат (0,0):

- **sectionplane** / **Draw section** / –220,0 / 180,0 / 180,–250 / 310,–250 / / 0,310.

Выполняем настройки и строим разрез:

- создайте четыре новых слоя с именами, например, *Контур, Штриховка, Фон*, *Геометрия*. Имя слоя указывает его назначение. Слой *Геометрия* – для объектов, расположенных перед секущей плоскостью;
- укажите линию ОС, вызовите контекстное меню (правый клик), в котором укажите **Generate 2D/3D Section** (Создать2D/3D-сечение);
- в появившемся диалоговом окне установите переключатель **3D Section** (3D-разрез) и укажите **Section Settings** (Параметры разрезов) – появится одноименное диалоговое окно **Section Settings**;
- в диалоговом окне **Section Settings** установите флажок **3D Section**. Каждой группе параметров задайте слой в соответствии с ее назначением. В группе **Intersection Fill** установите параметры штриховки **Из линий**, **Угол штриховки** 45°, **Интервал** 3…4. Важно, чтобы группа **Cut-away Geometry** (Геометрия разреза) была включена;
- Остальные параметры настройки групп – **По слою**.
- **ОК** / **Create** / На запрос команды укажите точку вставки 3D-разреза и согласитесь со всеми предлагаемыми параметрами вставки блока – создан блок 3D-разреза.

В созданном блоке разрез не виден, поскольку закрыт объектами, расположенными перед секущей плоскостью. Проверим наличие разреза:

- перейдите в окно аксонометрии. Избирательно заморозьте слои с моделями объемной сборки, оставив только четыре указанных выше слоя с объектами 3D-разреза; Установите один из визуальных стилей со скрытыми линиями невидимого контура;
- временно заморозьте слой *Геометрия* – виден разрез узла с единообразной штриховкой секущих плоскостей. Восстановите слой *Геометрия* – разрез вновь закрыт объектами, расположенными перед секущей плоскостью;

Восстановим объекты, которые должны быть неразрезанными – в нашем примере это вал колеса и червяк, а также весь крепеж:

- **explode** – расчлените блок разреза. Начните удалять (**ERASE**) части объектов, расположенные перед секущей плоскостью (части корпуса, крышки и т.д.), тем самым раскрывая узел. Оставьте модели болтов, валы и др., которые должны быть показаны неразрезанными;
- для удаления линии разреза объедините оставленные части моделей, расположенные перед секущей плоскостью, с их половинами за секущей плоскостью, например, две половины вала.

Отредактируйте штриховку:

- двойной левый клик по штриховке какой-либо модели – возникло окно редактирования штриховки. Скорректируйте параметры штриховки;
- рекомендуем удалить штриховку объединенных нерассеченных моделей, например, штри-

ховку вала, болтов и гаек. Для этого предварительно заморозьте слои, кроме слоя *Штриховка*.

Печать 3D-разреза в векторном формате

3D-изображения можно вывести на печать растровом или векторном формате. Растровый формат – это печать в реалистичном стиле визуализации или печать тонированных изображений (см. гл. 23). Он применяется преимущественно для иллюстраций. Для чертежа, как и ранее (см. разд. 3.8), рекомендуем векторный формат (см. рис. 22.5, *а*).

Для печати в векторном формате подготовленный 3D-разрез как группу solid-объектов необходимо спроецировать на плоскость экрана командой **SOLPROF** или **FLATSHOT**. Исходные объекты заморозить. Штриховку следует взорвать (**EXPLODE**) и спроецировать на плоскость экрана программой *project.lsp* (программа выдается студентам ЮУрГУ). Перед проецированием штриховки задать новый слой. После проецирования слой с исходной штриховкой заморозить. Далее проекции моделей и штриховки рекомендуем вынести на лист через формирование и вставку блока. На листе изображение окончательно доработать, придав толщину линий, проведя оси, вписав в формат чертежа.

22.3. Реалистичные модели

Изображение 3D-сборки (см. рис. 22.5, *а*), полученное на основе упрощенных моделей, в которых подшипники, зубчатые и червячные передачи показаны цилиндрами, является рациональным для процесса проектирования узла и будет необходимо в дальнейшем для построения чертежа узла и рабочих чертежей деталей. Однако это изображение обладает недостаточной наглядностью. В связи с этим рассмотрим построение реалистичных моделей подшипников и червячной передачи, входящих в состав редуктора (см. также разд. 12…16).

Подшипники состоят из колец, тел качения (шарики или ролики). Может быть сепаратор, отделяющий тела качения, удерживающий на равном расстоянии и направляющий их движение. На поверхностях колец выполнены желоба – дорожки качения, по которым катятся тела качения.

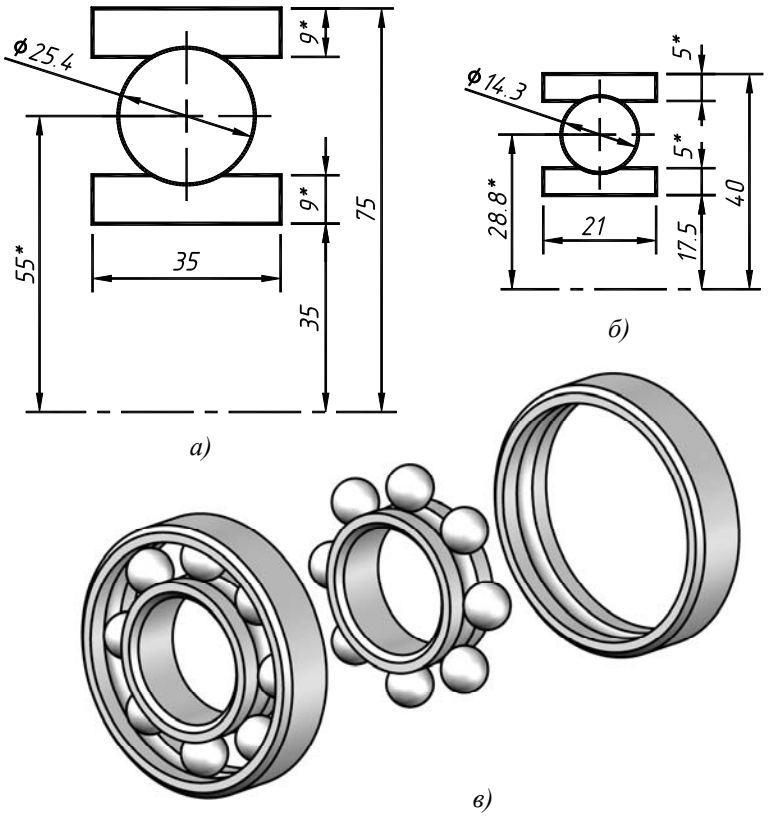


Рис. 22.6. Шарикоподшипник по ГОСТ 8338-75:
а, *в* – №314; *б* – №307

Радиальные шарикоподшипники

Редуктор содержит два шарикоподшипника. Каждый состоит из двух колец, сепаратора и ряда шариков. В наших моделях сепараторы строить не будем. Кольца содержат по две фаски. Основные размеры подшипников взяты из [2]. Размеры “со звездочкой” заданы ориентировочно.

Шарикоподшипник 314 ГОСТ 8338-75, (см. рис. 20.2, поз. поз. *48*, рис. 22.6. *а*) имеет

восемь шариков. Фаски на кольцах по 3.5 мм. Шарикоподшипник 307 ГОСТ 8338-75 (поз. *47*, рис. 22.6. *б*) имеет семь шариков. Фаски по 2 мм. Кольца создаем как тела вращения приведенных контуров. На каждом из них со стороны посадочной поверхности снимаем по две фаски. Шарики создаем командой **SPHERE** и размножаем круговым массивом.

Замена упрощенной модели на реалистичную

Для замены упрощенной модели, ранее установленной в сборку, на созданную реалистичную:

- создайте копию файла сборки, сохранив файл с упрощенными моделями, который понадобится для построения чертежа;
- в файле сборки создайте копию окна аксонометрии и перейдите в него. В нем следует избирательно заморозить все слои с моделями узла (см. разд. 21.6 “Редактирование по месту”);
- разморозим слой с заменяемой моделью и сделаем его текущим. В видовом окне осталась только заменяемая модель. В нашем примере нужно оставить размороженным слой “*48_Подшипник*”. В итоге в окне осталась упрощенная модель подшипника;
- в файле реалистичной модели все ее элементы помещаем на слой с тем же именем (“*48_Подшипник*”) и через буфер памяти вставляем модель как блок в файл сборки. Устанавливаем реалистичную модель в необходимое пространственное положение;
- применив объектную привязку, совмещаем (**MOVE**) реалистичную модель с заменяемой упрощенной моделью и удаляем последнюю;
- в видовом окне с размороженными слоями контролируем правильность выполненной замены;
- созданное видовое окно сохраняем для выполнения замен других моделей.

Роликовый конический однорядный подшипник

Подшипник 7310А ГОСТ 27365-87 (см. рис. 20.2, поз. *44*). Для построения подшипника (рис. 22.7) необходимо на основе его размеров [2] и геометрических построений создать контур *1* наружного кольца, контур *2* внутреннего кольца, контур *3* ролика и контур *4* сепаратора. Размеры со знаком * являются ориентировочными.

Построение контуров следует начать с точки *A*, отложив от оси подшипника 45.3 мм, затем провести луч под углом 13° и найти точку *B*. По этому лучу и размерам строим контур *1* наружного кольца.

Для построения контура *2* из точки *B* провести луч под углом 4.5° к предыдущему лучу. Провести окружности R221, R205. Вершины контура *2* находим на пересечении лучей и окружностей, а также с учетом размеров.

Для построения контура *3* строим две хорды, образующие торцевые поверхности ролика. Проводим срединный луч под углом 2.25° к предыдущим. Этот луч является осью вращения ролика. На пересечении хорд и срединного луча находим осевые точки контура ролика.

Предложенная модель сепаратора лишь приближенно отражает его реальную и весьма сложную конструкцию. Контур сепаратора *4* строим на основе команды **OFFSET**, задав толщину 1 мм. Остальные размеры сепаратора задаем в глазомерной пропорции.

Элементы подшипника создаем как тела вращения. На кольцах снимаем по фаске 2.5 мм, на ролике – две фаски 1 мм. У сепаратора выполняем сопряжение R1.5. Ролики размножаем круговым массивом в количестве 12*.

Подшипники упорные шариковые

Упорные подшипники воспринимают только осевую нагрузку в одном направлении. Редуктор содержит два упорных шарикоподшипника по ГОСТ 7872–89. Первый (см. рис. 20.2, поз. *45*) – одинарный подшипник 8212, второй (поз. *46*) – двойной подшипник 38209. Параметры подшипников определяются диаметром вала [2].

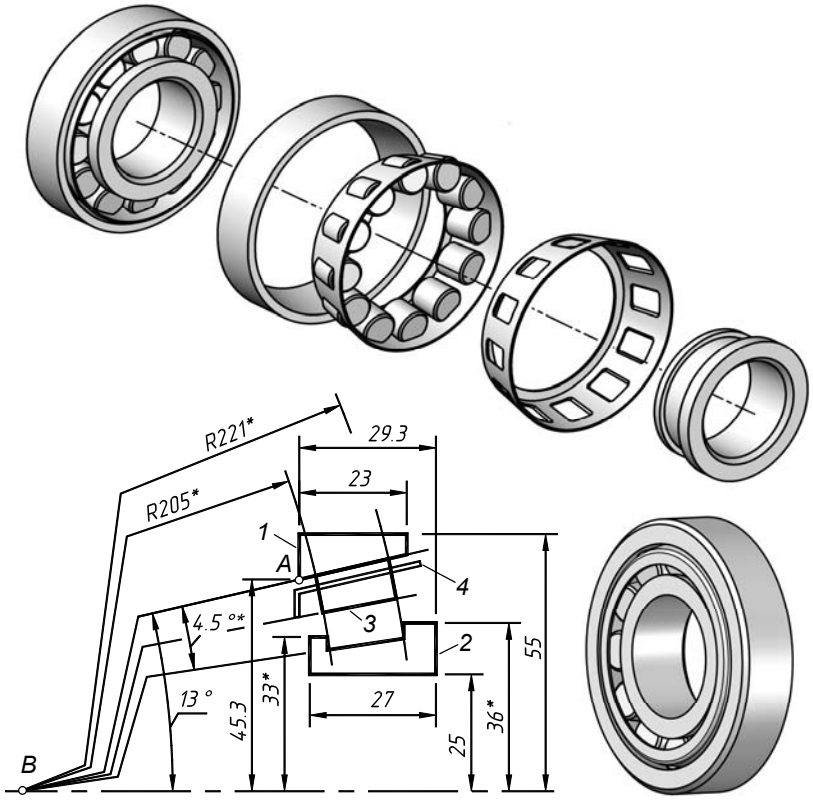


Рис. 22.7. Роликоподшипник

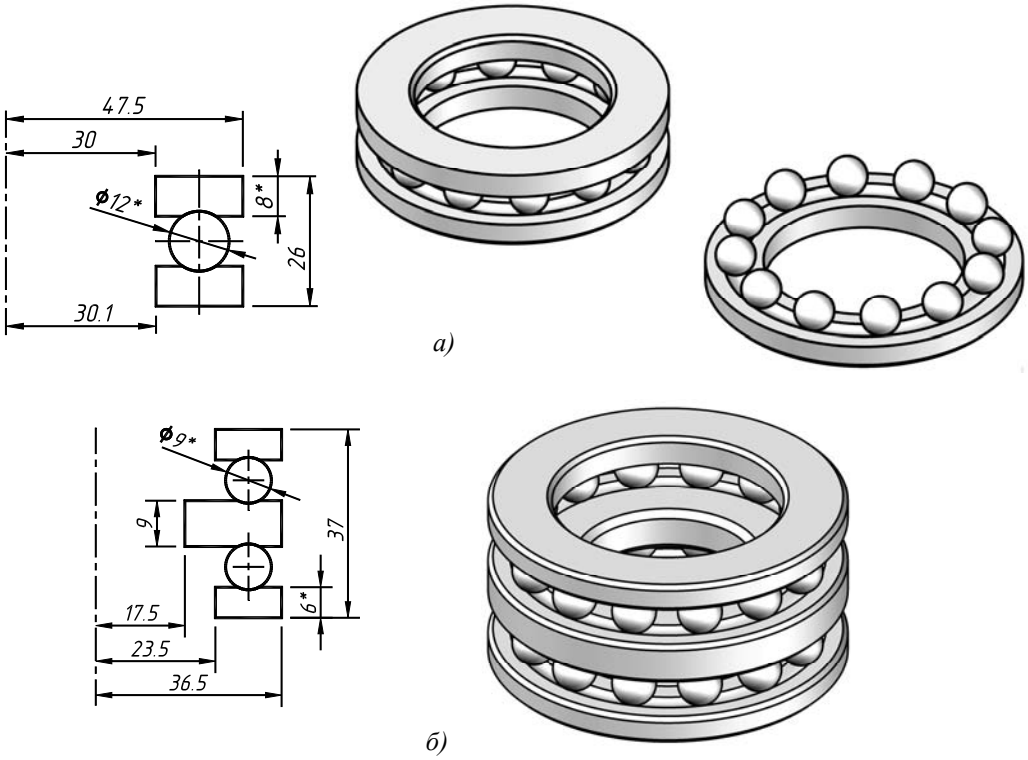


Рис. 22.8. Построение подшипников шариковых упорных:
а – одинарный подшипник; *б* – двойной подшипник

Одинарный подшипник (рис. 22.8, *а*) состоит из тугого кольца, которое с натягом надевают на вал (на рис. 22.8, *а* – это верхнее кольцо), и свободного кольца, устанавливаемого в корпусе с зазором.

В двойном подшипнике (см. рис. 21.8, *б*) тугим является среднее кольцо. Два одинаковых крайних кольца – свободные и прижаты к корпусу.

На внутренних торцевых поверхностях колец выполнены беговые дорожки, в которых расположен один или два ряда шариков. Шарики зафиксированы сепараторами, которые в наших моделях строить не будем ввиду их сложности. Кроме того сепараторы закрывают шарики и снижают внешнюю наглядность модели.

Модель червячной пары

Построение реалистичной модели червячной передачи подробно изложено в разд. 16. Можно построить точную или наглядную модель. В отличие от *точной* наглядная модель (см. разд. 16.4) не претендует на высокую точность, но проста в построении и обладает достаточной наглядностью. Будем строить наглядную модель.

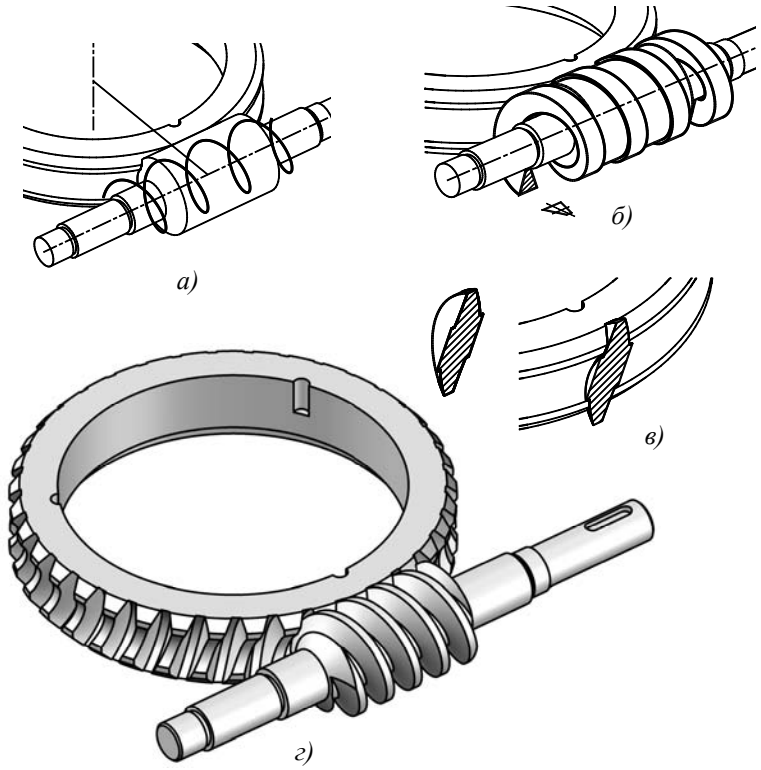


Рис. 22.9. Наглядная модель червячной передачи:
а – построение гелисы; *б* – винтовая впадина червяка;
в – построение впадин колеса; *г* – общий вид

В нашем примере требуется передача с Архимедовым червяком. Ее параметры, расчет и пример построения приведены в разд. 16.1. Передача имеет двухзаходный червяк, червячное колесо с 37 зубьями. Построения наглядной модели необходимо выполнить в файле, где была построена упрощенная модель.

Согласно методике (см. разд. 16.1, 16.4) создаем гелису делительной окружности (рис. 22.9, *а*), трапециевидный контур профиля впадины червяка и винтовую впадину (см. рис. 22.9, *б*). После вычитания из упрощенной модели червяка двух винтовых впадин получим наглядный червяк. Отделив от червяка один зуб (см. рис. 22.9, *в*) и размножив его круговым массивом, вычитаем массив из заготовки колеса – построено колесо и, в целом, передача (см. рис. 22.9, *г*). Перемещаем передачу в файл сборки и заменяем ею ранее установленную упрощенную модель.

Размер файла наглядной модели червячной пары составляет 0.9….1 МБ. Размер файла всего узла сборки после замены упрощенных моделей подшипников и червячной передачи на наглядные удвоился и стал равным 3.3…3.5 МБ.

Изображение резьбы

Для дополнительного повышения наглядности объемной сборки можно выполнить наглядную 3D-модель резьбы. Для построения чертежа в ней нет необходимости (более того, наглядную резьбу, если она была построена, при построении чертежа приходится удалять, заменяя условным изображением). 3D-резьба вызывает существенное увеличение размера файла

сборки и повышает сложность работы с ним. Поэтому резьбу следует выполнять на завершающем этапе построения объемной модели узла и при достаточных ресурсах компьютера.

Если вы все-таки решили повысить наглядность модели узла нанесением резьбы, то следует учесть рекомендации по ее экономному выполнению (см. разд. 12.5 “Наглядные модели резьбовых соединений”): резьбу наносить только на деталях с наружной резьбой, причем на тех, на которых она видна. Это резьбовые детали, которые либо попадают в один из разрезов узла, либо резьба на них отображается на видах.

Методика построения резьбы подробно изложена в разд. 12.5. Необходимо создать винтовую модель впадины и вычесть ее из ранее созданной упрощенной модели детали, например, установочного винта (рис. 22.10, *а*). Для резьбы одного номинала можно создать одну винтовую впадину и вычитать ее из ранее созданных упрощенных моделей. Для различных резьб впадину можно масштабировать.

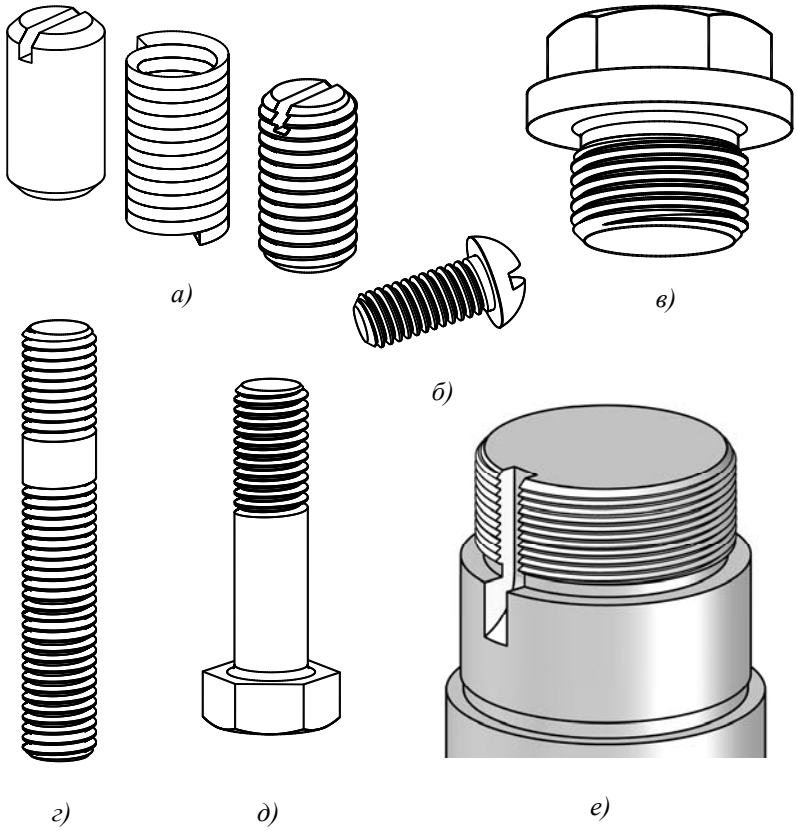


Рис. 22.10. Нанесение резьбы на модели редуктора:
а – последовательность построения резьбы, винт поз. *33*; *б* – винт поз. *35*; *в* – пробка поз. *25*; *г* – шпилька поз. *39*; *д* – болт поз. *32*; *е* – вал поз. *9*

В нашем примере редуктор содержит 47 деталей с резьбой. Резьба нанесена на восемнадцати деталях (см. рис. 22.10) – это часть болтов и винтов, шпильки, резьбовые концы валов и пробка. Внутренняя резьба не выполнялась.

Размер файла сборки после нанесения резьбы вырос на 10 МБ. Таким образом, на каждую резьбу затрачивается 50…60 КБ. Итоговый размер файла сборки достиг 14 МБ.

Итоговое реалистичное изображение 3D-сборки узла

После замены упрощенных моделей на реалистичные и построения резьбы выполните все фаски и радиусы сопряжения, которые существенно повышают наглядность узла при правильной настройке параметров стиля визуализации. Как и прежде, рекомендуем стиль, передающий

визуальные свойства металлической поверхности (см. разд. 5.3. “Новый визуальный стиль – Металл”). Подобрав в настройках стиля интенсивность подсветки, добейтесь бликов на криволинейных поверхностях и сопряжениях. Обратите внимание на плотность, цвет и толщину изолиний (толщина задается в свойствах объектов). Линии сопряжения (плавного перехода) следует выполнить тонкими, не доходящими до контура на 2…3 мм.

Были получены реалистичные изображения редуктора (см. выше рис. 20.1 и рис. 22.11). Оба они по наглядности существенно выше варианта с упрощенным отображением моделей (см. рис. 22.5). То есть трудозатраты на построение реалистичных моделей оправданы.

Сравните реалистичные изображения редуктора, полученные без резьбы (см. рис. 20.1) и с резьбой (см. рис. 22.11). Резьба существенно повысила наглядность. В еще большей мере резьба повышает наглядность при крупных масштабах отображения (см. раз. 12).

Изображения (см. рис. 20.1, 22.11) отличаются также показом червячного колеса (с зубчатым венцом или удалением его половины). Разрез колеса несколько снизил наглядность, но повысил информативность, поскольку на одном изображении удалось показать большее количество моделей.

22.4. Построение чертежа сложного узла

Техника и особенности построения узлового чертежа изложены в разд. 19.11. Дополнительно рассмотрим особенности построения чертежей сложных узлов.

Чертеж узла строим по 3D-сборке этого узла. В полной мере подходит сборка из упрощенных моделей. В чертеже, полученном на ее основе, потребуется редактирование штриховки, доработка резьбовых соединений, введение условных обозначений подшипников, зубчатых и червячных передач, корректировка изображений пружин.

Если выполнены реалистичные модели подшипников, то их следует включить в 3D-сборку для создания чертежа, поскольку получаемые по этим моделям изображения подшипников в полной мере соответствуют их условным обозначениям, принятым на чертеже. Можно включить реалистичные модели пружин, поскольку для них на чертеже потребуется лишь незначительная корректировка (см. разд. 17.4). Однако реалистичные модели зубчатых, червячных передач и особенно резьбы включать в 3D-сборку, предназначенную для построения чертежа, не следует, ибо проще выполнить на чертеже их условные изображения, чем редактировать автоматизированное изображение, полученное по реалистичным моделям.

Для чертежей сложных узлов построение видов рекомендуем выполнять командой **FLATSHOT** или **SECTIONPLANE**. В полной мере возможно применение “старых” команд **SOLPROF** и **SOLVIEW**+**SOLDRAW**.

Для создания разрезов следует применять команду **SECTIONPLANE**, которая в сравнении с командой **SOLVIEW** в гораздо большей мере адаптирована для работы со сложными чертежами. Основное ее преимущество – распределение штриховки по моделям при задании в настройке 2D-блока линий деления включенными.

Чертеж червячного редуктора, рассматриваемого в качестве примера (см. рис. 20.2), построен на основе 3D-сборки, включающей реалистичные модели подшипников и упрощенную модель червячной пары. Чертеж содержит фронтальный разрез на месте главного вида, ступенчатый профильный разрез А-А на месте вида слева, вид сверху (вид Б), вид снизу (вид В), местные виды Г–Ж на отдельные детали узла, наложенные сечения ребер жесткости корпуса и крышки.

Рассмотрим построение ступенчатого разреза А-А, раскрывающего конструкцию подшипниковых узлов червячного вала и установку шкива. Построение объекта сечения ОС (рис. 22.12, *а*) осуществляется последовательным заданием точек 1…5:

- перейдите в окно вида спереди. Убедитесь, что начало координат находится в центре посадочного фланца корпуса редуктора;
- **sectionplane** / **Draw section** / 200,420 / 200,368 / 180,368 / 180,160 // 330,330.

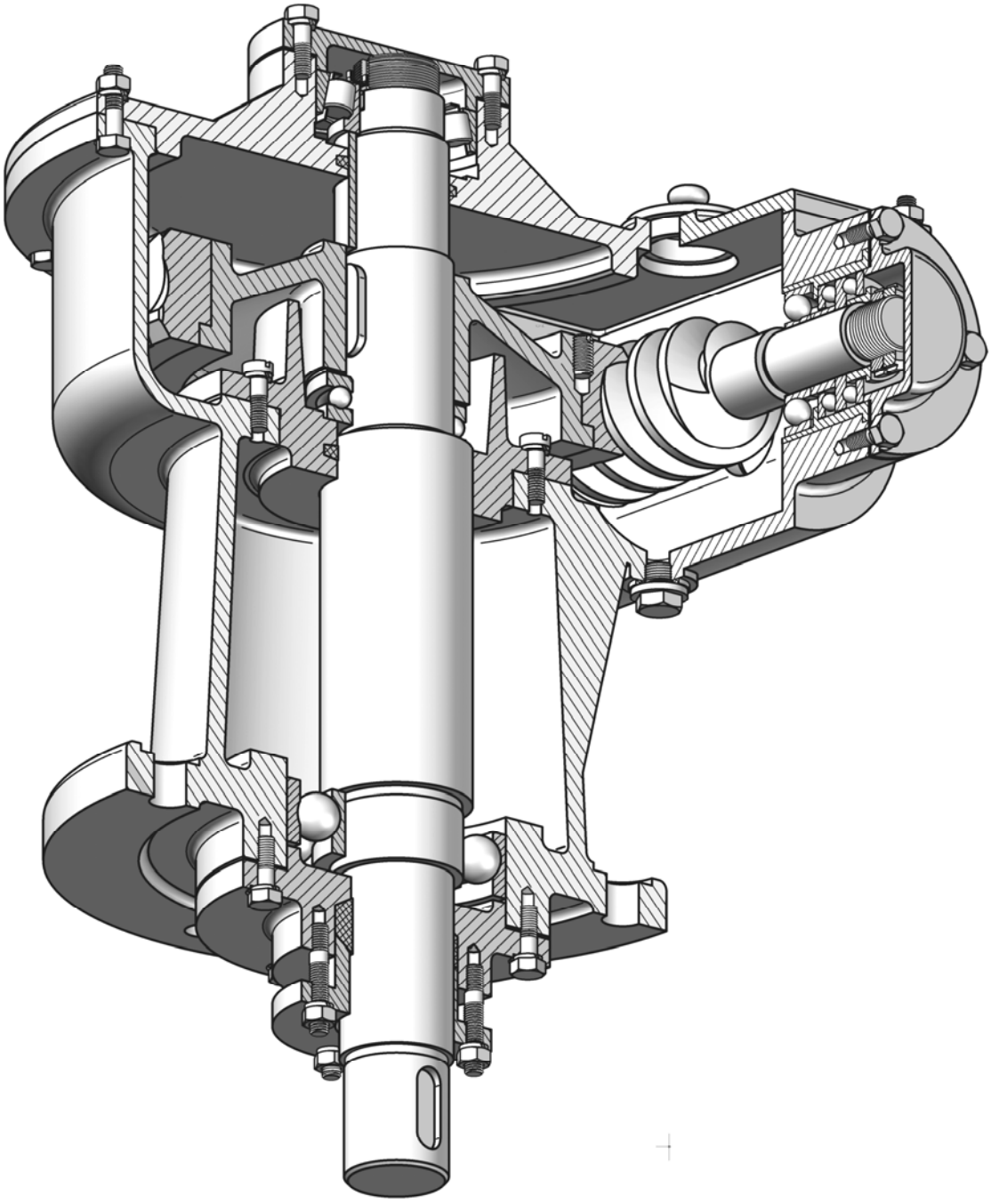


Рис. 22.11. Итоговое реалистичное изображение редуктора в разрезе

В разрез А-А (рис. 22.12, *б*) попадают детали, которые должны быть показаны нерассеченными – это червячный вал и крепежные детали крышек подшипниковых узлов. Чтобы выполнить это условие, построим разрез дважды и совместим изображения.

Первый раз выполним 2D-разрез традиционно (см. рис. 22.12, *в*), с рассечением всех моделей, попадающих в секущую плоскость, автономной штриховкой всех сечений (*Линии деления – Да*), показом штриховки (под металл), показом видимых линий заднего плана (*Фоновые линии, Показать – Да, Скрытие линий – Нет*). Линии перед секущей плоскостью не показываем (*Геометрия – Нет*). В полученном изображении удаляем штриховку с указанных элементов, которые должны быть нерассеченными (см. рис. 22.12, *г*).

Повторяем построение 2D-разреза с новыми настройками (см. рис. 22.12, *д*). В них отменя-

ем построение сечения, линий фона, штриховки и показываем только линии перед секущей плоскостью (*Геометрия разреза, Показать – Да*). Ввиду сложности узла количество этих линий значительно, и выбрать из них необходимые непросто. В связи с этим для построения второго разреза объекты следует задать избирательно. С этой целью создайте видовое окно, в котором работой со слоями оставьте видимыми только модели, не подлежащие рассечению. Выполните второй разрез только для них, например, перейдя в это окно. Вместо второго разреза в этом окне можно выполнить команду **FLATSHOT**.

Переместите второе изображение, совместив его с первым (см. рис. 22.12, *е*). Перемещение выполните с применением объектной привязки.

Разрез А-А совмещен с местным разрезом, поясняющим крепление шкива и положение шпонки. Контуры местного разреза уже получены (см. рис. 22.12, *г, д*). Осталось провести линию обрыва и выполнить штриховку.

В завершение редактируем штриховку, обеспечив различный наклон и шаг в местах сопряжения контуров сечения моделей. Проводим оси. Выполняем условное изображение резьбы (см. рис. 22.12, *б*).

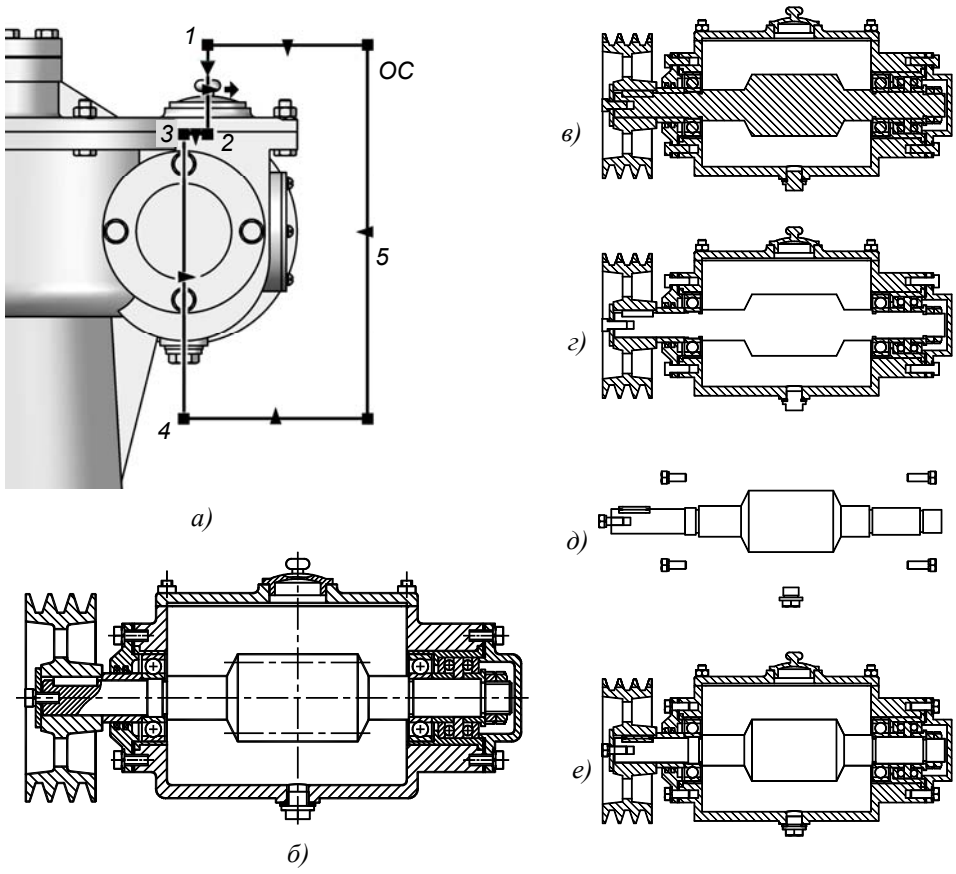


Рис. 22.12. Построение ступенчатого профильного разреза редуктора:
а – объект-сечение ОС; *б* – разрез после редактирования; *в–е* – последовательность построения разреза

Глава 23

Визуализация в режиме быстрого тонирования

Фотореалистичное изображение деталей и узлов достигается присвоением их поверхностям визуальных свойств реальных материалов, заданием освещения и построением теней, установкой фона. Это позволяет решать задачи технического дизайна, рекламы, маркетинга.

Хотя AutoCAD предназначен преимущественно для выполнения проектно-конструкторских работ, в нем предусмотрены развитые средства фотореалистичной визуализации. Эти возможности существенно возросли с появлением версии R17 (AutoCAD 2007…2009). Современная версия R18 (AutoCAD 2010) по возможностям визуализации уже близка к лидеру фотореалистичной визуализации – пакету 3D Studio MAX.

Тем, кто продолжает работать в версии R16 (AutoCAD 2006) и более ранних, для получения фотореалистичной визуализации рекомендуем обратиться к [10…12].

Ниже приведен учебный пример выполнения визуализации (рис. 23.1). Пример позволяет пройти все этапы создания растрового фотореалистичного изображения: подготовка модели, создание и присвоение материалов, настройка света и тени, задание фона и сохранение изображения с требуемым качеством.

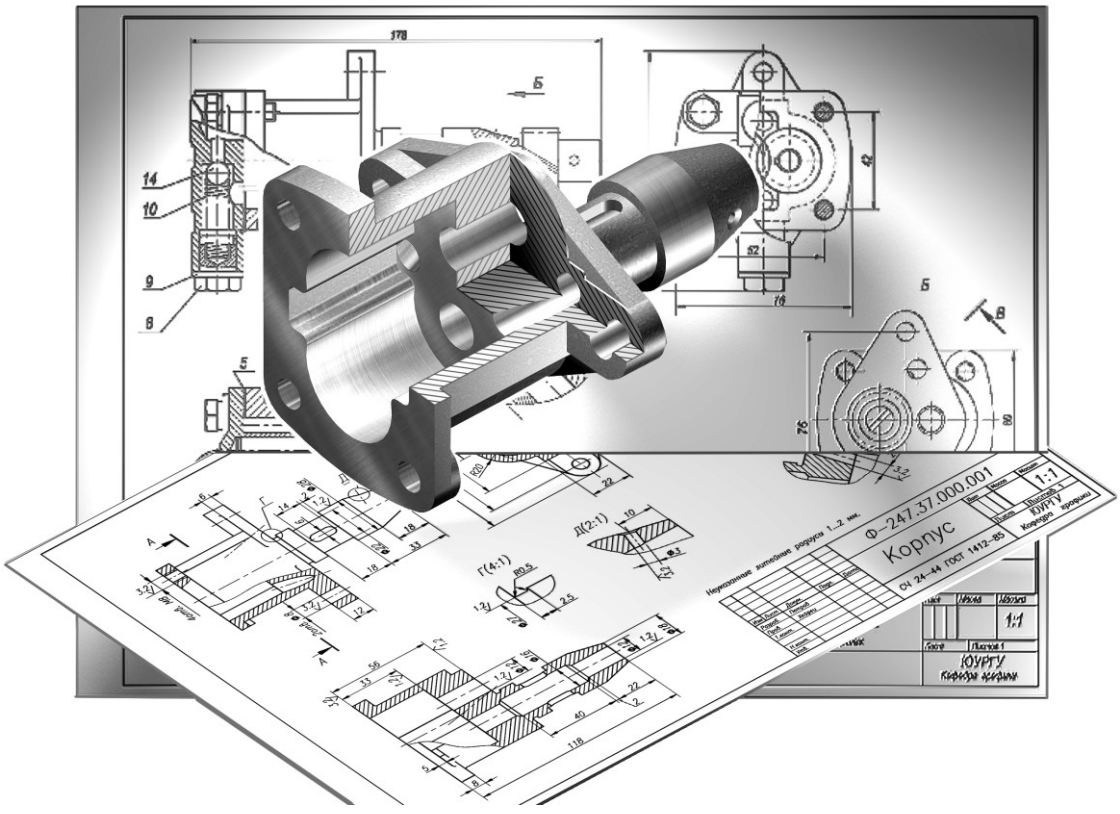


Рис. 23.1. Фотореалистичная визуализация корпуса шестеренного насоса

Сюжет следующий. Корпусная деталь отбрасывает мягкую тень на два чертежа: горизонтально расположенный свой рабочий чертеж и сборочный чертеж узла, назначенный в качестве фона. Модели присвоен материал, передающий цветовые свойства алюминиевого сплава. Литые поверхности имеют вид металла после гальванической обработки. Механически обрабо-

танные поверхности – вид шлифованного металла. Модель показана в 3D-разрезе, причем грани сечений для наглядности выделены красным цветом и заштрихованы.

К сожалению, возможности типографского издания не позволяют передать красоту фотореалистичного изображения, которое вы увидите на экране, повторив этот пример применительно к своей детали. Следуя приводимым ниже рекомендациям, вы сможете повторить наш пример и применить его к своей модели. Конечно, высоко ценится оригинальное ("эксклюзивное") дизайнерское решение.

В данной главе рассмотрены подготовительные операции, задание и настройка источников света, создание фона и визуализация в режиме быстрого тонирования (закраски) – это предварительный быстрый и весьма эффектный режим визуализации, но с ограниченными возможностями. В следующей главе рассмотрена истинная фотореалистичная визуализация.

23.1. Подготовка модели и общие настройки

Исходными данными для создания дизайн-композиции являются solid-модель корпусной детали и ее рабочий чертеж, сохраненные как *dwg*-файлы. Желательно иметь сборочный чертеж узла, в который входит корпусная деталь. В нашем примере – это модель и чертежи корпуса шестеренного насоса и всего узла, построение которых рассмотрено в разд. 18, 19.

Подготовка модели:

- создайте новый файл, в который через буфер памяти скопируйте визуализируемую модель. Выполните (**`SLICE`** или **`SECTIONPLANE`**) пространственный разрез модели, передающий ее внутреннее строение. Как правило, достаточно двумя-тремя секущими плоскостями удалить ближнюю четверть модели. Для литой детали важно, чтобы ее модель содержала литейные сопряжения (см. разд. 18.6), которые создают световые блики и тем заметно повышают качество визуализации.
- Задайте всей модели цвет **Cyan** (голубой, можно любой другой, светлый, например, 121, 131, 151).

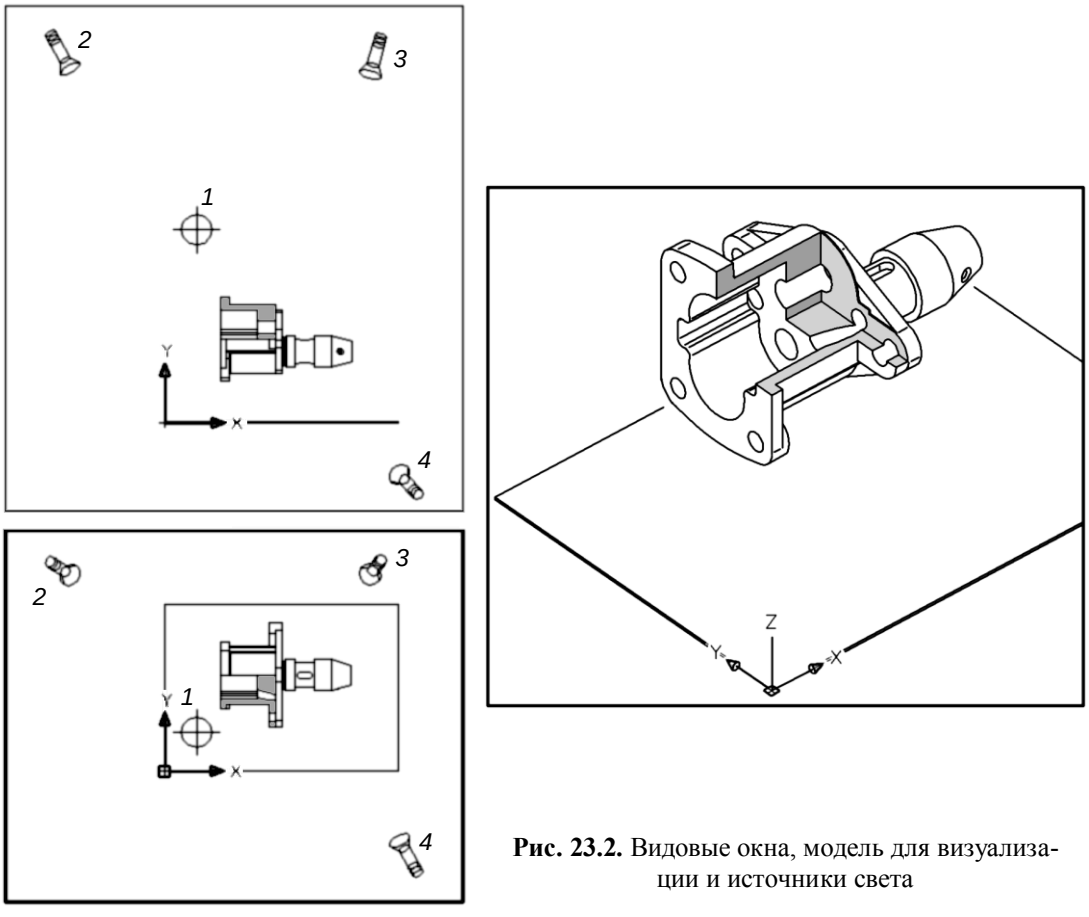


Рис. 23.2. Видовые окна, модель для визуализации и источники света

Зададим граням сечений цвет **Red** (красный). Задать граням модели цвет, отличающийся от цвета всей модели, можно командой **SOLIDEDIT**:

- **color** (Цвет) / в диалоговом окне **Select Color** (Выбор цвета) определите индекс (номер) цвета, присваиваемого граням. Например, номер красного цвета равен 1;
- в окне аксонометрии задайте точку зрения, при которой наглядно видны редактируемые грани сечений;
- **solidedit** / **Face** / **Color** или кнопка  панели **Solids Editing** (Редактирование тел) / укажите грани, которым нужно присвоить новый цвет / 1 (это номер цвета **Red**) или, лучше, более мягкий цвет 31;

Настройки для визуализации:

- создайте три видовых окна (рис. 23.2). Окна видов спереди и сверху позволят задать и корректировать положение источников света. В окне аксонометрии выполняем визуализацию. Здесь установите точку зрения, наглядно передающую форму детали;
- создайте плоскость чертежа, на которую будет падать тень от детали (см. рис. 23.2) как тонкий параллелепипед (команда **BOX**) с пропорциями формата чертежа. В нашем примере левый ближний угол поместите в начало координат МСК. Задайте размеры параллелепипеда равными 210×150×1. Присвойте объекту цвет, контрастирующий с цветом модели, например, **Yellow** (желтый).

Основная сложность реалистичной визуализации связана с настройкой источников света и заданием текстур материалов. Чтобы приведенные в нашем примере настройки потребовали минимальной корректировки, следует масштабировать вашу модель приблизительно до габаритов корпуса, рассматриваемого в качестве примера, и также расположить ее относительно листа. Визуализируемая модель корпуса (см. рис. 23.2) имеет габариты 118×94×76 мм, нижняя точка модели расположена над листом на высоте 35…40 мм. В плане модель расположена приблизительно посередине листа:

- масштабируйте свою модель (**SCALE**) так, чтобы ее габаритные размеры в первом приближении были равны габаритам рассматриваемой модели, и расположите модель относительно чертежа и МСК как показано на рис. 23.2;
- поместите модель и параллелепипед листа бумаги на разные слои, например, слои именем *Модель* и *Лист_чертежа*.

Выполните настройку, которая повысит плавность визуализации контура модели, хотя замедлит ее скорость:

- **options** (Настройки) / в диалоговом окне откройте закладку **Display** (Экран). Найдите параметр **Rendered Object Smoothness** (Гладкость объектов при визуализации). Начальное значение параметра равно 0.5. Задайте его в интервале 5…10.

23.2. Режим быстрого тонирования

Режим быстрого тонирования (закраски) наиболее просто позволяет получить наглядные изображения модели с материалом, присвоенным ее поверхности, и фоном. Воспроизводится действие источников света, в том числе могут быть показаны тени. Имеется множество возможностей, повышающих наглядность изображения, в частности, выделение очерковых линий, отображение или подавление линий невидимого контура, присвоение линиям необходимого типа, цвета. Предусмотрен даже режим карандашного наброска (что особенно интересно для архитекторов и дизайнеров).

Основное достоинство режима закраски – отображение модели в реальном времени, то есть модель можно вращать и осматривать со всех сторон вместе с ее материалами, бликами и тенями. Конечно, режим реального времени требует высоких параметров компьютера. Для надежного выполнения 3D операций AutoCAD’а объем оперативной памяти должен быть не менее 2 ГБ.

В режиме закраски можно получить результат высокого качества, однако это еще далеко не фотореалистичная визуализация, которой посвящена следующая глава.

Предусмотрено четыре "штатных" стиля закраски, которые удобно назначить, применив панель инструментов **Visual Styles** (Визуальные стили) (см. рис. 5.4):

- посмотрите визуализируемую модель в различных "штатных" стилях закраски. Так, режим **Realistic** (Реалистичный) передает цвет поверхности модели (*Cyan*) и граней сечений (*Red*). Переданы полутона.

Создание нового стиля визуализации

Простым вариантом повышения наглядности визуализации является присвоение всем поверхностям модели металлического цвета и блеска алюминия:

- перейдите в видовое окно визуализации модели (в окно аксонометрии);
- **`visualstyles`** (или укажите кнопку  панели **Visual Styles**, см. рис. 5.4) – возникло диалоговое окно **Visual Styles Manager** (см. рис. 5.5);
- создайте новый стиль визуализации (см. разд. 5.3 "Новый визуальный стиль – Металл");
- в полосе инструментов укажите кнопку *2* (см. рис. 5.5) – выполнена визуализация модели в новом стиле – все грани, включая грани сечений, имеют цвет алюминия.

Регулируйте интенсивность света, добиваясь оптимальной освещенности и блеска граней и сопряжений:

- укажите кнопку *3* (см. рис. 5.5), затем в строке **Highlight intesity** (Интенсивность подсветки) задайте значение в интервале 5…50.

Стиль *Металл* рекомендуем для визуализации, выполняемой *в процессе* построения модели. Его недостаток – единообразие цвета граней сечений.

Продолжим изучение визуализации в режиме закраски, восстановив отображение истинного цвета поверхности и граней сечения:

- восстановите режим **Realistic**, в котором в строке **Face Color Modes** должно быть значение **Normal**.

23.3. Фон

Можно установить фон, который существенно оживит создаваемую композицию. Фон задается командой **`VIEW`** (Вид) как один из параметров именованного вида. В каждом видовом окне можно задать различные виды и, следовательно, различный фон.

Фон может быть однородным – режим **Solid** или градиентным **Gradient**. В качестве фона может быть задана картинка из внешнего растрового файла – режим **Image**.

Для отображения фона в режиме закраски необходимо подготовить стиль визуализации:

- указав кнопку панели (см. рис. 5.4), откройте диалоговое окно настройки стиля визуализации (см. рис. 5.5). В диалоговом окне раскройте поле **Environment Settings** (Параметры среды) и включите отображение фона – строка **Background** (Фон), **On**.

Градиентный фон

Добавим градиентный фон к одному из стилей визуализации:

- активизируйте видовое окно аксонометрии, установите в нем режим визуализации **Realistic**;
- **`view`** / в диалоговом окне **View Manager** (Диспетчер видов) укажите **Model Views** / **New** (Создать) – возникло диалоговое окно **New View** (Создать вид) / **Name** (имя вида) – введите имя, например, 1, / в поле **Background** (Фон) в раскрывающемся списке укажите режим **Gradient** – возникло диалоговое окно **Background** настройки фона.

В режиме **Gradient** фон состоит из трех зон: **Top**, **Middle**, **Bottom** (верхняя, средняя, ниж-

няя). Указав в диалоговом окне настройки фона полосу зоны, можно настроить ее цвет. Результат отображается в окне предварительного просмотра **Preview**:

- выполните настройку градиентного фона;
- **OK** / **Set Current** (Установить) / **Apply** (Применить) – фон возник в видовом окне визуализации / **OK**.

Фон – картинка из текстур AutoCAD'а

В качестве фона можно задать любое изображение из растрового файла допустимого типа (*jpg*, *tif*). Красивые изображения для фона можно найти в пакетах 3D Studio MAX, Photshop и др. Имеется набор изображений (текстур) и в поставке пакета AutoCAD. Эти текстуры предназначены, главным образом, для создания фотореалистичных материалов, но можно их применить и для создания фона. Выберем изображение из набора текстур AutoCAD.

Первоначально нужно найти местоположение текстур. Они "спрятаны". В зависимости от установки пакета на компьютере путь к ним может быть различным. Например, "C:/Documents and Settings/All Users/Application Data/Autodesk/AutoCAD 2009/R17.2/enu/textures". Чтобы определить местоположение текстур на вашем компьютере, выполните:

- **`options`** / закладка **File** (Файлы) / **Texture Maps**…(Папка для поиска текстур) / выделить строку, указывающую путь к файлам текстур, и скопировать ее содержание в буфер памяти (<Ctrl> + <C>).

Создадим именованный вид, которому присвоим фон-картинку. Создание вида выполняем командой **`VIEW`** как при задании градиентного фона (см. выше). В диалоговом окне **New View** (Создать вид) в поле **Background** задаем режим **Image.** В диалоговом окне **Background** выполняем настройку фона:

- **Browse** (Обзор) / в окне **Select File** (Выбор файла) в поле **File name** из буфера памяти вставьте ранее скопированный в буфер путь к папке с файлами текстур (установить курсор в строку и <Ctrl> + <V>) – открылась папка с текстурами AutoCAD / **Files of type** – установите тип файла *jpg* / в режиме просмотра выберите файл текстуры, например, "*Doors-Windows.Glazing.Glass.Etched.jpg*" / **Open** / **Adjust Image** / **Stretch** (Растянуть) / OK / **Set Current** (Установить) / **Apply** (Применить).

В видовом окне возникло изображение картинки, заданной в качестве фона, растянутое по углам видового окна. Изменение пропорций видового окна приведет к изменению пропорций фона. (Для проверки с листа укажите рамку окна и за ручку переместите угол окна).

Задав в диалоговом окне настройки фона вместо режима **Stretch** (Растянуть) режим **Scale** можно обеспечить постоянство пропорций или размеров картинки фона, в режиме **Offset** можно смещать фон по окну.

23.4. Чертеж в растровом формате

Сделаем композицию более содержательной, задав в качестве фона изображение чертежа визуализируемой детали (см. рис. 23.1, 23.3). Для этого чертеж из *dwg*-файла нужно сохранить в растровом формате. Рассмотрим варианты такого сохранения.

Применение команды SAVEIMG

Для повышения качества растрового изображения его размер в пикселях нужно сделать максимально возможным. Этот размер равен размеру экрана или видового окна. Для увеличения растрового размера:

- сверните AutoCAD. Выполните правый клик по свободной части рабочего стола экрана. В контекстном меню укажите **Свойства**. В возникшем окне настроек выберите закладку **Параметры**. В нем задайте максимально возможное для вашего компьютера разрешение экрана, например, 1680×1050;
- разверните AutoCAD;

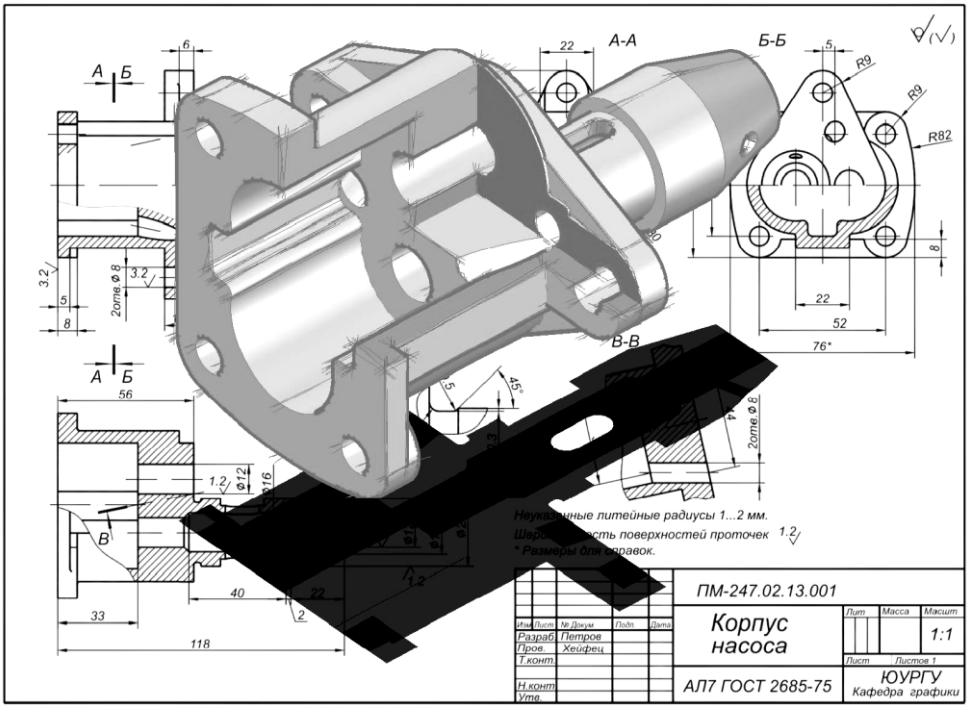


Рис. 23.3. Визуализация в режиме закраски

- откройте *dwg*-файл, содержащий чертеж детали;
- <Ctrl> + <0> или кнопкой , находящейся в правом нижнем углу экрана, уберите панели интерфейса.

Для дополнительного увеличения сохраняемой области экрана:

- <Ctrl> + <9> – уберите командную строку;
- **menubar** / 0 – уберите главное меню.

Сохраняем изображение:

- выполните правый клик по экрану. В контекстном меню укажите **Zoom** (Зуммировать) и перемещением курсора увеличьте изображение до границ экрана;
- если чертеж отображается из видового окна, перейдите в пространство модели через это видовое окно;
- **saveimg** / задайте тип (расширение) растрового файла, рекомендуем *jpg*, и имя файла / **Save** – файл сохранен;
- найдите созданный растровый файл и откройте его одним из просмотрщиков растровых файлов.

Для восстановления настроек экрана и интерфейса выполните:

- <Ctrl> + <9> – восстановлена командная строка;
- <Ctrl> + <0> или кнопка – восстановлены панели интерфейса;
- **menubar** / 1 – восстановлена строка главного меню.

Копирование экрана в буфер памяти

Это второй вариант сохранения растрового изображения экрана в файл. Подготовить изображение как в предыдущем варианте, максимально увеличив его размер. Скопировать необходимую часть изображения в буфер памяти: <Ctrl> + <C> (или меню **Edit** / **Copy**). Создать файл

в растровом пакете, например, пакете Photoshop, и вставить в него изображение из буфера памяти <Ctrl> + <V> (или меню **Edit** / **Paste**).

В растровом пакете изображение можно доработать (слегка размыть, контрастировать, изменить яркость, применить художественные фильтры…). После этого сохранить изображение из растрового пакета в растровый файл типа *jpg* или *tif*.

Можно из AutoCAD'а копировать в буфер все содержимое экрана, вместе с панелями интерфейса, в последствии обрезав их в растровом пакете. Для такого копирования примените клавишу <Print Screen>.

Печать чертежа в растровый файл

Рассмотрим пример сохранения чертежа в растровый файл формата *jpg*:

- **`plot`** – возникло окно настройки режима печати;
- в поле **Printer / Plotter** установите имя устройства "Publish To Web JPG.pc3";
- ориентация чертежа **Portrait** (Книжная) или **Landscape** (Альбомная) в соответствии с расположением длинной стороны рамки чертежа;
- в поле **Paper Size** (Формат) задайте размер изображения в соответствии с насыщенностью и пропорциями изображения. Например, для сохранения сложного чертежа в растровом формате рекомендуем установить растровый размер 1600×1200;
- **Plot Area** (Печатаемая область); выберите в раскрывающемся списке **Window** (Рамка) и охватите на экране выводимую область; в поле **Plot Offset** (Смещение) укажите **Center the Plot** (Центрировать), в поле **Plot Scale** (Масштаб печати) укажите **Fit to Paper** (Вписать);
- кнопка **Preview** (Просмотр) – оцените качество и размещение подготовленного изображения / **Esc** – возврат в окно настройки;
- параметр **Quality** (Качество) увеличить до **Maximum** или **Presentation**;
- **Apply to Layout** (Применить к листу) / **OK** / задать качество и расположение и имя сохраняемого файла;
- найдите сохраненный файл и посмотрите его просмотрщиком растровых файлов.

Печать в формате *pdf*

Высокого качества сохранения векторного изображения в растровом формате можно достигнуть при печати в формат *pdf* и последующей доработкой *pdf*-файла в одном из растровых пакетов:

- **`plot`** / в поле **Printer / Plotter** установить устройство вывода: "DWG To PDF.pc3";
- в поле **Paper Size** (Формат) задайте размер изображения 841×594;
- выполните остальные настройки режима печати, как в предыдущем варианте;
- OK – сохраните избражение;
- загрузите созданный *pdf*-файл в редактор растровых изображений (Photoshop). В процессе загрузки или позднее можно повысить разрешение до 150 или даже до 300 dpi, в редакторе доработать изображение (размыть линии, контрастировать изображение, добавить фон…) и окончательно сохранить изображение в одном из растровых форматов (*jpg*, *tif*…).

Присвоение чертежа в качестве фона

- Одним из рассмотренных выше вариантов создайте два растровых файла чертежей: рабочего чертежа детали и сборочного чертежа узла, в который входит визуализируемая деталь.
- Повторите действия по созданию фона командой **`VIEW`**, задав в качестве фона растровый файл одного из чертежей.

Связь растровых файлов и dwg-файлов

Содержание растрового файла, будь это файл фона, текстуры или вставка изображения, не вносится в *dwg*-файл модели. В *dwg*-файле хранятся лишь пути к растровым файлам, ссылки на них. По этим путям содержание растровых файлов считывается в файл модели. В связи с этим нужно учитывать два фактора.

Изменив содержание файла фона (текстуры, вставки), автоматически получим изменение изображения в *dwg*-файле. При фотореалистичном тонировании изменение отразится при очередной визуализации.

При переименовании или перемещении растрового файла нарушается связь между ним и *dwg*-файлом. Растровое изображение в *dwg*-файле исчезнет. В этом случае командой **VIEW** необходимо заново задать фон, переопределить текстуру в материале или редактировать вставку растрового изображения командой **IMAGEATTACH**.

Если текстура взята из набора текстур AutoCAD‘, путь к ней “система знает”, он прописан в **Options / File (Файлы) / Texture Maps**, и тестура не потеряется.

Для сохранения связи между *dwg*-файлом и растровыми файлами, последние достаточно поместить в одну папку с файлом модели и перемещать их (приносить на занятия) вместе.

23.5. Визуализация в режиме закраски

Соберем воедино рассмотренные выше настройки и выполним первый вариант визуализации в режиме закраски (см. рис. 23.3). В нем на заднем плане установим фон в виде чертежа. Лист чертежа, расположенный под моделью, пока отображать не будем. В визуализации посмотрим наиболее простое создание падающей тени и художественный эффект карандашного наброска:

- временно заморозьте слой, на котором расположен лист чертежа;
- командой **VIEW** задайте фон, подставив в качестве картинки растровый файл чертежа (см. разд. 23.4);
- создайте новый стиль визуализации на основе **Conceptual** или **Realistic**. В нем задайте цвет граней реалистичный или монохромный. Включите отображение фона. Повысьте интенсивность освещения до 5…50;
- примените эффект карандашного наброска. Для этого в окне настройки стиля раскройте поле **Edge Settings** (Настройка ребер), затем поле **Edge Modifiers** (Ребра модификаторы), укажите две кнопки по строке **Edge Modifiers** и настройте модификаторы в этом поле;
- включите отображение ребер модели **Edge Mode**, **Isolines**. Задайте количество изолиний равным 2…10 (подберите оптимальное для своей модели значение). После этого необходимо регенерировать рисунок (**REGEN**);
- добавьте очерковые линии модели **Fast Silhouette Edges** (Ребра быстрых силуэтов), подобрав их толщину и цвет. Поэкспериментируйте с линиями невидимого контура **Obscured Edges** и линиями пересечения **Intersection Edges**;
- включите тень “на землю” как первый, наиболее простой вариант создания тени. Для этого в разделе **Environment Settings** (Параметры среды) по строке **Shadow display** (С тенями) включите **Ground Shadow** (Тень на земле). Будет построена тень на плоскость ХУ МСК от условного источника света, направленного перпендикулярно этой плоскости;
- полученное изображение (рис. 23.3) сохраните в растровом формате одним из вариантов (см. выше разд. 23.4), предпочтительно, печатью в растровый файл формата *jpg*.

Построенная тень “на землю” не отвечает требованиям композиции (является темной, резкой). Поэтому, познакомившись с этой возможностью, тень “на землю” отключим: **Shadows** / **Off**.

На этот момент изображение в видовом окне отражает лишь часть возможностей режима закраски. По мере добавления источников света, включения полной тени, создания материалов, содержание изображения будет приближаться к итоговому результату (см. рис. 23.1).

23.6. Освещение и тень

Если не заданы дополнительные источники света, то визуализируемые объекты освещены “дежурным” светом, образованным двумя пучками параллельных лучей, направленными на экран из-за спины наблюдателя. Чтобы увидеть действие этих пучков, достаточно создать сферу и повысить интенсивность освещения. На сфере отчетливо видны два блика света.

Тень от дежурного света не образуется.

Основные свойства дополнительных источников света

Для повышения качества освещения устанавливают дополнительные источники. При создании первого дополнительного источника выводится сообщение, предлагающее отключить “дежурный” свет. С ним рекомендуется согласиться.

Имеются три типа дополнительных источников света: **Point Light** – точечный источник, равномерно испускающий свет по всем направлениям; **Spotlight** – прожектор, создающий конус света; **Distant Light** – дистанционный или удаленный, создающий пучок параллельных лучей, как от солнца.

Предусмотрено большое количество параметров настройки источников света. В частности, можно регулировать положение, интенсивность и цвет каждого источника. Источник может давать тень или быть бестеневым. Тень может быть жесткой, с четко очерченными краями, или мягкой, с размытыми границами. Интенсивность освещения с увеличением расстояния до источника может оставаться постоянной или затухать, создавая эффект глубины.

Источнику света можно придать так называемые *фотометрические* свойства, при которых он воспроизводит действие реальных промышленных источников света.

Если источник не создает тень, то свет от него проходит сквозь объекты и освещает все грани, обращенные к нему. В том числе освещаются грани, расположены внутри модели. Если источнику приданы теневые свойства, то грани, расположенные ближе, закрывают свет – в этом принцип создания тени.

Точечный источник и прожектор обозначаются маркерами (значками) света, определяющими их положение, а для прожектора еще и направление. Перемещая и вращая (для прожектора) маркер источника света, можно регулировать освещение от этого источника.

Для дистанционного источника – солнца значок не предусмотрен. Это усложняет настройку такого источника. Кроме того, в отличие от двух других типов источника, для него не предусмотрено смягчение (размытие) контура тени. По указанным причинам в нашей композиции дистанционный источник применять не будем.

Схема освещения

Следует стремиться к минимально возможному количеству дополнительных источников света. Увеличение количества источников свыше 3…4 лишь осложняет настройку освещения и приводит к возрастанию продолжительности визуализации.

В нашей композиции мы применим четыре дополнительных источника. Точечный источник (см. рис. 23.2, поз. *1*) освещает внутренние поверхности модели. Прожектор *2* создает падающую тень от модели на листы чертежей, а также тени внутри объема модели. Прожектор *3* освещает композицию в целом. Прожектор *4* обеспечивает подсветку затененных участков и приводит к возникновению бликов.

Для работы с источниками света, материалами и, в целом, в режиме тонирования рекомендуем пользоваться панелью инструментов **Render** (Тонирование) (рис. 23.4).

При создании и настройке источников света, как и позднее, при создании материалов, будем выполнять двойную проверку. Первоначально оценим источник в режиме закраски (эта

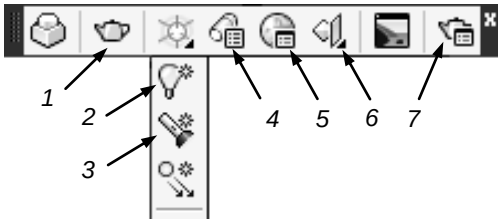


Рис. 23.4. Панель инструментов Render, раскрытая для задания источников света

проверка выполняется быстро). А окончательно проверим настройку источника в режиме истинного тонирования.

- Для упрощения настроек в нашем примере отключите фотометрические свойства источников света. Это достигается заданием значения системной переменной **`LIGHTINGUNITS`** = 0.

Точечный источник света с затуханием

Создадим первый источник (см. рис. 23.2, поз. *1*) для освещения внутренней области модели. Это будет бестеневой точечный источник с ослаблением света по мере удаления точки освещения. Последовательность создания этого источника следующая:

- **`pointlight`** (**`ТОЧСВЕТ`**) или кнопка *2* (см. рис. 23.4) с изображением этого источника / согласитесь со всеми предлагаемыми настройками – создан источник света, значок которого ⊕ отображен в видовых окнах (см. рис. 23.1).

Редактируем свойства источника:

- установите в окне аксонометрии режим закраски **Realistic**;
- укажите (двойной левый клик) значок созданного источника света – возникнет диалоговое окно с параметрами этого источника (рис. 23.5).

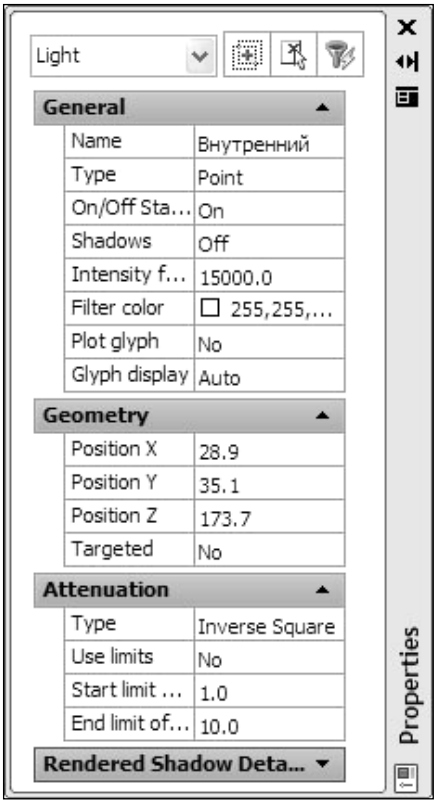


Рис. 23. 5. Окно настройки точечного источника света

В диалоговом окне отображаются все параметры созданного источника. Корректируя параметры, можно через диалоговое окно управлять положением и свойствами источника света. В частности, в разделе **Geometry**, отображены координты источника в текущей системе координат. В нашем примере для первого точечного координаты даны в МСК. Поэтому:

- перейдите в окно вида сверху, где установлена МСК;
- введите значения, приведенные в диалоговом окне источника (см. рис. 23.5), то есть установите первый источник в точку с координатами (29, 35, 174) МСК;
- убедитесь, что положение источника в видовых окнах соответствует рис. 23.2;
- задайте имя **Name** источника, например, *Внутренний*, отключите создание тени **Shadows Off**;
- убедитесь, что затухание света **Attenuation** отключено: **Type** (Тип) **No**;
- задайте интенсивность источника **Intensity** на уровне 0.6…0.8.

С новым источником света в окне аксонометрии, в котором задано оптимальное положение модели и включен режим закраски, грани модели должны быть достаточно освещены, причем, смежные грани освещены различно, так, что отчетливо видны ребра модели. Иначе перемещайте значок источника и корректируйте его интенсивность, добиваясь оптимального освещения.

Затухание света

Затухание света с расстоянием повышает наглядность визуализации, создает эффект глубины, поскольку ближние грани будут освещены сильнее, чем удаленные. Предусмотрено линейное и квадратичное затухание.

Включим линейное затухание. Убедитесь, что **LIGHTINGUNITS** = 0 (иначе установлено квадратичное затухание фотометрических источников света). Определите интенсивность **Intensity** источника Imin, при которой в отсутствии ослабления света удаленные грани еще достаточно освещены. Определите расстояние от источника до дальней точки модели Dmax. В окне настройки источника (см. рис. 23.5), в поле **Attenuation** (Затухание) задайте **Type** (Тип) **Inverse linear** (Линейная инверсия). Введите новую интенсивность источника в условиях затухания, определив ее как Intensity = Imin· Dmax. В нашем примере при Imin=0.5 и Dmax = 180 следует задать интенсивность **Intensity** =80…100. Настроив затухание, убедитесь, что в окне закраски по мере удаления грани становятся темнее, их цвет насыщеннее. Это особенно видно на гранях сечений.

Еще в большей мере эффект затухания проявляется, если источнику задать тип затухания **Inverse Squared** (Квадратичная инверсия), при котором интенсивность освещения убывает пропорционально квадрату расстояния. В этом случае Intensity = Imin · $Dmax^2$. В нашем примере получим значение Intensity Intensity = 15000…16000, его нужно установить в поле **Intensity**:

- задайте режим квадратичного ослабления освещения и проверьте его действие на модели в режиме закраски и предварительного тонирования (см. ниже);
- оставьте для нашей композиции квадратичное затухания света.

Первый пример истинного тонирования

Как отмечалось выше, режим закраски является предварительным. Проверим действие созданного источника в истинном режиме фотореалистичного тонирования. Выполним настройку режима тонирования. Это будет временный, “черновой” режим, который мы в дальнейшем оптимизируем:

- **rpref** (**РЕЖТОН**), или кнопка *7* панели **Render** (см. рис. 23.4) – возникло диалоговое окно настройки режима тонирования (рис. 23.6);
- установите среднее качество тонирования **Medium**, направление визуализации **Distination** в специальное окно **Window** с размером **Output size** изображения 640×480 или 800×600. Остальные настройки оставим “по умолчанию”;
- укажите на панели **Render** (см. рис. 23.4) кнопку *1* или в диалоговом окне настройки (см. рис. 23.6) укажите кнопку в правом верхнем углу – в окне вывода начнется процесс визуализации.

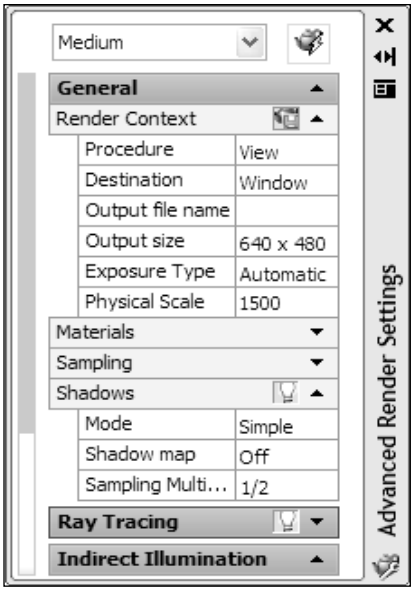


Рис. 23.6. Диалоговое окно настройки режима тонирования

Оцените качество полученного изображения – поскольку материалы еще не созданы, тонированное изображение должно контрастно передавать цвет граней модели, в нашем примере для граней цвет голубой, для сечений – красный. Должно быть видно затухание света и соответствующее ему изменение цвета граней по мере их удаления от источника.

Рекомендуем выполнить дополнительную настройку режима тонирования. В окне настроек (см. рис. 23.6) замените режим **Window** на **Viewport** – это направит вывод визуализации в активное видовое окно. Возможно, этот режим понравится в большей мере.

Теневой прожектор

Тень, падающую от модели на листы чертежей, формирует источник *2* (см. рис. 23.2). Для создания этого источника:

- **`spotlight`** (или кнопка *3* панели **Render**, см. рис. 23.4) / согласитесь со всеми предлагаемыми настройками – создан прожектор, значок которого возник в видовых окнах.

Редактируем положение источника. Координаты положения в этот раз зададим относительно ПСК окна вида спереди. Параметры введем через диалоговое окно настройки источника:

- выполните двойной левый клик по значку источника – отрывается диалоговое окно настройки источника (рис. 23.7).
- перейдите в окно вида спереди;
- введите в диалоговое окно значения, приведенные на рис. 23.7 в разделе **Geometry**;
- введите остальные значения, приведенные в разделе **General** (Общие): задайте имя **Name** *Теневой*, интенсивность **Intensity** 0.5…0.7, углы конусов света **Hotspot** и **Falloff** соответственно 27 и 43;
- затухание должно быть отключено: **Attenuation** (Затухание) задайте **Type** (Тип) No;
- включите тень **Shadows On** в режиме **Sharp** (Резкие);
- убедитесь, что при выполненных настройках положение источника в видовых окнах соответствует рис. 23.7 и рис. 23.2.

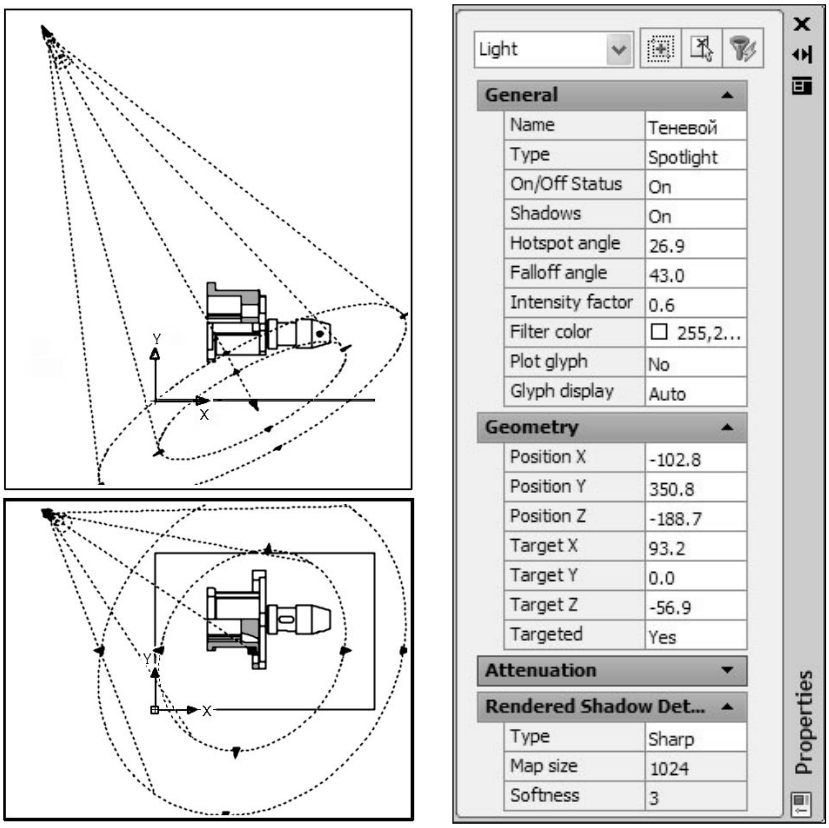


Рис. 23.7. Настройка теневого прожектора

Рассмотрим два конуса света, возникающие при указании значка созданного источника. Вершина конусов находится в точке **Position** расположения прожектора. Центральная точка основания конусов – точка цели **Target**. Внутренний конус света **Hotspot** обозначает область яркого света прожектора. В ней интенсивность определяется значением **Intensity**. Наружный конус обозначает границу света **Falloff**, за которой свет от источника отсутствует. От яркой зоны до границы свет равномерно спадает до нуля.

В нашем примере деталь помещена в область **Hotspot**. Область **Falloff** заканчивается приблизительно на границах листа – чертежа. Это приводит (см. рис. 23.1) к полному освещению детали и плавному, красивому уменьшению интенсивности освещения на границах чертежа.

Управлять положением источника и размерами конусов можно с помощью ручек (треугольники), находящихся в опорных точках конусов. Перемещать и вращать тело источника можно командами **`MOVE`** и **`ROTATE`**.

- Перемещая ручки, окончательно настройте конусы прожектора как показано на рис. 23.7;
- разморозьте слой, на котором помещен горизонтальный лист чертежа;
- проверьте новый источник в режиме фотореалистичного тонирования. Убедитесь в наличии конуса света, плавном спадании освещения от внутреннего конуса к наружному и в наличии тени на внутренних поверхностях модели и на листе под моделью.

Полная тень в режиме закраски

На этот момент в окне визуализации, где установлен режим закраски, видим освещение модели от двух созданных источников света. Второй источник является теневым, однако тень пока видна лишь при истинном тонировании.

Добавим отображение теней в режим закраски:

- в диалоговом окне настройки стиля визуализации (см. рис. 5.5) по строке **Shadow display** установите режим **Full shadows**. Активизируйте подключенный режим тени – кнопка *2*.

В окне визуализации видим падающую тень от созданного прожектора на лист чертежа. При внимательном рассмотрении видны падающие тени и на гранях модели от ее частей, расположенных ближе к свету. В соответсвии со свойством режима закраски, что очень ценно, тень сохраняется при вращении объекта в реальном времени – проверьте.

Если полная тень не возникла (но перед этим тень в режиме **Ground Shadow** (“На землю”) образовывалась), значит не достаточно ресурсов компьютера. В этом случае следует ввести с командной строки **3dconfig**, в возникшем окне настройки **Adaptive Degradation** убедиться, что режим **Full shadows** включен, далее указать кнопку **Manual Tune** и скорректировать настройки в ручном режиме управления. Если и сейчас полная тень не возникла, добавляйте оперативной памяти компьютеру.

- В настройке визуального стиля (см. рис. 5.4 и разд. 23.4) увеличьте параметр **Highlight intesity** (Интенсивность подсветки) до 5…50 – качество изображения существенно выросло.
- Для контроля и сравнения режима закраски и фотореалистичной визуализации еще раз выполните фотореалистичную визуализацию видового окна, указав кнопку *1* панели **Render** (см. рис. 23.4).

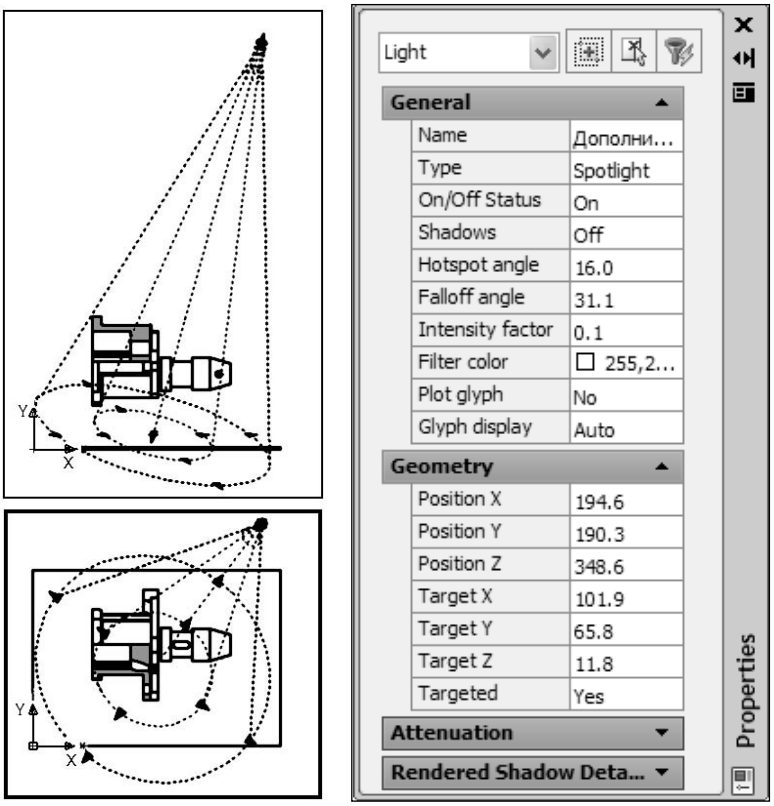


Рис. 23.8. Настройка дополнительного прожектора

Бестеневой прожектор

Поскольку теневой прожектор настраивается с учетом положения и интенсивности падающей тени, нужен еще один прожектор, предназначенный для регулировки общего уровня освещения. В схеме освещения композиции (см. рис. 23.2) это источник *3*. Последовательность его создания та же, что и теневого прожектора. Положение, направление и размеры конусов света показаны на рис. 23.8. Координаты даны в

МСК. В диалоговом окне настройки источника необходимо присвоить источнику имя, например, *Дополнительный*, отключить тень **Shadows Off**, снизить интенсивность до 0.1…0.2.

Прожектор подсветки с затуханием

Последний источник света (см. рис. 23.2, поз. *4*) также зададим как прожектор. Он обеспечит освещение нижних граней модели. Параметры этого источника, в отличие от предыдущих, существенно зависят от визуализируемой модели. В нашей композиции этот источник направлен на штуцер корпуса и создает блики на его поверхности.

Положение и настройка прожектора подсветки показаны на рис. 23.9. Источник бестеневой, то есть **Shadows Off**. Координаты в МСК. Источнику придано квадратичное затухание **Type Inverse Squared**, необходимость которого была определена экспериментальной проверкой. Расчет интенсивности затухания выполнен так же как для точечного источника (см. выше).

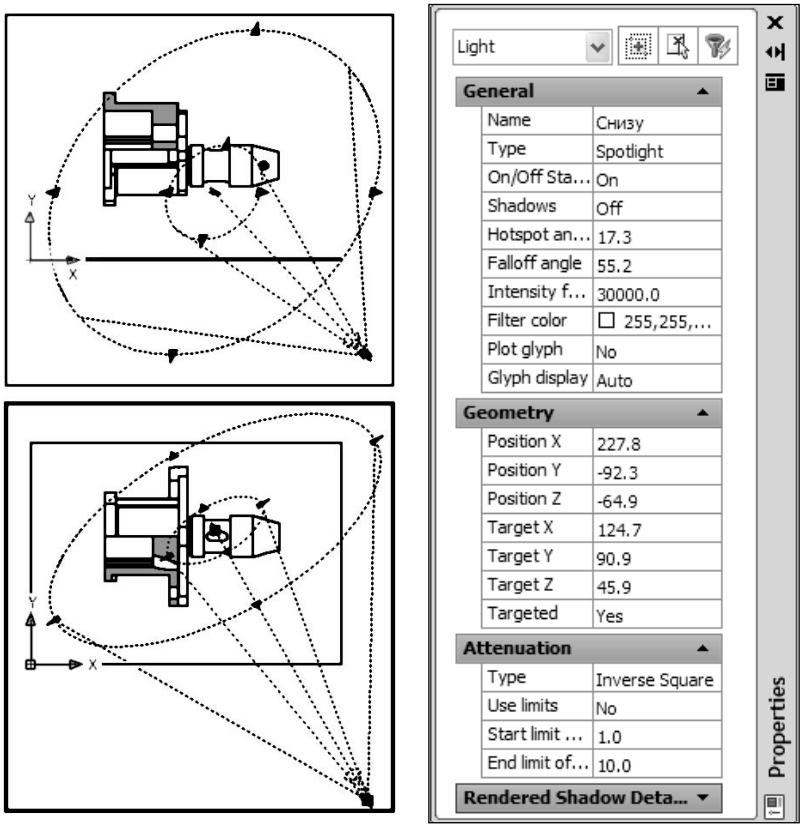


Рис. 23.9. Настройка прожектора подсветки

Полученное значение 30000 присвоено параметру **Intensyty factor.**

Тень с мягкими границами

В реальных условиях в зависимости от среды, в которой распространяется свет, свойств источника света (солнце или источники искусственного освещения), состояния поверхности материалов (зеркальная или матовая), контур падающей тени может быть четко очерченным или иметь размытые границы. Для передачи разной формы тени в пакете AutoCAD (и 3D Studio MAX) предусмотрены два различных алгоритма построения теней.

Для передачи резких границ применяется алгоритм **Ray Tracing (**трассировка луча). Этот алгоритм осуществляет строгий расчет границы тени. Он задан в настройках “по умолчанию”, поэтому до сих пор мы получали резкие тени. Для построения мягких размытых теней предусмотрен режим **Shadows Map**, к которому сейчас обратимся.

В режиме **Shadows Map** создается растровое изображение картины теней, которое накладывается на основное изображение визуализации. Качество прорисовки границы тени задается

размером растрового изображения тени. Мягкость тени обеспечивается размытием границы растрового изображения тени и регулируется шириной зоны размытия. Конечно, все выполняется в автоматическом режиме.

Для подключения режима **Shadows Map** и создания мягкой тени нужно выполнить настройки в двух диалоговых окнах. Первая настройка:

- **`rpref`** – возникло окно настроек режима тонирования (см. рис. 23.6) / раскройте поле **Shadows** и убедитесь, что утоплена кнопка на строке заголовка этого поля / в поле **Shadows** включите режим **Shadow Map On**.

Вторая настройка:

- двойной левый клик по значку теневого прожектора – возникло диалоговое окно настройки этого источника (см. рис. 23.7) / в нижней части окна, в поле **Rendered Shadow**…(Отображение тени…) включите **Type Soft (Shadow Map)** (Мягкие с текстурой) / задайте размер растровой картинки тени **Map size** равным 256, 512 или 1024 / задайте ширину зоны размытия тени **Softness** равной 3…5.

Результат размытия границы тени увидим только при фотореалистичной визуализации, в режиме закраски размытие не отображается.

23.7. Тонирование с фоном и тенью, без материалов

При добавлении каждого нового источника света возрастает общая суммарная интенсивность освещения сцены. Изображение становится “пересвеченным”. Возникает необходимость снижать интенсивность ранее созданных источников. Непрерывно возникает необходимость корректировать и другие параметры источников. Корректировка выполняется через диалоговые окна свойств источников, добраться до которых можно, выполнив двойной клик по значку источника.

Удобным средством корректировки источников является диалоговое окно, в котором приведен список всех задействованных источников (рис. 23.10). Для вывода этого окна:

- **`lightlist`** или указать кнопку *4* панели **Render** (см. рис. 23.4) – возникло диалоговое окно **Lights in Model** (Источники света в модели).

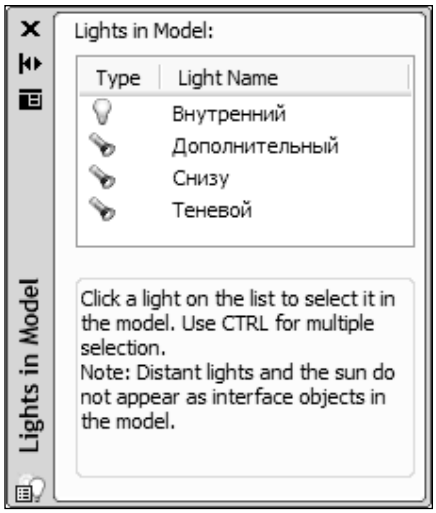


Рис. 23.10. Диалоговое окно источников света

Двойной левый клик по имени источника в списке приведет к вызову диалогового окна свойств этого источника. Правый клик вызывает контекстное меню, позволяющее вывести окно свойств, удалить источник, спрятать его значок или временно отключить источник.

В нашем примере после создания источника *3* (Дополнительный), добавляющего общую интенсивность освещения, в том числе и внутренних граней модели, необходимо уменьшить интенсивность источника *1* (Внутренний):

- вызовите окно списка источников света / укажите строку с именем *Внутренний* / в окне свойств точечного источника снизьте значение **Intensity** до 7000…9000.
- Выполните фотореалистичную визуализацию при совместном действии источников света, пока без специальных материалов (кнопка *1* панели **Render,** см. рис. 23.4). Результат приведен на рис. 23.11.

Критерии качества освещения

Оцените правильность задания освещения по следующим критериям. На криволинейных поверхностях модели (см. рис. 23.11) должны быть видны освещенная и теневая области. Каждая из них имеет плавное изменение яркости и не выглядит однородным засвеченным или за-

темненным участком. На освещенных участках криволинейных поверхностей желательны световые блики.

В месте пересечения граней интенсивность освещения должна скачкообразно изменяться, подчеркивая ребра модели.

Область падающей тени должна быть видна (а не скрываться за моделью), насыщенность тени должна быть оптимальной. В этом случае тень подчеркивает форму детали, облегчает ее восприятие.

Если эти критерии не выполняются, необходимо корректировать параметры источников света с учетом их назначения. В нашей схеме освещения (см. рис. 23.2) для изменения интенсивности освещения внутренней области модели нужно регулировать источник *1*. Для корректировки размеров и направления падающей тени нужно изменить направление источника *2*. Для уменьшения общей интенсивности освещения нужно пропорционально снизить интенсивности источников *2*, *3*. Добиться усиления тени при сохранении общей интенсивности освещения можно перераспределением интенсивностей источников *2* и *3*, то есть, увеличить интенсивность источника *2* и в той же мере снизить ее у источника *3*. Дополнительно можно управлять источником *4*, регулируя освещенность затененных областей.

Обратите внимание на границу падающей тени. Для повышения ее четкости в диалоговом окне настройки теневого источника (см. рис. 23.7) увеличьте размер **Map size**, а для расширения зоны размытия увеличьте параметр **Softness**.

23.8. Сохранение результата тонирования

Тонированное изображение, полученное в видовом окне, то есть при значении **Distination = Viewport** (см. рис. 23.6), пропадает при первой перерисовке экрана компьютера. Если же изображение получено в специальном окне визуализации, при **Distination = Window**, оно сохраняется до перезагрузки пакета.

Изображение (рис. 23.11) уже вызывает интерес и его следует сохранить, записав в файл. Сохранить тонированное изображение можно методами, рассмотренными в разд. 23.4. Это применение команды **SAVEIMG**, перенос содержимого экрана в растровый пакет через буфер памяти, печать в растровый файл. Однако основной вариант сохранения тонированного изображения состоит в следующем:

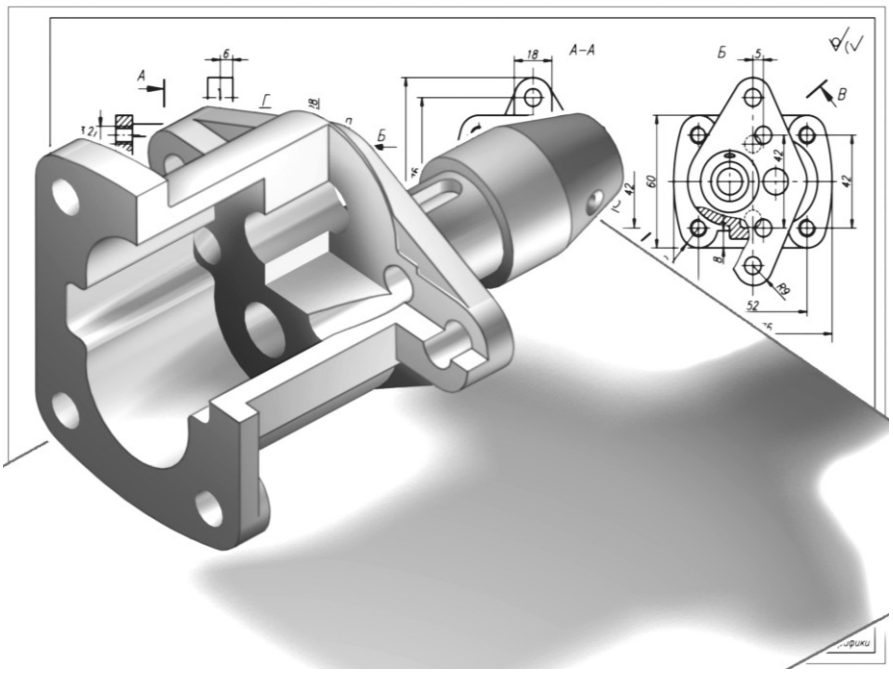


Рис. 23.11. Фотореалистичная визуализация с фоном без материалов

памяти, печать в растровый файл. Однако основной вариант сохранения тонированного изображения состоит в следующем:

- в окне настройки тонирования (см. рис. 23.6) задать направление вывода **Distination = Window**, установить необходимый размер изображения **Output size** (как минимум 800×600) и качество визуализации (**Medium, High, Presentation**), внести другие необходимые настройки;
- выполнить фотореалистичное тонирование, которое пойдет в окно **Window**;
- по завершению тонирования в окне **Window** открыть меню **File / Save**, задать имя и тип растрового файла (*jpg*, *tif*) и сохранить изображение.

Если в окне настройки (см. рис. 23.6) дополнительно утопить кнопку  , расположенную на строке **Render Context**, и в строке **Output file name** ввести полное имя файла, то создаваемое изображение будет сохранено в файл автоматически, одновременно с его выводом в окно **Window**. Сохраните результат тонирования вашей модели, подобный рис. 23.11, в файл с разрешением 1024×768 в режиме тонирования с высоким качеством.

Глава 24

Фотореалистичная визуализация

В данной главе продолжим визуализацию учебного примера – корпуса и узла редуктора шестеренного насоса. Основное внимание уделим созданию реалистичных материалов и завершающим действиям по созданию истинной фотореалистичной визуализации.

24.1. Свойства и редактор материалов

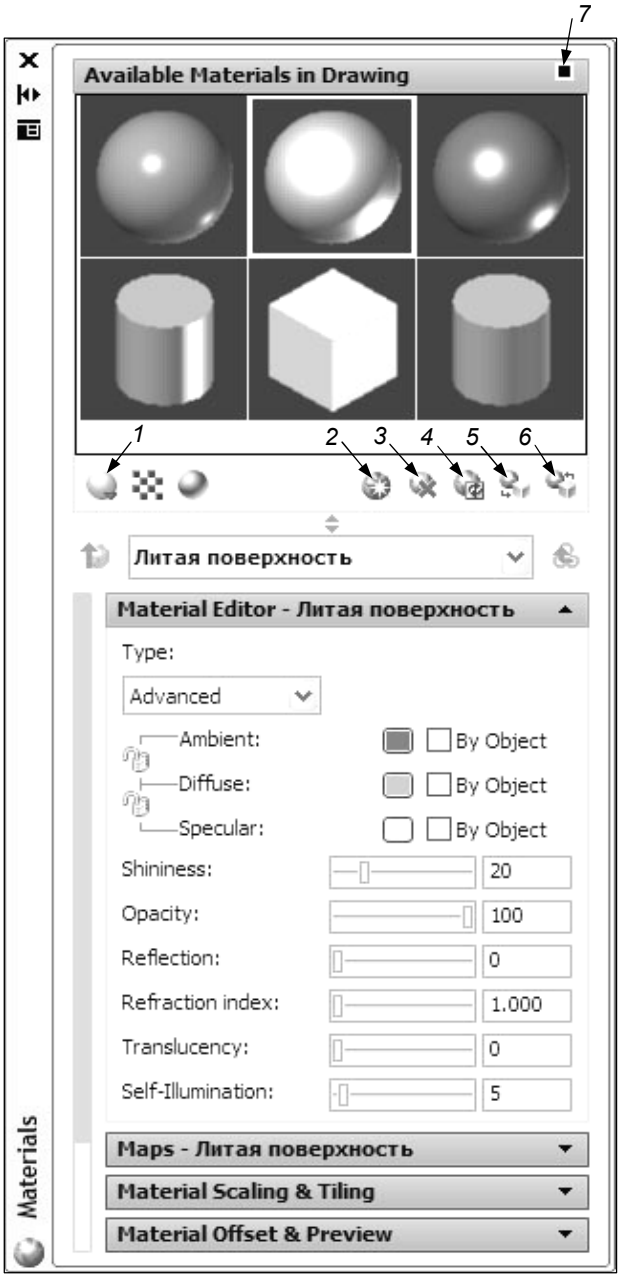


Рис. 24.1. Окно редактора материалов

Материал – это комплекс свойств, присваиваемых поверхности модели для передачи визуальных физических свойств объекта, таких, как цвет, блеск (световой блик), прозрачность, зеркальность. Материал может быть однородным или текстурированным (то есть с узором, картинкой), гладким или рельефным.

Основные приемы работы с материалами рассмотрим на примере создания нашей композиции (см. рис. 23.1). Поскольку визуализируемую корпусную деталь изготовляют литьем с последующей механической обработкой рабочих поверхностей, то для модели подготовим материал литой поверхности, ряд материалов для поверхности после механической обработки (шлифования, фрезерования). Понадобится материал для поверхностей сечений, его создадим красным с черными линиями штриховки. Создадим еще два материала для листов чертежей, на которые, согласно композиции, деталь отбрасывает тень. Материал горизонтального листа передает рабочий чертеж детали, материал вертикального листа передает сборочный чертеж узла.

Первоначально присвоим визуализируемой модели однородные материалы, оценим качество визуализации и затем перейдем к более совершенным, но и более сложным, текстурированным материалам. Рекомендуем и вам соблюдать ту же последовательность действий.

Работа с материалами выполняется через диалоговое окно **Materials** (рис. 24.1):

- `materials` или кнопка *5* панели **Render** (см. выше, рис. 23.4) – возникло диалоговое окно редактора материалов.

Верхняя часть диалогового окна **Materials** содержит образцы созданных ма-

териалов, под ними расположена строка с кнопками управления, еще ниже расположены разделы свойств материалов.

Рассмотрим назначение основных кнопок управления.

Кнопка *1* позволяет назначить геометрию образца (куб, сфера, цилиндр) в соответствии с геометрией поверхности модели. Кнопка *2* – создание нового материала.

В редакторе материалов могут находиться как пробные материалы, не приложенные к объектам текущего файла (так называемые "холодные" материалы), так и материалы, задействованные в текущем файле ("горячие" материалы). Кнопка *3* позволяет удалить "холодные" материалы из редактора. Кнопка *4* позволяет выявить "горячие" материалы, отмечая их образцы символом *dwg*-файла. Кнопка *5* назначает материал объекту, кнопка *6* – удаляет материал с объекта, очищает объект. Кнопка *7* позволяет подробно с увеличением рассмотреть материал на образце.

24.2. Однородные материалы

Открыв окно редактора материалов, видим образец материала с именем **Global**. Это исходный материал поверхностей, которым не присвоен специальный материал. Материал **Global** имеет цвет поверхности объекта. В остальном – это обычный, редактируемый *однородный* материал, свойства которых сейчас рассмотрим.

Однородные материалы композиции

Создадим ряд однородных материалов, имена которых приведены в таблице 24.1. Последовательность их создания следующая:

- укажите кнопку *2*, введите имя материала, например, *Литая поверхность*. Задайте **Type** (тип материала) **Advanced** (Дополнительные).

Параметры однородных материалов приведены в разделе **Material Elitor** диалогового окна материалов:

- раскройте раздел **Material Elitor** (укажите треугольник на строке с именем раздела).

Из приведенных параметров настроим основные, характерные для металлов – это цвет и повышенный блеск. Параметры цвета зададим в следующей последовательности: **Diffuse** (Диффузный) – цвет материала на освещенной части поверхностей; **Ambient** (Рассеянный) – цвет затененной части поверхностей и **Specular** – цвет блика:

- укажите кнопку по строке **Diffuse** (Диффузный) – откроется окно настройки цвета. Задайте рекомендуемые значения цвета по шкале RGB, приведенные в таблице 24.1.

Таблица 24.1

Параметры однородных материалов композиции

Имя материала	Diffuse, RGB	Shininess
Литая поверхность	146,46,169	20
Сечения	248,52,48	35
Шлифование цилиндров	163,42,119	20
Фрезерование	219,232,206	30
Сверление	163,42,119	55

- Цвет **Ambient** (Рассеянный) следует первоначально задать с теми же параметрами, что и **Diffuse**, затем в окне настройки цвета снизить **Luminance** (Яркость). Для цвета **Specular**, напротив, яркость первоначального цвета **Diffuse** нужно повысить.

Настроим размер светового блика как показатель блеска металла:

- задайте параметр **Shininess** (Блеск) согласно значениям, приведенным в таблице 24.1.

Остальные свойства однородных материалов оставим заданными "по умолчанию". Можете с ними поэкспериментировать, регулируя **Opacity** (Непрозрачность), **Reflection** (Зеркаль-

ность), **Refraction** (Коэффициент преломления), **Translucency** (Степень прозрачности), **Self-illumination** (Самосвечение).

- Создайте материалы для своей модели, ориентируясь на примеры, приведенные в таблице 24.1.

Присвоение материалов объектам и их отдельным граням

Присвоение материала объекту или его отдельным граням выполняется в следующей последовательности:

- в видовом окне указать объект или его отдельные грани. Для выбора только граней нужно предварительно нажать и удерживать клавишу <Ctrl>. Следует убедиться в правильности выбора по высвечиванию указанного объекта или его выбранных граней;
- открыть редактор материалов и указать в нем образец присваиваемого материала;
- в редакторе материалов указать кнопку *5* “Применить материалы к объекту” (см. рис. 24.1).

Если в видовом окне установлен режим закраски **Realistik**, **Conceptual** или иной стиль закраски, в котором активен параметр **Materials and textures** (см. разд. 24.2), присвоенный материал сразу отображается на модели.

Для удаления материала с объекта нужно указать объект или его отдельную грань и указать кнопку *6* в редакторе материалов (см. рис. 24.1).

Присвойте визуализируемой модели созданные материалы. Первым нужно присвоить материал, предназначенный большинству поверхностей модели. Затем назначаем материалы отдельных граней. В нашем примере нужно присвоить материалы, приведенные в табл. 24.1. Последовательность присвоения следующая:

- первоначально присвойте материал “Литая поверхность” всей модели, то есть укажите весь объект в целом;
- материал “Сечения” присвойте граням сечений; при выборе этих граней максимально увеличьте изображение в видовом окне. Грани указывайте с предварительно нажатой клавишей <Ctrl>;
- материал “Шлифование цилиндров” присвойте внутренним цилиндрическим поверхностям камеры корпуса и внутренней поверхности продольного паза на штуцере;
- материала “Фрезерование” присвойте плоскостям основания корпуса и днища камеры;
- для внутренних поверхностей крепежных отверстий назначьте материал “Сверление”;
- выполните тонирование модели с новыми однородными материалами (рис. 24.2).

Сравните результат визуализации модели с новыми материалами и результат предыдущей визуализации (см. рис. 23.11) модели без материалов (точнее, только с “глобальными” материалами). Модель стала значительно нагляднее и выразительнее.

24.3. Создание текстурированных материалов

Основу текстурированного материала составляет текстура – то есть рисунок, картинка. Текстурированный материал значительно полнее, чем однородный, передает визуальные физические свойства поверхности модели. Текстура может отображать рисунок поверхности, ее рельефность, зеркальность, переменную прозрачность материала. Текстурированный материал обладает всеми свойствами однородных материалов кроме цвета **Diffuse**, вместо него задается текстура рисунка, которая полностью или частично заменяет этот цвет.

Рассмотрим создание и присвоение текстурированных материалов на примере материала штриховки. Для этого выполним ряд упражнений в отдельном файле.

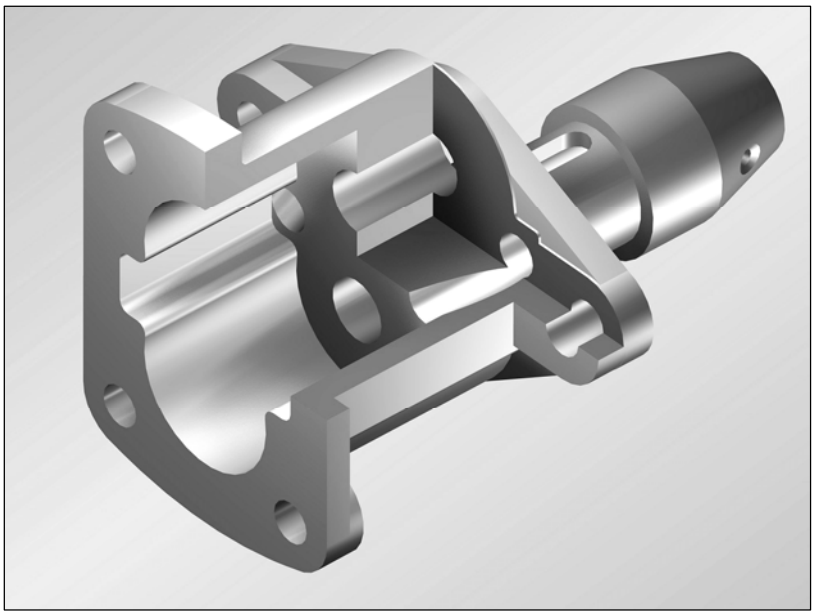


Рис. 24.2. Визуализация с однородными материалами

Текстура штриховки металла

- Создайте новый *dwg*-файл.

Картинку текстуры (рис. 24.3) можно нарисовать в любом растровом пакете. Мы ее начертим в AutoCAD'е и преобразуем в растровое изображение:

- в *пространстве модели* начертите горизонтальный отрезок длиной 30 мм, командой **ARRAY** создайте вертикальный массив из 11 таких отрезков с шагом 3 – это будет шаг штриховки, присвойте отрезкам толщину 0.3…0.5 – это будет толщина линий штриховки;

Перейдите на лист, создайте квадратное видовое окно со стороной 30 мм:

- **-vports** / укажите произвольную точку листа как левый нижний угол окна / @30,30;
- через созданное окно перейдите в пространство модели;
- масштабируйте (**ZOOM**) и перемещайте (**PAN**) изображение в окне так, чтобы в нем было отображено 10 линий и полных интервалов штриховки, причем, нижняя линия штриховки должна примыкать к нижней границе видового окна, а на верхней границе линия отсутствует.

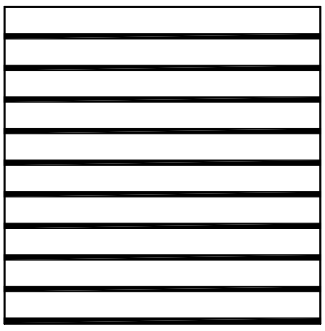


Рис. 24.3. Текстура штриховки

Зададим размер растрового файла приблизительно 500×500 пикселей. Этот размер определяется относительным размером видового окна в пропорции от размеров экрана компьютера. Например, если экран компьютера настроен на 1024×768, видовое окно должно занимать ориентировочно половину длины экрана:

- выйдите на лист, командами **ZOOM**, **PAN** разместите созданное видовое окно так, чтобы оно занимало приблизительно 0.3…0.5 от размеров экрана.
- Сохраним изображение видового окна в файл:
- вновь перейдите в пространство модели через видовое окно;
- **saveimg** / задайте формат *jpg*, имя файла, например, *Штрих*. Файл поместите в рабочую папку, где находится файл визуализируемой модели корпуса;

- перейдите в рабочую папку, найдите созданный файл, определите размер файла – желательно, чтобы он был близок к 500×500 и посмотрите созданную текстуру программой просмотра растровых изображений Windows.

Подчеркнем, что текстура штриховки содержит только горизонтальные полосы. Рамка видового окна, показанная на рис. 24.3, в содержание текстуры не входит.

Добавление текстуры в материал

Созданную текстуру включим в новый материал:

- откройте редактор материалов и создайте новый материал с именем *Штриховка*.
- Откройте раздел **Maps** (Текстуры) редактора материалов (рис. 24.4, *а*), в нем – раздел **Diffuse map** (Текстура рассеяния). Указав кнопку **Select Image** (Выбор изобр.), найдите файл созданной текстуры *Штрих.jpg*.

Размер и размещение текстуры на гранях модели

Рассмотрим размещение текстуры на гранях параллелепипеда и клина, а также на криволинейной поверхности цилиндра. Начнем с параллелепипеда. В том же файле, где создан материал штриховки, в пространстве модели строим параллелепипед длиной 60, шириной и высотой по 30 мм:

- **box** / 0,0,0 / 60,30,30 – построен параллелепипед (рис. 24.4, *б*);
- присвойте созданный материал всему параллелепипеду.

Результат по размеру и размещению штриховки пока неудачен. Необходимо настроить свойства материала:

- в редакторе материалов откройте раздел **Material Scaling & Tiling** (Масштаб и мозаичное расположение).

В открывшемся разделе редактора (см. рис. 24.4, *а*) расположены параметры, определяющие размер и размещение текстуры на модели.

Размер текстуры определяется параметром **Scale units** (Единицы масштаба). Возможны три варианта задания этого параметра.

Первый вариант – **Scale units** задан как **None**. Текстура присваивается в масштабе, значение которого задается как величина, обратная желаемому размеру картинки на модели. Масштаб задается в полях **Width** (Ширина) и **Height** (Высота). Например, если масштабы по каждому направлению задать равными 1, то вся картинка будет занимать размер 1×1. Для того, чтобы в этом режиме картинка имела размер 50×50, нужно задать масштабы равными 1 : 50, то есть 0.02.

Второй вариант – **Scale units** равен **Fit** (Вписать). Получим растяжение текстуры по границам каждой грани. То есть изображение текстуры будет зависеть от размеров граней. Значение масштаба в этом варианте задает количество картинок, размещаемых по каждому из направлений.

Третий вариант – параметр **Scale units** задается в единицах измерения, например, в *мм*, *см*. Значение масштаба задает размер картинки в выбранных единицах.

Помимо размера необходимо задать размещение текстуры. Если параметр **Width** (Ширина) или **Height** (Высота) задать как **Tile** (Черепица, Мозаика), текстура будет заполнять всю грань, размещаясь как черепица крыши, “картинка к картинке”. Если по одному из направлений вместо **Tile** задано **None**, то по этому направлению будет однократное расположение картинки. Если оба направления заданы как **None**, грань будет содержать одну картинку, размер которой определится параметром **Scale units**, а на свободном месте грань будет иметь цвет **Diffuse**.

Настроим параметры материала штриховки так, чтобы текстура штриховки имела размер 30×30. Открываем раздел **Material Scaling & Tiling** и реализуем один из двух возможных вариантов. Первый – задать **Scale units** как **None** и установить оба масштаба равными 0.033. Второй (рис. 24.4, *а*) – задать **Scale units** как **Millimeters** и масштабы по 30 каждый.

При выполненных настройках материала изображение параллелепипеда в режиме закраски или тонирования должно иметь вид, как на рис. 24.4, *б*.

По ряду причин при присвоении материала возможны нарушения в размещении текстуры на образце. В этом случае нужно выполнить корректировку текстуры, как сказано ниже.

Корректировка текстуры на гранях

Если параметры приложения текстуры изменить в свойствах материала, то внесенные изменения произойдут на всех объектах и гранях, к которым приложен материал. Это, зачастую, нежелательно. Имеется возможность корректировать размещение текстуры избирательно, то есть на отдельных объектах или гранях, не вмешиваясь в свойства материала. Такая корректировка выполняется командой **MaterialMap** (**МАТЕРИАЛСООТВ**), которая позволяет повернуть или растянуть текстуру в произвольном направлении.

Повернем текстуру (рис. 24.4, *в*), приложенную к граням параллелепипеда, на 45º в соответствии с известными требованиями к направлению штриховки металлов:

- **MaterialMap** / **Planar** (или кнопки *б* и далее  панели **Render**, см. рис. 23.4) / прижмите клавишу <Ctrl> и укажите координируемую грань, начните с горизонтальной / **Rotate** (удобно вызвать из контекстного меню) – возникли три окружности как метаручки вращения, одна из них параллельна координируемой грани / курсором мыши вращайте эту окружность – вращается текстура грани / установите нужное положение текстуры / Esc;
- поверните текстуры на двух других гранях параллелепипеда;
- осмотрите весь параллелепипед и убедитесь, что на трех оставшихся гранях текстура осталась параллельной ребрам параллелепипеда.

Для растяжения (масштабирования) текстуры на гранях:

- **MaterialMap** / **Planar** / выбрать грань / **Move** – возникает прямоугольник с метаручками / перемещать метаручки, добиваясь необходимого растяжения текстуры по двум направлениям.

Для отмены неудачной избирательной координации текстуры нужно к грани применить команду **MaterialMap** с опцией **Reset**.

Команда **MaterialMap** позволяет устранить погрешности первоначальной координации текстуры при присвоении материала. Это особенно относится к наклонным граням, на которых первоначально текстура, как правило, не отображается. Достаточно вызвать команду **MaterialMap,** указать ошибочную грань и отредактировать ее текстуру.

- В качестве упражнения на координацию текстуры на наклонной плоскости постройте клин с вертикальными ребрами по 30, присвойте ему созданный материал штриховки и, применяя команду **MaterialMap**, выполните координацию текстуры на гранях (рис. 24.4, *г*).

Кроме плоской координации, команда **MaterialMap** позволяет выполнить цилиндрическую и сферическую координацию текстуры. Как правило, при присвоении материала цилиндру или сфере эти виды координации назначаются автоматически, но в ряде случаев возникает необходимость корректировки приложения текстуры. Например, координируя (вращая и растягивая) текстуру на цилиндре (рис. 24.4, *д*) можно от исходной текстуры в виде окружностей перейти к продольной текстуре или добиться эллиптической текстуры. На конусе вращением текстуры можно получить (в соответствии с видами конических сечений) варианты эллиптической, гиперболической и параболической текстуры.

- Повторите примеры, приведенные на рис. 24.4, *б–д*, и отмеченные выше на конусе и сфере.

Применение команды **MaterialMap** может сопровождаться нарушениями ранее заданной координации текстуры. В этом случае рекомендуем для граней с различной координацией единой текстуры создавать различные материалы. Например, для параллелепипеда (рис. 24.4, *в*) вместо вращения текстуры можно создать отдельные материалы штриховки для горизонтальной, фронтальной и профильной граней. Эти материалы получают копированием друг друга и отличаются только параметром **Rotation.** Значение этого параметра вводят в поле **Rotation** ре-

дактора материалов (см. рис. 24.4, *а*). Оно определяет поворот текстуры в градусах. Для нашего примера текстуры штриховки значения **Rotation** составляют 0, 45 или 135.

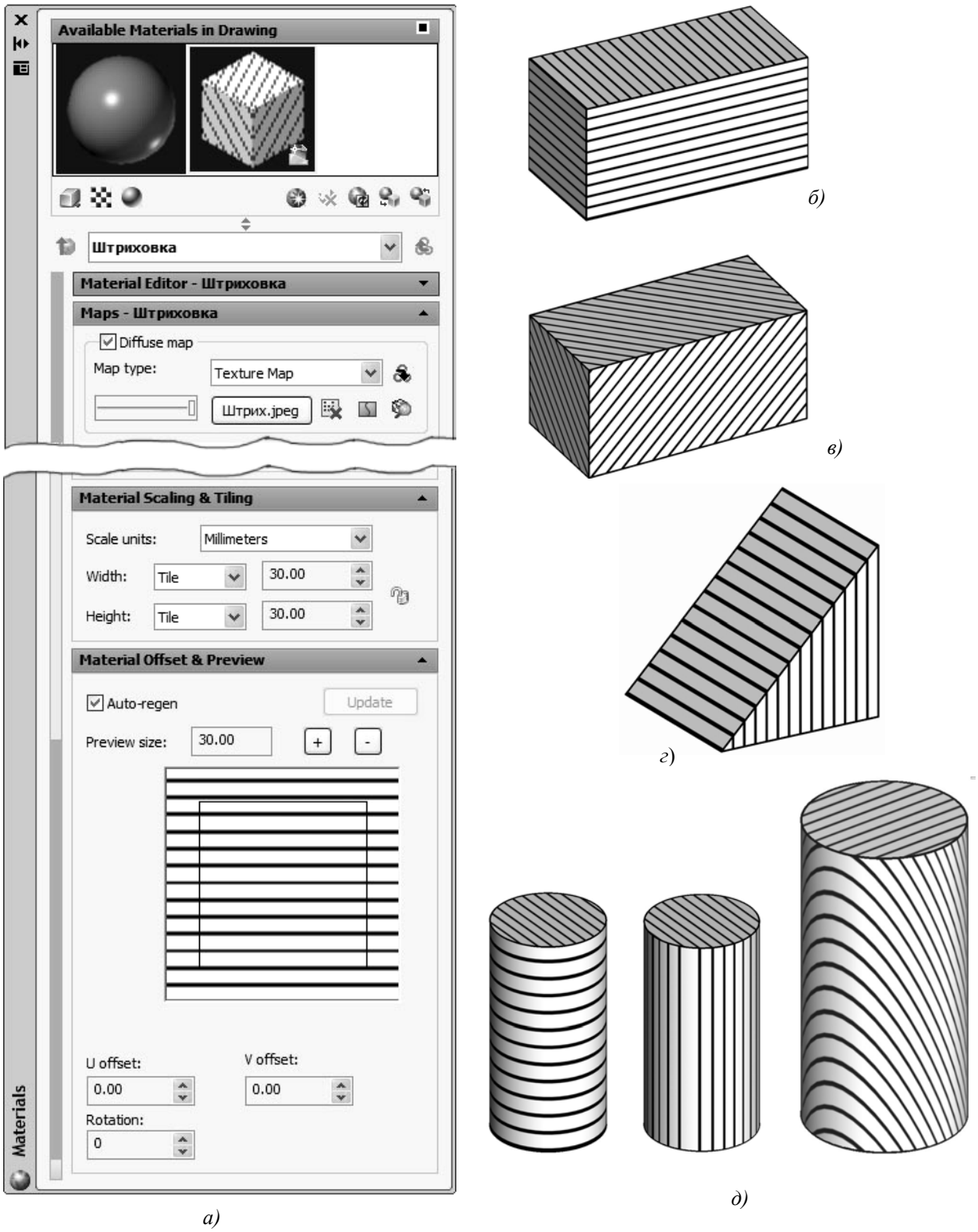


Рис. 24.4. Настройка и координация текстуры штриховки

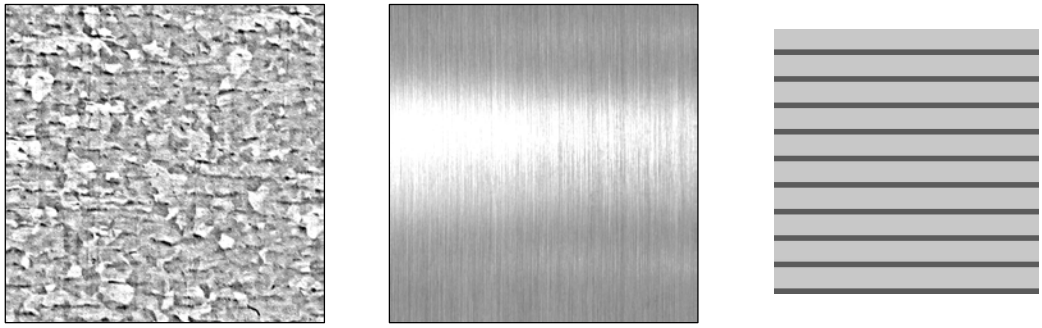
24.4. Текстурированные материалы композиции

Заменим ранее созданные однородные материалы на текстурированные. Если однородные материалы еще не созданы, следует их создать (см. выше разд. 24.2 “Однородные материалы композиции”). Каждому материалу подберем текстуру и настроим её размещение на модели. Текстура заменит цвет **Diffuse** однородного материала. Другие однородные свойства материалов, главным образом, блеск, оставим прежними.

Для воспроизведения металлической поверхности с разным видом обработки, применим две текстуры (рис. 24.5) из набора текстур AutoCAD’a. В этом наборе можно найти и другие текстуры для передачи свойств металлической поверхности. Можете применить текстуры и из других пакетов. Можно взять за основу текстуру AutoCAD или любую другую, скопировать ее в рабочую папку и отредактировать в растровом пакете для своей композиции.

Кроме указанных нам понадобится текстура для материала штриховки (см. выше разд. 24.3). Понадобятся еще два новых материала для листов чертежей (см. рис. 23.1). В них текстуры будут содержать изображение чертежей детали и узла.

- Создайте копию файла, в котором содержится модель с однородными материалами. Загрузите новый файл для дальнейшей работы над композицией.
- Для возможности текущего контроля за создаваемым материалом в видовом окне аксонометрии должен быть задан режим закраски **Realistik** или иной стиль закраски, в котором активен параметр **Materials and textures**.



а) *б)* *в)*

Рис. 24.5. Текстуры материалов композиции:
а – литая поверхность; *б* – механическая обработка; *в* - штриховка

Литая поверхность

Для отображения литой поверхности алюминиевого сплава применим текстуру “Metals.Ornamental Metals.Galvanized.jpg” (рис. 24.5, *а*) из набора текстур пакета AutoCAD.

Определите местонахождение текстур AutoCAD на вашем компьютере (см. разд. 24.2):

- **`options`** / закладка **File** (Файлы) / **Texture Maps**…(Папка для поиск текстур) / двойным щелчком указать строку, указывающую путь к файлам текстур, и скопировать ее в буфер памяти (<Ctrl> + <C>);
- откройте редактор материалов. Укажите образец ранее созданного материала *Литая поверхность*;
- откройте раздел **Maps** этого материала, в нем – раздел **Diffuse map**. Укажите поле **Select Image**;
- в возникшем окне **Select Image File** (Выбор растрового файла) в поле **File name** из буфера памяти вставьте путь к папке с файлами текстур (установить курсор в строку и <Ctrl> + <V>) – открылась папка с текстурами AutoCAD / в режиме просмотра слайдов найдите файл указанной выше текстуры / **Open**;

- в разделе **Material Scaling & Tiling** настройте размер выбранной текстуры так, чтобы он составлял 35…50 по каждому направлению (см. выше разд. 24.3 “Размер и размещение текстуры на гранях модели” – текстура должна возникнуть на гранях модели).

Рассмотрите с увеличением (**ZOOM**) присвоенную текстуру на модели. Должны быть видны зерна текстуры, равномерно размещенные по всем граням литой поверхности. Если размер зерна, не соответствует желаемому, нужно в редакторе материалов скорректировать размер текстуры.

Как правило, равномерного приложения текстуры сразу не возникает. Видны грани с вытянутой текстурой. Искажения текстуры видны и на цилиндрических поверхностях модели. В связи с этим следует выполнить корректировку приложения текстуры командой **MaterialMap** (о корректировке см. выше разд. “Корректировка текстуры на гранях”).

Для корректировки текстуры на плоских гранях достаточно вызвать команду **MaterialMap** в режиме плоской координации (**MaterialMap** / **Planar**), указать грань и сразу завершить команду – корректировка происходит автоматически. Если возникает необходимость избирательно изменить масштаб текстуры на отдельных гранях, применяем опцию **Move** той же команды и метаручками растягиваем или сжимаем текстуру.

На цилиндрических поверхностях для корректировки текстуры достаточно, как правило, применить к поверхности ту же плоскую координацию и повернуть текстуру так, чтобы она удачно отобразилась на выбранном направлении взгляда (**MaterialMap** / **Planar** / **Rotate**…). В сложных случаях нужно применить цилиндрическую координацию текстуры.

Материал сечений

Материалу сечений присвоим ранее созданную текстуру штриховки и зададим ее размер как 20×20. Поскольку текстура отображает десять интервалов штриховки (см. рис. 24.3, рис. 24.5, *в*), такой размер соответствует шагу штриховки 2 мм:

- в редакторе материалов укажите образец ранее созданного материала *Сечения*. Задайте текстуру штриховки как **Diffuse Map** и настройте размер текстуры – на модели на гранях сечений должна появиться штриховка;
- командой **MaterialMap** / **Planar** с опцией **Rotate** поверните текстуру, добиваясь необходимого угла наклона штриховки на гранях. В сложных случаях для каждой плоскости сечения создайте свой материал штриховки (см. разд. “Корректировка текстуры на гранях”).

Рекомендуем основной цвет штриховки сделать красным – это усилит наглядность композиции и подчеркнет условный характер выполненного разреза. Для этого можно смешать текстуру штриховки с ранее установленным красным цветом **Diffuse** материала *Сечения*. Смешение достигается уменьшением доли текстуры движком в разделе **Diffuse Map**. Второй вариант – переопределение растрового файла штриховки, в котором нужно задать красный фон (см. рис. 24.5, *в*).

- Возможны и другие цветовые решения текстуры штриховки.

Материалы механической обработки

В нашей композиции предусмотрены три материала механической обработки (см. выше табл. 24.1): *Шлифование, Фрезерование* и *Сверление*. Все материалы уже созданы как однородные (иначе создайте их как сказано выше, см. разд. “Однородные материалы”). Для повышения наглядности этих материалов всем назначим единую текстуру “Metals.Ornamental Metals.Aluminum.Brushed.jpg” (рис. 24.5, *б*) из набора AutoCAD. Текстура передает следы механической обработки – риски и содержит продольный световой блик, подчеркивающий зеркальные свойства качественно обработанной поверхности.

Шлифованной поверхности придадим зеркальность. В свойствах материала зеркальность можно задать как реальную или условную. Реальная задается параметром **Reflection** в однородных свойствах материала, однако в нашем примере реальная картина отражения на поверхностях детали получается очень сложной и затрудняет восприятие. Поэтому применим имитацию

зеркальности, то есть зададим картинку – текстуру зеркальности, которая заменит реальное отражение.

Применительно к каждому материалу выполните:

- в редакторе материалов укажите образец ранее созданного однородного материала;
- в разделе **Maps** задайте указанную текстуру с рисками как текстуру **Diffuse map**;
- ту же текстуру задайте как текстуру зеркальности **Reflection Map**. Движок шкалы, определяющей интенсивность приложения текстуры, установите в положение 0.5…0.8.
- Размер текстуры в поле **Material Scaling & Tiling** можно оставить по умолчанию как **None** или 0.02. В этом случае картинка будет иметь размер 50 единиц.

Настроенная текстура должна отобразиться на модели в видовом окне визуализации. При необходимости выполните корректировку приложения текстуры командой **`MaterialMap`**, регулируя размер рисок и положение световых бликов.

Выполните тонирование модели со всеми текстурированными материалами (рис. 24.6). По результатам тонирования уточните долю текстуры зеркальности. Добавление условной зеркальности делает поверхность светлее.

Предложите свои материалы, подбирая текстуры из набора AutoCAD или других пакетов.

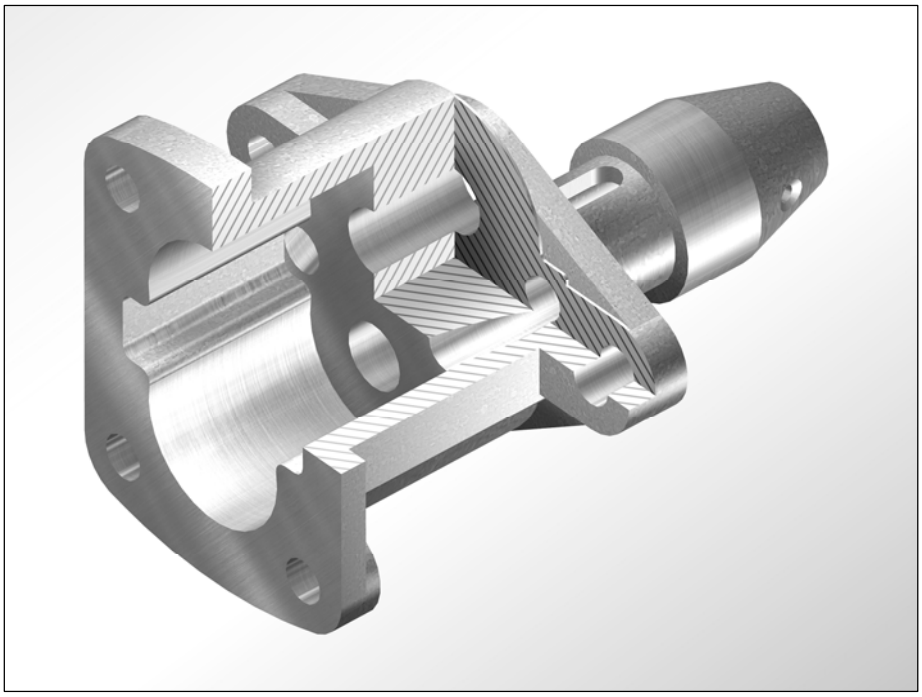


Рис. 24.6. Тонирование с текстурированными материалами

Материал горизонтального листа – чертежа

Композиция (см. рис. 23.1) содержит два листа чертежей, на которые модель отбрасывает свою тень. Горизонтальный лист как объект уже создан (см. рис. 23.2). Сейчас создадим для него текстурированный материал на основе ранее подготовленного растрового файла рабочего чертежа детали. Текстуру применим в материале по трем назначениям. Во-первых, как текстуру рисунка, отображающую чертеж, во-вторых, как текстуру условной зеркальности – это позволяет наряду с освещением регулировать яркость чертежа. Чем больше доля этой текстуры, тем светлее чертеж. В-третьих – как текстуру рельефности, придающую линиям чертежа вид впадин. Это своеобразный “дизайнерский” прием, кроме того, рельефность делает линии чертежа более четкими:

- в редакторе материалов создайте новый материал с именем *Чертеж – лист*. Задайте тип **Type** (тип материала) **Advanced** (Дополнительные), установите **Shinines** (Блеск) на уровне 30…50;
- задайте растровый файл рабочего чертежа детали как текстуру **Diffuse map** с долей 1, как **Reflection map** (Зеркальность) с долей 0.2…0.4 и как **Bump map** (Рельефность) с долей 0.5;
- поскольку пропорции горизонтального листа были заданы равными пропорциям формата чертежа, размещение текстуры в поле **Material Scaling & Tiling** зададим как **Fit to Gizmo** (Вписать в габариты) с параметром **Tile**, равными 1 по обоим направлениям;
- присвойте созданный материал объекту – горизонтальному листу. При необходимости скорректируйте положение текстуры (**`MaterialMap`** / **`Planar`** / **`Move`** или **`Rotate`**…).
- Дополнительные возможности настройки материала листа:
- снизить долю текстуры **Diffuse map** – это приведет на оставшуюся долю к появлению основного цвета **Diffuse**, то есть добавит цвет к изображению чертежа;
- в одном из растровых пакетов инвертировать цвет в текстуре рельефности, то есть сделать белые линии на черном фоне. Это приведет к тому, что линии чертежа станут выпуклыми.

Материал чертежа фона

Ранее вместо второго листа был задан фон как чертеж. Но поскольку фон не воспринимает падающую тень, а тень на этот чертеж следует создать, нужно заменить фон объектом, назовем его *Лист-фон*, с присвоенным ему материалом чертежа.

Плоскость второго листа по отношению к МСК является наклонной. В текущей версии AutoCAD имеются сложности присвоения текстурированного материала наклонным граням объектов. Корректировка текстуры (**`MaterialMap`** / **`Planar`** / **`Rotate`**…) не всегда приводит к ее правильному размещению.

Результат достигается, если наклонную грань предварительно установить в горизонтальное положение, в этом положении присвоить материал и скорректировать текстуру, затем конвертировать объект в блок (тем самым связав материал с объектом) и окончательно переместить вставку блока в необходимое наклонное пространственное положение. Приведем реализацию этого алгоритма:

- в окне вида сверху создайте объект *Лист-фон* как горизонтальный лист (**`BOX`**) чертежа размерами 225×160×1 (рис. 24.7);
- в редакторе материалов скопируйте ранее созданный материал *Чертеж – лист*, присвойте новому материалу имя *Чертеж – фон*, замените в нем текстуру на растровое изображение сборочного чертежа. Замену нужно сделать во всех полях присвоения параметров текстуры;

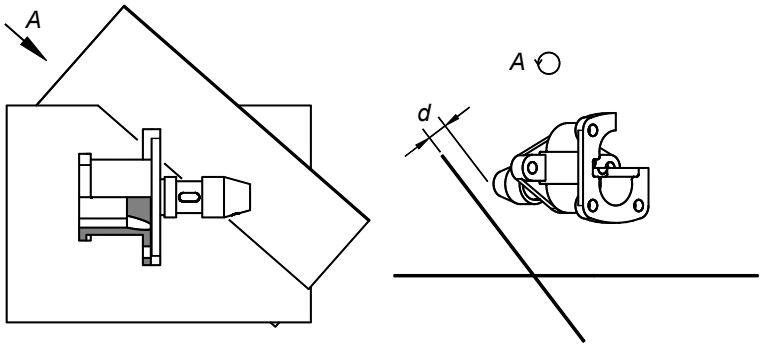


Рис. 24.7. Построение объекта Лист-фон

- присвойте материал *Чертеж – фон* горизонтально расположенному объекту *Лист-фон*, при необходимости скорректируйте приложение текстуры материала к лицевой грани этого объекта;
- командой **`BLOCK`** конвертируйте объект *Лист-фон* в блок, задав в качестве точки вставки левый нижний угол объекта;

- перейдите в видовое окно визуализации, установите в нем ПСК по виду окна (**ucs / v**) и вставьте блок с точкой вставки 0,0. Вставку можно выполнить через буфер памяти или командой **INSERT**.
- Возможно, что *Лист-фон* закрывает или пересекает модель. В этом случае сместите его в глубину на расстояние d =10…20 мм за объект (см. рис. 24.7).

Если в видовом окне настроен режим закраски с отображением материалов и текстур, созданные материалы сразу отображаются в этом окне. Если режим закраски поддерживает отображение полной тени, то видна падающая тень от модели. Иначе выполните пробное тонирование. Убедитесь, что оба листа имеют правильно присвоенные материалы с изображением чертежей. На оба листа падает тень от модели; тень преломляется по линии пересечения листов.

- Скорректируйте взаимное положение листов и модели, добиваясь наглядной формы тени.

24.5. Итоговая визуализация корпусной детали

После настройки источников света и присвоения материалов завершаем композицию. Выполните уже известные вам настройки и действия по тонированию изображения:

- **rpref** – возникло диалоговое окно настройки режима тонирования (см. разд. 23.6 “Тонирование ” и рис. 23.6);
- в диалоговом окне настроек тонирования задайте качество тонирования **Hight** или **Presentation**, настройте вывод визуализации в окно **Window**, установите размер растрового изображения не менее 1024×768;
- выполните визуализацию (правая верхняя кнопка диалогового окна настроек тонирования);
- сохраните растровое изображение из окна **Window** в растровый файл;
- в настройках тонирования можно установить автоматическое сохранение в файл одновременно с построением изображения (см. разд. 23.8);
- доработайте изображение в растровом пакете (Photoshop).
- Результат должен соответствовать рис. 23.1.

Продолжительность итоговой визуализации в презентационном качестве и размере изображения 1024×768 составляет 2…3 мин. Размер файла в формате *jpg* максимального качества ≈0.6 МБ. При увеличении размера изображения до 2500×1875 продолжительность визуализации возрастает до 25 мин. Размер файла в том же формате ≈2 МБ.

Замена модели

Созданные выше схема освещения и материалы для корпуса шестеренного насоса являются универсальными и могут быть применены для других моделей. Достаточно лишь масштабировать новую модель до габаритов первоначальной модели и подменить ее в композиции.

Так на рис. 24.8 показан корпус червячного редуктора, установленный вместо корпуса шестеренного насоса. Поверхностям новой модели потребовалось заново присвоить уже созданные материалы и подменить текстуры (чертежи) в материалах листов. Понадобилась незначительная корректировка интенсивностей источников света.

24.6. Фотореалистичная визуализация узла

Наглядное изображение узла связано с необходимостью отображения его внутреннего строения. Для показа внутренних деталей можно либо присвоить корпусным деталям узла материалы с частичной прозрачностью, либо “физически” разрезать часть корпусных деталей, удалив поверхности, закрывающие внутренние детали. Первый вариант хорошо реализуется в режиме закраски, второй – в режиме тонирования. Рассмотрим оба варианта.

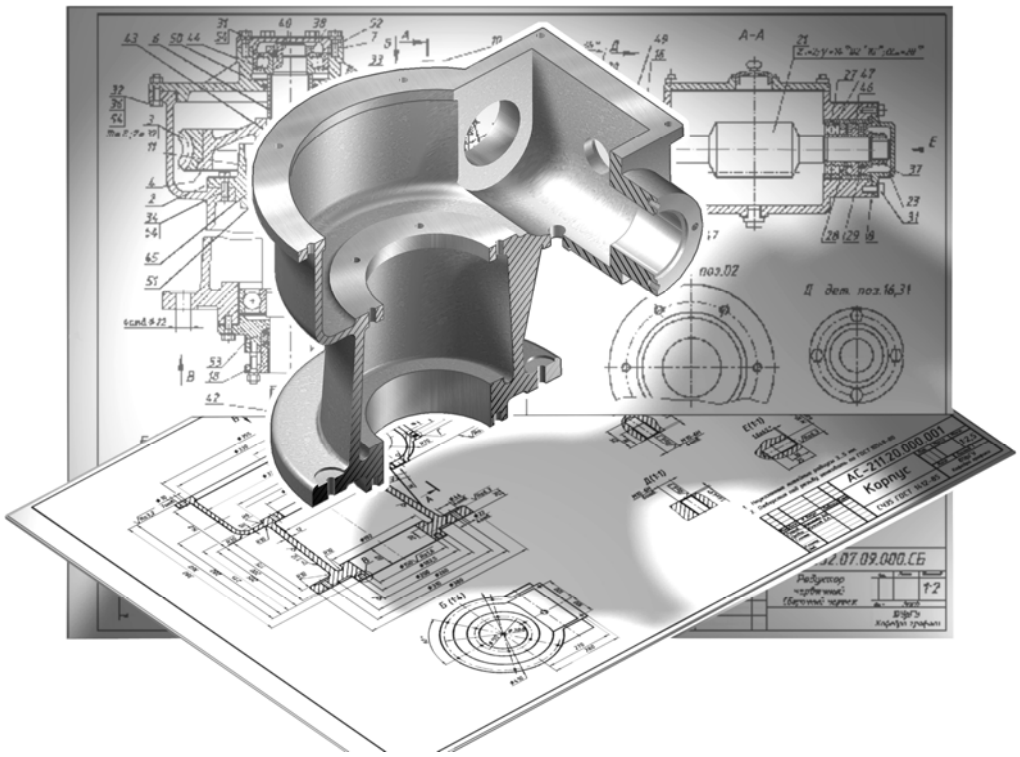


Рис. 24.8. Фотореалистичная визуализация корпуса червячного редуктора

Присвоение материала по слоям

В *dwg*-файле узла детали должны быть распределены по слоям, то есть каждая деталь на своем слое. Такая подготовка файла позволяет присвоить материал по имени слоя, что при сложной геометрии узла существенно упрощает назначение материала его деталям.

После того, как материал создан в редакторе материалов, вызываем команду **MATERIALATTACH** (**МАТЕРИАЛПРИСВ**) – возникает диалоговое окно **Material Attachment Options Dialog Box** (Параметры назначения материалов). В левой части окна отображены материалы, содержащиеся в редакторе материалов. В правой части окна отображены слои. Для присвоения материала слою нужно мышкой перетащить имя материала на имя слоя.

Визуализация узла в режиме закраски

Для изображения узла (рис. 24.9) настроим стиль закраски (см. рис. 5.5). В стиле должно быть включено отображение материалов, дополнительная подсветка, отображение ребер. Толщина ребер корректируется как **Lineweight** (Вес линий объекта).

Наиболее простой вариант – тонирование в стиле *Металл* (см. рис. 19.7, *а*). Здесь все детали узла имеют материал блестящего алюминиевого сплава.

Гораздо нагляднее визуализация с различными материалами деталей. Материалы создаем в редакторе материалов. В этом варианте применим однородные материалы, присвоив в редакторе материалов корпусным деталям непрозрачность **Opacity** на уровне приблизительно 50 (то есть сделаем корпусные детали полупрозрачными). Цвет материалов **Diffuse** для деталей назначаем различным из условий наглядности узла. Задаем повышенный блеск **Shinines**, характерный для металлов.

Материалы присваиваем по слоям. Можно проверить отображение фона – картинки (чертежа), хотя при прозрачных материалах такой фон просвечивает и осложняет восприятие (см. разд. 23.3). По той же причине на прозрачных материалах затрудняется применение текстур.

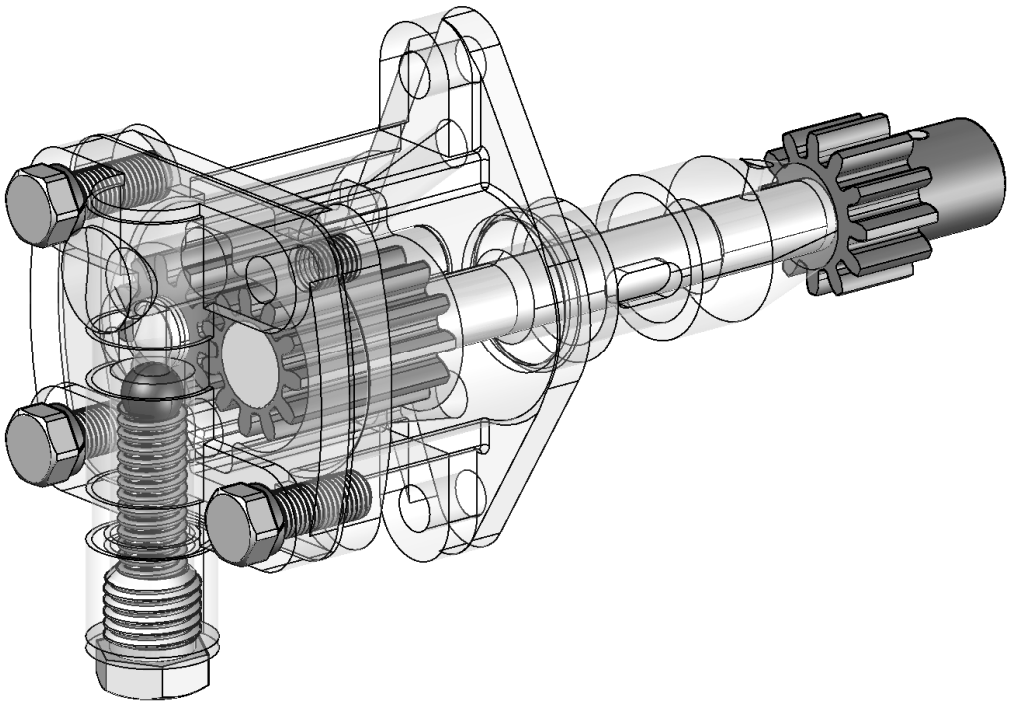


Рис. 24.9. Визуализация узла в режиме закраски

Более насыщенное изображение формируется на темном (черном) фоне с белым цветом ребер модели.

Добиваясь наибольшей наглядности, окончательно корректируем свойства материалов, фон, цвет и толщину ребер. Сохраняем изображение в растровом формате и “доводим” его в пакете Photoshop.

Тонированная визуализация узла

Этот вариант существенно более трудоемкий, чем предыдущий, но вследствие присвоения текстурированных материалов, настройки света и теней, вариант приводит к более высокому качеству изображения.

Для передачи внутренней геометрии узла требуется создать разрез (**SLICE**) корпусных деталей. Для узла шестеренного насоса (рис. 24.10) материалы корпуса и крышки взяты те же, что при визуализации его корпуса – это текстурированные материалы, передающие свойства поверхностей деталей (см. выше разд. “Текстурированные материалы композиции”). Для зубчатых колес за основу взят материал шлифованной поверхности корпуса с корректировкой доли условной зеркальности. Для остальных деталей (вал, болты, шайбы, пружина, прокладки) созданы однородные материалы.

Система освещения сохранена как на рис. 23.2. Изображение на рис. 24.10 получено при отключении теней в свойствах источника *2*. Это потребовало корректировки интенсивности остальных источников. Установлен мягкий градиентный фон.

В композиции на рис. 24.11 тень источника *2* вновь включена. Тень падает на рулон чертежей. Для построения рулона нужно начертить его контур (**SPLINE**), выдавить контур (**EXTRUDE**), придать рулону толщину (**THICKEN**), присвоить материал чертежа узла (см. выше разд. 24.4 “ Материал горизонтального листа – чертежа ”), при необходимости скорректировать приложение текстуры на рулоне.

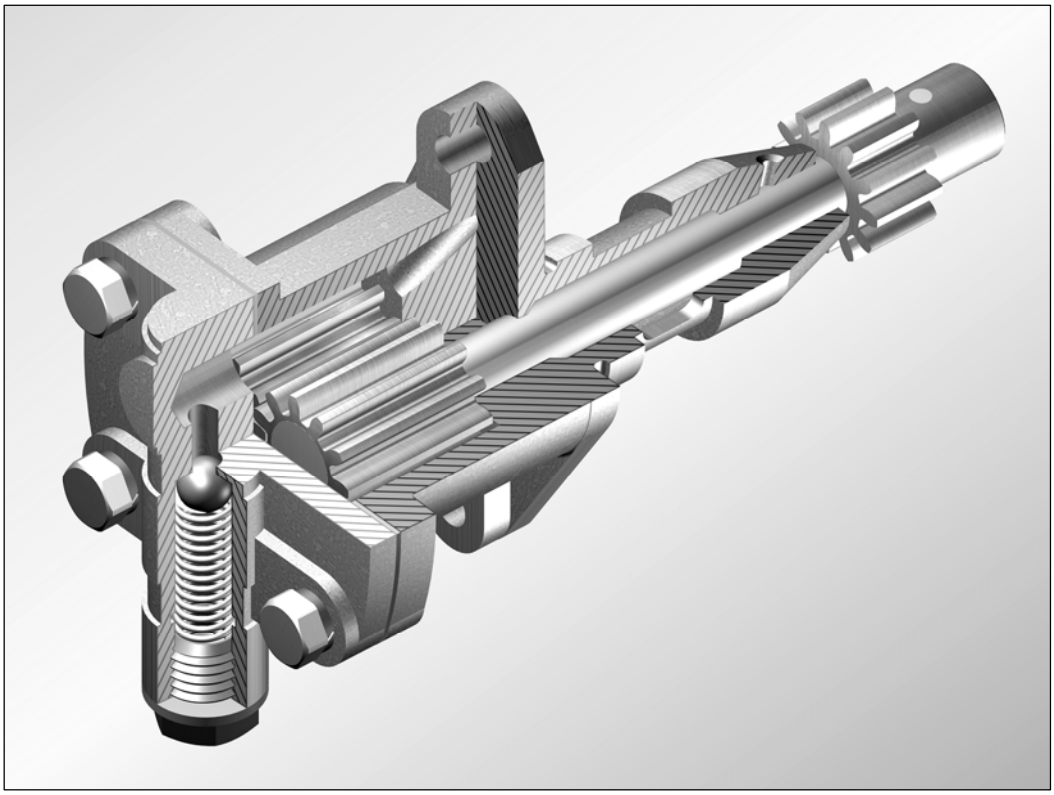


Рис. 24.10. Тонированная визуализация узла (без теней)

24.7. Материалы из библиотеки

Имеется библиотека материалов AutoCAD'а. В ней подобраны материалы сочетания свойств которых соответствуют реальным или рекомендуемым к применению. Полностью библиотека загружается при полной инсталляции пакета и содержит свыше 400 материалов. Присвоение материала из библиотеки – это основной вариант назначения материала для начинающих пользователей.

Большинство материалов библиотеки предназначено для архитектурно-строительных проектов. Содержащиеся в библиотеке материалы для металлов без дополнительной корректировки применить не удается. В текущей версии пакета эти материалы предназначены для фотометрических источников света, которые мы не применяли. Из этих материалов можно лишь "почерпнуть" настройку цвета, блеска и текстур. По этой причине в нашей композиции мы не пользовались библиотечными материалами металлов, а создали свои текстурированные материалы.

Рассмотрим основные приемы применения материалов библиотеки. Библиотека размещена в наборе инструментальных палитр и вызывается командой **`ToolPalettes`** (**`ИНСТРПАЛВКЛ`**) либо по кнопке  стандартной панели инструментов. Правый клик по правому корешку панели отображает набор инструментальных палитр, среди которых выбираем **Materials Library** (Библиотека материалов). Слева расположены закладки – группы материалов. Левый клик по корешку нужной закладки раскрывает материалы этой закладки. Левый клик по нижним пустым корешкам закладок выводит список всех групп, из которых следует выбрать нужную.

Для присвоения материала достаточно указать его знак и указать объект или его грань, которым этот материал следует назначить. Можно "перетащить" значок на объект или грань. Назначенный материал автоматически включается в редактор материалов для редактирования.

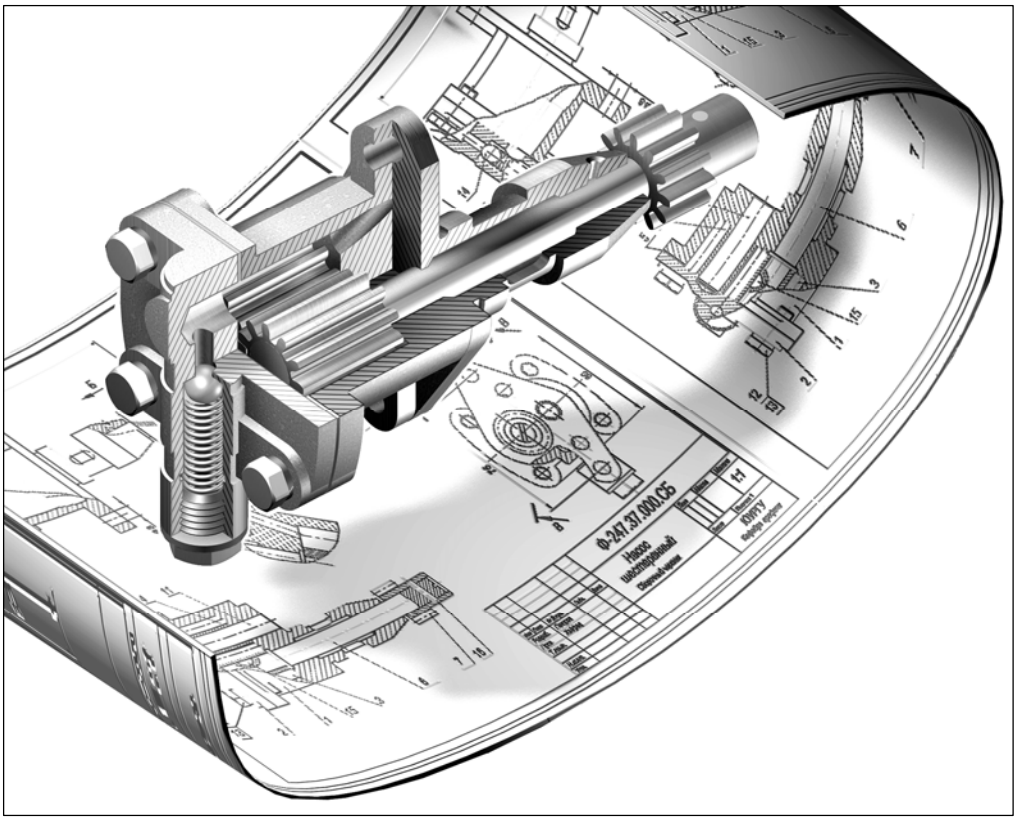


Рис. 24.11. Тонированная визуализация узла (с тенью)



Рис. 24.12. “Пасьянс” растровых изображений

Для редактирования значок материала из библиотеки можно перетащить в область образцов редактора материалов.

24.8. Вставка растрового изображения как объекта

Как было показано выше, растровое изображение можно вставить в *dwg*-файл как фон или как текстуру материала. Кроме того, растровое изображение можно добавить в чертеж или в композицию как объект, к которому можно применять общие команды редактирования (копировать, масштабировать, вращать…).

Вставка выполняется командой **IMAGEATTACH** в текущей системе координат. Помимо общих команд можно с помощью команды **IMAGEADJUST** редактировать яркость и контрастность, командой **TRANSPARENCY** – прозрачность вставленного изображения. Командой **IMAGECLIP** можно обрезать изображение по произвольному контуру.

На рис. 24.12 приведена композиция из растровых изображений, построенная в следующей последовательности:

- **imageattach** / в окно вида сверху, в МСК, вставить изображение из растрового файла, приведенное на рис. 23.1 / при вставке растянуть изображение до размеров 150…250;
- **block** / конвертировать изображение во вставку блока;
- в окне вида слева повернуть (**ROTATE**) вставку блока на 3…5º, то есть расположить картинку под углом к горизонтальной плоскости;
- **array** / создать круговой массив из 5…9 элементов – вставок блока;
- для детали в центре композиции повторно вставить исходное изображение. Командой / **IMAGECLIP** вырезать изображение детали по ее контуру. Командой **IMAGEADJUST** повысить насыщенность изображения. Командой **MOVE** приподнять деталь над веером картинок, увеличить (**SCALE**) и окончательно поместить ее в центр композиции.

Вставленное растровое изображение является ссылкой, то есть, не хранится в файле рисунка. Поэтому следует выполнять рекомендации, приведенные в разд. 23.4 “Связь растровых файлов и *dwg*-файлов”.

Библиографический список

1. Аксарин, П.Е. Чертежи для деталирования: учебное пособие для машиностроительных специальностей вузов / П.Е. Аксарин. – М.: Машиностроение, 1978. – 140 с.
2. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х томах / В.И. Анурьев; под. ред. И.Н. Жестковой. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. – 912 с.
3. Боголюбов, С.К. Индивидуальные задания по курсу черчения / С.К. Боголюбов. – М.: Высш. шк., 1994. – 368 с.
4. Иванов, Г.С. Начертательная геометрия: учебник для вузов / Г.С. Иванов. – М.: Машиностроение, 1995. – 224 с.
5. Левицкий, В.С. Машиностроительное черчение: учеб. для втузов / В. С. Левицкий. – М.: Высш. шк., 1994. – 383 с.
6. Леонова, В.А. Альбом сборочных чертежей для деталирования и чтения: учебное пособие / В.А. Леонова, О.П. Галанина; под. ред. О.А. Козыревой. – М.: Машиностроение, 1975. – 52 с.
7. Нартова, Л.Г. Начертательная геометрия: учебное пособие для студ. технич. специальностей вузов / Л.Г. Нартова, В.И. Якунин. – М.: Издательский центр “Академия”, 2005. – 288 с.
8. Начертательная геометрия / Н.Ф. Четверухин, В.С. Левицкий, З.И. Прянишникова и др.; под ред. Н.Ф. Четверухина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1963. – 420 с.
9. Федоренко, В.А. Справочник по машиностроительному черчению / В.А. Федоренко, А.И. Шошин. – 14-е изд. перераб. и доп. / под ред. Г.Н. Поповой. – Л.: Машиностроение, 1983. – 416 с.
10. Хейфец, А.Л. Инженерная компьютерная графика AutoCAD. Опыт преподавания и широта взгляда / А.Л. Хейфец. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002.– 432 с.
11. 3D-технология построения чертежа. AutoCAD: учебное пособие / А.Л. Хейфец, А.Н. Логиновский, И.В. Буторина, Е.П. Дубовикова; под ред. А.Л. Хейфеца. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 245 с.
12. Хейфец, А.Л. Инженерная компьютерная графика AutoCAD. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 336 с.
13. Чекмарев А.А. Инженерная графика: учеб. для немаш. спец. вузов / А.А. Чекмарев. – 10-е изд. стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 382 с.
14. ГОСТ 18498-89. Передачи червячные. Термины, определения и обозначения. – М.: Изд-во стандартов, 1989 – 89 с.
15. ГОСТ 19650-97. Передачи червячные цилиндрические. – Минск.: Изд-во стандартов, 2005 – 12 с.
16. ГОСТ 2144-76. Передачи червячные цилиндрические. Основные параметры. – М.: Изд-во стандартов, 1902 – 4 с.
17. ГОСТ 19036-94. Передачи червячные цилиндрические. Исходный червяк и исходный производящий червяк. – Минск.: Изд-во стандартов, 2003 – 8 с.
18. ГОСТ 17696-89. Передачи глобоидные. Расчет геометрии. – М.: Изд-во стандартов, 1990 – 22 с.
19. ГОСТ 24438-80. Передачи глобоидные. Исходный червяк и исходный производящий червяк. – М.: Изд-во стандартов, 1982 – 5 с.
20. Бачурин В.Д. Современные подходы к автоматизации подготовки производства предприятий малого и среднего бизнеса / В.Д. Бачурин // Информационные технологии и технический дизайн в профессиональном образовании и промышленности: сборник материалов 2-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. – С. 85–93.
21. Решение научно-практической конференции // Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе в условиях перехода на образовательные стандарты нового поколения: материалы научно-практической интернет-конференции (Пермь, февраль – апрель 2010 г.). – Пермь: Изд-во Пермского гос. тех. университета, 2010. – 245 с.

Оглавление

Введение…….. 3

Часть 1. 2D-ГРАФИКА

Глава 1. Дружественный интерфейс ……... 8
1.1. Начало работы ……. 8
Загрузка пакета ……. 8
Рабочие пространства. Классический AutoCAD ……... 8
Переход в пространство модели ……. 9
1.2. Отрезок прямой линии ……... 10
1.3. Панели инструментов ……. 11
Выбор и замена панелей ……. 11
Перемещение и удаление панелей …….. 12
Вызов команд указанием кнопок панели ……... 12
Оптимальное размещение панелей. Сохранение рабочего пространства ……... 12
1.4. Инструментальные палитры …….. 13
1.5. Лента …… 13
1.6. Диалог пользователя с AutoCAD'ом ……. 14
1.7. Соглашение по записи действий ……... 15
1.8. Справки по командам, помощь ……. 16
Встроенный учебник ……... 16
Инфоцентр …… 17
Помощь в прозрачном режиме ……... 17
1.9. Режимы построений – ORTHO, Шаг, Сетка …… 18
1.10. Цвет …… 19
1.11. Удаление примитивов. Выбор объектов ……. 20
Выбор объектов для редактирования ……. 20
1.12. Отмена результата выполнения команд ……. 21
1.13. Команды построения объектов …… 21
1.14. Редактирование геометрии объектов …….. 21
1.15. Редактирование свойств объектов …….. 22
1.16. Корректировка изображения ……... 22
1.17. Узоры ……. 23
Абстракция ……... 23
Кружево ……. 24
1.18. Выход из пакета с сохранением рисунка …… 25

Глава 2. Подготовка к построению чертежа …… 26
2.1. Построения по координатам …….. 26
Координаты курсора в статусной строке ……... 26
Точность отображения координат …….. 26
Ввод координат с клавиатуры ……. 27
Динамический ввод …….. 27
2.2. Толщина линии ……... 29
2.3. Редактирование геометрии "ручками" ……. 29
2.4. Объектная привязка и геометрические построения …… 29
2.5. Объектное слежение ……... 31
2.6. Пользовательская система координат ……... 33
Управление пиктограммой осей ……. 33
2.7. Текст ……. 34
Настройка текстового стиля …… 34

Выполнение надписей 34
Редактирование текста 35
2.8. Штриховка 35
2.9. Тип линии 36
2.10. Слои 36
2.11. Список свойств объекта 38
2.12. Сложные линии 38
Полилиния 38
Мультилиния 39
Сплайны 40
Области 40
2.13. Некоторые настройки пакета 41
Настройки, выполняемые командой OPTIONS 41
Дополнительные кнопки панелей инструментов 43
2.14. Геометрические узоры 44
Круги Аполлония 44
Шестиугольник Паскаля 45

Глава 3. Плоский контур 47

3.1. Содержание работы 47
3.2. Пространство модели и пространство листа при построении чертежа 48
3.3. Настройки для построения чертежа 49
3.4. Контур “Коромысло” 50
Разметка 50
Элементы контура 51
Сопряжения элементов контура 52
Редактирование контура 52
3.5. Основы простановки размеров 52
Настройка размерных параметров. Размерный стиль 53
Варианты простановки размеров. Ассоциативные размеры 54
Примеры простановки размеров 55
Редактирование размеров 55
3.6. Оформление чертежа 56
Выход на лист. Настройка листа 56
Построение рамки и штампа 56
Открытие видового окна, масштаб и блокировка окна 57
3.7. Завершение чертежа 58
Заполнение основной надписи 58
Корректировка толщины линий контура 58
Корректировка шага прерывистой линии 58
3.8. Вывод чертежа на печать 58
Чертеж формата А4 59
Чертеж формата А3 60
Вывод на печать из файла 60
3.9. Другие примеры плоского контура 60
Контур “Прокладка” 61
Контуры корпусной детали 63
Крюк 65

Глава 4. Чертеж детали. 2D-технология 67

4.1. Преимущества компьютерной технологии 67
4.2. Подготовительный этап 68
Анализ формы детали 68
Предварительные настройки 68
4.3. Построение изображений 69

Построение осей 69
Вид сверху 69
Вид спереди в режиме объектного слежения 70
Выносной элемент 72
4.4. Форматирование и компоновка 73
Выбор формата 73
Варианты масштабирования и компоновки 73
“Физическое” масштабирование 75
Оконный вариант масштабирования 76
Комбинированный вариант 77
4.5. Аннотативные объекты (размеры и штриховка) 77
4.6. Завершение чертежа 79
Новые варианты простановки размеров 79
Штриховка разрезов и сечений на чертеже 80
Изображение и обозначение резьбы 80
Выполнение надписей 80
4.7. Знак шероховатости 80
4.8. Аннотативный блок с атрибутом 81

Часть 2. ОСНОВЫ 3D-ГРАФИКИ

Глава 5. Средства трехмерной графики 83
5.1. Среда для пространственных построений 83
Настройка пространства модели 83
Настройка пространства листа 84
Создание новых видовых окон 85
5.2. Трехмерные solids-объекты. Построение и редактирование 85
Solids-объекты общего назначения 85
Построение solid-примитивов 86
Редактирование геометрии solids-объектов ручками 87
5.3. Наглядная визуализация 88
Удаление невидимых линий 88
Стандартные стили тонирования 88
Новый визуальный стиль – Металл 89
5.4. Направление взгляда и навигация 90
Стандартные виды 90
Точка зрения с заданными параметрами 90
Орбита 91
Видовой куб 92
Штурвал 93
5.5. Объектная привязка в пространстве 93
5.6. Пользовательская система координат в трехмерных построениях 94
Пиктограммы осей 94
Работа с ПСК в нескольких видовых окнах 95
Передача ПСК из окна в окно 95
Примеры применения ПСК и объектной привязки 96
5.7. Динамическая ПСК 98
5.8. Построение тел выдавливанием и вращением 100
5.9. Построение и редактирование командой PRESSPULL 101
5.10. Редактирование тел на уровне подобъектов 102
5.11. Редактирование тел командой SOLIDEDIT 103
Перемещение и поворот граней 104
Редактирование цвета граней и ребер 105
5.12. Составные тела 105

5.13. Тесты для самоконтроля 106
Два тора в зацеплении как звенья одной цепи 106
Псевдоповерхность Эшера 107
Лента Мебиуса 107
Звезда 108
Рифовый узел 108

Глава 6. Построение пространственной модели 110

6.1. Содержание работы 110
6.2 Конструирование детали 110
Не стройте “башен” 111
Вариант с наружной пирамидой 112
Вариант с пирамидальным отверстием 113
Вариант со сферой 113
6.3. Создание нового файла с прототипом 114
6.4. Разметка модели. Геометрические вычисления 115
Центр сферы 115
Разметка пирамиды 116
Вертикальная разметка модели. Ребро жесткости 117
6.5. Формирование модели из примитивов общего назначения 118
Наружные элементы 118
Внутренние элементы 119
Вычитание внутренних элементов 121
6.6. Формирование модели выдавливанием контуров и граней 121
6.7. Редактирование модели 123

Глава 7. Виды, простые разрезы, аксонометрия 126

7.1. Некоторые положения ЕСКД 126
7.2. Образец выполнения задания 126
7.3. Варианты автоматизированного построения 3D-чертежа 128
7.4. Построение проекций командами SOLVIEW + SOLDRAW 129
Алгоритм применения команд SOLVIEW + SOLDRAW 129
Дополнительные настройки для построения чертежа 130
Исходное видовое окно 130
Проекция вида сверху 131
Новые слои команды SOLVIEW 132
Ортогональные проекции 132
Простые разрезы 133
7.5. Вынос проекций на лист 134
Вынос на лист через буфер обмена 134
Вынос на лист созданием блока 134
7.6. Редактирование изображений 135
Ребро жесткости 135
Совмещение половины вида с половиной разреза 136
Местный разрез 137
7.7. Компоновка чертежа 137
7.8. Простановка размеров 139
Размеры на совмещенных изображениях вида и разреза 139
Размерные цепи 140
Диаметр как линейный размер 140
Размеры с односторонней стрелкой 141
Справочные размеры 141
7.9. Построение аксонометрической проекции 142
Аксонометрические виды 142
Пространственная “физическая” модель разреза 144

Аксонометрия “физического” разреза. Команда SOLPROF …… 144
Штриховка сечений в аксонометрии …….. 145

Глава 8. Новые возможности построения чертежа по 3D-технологии…… 146

8.1. Построение проекций командой FLATSHOT …….. 146
8.2. Вынос блоков проекций на лист ……... 147
8.3. Возможности команды SECTIONPLANE …… 147
8.4. Построение простого 2D-разреза командой SECTIONPLANE …….. 148
Создание объекта-сечения …….. 148
Настройка параметров разреза ……... 148
Завершение разреза …….. 149
8.5. Построение видов командой SECTIONPLANE ……..... 150
8.6. Совмещение половины вида и половины разреза командой SECTIONPLANE ……... 150
8.7. Построение 3D-разрезов командой SECTIONPLANE ……... 151
Построение 3D-псевдоразреза …… 151
Построение 3D-блока …….. 151
Аксонометрия разреза …….. 152
8.8. Редактирование блоков проекций …… 152

Глава 9. Ступенчатый разрез. Наклонное сечение……... 153

9.1. Содержание работы …… 153
9.2. Особенности построения ступенчатого разреза …….. 153
9.3. Построение модели …… 156
Анализ формы. Настройки …….. 156
Горизонтальная разметка …… 157
Вертикальное выдавливание контуров …….. 158
Горизонтальное выдавливание контуров …….. 159
9.4. Построение проекций командой SOLPROF …… 160
9.5. Построение видов и простых разрезов …… 162
Построение видов командой SECTIONPLANE …… 162
Совмещение вида и разреза …… 164
9.6. Построение ступенчатого разреза …… 165
Построение ступенчатого разреза командами SOLVIEW и SOLDRAW ……... 165
Построение ступенчатого разреза командой SECTIONPLANE …….. 167
9.7. Истинный вид наклонного сечения ……... 168
Построение сечения командой SECTION …….. 170
Построение сечения командами SOLVIEW и SOLDRAW …….. 170
Построение сечения командой SECTIONPLANE …… 170
Оформление наклонного сечения ……... 171
9.8. Аксонометрия ступенчатого разреза …… 172
9.9. Анимация и программирование …… 174
Подготовка файла …… 174
Набор текста программы …… 175
Отладка и тестирование и выполнение программы …… 176

Глава 10. Ломаный разрез …… 177

10.1. Содержание работы …….. 177
10.2. Особенности выполнения ломаного разреза …… 179
10.3. Построение модели ……... 180
Анализ формы. Настройки ……... 180
Наружные элементы …… 181
Внутренние элементы ……... 182
Ребра жесткости …… 183
10.4. Построение ломаного разреза …….. 183
Построение ломаного разреза командами SOLVIEW и SOLDRAW …….. 184

Построение ломаного разреза командой SECTIONPLANE 185
Применение команды SOLPROF 186
10.5. Аксонометрия ломаного разреза 186
10.6. Завершение работы 188

Глава 11. Дополнительные и местные виды 189

11.1. Содержание работы 189
11.2. Назначение дополнительных и местных видов 191
11.3. Построение модели 192
Анализ формы 192
Основание 192
Паз “ласточкин хвост” 193
Усеченная призма 194
Горизонтальные элементы 194
11.4. Дополнительный вид 195
Применение команды SECTIONPLANE 195
Применение команд SOLVIEW + SOLDRAW 195
Применение команд FLATSHOT и SOLPROF 197
11.5. Оконный вариант построения чертежа 197
Построение проекций 197
Компоновка чертежа. Проекционная связь между окнами 198
Масштабирование проекций и блокировка окна 199
Простановка размеров 199
Особенность построения аксонометрии 199
Завершение чертежа 200

Часть 3. 3D-модели резьбы, зубчатых и червячных передач

Глава 12. Резьбовые изделия и соединения 202

12.1. 3D-модели резьбовых изделий 202
Модель болта 202
Модель гайки 204
Модель винта 204
Модели шайб 204
12.2. Модель резьбы 206
Геликоиды 206
Спираль Архимеда и анимация 207
Схемы построения модели резьбы 207
12.3. Резьба на стержне 208
12.4. Резьба в отверстии 211
12.5. Резьбовые соединения 212
Оценка точности модели резьбы 215
Наглядные модели резьбовых соединений 216

Глава 13. Цилиндрическая прямозубая передача 217

13.1. Расчет параметров передачи 217
13.2. Упрощенная модель 218
13.3. Точная модель 219
Контур зуба. Разметка 219
Эвольвента как развертка окружности 220
Формирование контура впадины шестерни 221
Контур впадины второго колеса 222
Построение зубчатых венцов 223
13.4. Эвольвента как сечение 223
Эвольвентный геликоид 223

Рациональный вариант построения эвольвенты 226
13.5. Анимация зубчатого зацепления 227
Плоская анимация 227
Объемная анимация 229
13.6. Наглядная модель зубчатой передачи 231

Глава 14. Цилиндрическая косозубая передача 233

14.1. Расчет параметров 233
14.2. Упрощенная модель косозубой передачи 235
14.3. Точная модель косозубой передачи 235
14.4. Оценка точности модели 237
Проверка взаимодействия – отсутствия пересечений зубьев 237
Точность контура зуба 238
14.5. Наглядная модель и анимация 239

Глава 15. Коническая прямозубая передача 241

15.1. Расчет параметров 241
15.2. Упрощенная модель конической передачи 242
15.3. Точная модель конической передачи 244
Контуры впадин 244
Промежуточная проверка точности 246
Формирование впадин колес 246
15.4. Оценка точности модели 247
15.5. Дополнительные возможности анимации 248
15.6. Наглядная модель конической передачи 249

Глава 16. Червячная передача 250

16.1. Передача с Архимедовым червяком 250
Упрощенная модель червячной передачи 250
Точная модель Архимедовой передачи 250
Конволютный червяк 258
16.2. Эвольвентный червяк 259
16.3. Глобоидная червячная передача 262
16.4. Наглядные модели червячных передач 267
16.5. Анимация червячной передачи 268

Глава 17. Пружины 271

17.1. Пружины сжатия 271
17.2. Пружины растяжения 273
Рабочие витки 273
Зацеп. Вариант 1 274
Противоположный зацеп 275
Объемная модель 276
Второй вариант зацепа 277
17.3. Пружины кручения 277
17.4. Особенности чертежа пружины 279

Часть 4. Сборка и деталирование узлов

Глава 18. Рабочий чертеж корпусной детали 281

18.1. Содержание работы 281
18.2. Чтение чертежа узла. Анализ формы детали 281
18.3. Построения в истинных размерах 284
18.4. Модель корпуса 285
Предварительные настройки 285

Основание корпуса 286
Камера 286
Фланец 287
Штуцер 287
Наклонные отверстия в корпусе 290
18.5. Построение рабочего чертежа 291
Корректировка положения модели 291
Вид спереди с местными разрезами 291
Вид сверху с разрезом 294
Вид слева с профильным разрезом 295
Наклонное сечение 296
Выносные элементы 296
Компоновка чертежа 297
Завершение чертежа 299
Очистка файла 299
18.6. О построении сопряжений пространственной модели 300

Глава 19. Объемная сборка. Чертеж узла 303

19.1. Содержание работы 303
19.2. Крышка корпуса 304
Анализ формы 304
Контур основания по сопряженной детали 304
Основание крышки 305
Штуцер 306
Внутренний объем крышки 308
Чертеж крышки 308
19.3. Пробка 308
19.4. Пружина 310
19.5. Зубчатые колеса 311
Прямозубые цилиндрические колеса 311
Косозубое цилиндрическое колесо 312
19.6. Вал в сборе 312
19.7. Крепеж 313
19.8. Сборка узла 314
Рекомендации по сборке 314
Файл сборки и загрузка корпусной детали 314
Установка вала в сборе 315
Установка зубчатых колес и прокладки 316
Крышка в сборе 317
19.9. Корректировка и контроль точности сборки 319
19.10. Объемный разрез узла 320
19.11. Чертеж узла 320

Глава 20. Червячный редуктор. Корпус и крышка 324

20.1. Содержание работы 324
Конструкция узла 325
20.2. Модель корпуса 327
Наружный объем корпуса 328
Внутренний объем корпуса 328
Крепежные отверстия и проточки во фланцах 330
20.3. Построение чертежа корпуса 331
20.4. Модель и чертеж крышки редуктора 333

Глава 21. Червячный редуктор. Сборка сложного узла 338

21.1. Рекомендации по построению 3D-сборки сложных узлов 338

21.2. Червячная передача 339
21.3. Вал колеса в сборе..... 341
21.4. Опора в сборе 342
21.5. Подшипниковый узел верхний 343
Гайка шлицевая в сборе с шайбой стопорной 343
Остальные детали верхнего подшипникового узла 345
21.6. Начало сборки 346
Подготовка к сборке 346
Установка опоры 348
Редактирование по месту 348
Установка червячной пары 348
Установка вала колеса 349
Установка остальных моделей 349
Построения по месту 349
21.7. Контроль и корректировка сборки 349
Проверка зазоров 349
Проверка взаимодействия моделей 350
21.8. Подшипниковый узел нижний 351

Глава 22. Червячный редуктор. Завершение сборки и чертеж узла 354

22.1. Подшипниковые узлы червячного вала 354
Правый подшипниковый узел 354
Левый подшипниковый узел 354
22.2. Смотровое окно, крышка, пробка 357
22.3. 3D-разрез сложного узла 359
Печать 3D-разреза в векторном формате 361
22.3. Реалистичные модели 361
Радиальные шарикоподшипники. 361
Замена упрощенной модели на реалистичную 362
Роликовый конический однорядный подшипник 362
Подшипники упорные шариковые 362
Модель червячной пары 364
Изображение резьбы 364
Итоговое реалистичное изображение 3D-сборки узла 365
22.4. Построение чертежа сложного узла 366

Глава 23. Визуализация в режиме быстрого тонирования..... 369

23.1. Подготовка модели и общие настройки..... 370
23.2. Режим быстрого тонирования..... 371
Создание нового стиля визуализации..... 372
23.3. Фон..... 372
Градиентный фон..... 372
Фон – картинка из текстур AutoCAD’a..... 373
23.4. Чертеж в растровом формате..... 373
Применение команды SAVEIMG..... 373
Копирование экрана в буфер памяти..... 374
Печать чертежа в растровый файл..... 375
Печать в формате *pdf*..... 375
Присвоение чертежа в качестве фона..... 375
Связь растровых файлов и dwg-файлов..... 376
23.5. Визуализация в режиме закраски..... 376
23.6. Освещение и тень..... 377
Основные свойства дополнительных источников света..... 377
Схема освещения..... 377
Точечный источник света с затуханием..... 378

Затухание света…….. 378
Первый пример истинного тонирования……. 379
Теневой прожектор…… 379
Полная тень в режиме закраски…… 381
Бестеневой прожектор……... 381
Прожектор подсветки с затуханием……. 382
Тень с мягкими границами…… 382
23.7. Тонирование с фоном и тенью, без материалов……. 383
Критерии качества освещения……... 383
23.8. Сохранение результата тонирования……... 384

Глава 24. Фотореалистичная визуализация……... 386

23.1. Свойства и редактор материалов……... 386
24.2. Однородные материалы…… 387
Однородные материалы композиции…….. 387
Присвоение материалов объектам и их отдельным граням…….. 388
24.3. Создание текстурированных материалов…… 388
Текстура штриховки металла…… 389
Добавление текстуры в материал……. 390
Размер и размещение текстуры на гранях модели……... 390
Корректировка текстуры на гранях……. 391
24.4. Текстурированные материалы композиции…… 393
Литая поверхность……. 393
Материал сечений……. 394
Материалы механической обработки……... 394
Материал горизонтального листа – чертежа……... 395
Материал чертежа фона…… 396
24.5. Итоговая визуализация корпусной детали…….. 397
Замена модели…… 397
24. 6. Фотореалистичная визуализация узла…… 397
Присвоение материала по слоям……... 398
Визуализация узла в режиме закраски……. 398
Тонированная визуализация узла……. 399
24.7. Материалы из библиотеки…… 400
24.8. Вставка растрового изображения как объекта…….. 402

Библиографический список……. 403