Учебное пособие

СТАНДАРТ ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ



Ю. И. Королёв С. Ю. Устюжанина

Начертательная геометрия и графика

ДЛЯ БАКАЛАВРОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ

ДОПУЩЕНО НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИМ СОВЕТОМ МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ



СТАНДАРТ ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ

Ю. И. Королёв, С. Ю. Устюжанина

Начертательная геометрия и графика

ДЛЯ БАКАЛАВРОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ

Допущено Научно-методическим советом по начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графике при Министерстве образования и науки Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений технических специальностей

ББК 22.151.34я7+32.973.2-044я
УДК 514.18(075)+004.92(075)
К68

Рецензент:

Фазлулин Э. М., к. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Начертательная геометрия и черчение» Московского государственного машиностроительного института (МАМИ)

Королёв Ю. И., Устюжанина С. Ю.

К68 Начертательная геометрия и графика: Учебное пособие.

ISBN 978-5-496-00016-1

В книге предлагается разработанный материал для графических работ студентов по курсу начертательной геометрии и компьютерной графики, а также перечень решаемых задач по каждому из этих заданий, состав которых позволяет регулировать объем выполняемой работы для различных специальностей в режиме реального рабочего времени. По каждому заданию разработан дидактический материал и примерные образцы выполненных работ с рекомендациями по использованию компьютерной графики в режиме 2D и 3D.

Допущено Научно-методическим советом по начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графике при Министерстве образования и науки Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений технических специальностей.

ББК 22.151.34я7+32.973.2-044я
УДК 514.18(075)+004.92(075)

ISBN 978-5-496-00016-1

Краткое оглавление

Введение 9

Глава 1. Задачи с многогранниками 13

Глава 2. Задачи с поверхностями вращения 60

Глава 3. Построение изображений детали с линиями пересечения поверхностей 101

Приложение А. Таблицы координат многогранников 129

Приложение Б. Варианты заданий определителя поверхностей вращения 147

Приложение В. Варианты заданий на построение изображений деталей с линиями пересечения поверхностей 159

Список литературы 185

Оглавление

Введение 9

Глава 1. Задачи с многогранниками 13

1.1. Исходные данные и методические рекомендации по заданию «Многогранники» .. 14
1.1.1. Исходные данные и содержание задания по А.1 и А.2 15
1.1.2. Исходные данные и содержание задания по А.3 16
1.2. Методические указания и пример выполнения задания 17
1.2.1. Построение изображений 17
1.2.2. Построение фигуры сечения многогранника 25
1.2.3. Сравнительная оценка результата решения задачи 38
1.2.4. Определение размера фигуры сечения 40
1.2.5. Построение развертки многогранника 44
1.2.6. Определение высоты многогранника и углов наклона граней 49
1.2.7. Примерный образец содержания задания 54
Вопросы и задания 54

Глава 2. Задачи с поверхностями вращения 60

2.1. Условие, содержание и рекомендуемый порядок выполнения задания 61
2.2. Методические указания по отдельным этапам второго задания 63
2.2.1. Планировка формата, анализ определителя и геометрические построения 63
2.2.2. Построение основных видов и разрезов детали 73
2.2.3. Построение линий среза и сечения детали 75
2.3. Параметризация детали и нанесение ее размеров 86
2.4. Построение аксонометрического чертежа детали
и примерное содержание задания 89
2.5. Отдельные замечания по работе с компьютером в системе 3D 96
Вопросы и задания 99

Глава 3. Построение изображений детали с линиями пересечения поверхностей 101

3.1. Исходные данные и содержание задания 102
3.2. Методические указания по выполнению задания 103

3.2.1. Анализ, параметризация и построение видов и разрезов детали 103
3.2.2. Построение линий пересечения поверхностей..... 107
3.2.3. Нанесение размеров и оформление задания 117
3.2.4. Использование компьютерной графики в системе 3D для данного задания .. 119
Вопросы и задания 127

Приложение А. Таблицы координат многогранников 129

А.1. Таблицы координат определителя многогранника и секущей плоскости общего положения..... 130
А.2. Таблицы координат определителя секущей плоскости и многогранника частного положения..... 136
А.3. Таблица координат определителя трехгранной призмы и секущей плоскости..... 141

Приложение Б. Варианты заданий определителя поверхностей вращения..... 147

Приложение В. Варианты заданий на построение изображений деталей с линиями пересечения поверхностей..... 159

Список литературы 185

Введение

Данное учебное пособие предназначено для оказания преподавателям и студентам помощи в организации учебного процесса по освоению и закреплению теоретических основ начертательной геометрии на основе их практического использования в примерах решения типовых простых и комплексных задач в специальных семестровых заданиях или курсовых работах в соответствии с требованиями образовательных стандартов третьего поколения. Отличительная особенность пособия заключается в том, что в нем предлагаются разработанные варианты трех комплексных курсовых работ, которые студенты должны выполнить в течение семестра, и рассматривается возможность использования при этом современной техники в ручном и автоматизированном режимах.

Основным препятствием для организованного использования компьютерной графики с начала обучения в вузе является недостаточное материальное обеспечение кафедр и сложившаяся система организации учебного процесса в высшем образовании. Предмет «Начертательная геометрия» изучается в первом семестре, а плановое изучение машинных графических систем идет на других кафедрах в последующих семестрах. И это логично, потому что все машинные графические системы построены на методе проекций. В их операциях используются кинематический принцип образования геометрических фигур, проекционные связи изображений и их преобразований, а также геометрические отношения элементарных объектов, научная терминология и правила оформления изображений, которые изучают в курсе начертательной геометрии и инженерной графики.

Однако эффективность обучения как в области начертательной геометрии, так и в области понимания и практического освоения компьютерной графики можно повысить, если традиционный метод изучения предмета вести по темам параллельно с обучением студентов использованию одной из машинных графических систем по этим же темам, чтобы «блин со сковороды сразу попадал в употребление». И желательно, чтобы это происходило под руководством одного преподавателя. Варианты заданий данного пособия полностью соответствуют такой системе обучения.

При этом авторы пособия исходят из того, что если человек не может выразить свои мысли с помощью карандаша, то от него нельзя ожидать и эффективного использования машины. Мы обязаны научить студента выполнять графические работы как вручную, так и с помощью ЭВМ и на этой основе переходить к автоматизированному проектированию. Так мы сможем показать возможности человека и эффективность использования компьютера как замечательного инструмента в его руках. При этом эффективное использование машинной графики возможно только в том случае, когда учебным планом предусмотрены учебные часы на начальное освоение одной из графических систем параллельно с курсом начертательной геометрии, а практические занятия проводятся в специализированных аудиториях.

При разработке отдельных рекомендаций по применению машинной графики в предлагаемых в пособии задачах использовалась графическая система «КОМПАС-График», но сами рекомендации можно считать обобщенными и применимыми для работы и в других графических системах. Следует подчеркнуть, что сравнительный анализ и рекомендации даются исходя из условия, что исполнитель знаком с определенной графической системой, выбором и использованием отдельных команд или изучает их по материалам разработчика системы параллельно с решением задач начертательной геометрии. То есть изучение правил использования самой графической системы не входит в задачу данного пособия.

Многие студенты имеют собственные компьютеры с соответствующим программным обеспечением и самостоятельно осваивают методику работы с машиной, а мы должны помочь им. Электронная версия данного пособия дополнит электронную библиотеку вуза и обеспечит комфортные условия как для организации групповых занятий по предмету, так и для индивидуальной работы студента с компьютером.

Комплексные задачи выдаются студентам по индивидуальным вариантам и называются графическими заданиями (ГЗ) для самостоятельной работы студентов (СРС). Задачи каждого из заданий условно группируются по трем направлениям:

1. Позиционные и метрические задачи с многогранниками (призмой и пирамидой). Предлагается 112 вариантов с четырехгранными пирамидами и призмами и 120 вариантов заданий с трехгранной призмой.
2. Кинематическое образование поверхностей, решение позиционных и метрических задач с ними (на примерах поверхностей вращения) и параметризация поверхностей в составе детали. По этой теме предлагается 60 вариантов индивидуальных заданий.
3. Пересечение поверхностей (на примерах прикладных задач пересечения поверхностей в конкретных деталях), построение чертежа и параметризация усложненной детали. По этой теме разработано 50 вариантов индивидуальных заданий.

Все задания содержат элементы конструирования и направлены не только на развитие навыка использования теоретических знаний в конкретных условиях, но и на освоение существующих правил и формирование умения создавать и оформлять конструкторский документ — теоретический чертеж и чертеж детали. Исходные данные, содержание заданий и дидактический материал построены так, что работы можно выполнять вручную (карандашом или в системе 2D) и в системе 3D. Возможность использования компьютерной графики повышает интерес студентов и квалификационный уровень преподавательского состава.

В каждом направлении заданий даются методические указания по полному составу рекомендуемых задач и рассматриваются варианты их решения на примере. Однако это не значит, что студенты различных специальностей должны выполнять все задачи. Конкретный объем графической работы и сроки выполнения задания должны соответствовать рабочей программе и календарному плану кафедры для данной специальности. Преподавателю следует довести эту информацию до сведения студентов при выдаче задания.

Методические указания для преподавателей. Ведущим преподавателям рекомендуется предварительно выбрать и при выдаче задания сообщить студентам состав

тех задач, которые предусмотрены рабочей программой и календарным планом данной специальности и по объему соответствуют отведенному рабочему времени. На практике при выдаче задания указываются конкретные задачи, которые необходимо выполнить. А при организации практических занятий и консультаций полезно использовать решенные задачи данного пособия, рассмотренные в каждом разделе, и тематические задачи сборника задач по начертательной геометрии [8], которые рекомендуются для составления экзаменационных билетов.

Следует обратить внимание на то, что в совокупности приведенные в списке литературы учебники, сборник задач и данное учебное пособие представляют собой согласованный учебно-методический комплекс, обеспечивающий учебный процесс по дисциплине «Начертательная геометрия» в объеме программ Государственных образовательных стандартов третьего поколения.

Методические указания для студентов. Прежде чем приступать к выполнению конкретного задания, нужно:

- ❒ внимательно прочитать содержание условия задания;
- ❒ разобраться в исходных данных;
- ❒ записать порядковые номера задач, которые соответствуют вашему заданию, и разобраться в их содержании и цели;
- ❒ по учебнику разобраться в теоретических основах решения подобных задач;
- ❒ в разделе «Исходные данные и методические рекомендации по заданию» найти порядковый номер задачи, которую вы планируете решать, и руководствоваться предложенными там методическими указаниями. Важно соблюдать последовательность решения задач в порядке возрастания их номеров, так как в решениях последующих задач предполагается использование предыдущего материала.

В пособии разбираются примеры решения всех содержащихся в задании задач и предлагаются источники, с помощью которых можно пополнить теоретические знания и получить практические навыки по данной теме. Такой подход будет служить гарантией успешного выполнения и защиты задания и успешной сдачи экзамена по начертательной геометрии.

В конце каждой главы учебного пособия приводятся образцы выполненных заданий, которые дают представление об общем объеме заданной работы и примерном размещении отдельных задач на поле чертежа. Здесь также даются контрольные вопросы, которые полезно использовать для самоконтроля и при защите задания.

Варианты заданий даются в приложениях А, Б, В.

Принятые обозначения. Знаки изображаются в соответствии со стандартами оформления технической и научной документации.

A, *B*, *C*, *D*... или *1*, *2*, *3*, *4*	Обозначение точки: прописные буквы латинского алфавита или арабские цифры
∘	Изображение точки (области расположения точки): круг диаметром 2–3 мм, выполненный тонкой линией
a, *b*, *c*, *d*,	Линия: строчные буквы латинского алфавита

α, β, γ, δ...	Плоскости, поверхности, углы: строчные буквы греческого алфавита
Π	Плоскость проекций (картинная плоскость): прописная буква (пи) греческого алфавита
(AB)	Прямая линия, проходящая через точки A и B
$[AB]$	Отрезок, ограниченный точками A и B
$[AB)$	Луч, ограниченный точкой A и проходящий через точку B
$\lvert AB\rvert$	Натуральная величина отрезка $[AB]$ (равная оригиналу)
$\lvert A a\rvert$	Расстояние от точки A до линии a
$\lvert A\alpha\rvert$	Расстояние от точки A до поверхности (плоскости) α
$\lvert ab\rvert$	Расстояние между линиями a и b
$\lvert\alpha\beta\rvert$	Расстояние между поверхностями (плоскостями) α и β
=	Совпадение ($A = B$ — точки A и B совпадают) и результат действия
≅	Конгруэнтны (равны по величине и форме)
~	Подобны
∥	Параллельны
⊥	Перпендикулярны
∸	Скрещиваются
→	Отображаются, следующее действие
⇒	Следует, логическое следствие
∈	Принадлежит, является элементом множества: $A \in a$ — точка A принадлежит линии a; $a \ni A$ — линия a проходит через точку A
⊂	Включает, содержит: $a \subset \alpha$ — линия a принадлежит плоскости α
⋂	Пересечение: $a = \alpha \bigcap \beta$ — линия a получена пересечением поверхностей (плоскостей) α и β
\	Отрицание знака
∧	Угол. Например: $a \wedge b$ — угол между прямыми линиями a и b
∠α	Угол α (или число в градусах)
$\angle ABC$	Угол с вершиной в точке B

Глава 1

Задачи с многогранниками

Задание по этой теме выполняется первым и является ключевым в изучении теоретических основ чертежа. Цели его выполнения следующие:

1. Изучить теоретические основы образования и построения комплексного и аксонометрического чертежей на примере элементарных геометрических объектов (точки, прямой и плоскости), составляющих основу организации многогранника.
2. Научиться решать простейшие позиционные и метрические задачи с пространственными объектами на их плоских изображениях.
3. Показать универсальность предлагаемых алгоритмов при решении задач на различных изображениях.
4. Научить чтению графической информации и использованию свойств обратимости чертежа.

Выполнение задания преследует и дополнительные цели, которые будут развиваться, закрепляться и углубляться на протяжении всего курса изучения данной дисциплины, в частности:

- теоретическая подготовка к изучению образования многовидового чертежа и изображений, называемых видами, разрезами и сечениями;
- изучение правил оформления чертежа, развитие и закрепление навыков их применения при работе с карандашом и с компьютерной графикой;
- получение понятия о конструкторском документе и демонстрация разных его форм.

Отличительной методической особенностью содержания и выполнения данного задания является следующее:

- студент впервые проектирует объект по заданному определителю;
- последовательная работа с комплексным и аксонометрическим чертежами, разверткой и изготовлением макета изделия позволяет глубже понять теоретические основы и инженерную значимость чертежа;
- все этапы выполнения задания сопровождаются методическими рекомендациями и примерами практического решения предлагаемых задач.

1.1. Исходные данные и методические рекомендации по заданию «Многогранники»

Исходные данные представлены условием задания, изложенным в 1.1.1 и 1.1.2, и координатами точек (определителем) задаваемых фигур. Все размеры заданы в миллиметрах. Значения координат по вариантам приводятся в таблицах приложения А. Масштаб изображений 1:1.

Определитель представляет собой тот минимальный набор точек (вершин), который необходим для построения каркаса многогранника и задания секущей плоскости. В А.1 дан определитель четырехгранной призмы или пирамиды общего положения. Эти варианты относятся к числу сложных заданий. В А.2 дан определитель четырехгранной призмы или пирамиды частного положения. Эти задания более простые.

Графические задания (ГЗ 1) по А.1 и А.2 рекомендуется использовать для работы со студентами механических специальностей. Они могут состоять из двух графических работ, обозначаемых **ГР 1.1** и **ГР 1.2**, каждая из которых выполняется на формате А2. В случае сокращения отдельных задач работа может выполняться на одном формате А2 и обозначаться ГЗ 1.

В А.3 дан определитель трехгранной призмы общего положения. Эти варианты рекомендуются для работы со студентами других технических специальностей и для аудиторных работ. Задание обозначается **ГЗ 1** и выполняется на формате А2.

К моменту выдачи задания студент должен иметь понятие о прямоугольной системе координат и ее изображении на комплексном чертеже, о призме, пирамиде и основных правилах оформления чертежа.

При выдаче задания необходимо сообщить каждому студенту (в форме раздаточного материала, записи в тетради или электронного адреса):

- ❒ номер варианта;
- ❒ наименование поверхности многогранника и условие задачи;
- ❒ координаты определителя по заданному номеру варианта;
- ❒ содержание задания в порядке последовательности его выполнения (план выполнения);
- ❒ формат бумаги, на котором должно выполняться задание, и его расположение;
- ❒ срок выполнения задания (неделя представления к защите).

В пособии приводится полное содержание предлагаемой работы. Однако преподаватель устанавливает объем задания исключением отдельных задач в соответствии с рабочей программой и балансом учебного времени для данной специальности, а также определяет основные требования к форме выполнения и оформления задания.

Рекомендуется показать студентам планировку формата. В данном пособии примерное содержание задания и размещение задач на чертеже показано на рисунках в конце главы 1. Черновик следует использовать только на начальной стадии для того, чтобы лучше ориентироваться при размещении изображений.

1.1.1. Исходные данные и содержание задания по А.1 и А.2

Исходные данные: многогранная поверхность (призма или пирамида) задана координатами (x, y, z) вершин основания ($GKLH$) и координатами вершины G' второго основания ($G'K'L'H'$) призмы или координатами вершины V пирамиды. Секущая плоскость α задана координатами трех ее точек (MNR).

РЕКОМЕНДАЦИЯ

Все начальные построения выполнять тонкими (толщиной 0,2–0,3 мм) сплошными или штриховыми линиями.

Содержание и порядок выполнения ГР 1.1:

1. Выбрать положение координатных осей и построить три проекции заданной поверхности (фигуры). Если в таблице исходных данных вместо численного значения координаты точки стоит тире, это означает, что значение этой координаты необходимо определить из условия ее принадлежности заданной плоскости основания фигуры.

   Определить относительную видимость ребер фигуры. Проекции секущей плоскости α изобразить треугольником MNR, однако при решении задачи сечения фигуры следует помнить, что задана целая секущая плоскость.

2. Построить линию сечения поверхности многогранника плоскостью α (MNR) на эпюре.

   Оформить изображения (проекции) фигуры с линиями сечения и треугольником MNR секущей плоскости с учетом их относительной видимости, считая треугольник MNR ограниченной пластиной.

3. Построить натуральную величину основания многогранника или фигуры сечения, используя один из способов преобразования чертежа.

4. Определить натуральные размеры боковых ребер многогранника и диагоналей боковых граней призм способом плоскопараллельного перемещения.

5. Определить высоту многогранника и величину двугранного угла $VGKL$ или $G'GKL$.

6. Составить таблицу координат исходных данных и вершин фигуры сечения, оформить работу.

Содержание и порядок выполнения ГР 1.2 задания:

1. Построить приведенную прямоугольную изометрическую или диметрическую проекцию многогранника и секущей плоскости по тому же определителю, определить видимость ребер.

2. Построить фигуру сечения многогранника, составить таблицу координат ее вершин и сравнить их с эпюром, оформить изображение аксонометрической проекции с учетом видимости треугольника MNR, а вторичную проекцию обвести линиями толщиной 0,3 мм.

3. Построить развертку лицевой стороны поверхности многогранника с фигурой сечения, внутри развертки нанести обозначения вершин.

ПРИМЕЧАНИЕ

Если предусматривается склеивание модели, то п. 1 и 3 выполнить на отдельных форматах А3. При этом рамку и основную надпись формата развертки не выполнять, а из него склеить модель так, чтобы обозначения вершин были на ее лицевой стороне.

4. Оформить работу. Построения сохранить.

1.1.2. Исходные данные и содержание задания по А.3

Исходные данные: трехгранная призма общего положения задана координатами (x, y, z) вершин (GKL) основания и координатами вершины G' бокового ребра GG'. Секущая плоскость α задана координатами трех ее точек (MNR).

Рекомендация: все начальные построения выполнять тонкими (толщиной 0,2–0,3 мм) сплошными или штриховыми линиями.

Содержание и порядок выполнения задания:

1. Выбрать положение координатных осей и построить три проекции призмы. Определить относительную видимость ребер фигуры. Проекции секущей плоскости α изобразить треугольником MNR, но размеры этой плоскости считать неограниченными при построении линии ее пересечении с призмой.
2. Построить приведенную прямоугольную изометрическую проекцию призмы и выполнить задачи п. 1 в аксонометрии.
3. Построить линию сечения поверхности многогранника плоскостью α (MNR) на эпюре и в аксонометрии. Построить изображения фигуры, линии сечения и треугольника MNR секущей плоскости с учетом их относительной видимости, считая ΔMNP ограниченной пластиной.
4. Определить численные значения координат вершин фигуры сечения на эпюре и в аксонометрии, посчитать их относительную погрешность. Результаты записать в форме таблицы. Результат считается нормальным, если погрешность не превышает 10 % по отношению к координате на эпюре при выполнении работы карандашом.
5. Построить натуральную величину фигуры сечения или основания призмы (по заданию преподавателя), используя один из способов преобразования чертежа (если он не указан в задании).
6. Построить развертку поверхности многогранника с фигурой сечения.
7. Определить натуральную величину высоты призмы и углы наклона ее основания к горизонтальной и фронтальной плоскостям проекций.
8. Определить величину двугранного угла, указанного преподавателем.
9. Оформить работу. Построения сохранить.

1.2. Методические указания и пример выполнения задания

Для успешного выполнения и защиты задания студент должен не только быть активным на лекционных и практических занятиях, но и самостоятельно работать с учебной литературой. При защите задания он должен знать:

- ❒ терминологию начертательной геометрии;
- ❒ процесс проецирования и основные свойства метода проекций;
- ❒ алгоритм решения задачи пересечения прямой и плоскости, двух плоскостей;
- ❒ способ определения относительной видимости объектов с помощью конкурирующих точек;
- ❒ классические способы преобразования чертежа.

Он должен также продемонстрировать умение пользоваться знаниями на примере своих или дополнительных задач как на эпюре, так и в аксонометрии.

Задание выполняется на формате А2 в масштабе 1:1 и оформляется в соответствии со стандартными требованиями оформления чертежа.

Особенности выполнения отдельных этапов работы рассмотрим на примере выполнения условного задания. Поскольку принципиально все задания идентичны, а различия заключаются только в объеме и в отдельных изменениях содержания задач, методические особенности выполнения последних будем рассматривать одновременно для всех приложений.

1.2.1. Построение изображений

Исходные данные, взятые из приложения по своему варианту, следует записать в форме табл. 1.1 и 1.2 (*это координаты нашего примера*).

Таблица 1.1. Исходные данные по А.3 (призма)

Вершина фигуры	Координаты вершины			Точка плоскости	Координаты точки		
	x	*y*	*z*		*x*	*y*	*z*
G	60	32	6	*M*	65	21	20
K	40	0	20	*N*	51	6	56
L	18	15	8	*R*	5	30	28
G′	43	36	60				

Таблица 1.2. Исходные данные по А.1

Вершина фигуры	Координаты вершины			Точка плоскости	Координаты точки		
	x	*y*	*z*		*x*	*y*	*z*
G	**48**	**31**	**8**	*M*	**18**	**40**	**0**
K	**35**	**7**	**12**	*N*	**60**	**0**	**0**

продолжение ⇩

Таблица 1.2 (*продолжение*)

Вершина фигуры	Координаты вершины			Точка плоскости	Координаты точки		
	x	*y*	*z*		*x*	*y*	*z*
L	**5**	**12**	**10**	*R*	**30**	**0**	**55**
H	**20**	**37**	**—**				
V (*G*′)	**30**	**20**	**60**				

На листе выполняемого задания буквенные обозначения точек этих таблиц можно разместить в одной графе.

Работу необходимо начать с подготовки формата А2: взять лист ватмана размером 420×597 мм, вычертить внутреннюю рамку и прямоугольник основной надписи размером 55×185 мм в правом нижнем углу формата на длинной стороне рамки (рис. 1.1).

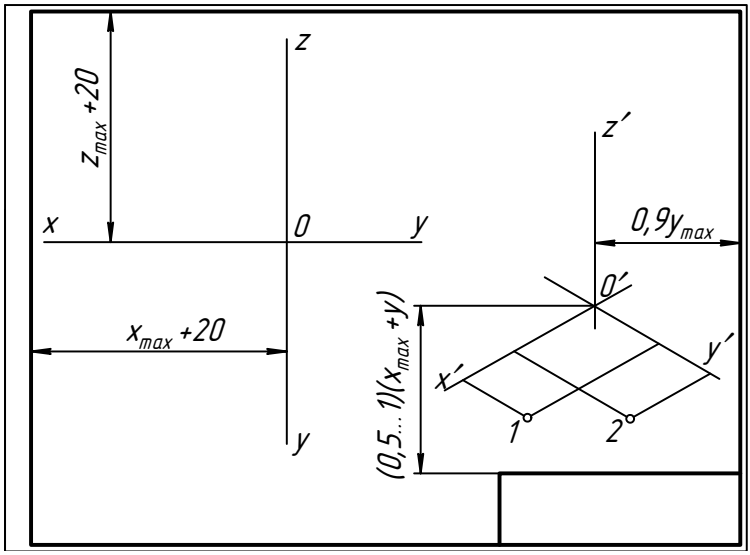


Рис. 1.1. Подготовка формата и планировка чертежа

При работе с компьютером можно воспользоваться готовым форматом чертежа или работать с фрагментом. Для этого следует задать формат А2 горизонтальной ориентации и дать чертежу имя, например «Призма».

Выполнять данное задание рекомендуется только вручную. Для этого достаточно знать стили линий, научиться управлять линиями и усвоить алгоритмы решения поставленных задач.

При работе с фрагментом внешнюю и внутреннюю рамки формата чертежа на экране задаем вручную. Можно работать без указания формата: строить фрагменты задания, а потом вставлять их в готовый или построенный формат чертежа. Тогда приводимая далее схема планировки чертежа будет не нужна.

При ручной работе с компьютером порядок работы остается таким же, как при работе с карандашом, то есть смысловая часть работы не меняется — меняется работа с линиями и параметрами. Стили линий лучше всего задавать сразу такими, какими они должны быть на готовом чертеже.

Очень удобно использовать вспомогательные линии компьютерной графики, которые легко строить на заданном расстоянии и под заданным углом. Рекомендуется использовать вспомогательные линии синего цвета, которые хорошо видны и меньше утомляют зрение. При этом вначале какая-то часть задачи (например, оси) строится вспомогательными линиями, а потом по ним строятся линии нужного стиля.

Все рисунки, помещенные в пособии, построены с помощью компьютера и могут служить наглядным пособием при изучении графической системы. Поэтому при изложении решения отдельных задач основное внимание сосредоточено на методе решения, а об отдельных особенностях использования инструмента исполнения будет говориться по мере необходимости.

На рис. 1.1 показан вариант планировки для случая, когда эпюр и аксонометрический чертеж выполняются на одном листе. Основная планировка чертежа заключается в размещении необходимых осей координат. Для этого:

- в таблице исходных данных просматриваем координаты x заданных точек, к наибольшей из них прибавляем 20...30 мм и на этом расстоянии от левой рамки чертежа проводим ось z;
- аналогично, к наибольшей высоте z добавляем 20...30 мм и на этом расстоянии от верхней рамки чертежа проводим ось x.

Наносим обозначения осей комплексного чертежа.

Аксонометрический чертеж, если он выполняется вместе с эпюром, размещаем в правой стороне формата (см. рис. 1.1). Для прямоугольной изометрии:

- проводим ось z' на расстоянии $0{,}9y_{max}$ от правой линии рамки чертежа, где y_{max} — наибольшая глубина заданных точек;

на оси z отмечаем начало O' осей координат на указанном (см. рис. 1.1) расстоянии от рамки основной надписи, где x_{max} — наибольшая широта заданных точек, а y — соответствующая ей глубина, и строим оси x и y под углом 30° к горизонтальной линии;

точками *1* и *2* можно проверить намечаемое размещение изображения вторичной проекции на плоскости $x'O'y'$, где *1* — точка с наибольшей широтой, *2* — точка с наибольшей глубиной.

После размещения осей строим изображения заданных объектов. Рассмотрим работу, выполненную по данным, приведенным в табл. 1.1 (рис. 1.2).

Линии рамки на рис. 1.2 следует рассматривать как рамку фрагмента чертежа формата А2 или как фрагмент рис. 1.1. Строим проекции вершины G по координатам, приведенным в табл. 1.1, в масштабе 1:1: по координате $x = 60$ мм отмечаем точку x_G, намечаем вертикальную линию связи G_1G_2, по координате $y = 32$ мм отмечаем горизонтальную проекцию G_1, а по координате $z = 6$ мм — фронтальную проекцию G_2 точки G. По горизонтальной линии связи G_2G_3 и координате y строим ее профильную проекцию G_3. Рекомендуется опорные точки (вершины фигур) отмечать тонкой линией окружности радиусом 0,7...0,8 мм машинной графики или радиусом ≈1 мм

карандашом от руки. Для выделения вспомогательных точек следует использовать окружности радиусом 0,4...0,5 мм.

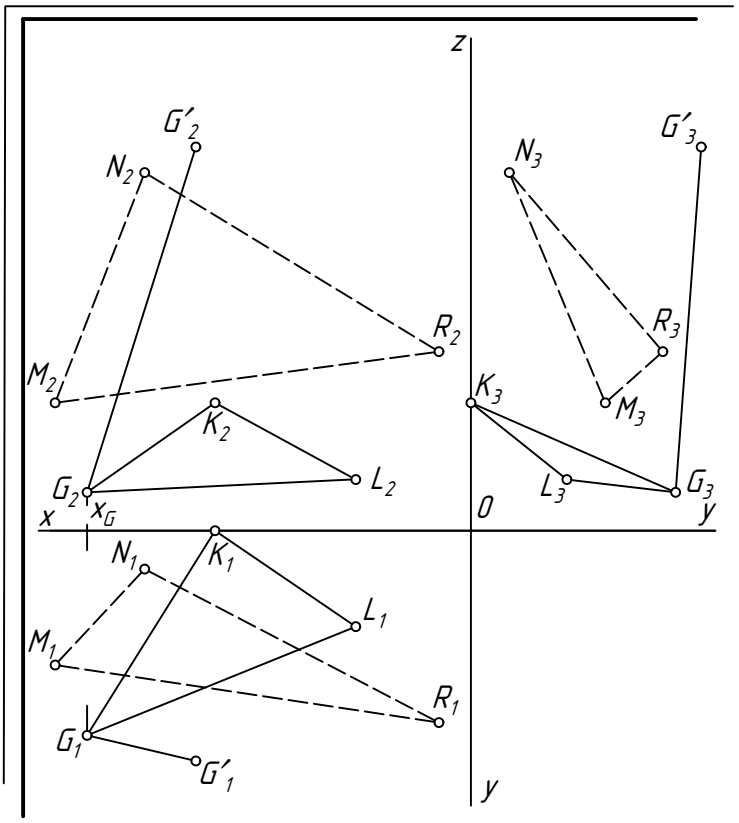


Рис. 1.2. Построение комплексного чертежа заданных вершин трехгранной призмы и секущей плоскости

Аналогично строим проекции вершин K ($K_1K_2K_3$) и L ($L_1L_2L_3$) нижнего основания и вершины G' ($G'_1G'_2G'_3$) верхнего основания призмы. Строим проекции ребер основания GKL и бокового ребра GG' тонкими линиями.

Затем строим проекции определителя плоскости и оформляем его сторонами ΔMNR. Стороны треугольника секущей плоскости удобно начертить штриховой линией, чтобы после окончательного определения видимости объектов обвести основной линией только его видимую часть.

По свойству призмы и проекций параллельных прямых (соответствующие ребра равны и параллельны) достраиваем проекции боковых ребер и второе основание многогранника (рис. 1.3).

Для определения видимости граней используем конкурирующие точки. Например, горизонтальные проекции G_1L_1 и $G'_1K'_1$ ребер оснований пересекаются, а в пространстве они пересечься не могут, следовательно, точки $3_1 \in G_1L_1$ и $4_1 \in G'_1K'_1$ являются

проекциями горизонтально конкурирующих точек *3* и *4*. По линии связи отмечаем их фронтальные проекции 3_2 и 4_2 на соответствующих проекциях ребер оснований. Направление $(s_1)_2$ проецирования для горизонтальной плоскости проекций соответствует направлению нашего взгляда на объект. Высота точки 4_2 больше, следовательно, она находится ближе к наблюдателю, поэтому видна и закрывает собой точку *3*.

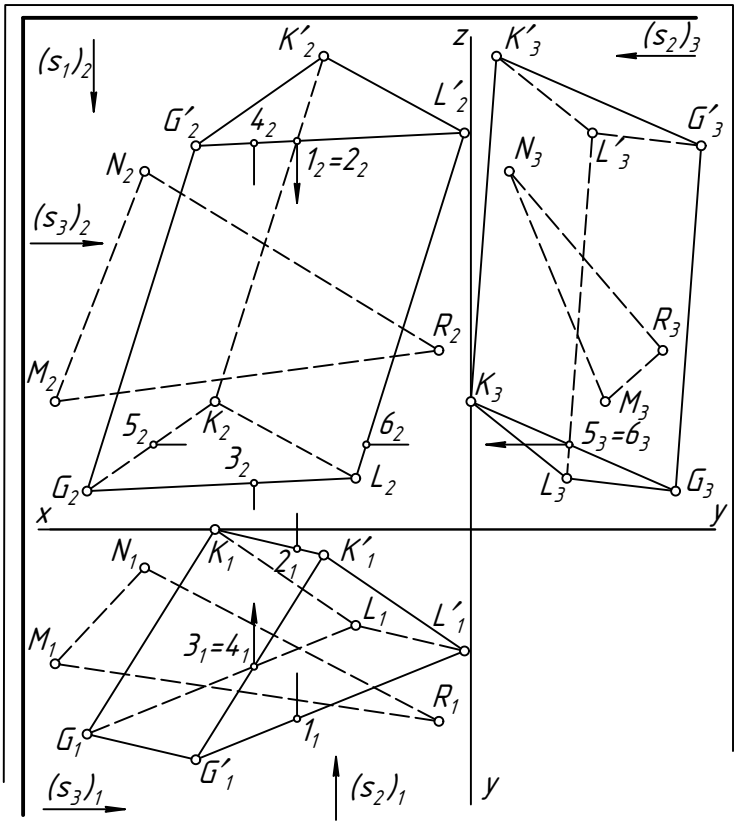


Рис. 1.3. Построение проекций трехгранной призмы и определение видимости ее граней

Вывод: на горизонтальной проекции точка *3* не видна, следовательно, не видна проекция G_1L_1 ребра основания, не видны проекции вершины L_1 и ребер K_1L_1, $L_1L'_1$, следовательно, не видны и грани, в состав которых входят эти ребра.

Для определения видимости на фронтальной проекции призмы используем фронтально конкурирующие точки *1* ($1_2 \to 1_1$) и *2* ($2_2 \to 2_1$). По их горизонтальной проекции и направлению проецирования $(s_2)_1$ делаем вывод, что точка *1* находится перед точкой *2* и поэтому видна ее проекция 1_2. Следовательно, проекция отрезка $K_2K'_2$ ребра KK' невидимая, поэтому невидимы и соответствующие грани.

На профильной проекции конкурируют точки *5* и *6*. По положению фронтальных проекций 5_2 и 6_2 этих точек и направлению проецирования $(s_3)_2$ делаем вывод,

что на профильной проекции видимыми являются точка 5 (5_3) и ребро KG (K_3G_3). Отсюда делаем вывод, что проекция $L_3L'_3$ бокового ребра и соответствующие грани призмы не видны.

Проекции невидимых ребер призмы чертим штриховыми линиями. Проекции направлений s проецирования, отмеченные на чертеже, не изображаем, так как они использованы только для наглядности.

После этого строим аксонометрический чертеж призмы и треугольника MNR (рис. 1.4, *а*). Порядок построения в аксонометрической системе координат $O'x'y'z'$ (см. рис. 1.1) такой же, как и на комплексном чертеже. На оси x' по координате $x = 60$ мм отмечаем точку x_G и из нее проводим линию параллельно y'. На этой линии по координате $y_G = 32$ мм строим вторичную проекцию G'_1 проекции G_1 вершины G призмы на плоскость xOy.

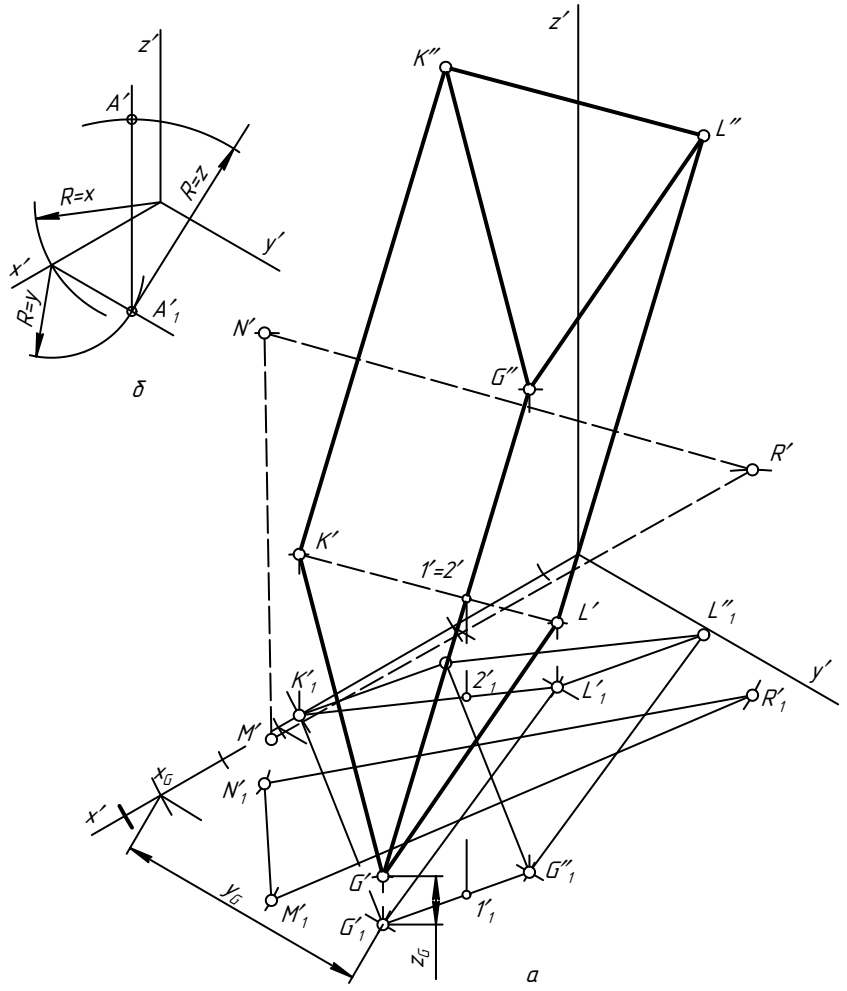


Рис. 1.4. Построение аксонометрии фигуры

Запомните правило: в аксонометрическом чертеже к обозначению каждой точки, линии или плоскости добавляется апостроф.

Из вторичной проекции G'_1 проводим вертикальную линию связи и на ней на высоте $z_G = 6$ мм строим аксонометрическую проекцию G' вершины G.

При работе с компьютером отрезки на чертеже, показывающие координаты вершин фигуры, нужно откладывать с помощью соответствующих дуг окружностей (рис. 1.4, *б*), как будто работая циркулем. При этом удобно пользоваться вспомогательными линиями. Использовать прием построения вспомогательной линии, параллельной, например, оси y, на расстоянии x нельзя.

Строим аксонометрию всех заданных координатами вершин призмы и точек MNR плоскости сечения. Затем, используя свойства проекций параллельных отрезков, достраиваем проекции ребер призмы. Соединяем вторичные проекции соответствующих вершин призмы тонкими линиями, а затем их аксонометрические проекции и обозначаем, как показано на рис. 1.4. Проекции равноправны, но приемом построения вторичной проекции объекта тонкими линиями мы стремились облегчить чтение чертежа, сделать его нагляднее за счет выделения первичной проекции толстыми линиями.

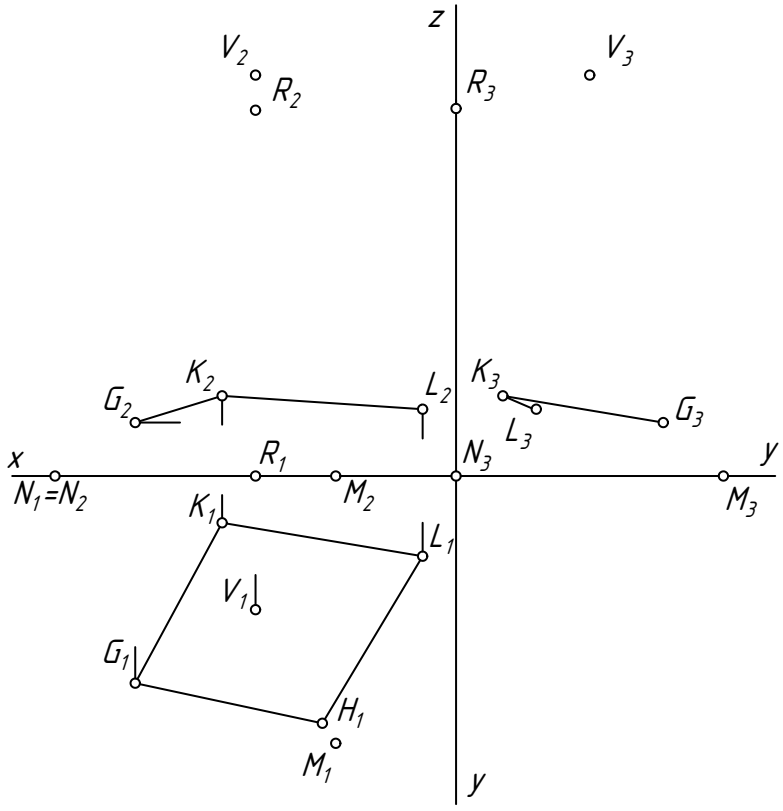


Рис. 1.5. Построение заданных вершин четырехгранной пирамиды и определителя секущей плоскости

Для определения видимости аксонометрических проекций граней воспользуемся конкурирующими точками $1'$ и $2'$ ребер $G'G''$ и $K'L'$ призмы. По их вторичной проекции $1'_1$ и $2'_1$ видим, что глубина точки 1 больше, то есть она ближе к наблюдателю, и, следовательно, мы видим аксонометрическую проекцию $G'G''$, а проекция $K'L'$ не видна. Рассуждая аналогично, приходим к выводу о видимости граней на аксонометрической проекции призмы.

На рис. 1.4 видимые ребра аксонометрической проекции призмы обведены основной линией для наглядности. Однако в графической работе на данном этапе этого делать не следует, так как еще нужно будет определять относительную видимость призмы и треугольника MNR секущей плоскости. Первичную проекцию треугольника плоскости условно обвели штриховой линией.

На вторичной проекции относительную видимость элементов фигур определяют аналогично, но в нашем примере это не сделано (нет необходимости).

Рассмотрим особенности работы по данным, приведенным в табл. 1.2. Так же как на рис. 1.2, по координатам строим проекции заданных вершин пирамиды и определителя плоскости (рис. 1.5).

Высота вершины H не задана. Поэтому фронтальную H_2 и профильную H_3 проекцию вершины H основания $GKLH$ пирамиды необходимо определить из условия ее принадлежности плоскости, заданной точками GKL. Для этого в плоскости основания строим (рис. 1.6) $1_1 = G_1L_1 \cap K_1H_1 \rightarrow 1_2 \in G_2L_2$, по вертикальной линии связи строим $H_2 \in (K_2 1_2)$. По горизонтальной линии связи и координате y_H строим H_3.

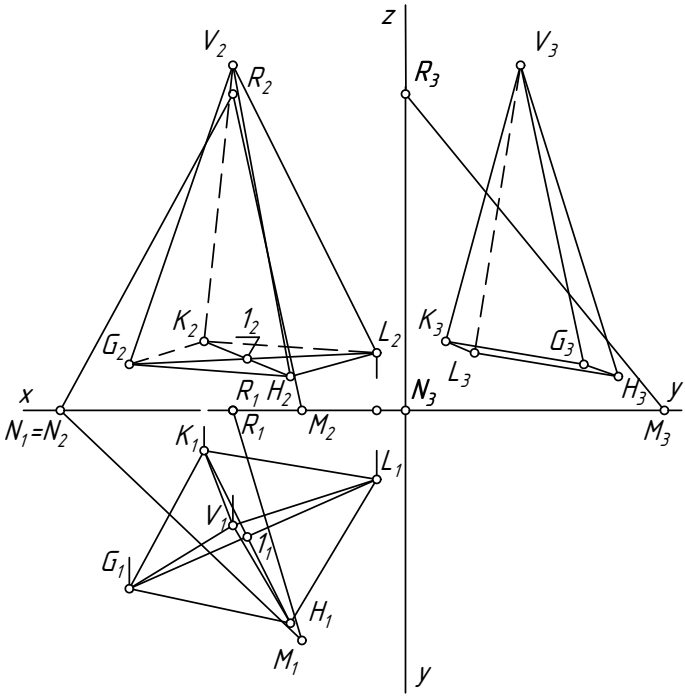


Рис. 1.6. Построение проекций пирамиды и секущей плоскости

Вершины четырехугольника основания соединяем между собой и с вершиной V ($V_1V_2V_3$) пирамиды тонкими линиями. Определяем видимость ребер с помощью конкурирующих точек, как на рис. 1.3. Невидимые ребра изображаем штриховой линией.

Точки MNR секущей плоскости α тоже соединяем тонкими линиями. Заметим, что линия NM является горизонтальным следом плоскости α, линия RN — ее фронтальным следом, а точка N — точка схода следов.

На рис. 1.7, *а*, построена прямоугольная изометрия пирамиды и секущей плоскости в том же порядке, что и на рис. 1.4. Рисунок 1.7, *б*, напоминает о правиле построения координатных отрезков в аксонометрии. Аксонометрическую проекцию H' вершины H построили по условию ее принадлежности плоскости GKL основания пирамиды. Для этого на вторичной проекции построили: $1'_1 = G'_1L'_1 \cap K'_1H'_1 \to 1'_1 \to (K'1') \to$ по линии связи $H' \in (K'1')$. Вершины основания соединили между собой и с вершиной V пирамиды. Видимость ребер определили с помощью конкурирующих точек, как показано на рис. 1.4.

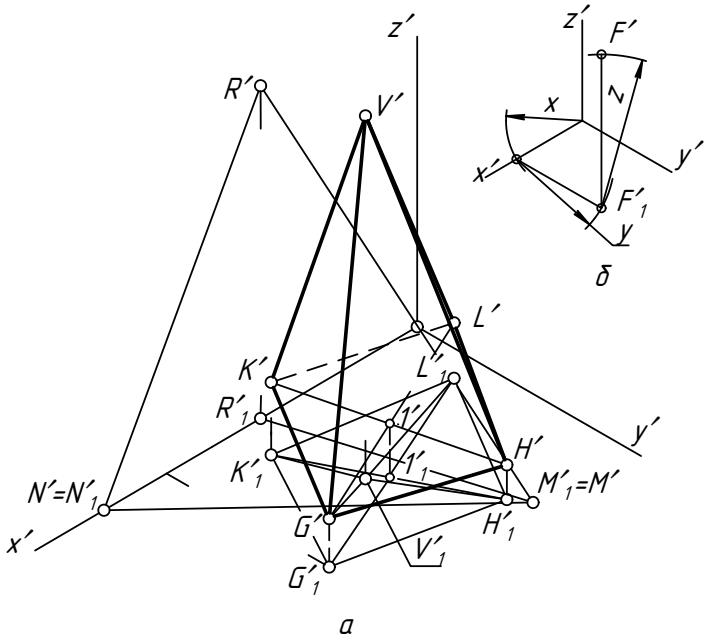


Рис. 1.7. Прямоугольная изометрия пирамиды и секущей плоскости

1.2.2. Построение фигуры сечения многогранника

Построение линии сечения заданной фигуры (призмы или пирамиды) состоит из последовательного решения задач пересечения прямых линий (ребер) с заданной плоскостью или пересечения двух плоскостей: грани многогранника и заданной плоскости.

Построение сечения трехгранной призмы. Рассмотрим построение фигуры сечения (рис. 1.8) трехгранной призмы, которую мы построили на рис. 1.3, способом пересечения прямой линии (ребра) с плоскостью. Вначале вспомним общий алгоритм решения задачи пересечения прямой линии с плоскостью.

Дано: d — прямая линия (возьмем ребро KK'), α (MNR) — секущая плоскость.

Найти: точку $B = d \cap \alpha$.

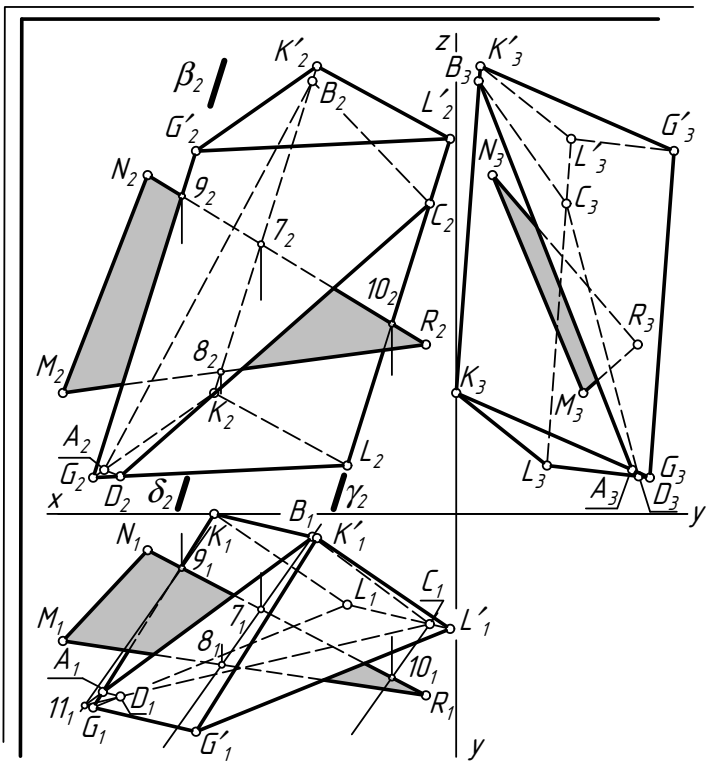


Рис. 1.8. Построение фигуры сечения призмы на эпюре

Решение:

1. d (KK') $\subset \delta$ (δ_2) — строим фронтально проецирующую плоскость, проходящую через прямую линию d (в примере ее фронтальный след δ_2 совпадает с проекцией $K_2K'_2$ ребра). Для этого на направлении линии $K_2K'_2$ чертим утолщенную линию длиной около 8 мм и ставим обозначение δ_2.
2. Строим прямую линию $(7–8) = \delta \cap \alpha$. На чертеже отмечаем точки $7_2 = N_2R_2 \cap K_2K'_2 \rightarrow 7_1$; $8_2 = M_2R_2 \cap K_2K'_2 \rightarrow 8_1$ и строим горизонтальную проекцию $(7_1–8_1)$ прямой пересечения вспомогательной плоскости с заданной.
3. $B = d \cap (7–8)$ — пересечение прямой $(7–8)$ с ребром KK' определяет положение точки B: $B_1 = (7_1–8_1) \cap K_1K'_1 \rightarrow B_2 \subset K_2K'_2$.

Это основной прием решения задачи. Надо освоить эти три действия!

Заключаем ребро GG' во фронтально проецирующую плоскость β ($\beta_2 = G_2G'_2$ — по направлению $G_2G'_2$ чертим утолщенную линию и ставим обозначение β_2). Так как $\beta \parallel \delta$, то линии их пересечения с плоскостью α (MNR) будут параллельными. Поэтому строим: $9_2 \to 9_1 \subset N_1R_1$; через точку 9_1 проводим прямую линию параллельно линии (7_1–8_1) и отмечаем точку 11_1 на продолжении проекции G'_1G_1 — это горизонтальная проекция точки пересечения ребра GG' с плоскостью α.

Прямая (B_1–11_1) является горизонтальной проекцией линии пересечения грани $GG'K'K$ с плоскостью α. Точка 11_1 находится за пределами проекции G'_1G_1 действительного ребра $G'G$, следовательно, линия сечения ограничится точкой A (A_1) пересечения ребра GK (G_1K_1) основания с плоскостью α. По линии связи отмечаем проекцию A_2 и строим прямую B_2A_2 штриховой линией, потому что она невидимая, так как принадлежит невидимой грани. А ее горизонтальная проекция видна потому, что на горизонтальной проекции данная грань видимая.

Аналогично вводим плоскость γ (γ_2) $\supset LL'$ ($\gamma_2 = L_2L'_2$) и строим: $10_2 \to 10_1 \in$ прямая $\parallel$ (7_1–8_1) $\to C_1 \in L_1L'_1 \to C_2 \in L_2L'_2 \to$ строим (C_1–11_1) $\to D_1 = (C_1$–$11_1) \cap G_1L_1 \to D_2$.

Построенные проекции точек пересечения ребер призмы с плоскостью α сечения соединяем прямыми линиями с учетом их видимости и получаем две проекции ($A_1B_1C_1D_1$, $A_2B_2C_2D_2$) фигуры сечения $ABCD$.

Профильную проекцию $A_3B_3C_3D_3$ строим по линиям связи.

Относительную видимость призмы и материальной треугольной пластины определяем по конкурирующим точкам или просто по логике. Заметим, что фигура сечения принадлежит плоскости треугольника MNR. На горизонтальной проекции сторона A_1B_1 видимая, следовательно, видимыми являются и участки линий M_1R_1 и N_1R_1, пересекающихся с линией сечения призмы со стороны видимой грани, то есть видимым является левый участок нашего треугольника. На линии AB (A_1B_1) он пересекает грань $GG'K'K$, затем проходит внутри призмы, а на линии CD (C_1D_1) выходит из призмы на невидимой грани, следовательно, продолжает оставаться невидимым до тех пор, пока его изображение перекрывается изображением призмы.

Аналогично, на фронтальной проекции треугольник виден на участке его вершины R (R_2), где он пересекает призму по видимой линии CD (C_2D_2). На профильной проекции по тем же признакам видимой является часть треугольника со стороной NM (N_3M_3).

Там, где изображение видимой части пластины треугольника накладывается на изображение призмы, участки призмы невидимы и ее ребра должны изображаться штриховой линией. Видимые линии сторон треугольной пластины и каркаса призмы обводим основными линиями.

Для оформления задачи рекомендуется использовать стандартный шрифт типа Б размера 5 с записью по горизонтальной строке.

Покажем решение этой задачи на аксонометрическом чертеже (рис. 1.9), который мы построили на рис. 1.4. Здесь он повторен.

Обратите внимание на то, что алгоритм решения задачи сечения на эпюре и в аксонометрии одинаковый. В аксонометрии мы также работаем в двух изображениях, но к индексам всех обозначений добавляем апостроф.

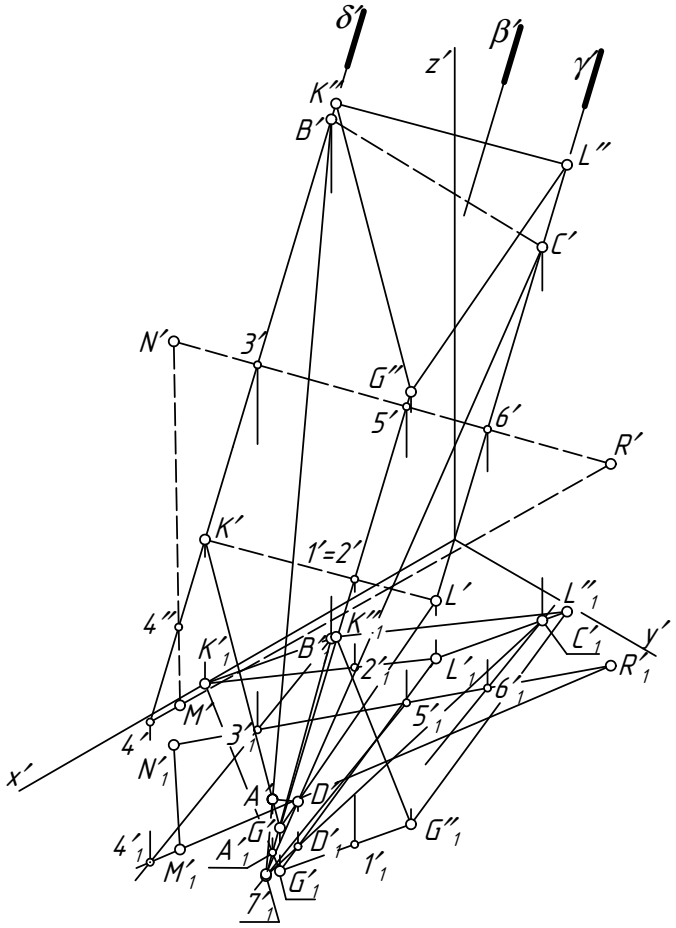


Рис. 1.9. Построение фигуры сечения призмы на аксонометрическом чертеже

Здесь удобно использовать вспомогательные плоскости (например, δ, β, γ), параллельные основному направлению аксонометрического проецирования, то есть проецирующие по отношению к аксонометрической плоскости проекций. Их аксонометрические проекции вырождаются в прямые линии δ′, β′, γ′.

Плоскость δ, проходящая через ребро KK' ($\delta' = K'K''$), пересекает плоскость α (MNR) по прямой линии $3–4$ ($3' = \delta' \cap N'R'$, $4'' = \delta' \cap N'M'$). Точка $4''$ неудобна для построения ее вторичной проекции. Удобнее использовать точку $4' = \delta' \cap (R'M')$. По линиям связи строим вторичную проекцию ($3'_1–4'_1$) линии ($3–4$) и проекции точки B пересечения ребра с плоскостью α: $(3'_1–4'_1) \cap K'_1K''_1 = B'_1 \rightarrow B' \in K'K''$.

Через ребро GG' ($G'G''$) проведем проецирующую плоскость β. Это выражается построением ее аксонометрической проекции $\beta' = G'G''$. Также построим $5' = (N'R') \cap \beta' \rightarrow 5'_1$, через эту точку проводим прямую линию, параллельную линии ($3'_1–4'_1$), до пересечения со вторичной проекцией ($G'_1G''_1$) ребра GG' в точке $7'_1$. Затем строим ($7'_1–B'_1$)

$\bigcap K'_1G'_1 = A'_1 \to A'$. Это проекции точки пересечения ребра KG основания с плоскостью α. Отрезок $[A'B']$ является аксонометрической проекцией отрезка $[AB] = GKK'G' \bigcap \alpha$ (MNR), а $[A'_1B'_1]$ — его вторичная проекция. Сравните эти построения с построением такого же отрезка на эпюре (рис. 1.8).

С помощью плоскости $\gamma \supset LL'$ $(\gamma' = L'L'')$ находим точку C фигуры сечения: $6' = \gamma' \bigcap N'R' \to 6'_1$, строим прямую, параллельную $(3'_1–4'_1)$, и проекции $C'_1 \in L'_1L''_1 \to C' \in L'L''$. Строим прямую $(C'_1–7'_1)$ и отмечаем проекции $D'_1 = (C'_1–7'_1) \bigcap G'_1L'_1 \to D'$ —точки пересечения ребра основания с заданной плоскостью. Последовательно соединяем полученные проекции $A'B'C'D'A'$ точек фигуры сечения прямыми линиями с учетом их видимости: в невидимых гранях — штриховой линией, на видимых гранях — основной линией. Видимость треугольной пластины определяем с помощью конкурирующих точек (см. рис. 1.4). Однако нетрудно заметить, что внешние части пластины, пересекающей призму на видимых гранях, тоже будут видимыми (на рис. 1.9 виден участок со стороной $N'M'$ и участок с вершиной R'), а закрытые ими части призмы не видны.

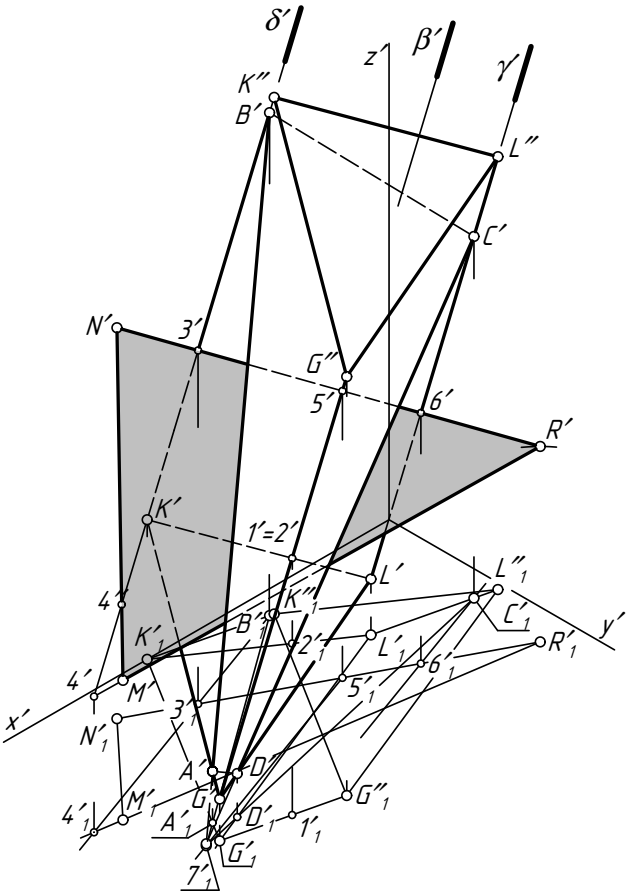


Рис. 1.10. Оформление аксонометрического чертежа призмы

Аксонометрическую проекцию призмы и треугольника обводим основными и штриховыми линиями (рис. 1.10), а вторичную проекцию оформляем тонкими линиями без учета видимости. Это чисто условный прием, так как аксонометрическая и вторичная проекции равноправны. Этот прием использован для того, чтобы сделать аксонометрическую проекцию более выразительной и легче прочитать чертеж. Можно устранить наложение вторичной и аксонометрической проекций, увеличив высоту всех точек объекта на необходимое, но одинаковое значение (до устранения наложения проекций). Однако при этом увеличится общая высота аксонометрического чертежа.

Построение фигуры сечения способом вспомогательных плоскостей. При решении рассмотренной задачи удобно воспользоваться способом вспомогательных секущих плоскостей (рис. 1.11).

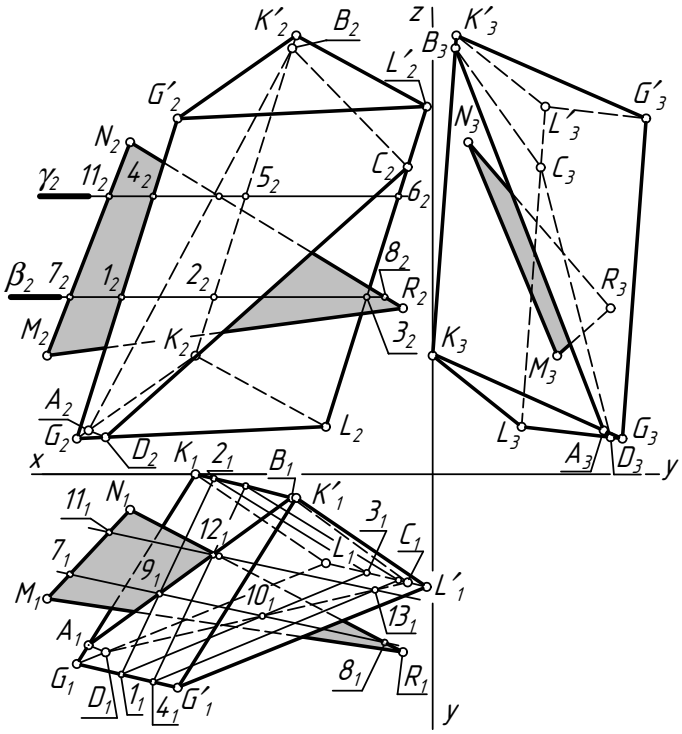


Рис. 1.11. Пример построения фигуры сечения способом вспомогательных секущих плоскостей

Возьмем вспомогательную фронтально проецирующую плоскость β (β_2) и построим линии ее пересечения:

- с призмой — $(1_2 2_2 3_2) \rightarrow (1_1 2_1 3_1)$;
- с плоскостью (MNR) — $(7_2 8_2) \rightarrow (7_1 8_1)$.

Точки $9_1 = (1_1 2_1) \cap (7_1 8_1)$ и $10_1 = (1_1 3_1) \cap (7_1 8_1)$ являются горизонтальными проекциями точек пересечения соответствующих граней призмы с прямой линией $(7–8)$

плоскости (*MNR*), следовательно, они принадлежат линиям пересечения этих граней призмы с данной плоскостью.

Вторую вспомогательную плоскость γ (γ_2) выгодно построить так, чтобы она была параллельна плоскости β (β_2), то есть на чертеже должно быть $\gamma_2 \parallel \beta_2$. Тогда фигуры (*1–2–3*) и (*4–5–6*) пересечения плоскостей β и γ с призмой будут подобными, а линии их пересечения с треугольником *MNR* — параллельными. На основании этого строим проекции точек $4_2 \rightarrow 4_1$ и $11_2 \rightarrow 11_1$ и через точку 4_1 проводим прямые линии, параллельные линиям (1_1–2_1) и (1_1–3_1), а через проекцию 11_1 проводим прямую линию параллельно линии (7_1–8_1). В пересечении построенных линий отмечаем проекции 12_1 и 13_1 точек, аналогичных точкам 9_1 и 10_1. Через точки 9_1–12_1 и 10_1–13_1 проводим прямые линии до пересечения с проекциями ребер в точках A_1 и B_1, C_1 и D_1 соответственно. Линии A_1B_1 и C_1D_1 являются линиями пересечения граней с плоскостью (*MNR*). Соединив проекции B_1–C_1 и A_1–D_1 точек прямыми линиями с учетом видимости, мы получаем горизонтальную проекцию $A_1B_1C_1D_1$ фигуры сечения. Ее фронтальную проекцию $A_2B_2C_2D_2$ строим по линиям связи и оформляем с учетом видимости. Профильную проекцию $A_3B_3C_3D_3$ тоже строим по линиям связи.

Рассмотрим решение этой же задачи на аксонометрическом чертеже (рис. 1.12).

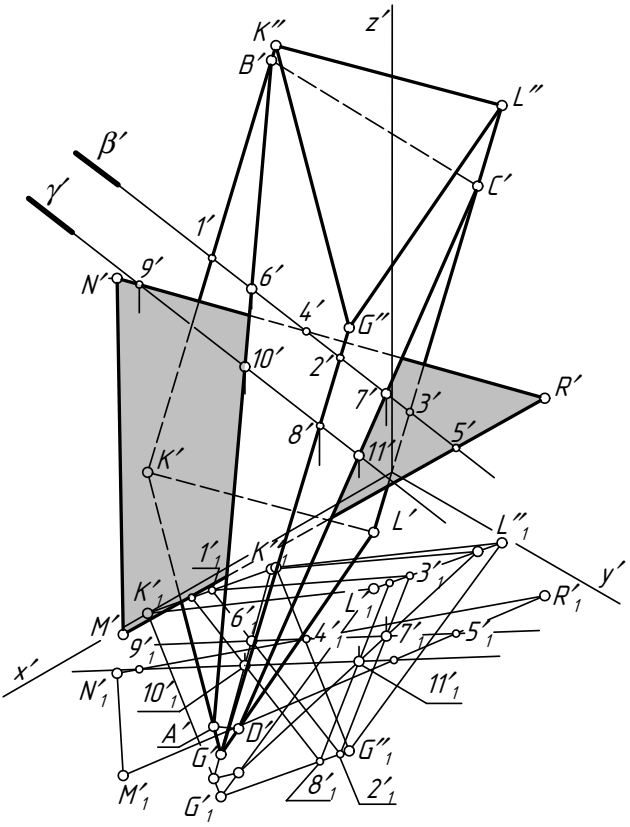


Рис. 1.12. Построение фигуры сечения способом плоскостей в аксонометрии

Выбираем и строим аксонометрическую проецирующую плоскость β', проекцию фигуры $1'2'3' \to 1'_1 2'_1 3'_1$ ее пересечения с призмой и проекцию прямой линии $(4'–5') \to (4'_1–5'_1)$ ее пересечения с плоскостью (MNR). Выделяем вторичные проекции точек $6'_1 = (1'_1–2'_1) \cap (4'_1–5'_1)$ и $7'_1 = (2'_1–3'_1) \cap (4'_1–5'_1)$, принадлежащих призме и секущей плоскости. По линии связи отмечаем аксонометрические проекции $6'$ и $7'$ этих точек.

Заметим, что положение вспомогательной проецирующей плоскости β' следует выбирать так, чтобы было легко строить линии ее пересечения с многогранником и с заданной секущей плоскостью.

Построим $\gamma' \parallel \beta'$. Отметим проекции точки $8' \to 8'_1$ пересечения ребра призмы с плоскостью γ и через точку $8'_1$ проведем прямые линии параллельно прямым линиям $(2'_1–1'_1)$ и $(2'_1–3'_1)$. Это вторичные проекции линий пересечения плоскости γ с гранями призмы. Затем отметим проекции $9' \to 9'_1$ точки пересечения этой же плоскости с линией NR и через точку $9'_1$ проведем прямую линию параллельно линии $(4'_1–5'_1)$. На пересечениях этой линии с соответствующими линиями граней призмы выделяем проекции точек $10'_1 \to 10'$ и $11'_1 \to 11'$ фигуры сечения.

Через точки $6'$ и $10'$ проводим линию до пересечения с ребрами грани и отмечаем линию $A'B'$ пересечения этой грани с секущей плоскостью (MNR). Аналогично строим аксонометрическую проекцию линии $C'D'$, проходящую через точки $7'$ и $11'$. Соединив точки $[B'C']$ и $[A'D']$, заканчиваем построение аксонометрической проекции $A'B'C'D'$ фигуры сечения призмы плоскостью. При необходимости строим вторичную проекцию фигуры сечения по линиям связи (на рис. 1.12 она построена, но ее вершины не обозначены буквами).

Приведенные примеры показывают, что способ плоскостей не содержит дополнительных сложных элементов и очень удобен при решении подобных задач.

Построение сечения пирамиды. Отличительная особенность условий этой задачи заключается в том, что секущая плоскость α (MNR) задана следами, а боковые ребра пирамиды непараллельны. Однако, как мы убедимся, рассматривая пример, принцип решения задачи аналогичен предыдущему решению.

Через ребро GK проведем горизонтально проецирующую плоскость β: на чертеже (рис. 1.13) $\beta_1 = G_1K_1$. Построим линию $\beta \cap \alpha = (2–3)((2_1–3_1) \to (2_2–3_2))$ и фронтальную проекцию точки ее пересечения с ребром: $A_2 = (2_2–3_2) \cap G_2K_2 \to A_1$.

Точку B построим с помощью проецирующего посредника γ, проведенного через ребро VK: $V_1K_1 = \gamma_1 \to (4_1–5_1) \to (4_2–5_2) \to B_2 = (4_2–5_2) \cap K_2V_2 \to B_1$.

Точку C построим с горизонтально проецирующим посредником $\varepsilon \supset LV$: $L_1V_1 = \varepsilon_1 \to (6_1–7_1) \to (6_2–7_2) \to C_2 = (6_2–7_2) \cap L_2V_2 \to C_1$.

Для определения точки D используем профильно проецирующий посредник $\delta \supset HL$: $H_3L_3 = \delta_3 \to (8_3–9_3) \to (8_2–9_2) \cap H_2L_2 = D_2 \to D_1 \to D_3$. Здесь точка D практически совпала с точкой H. На чертеже это отмечено знаком совпадения точек.

Вершины фигуры сечения $ABCD$ соединяем прямыми линиями с учетом видимости.

Рассмотрим решение этой же задачи на аксонометрическом чертеже (рис. 1.14). Построение прямоугольной изометрии пирамиды показано на рис. 1.7 с соответствующим объяснением.

Линию сечения строим в той же последовательности и с теми же посредниками, что на рис. 1.13. Для определения точки A пересечения ребра GK с плоскостью α

используем вторичную проекцию β'_1 горизонтально проецирующей плоскости β: $G'_1K'_1 = \beta'_1 \cap (M'_1N'_1R'_1) = (2'-3'_1) \rightarrow (2'-3') \cap G'K' = A'$.

Для того чтобы несколько разгрузить изображение аксонометрии и выделить первичную проекцию, в оформлении задачи приняты некоторые условности:

- ряд обозначений вторичных проекций вспомогательных линий опущены;
- не построена вторичная проекция фигуры *ABCD* сечения;
- вторичная проекция фигуры показана тонкими линиями без учета видимости, как линии построения.

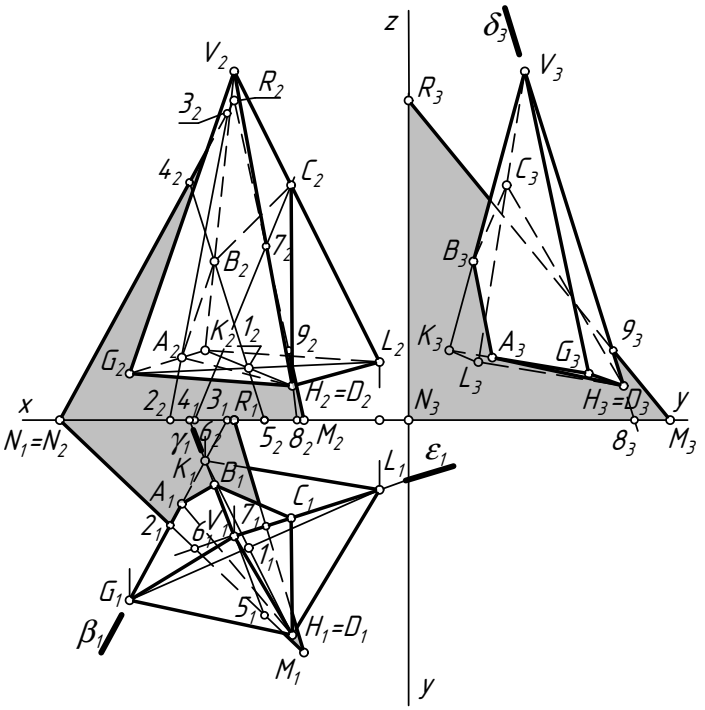


Рис. 1.13. Построение фигуры сечения пирамиды на эпюре

Точка *B* построена с помощью посредника γ. Покажем ход построения в форме символической записи:

$$\gamma'_1 \supset K'_1V'_1 \rightarrow \gamma \cap (MNR) = (4-5) \rightarrow (4'-5') \cap K'V' = B'.$$

Для определения точки *C* фигуры сечения использован посредник ε:

$$\varepsilon'_1 \supset L'_1V'_1 \rightarrow \varepsilon \cap (MNR) = (6-7) \rightarrow (6'-7') \cap L'V' = C'.$$

Для определения точки пересечения ребра *LH* основания пирамиды с плоскостью (*MNR*) используем проецирующую плоскость δ (δ'_1):

$$\delta'_1 \supset L'_1H'_1 \rightarrow \delta \cap (MNR) = (8-9) \rightarrow (8' - 9') \cap L'H' = D'.$$

Точка *D* находится рядом с вершиной *H*.

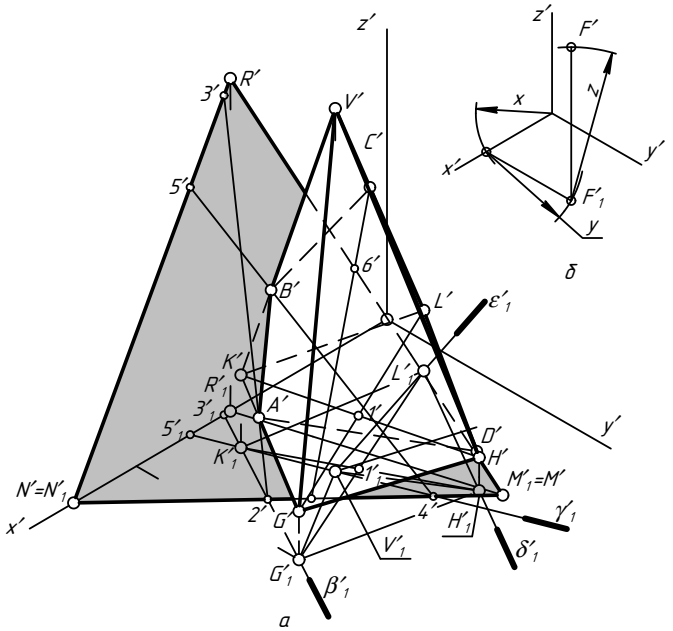


Рис. 1.14. Построение фигуры сечения пирамиды в аксонометрии

Построенные проекции вершин фигуры *ABCD* соединяем линиями и обводим каркас пирамиды и плоскости *MNR* с учетом их относительной видимости. Вторичную горизонтальную проекцию оставим в тонких линиях, чтобы выделить первичную проекцию.

Понятно, что сразу разобраться в массе линий непросто, но если вы поняли смысл решения и сами его построили, то все становится на свое место, а правильное оформление изображений значительно облегчает чтение чертежа.

На рис. 1.15 показаны проекции фигур, построенных на рис. 1.12 и 1.14. Это результат нашей работы. Но здесь не показаны не только линии построения и вторичные проекции фигур, но и оси координат. Этот рисунок преследует две цели: наглядно показать примерную форму и относительное положение объектов с помощью линии их пересечения; наглядно показать, что изображение в таком варианте необратимо.

Однако мы не можем здесь вести речь о метрических параметрах, фактической форме фигур и расположении их в пространстве и даже назвать вид изображения, так как в этом случае не выполняется основное условие метода проекций, метода двух изображений — обеспечение обратимости чертежа. Но в совокупности рис. 1.12 и 1.15, *а*, рис. 1.14 и 1.15, *б* дают достаточно информации, чтобы получить представление о форме объектов и их положении в пространстве.

Конечно, при автоматизированном проектировании рассмотренные задачи решаются во много раз быстрее. Но здесь есть и свои проблемы. Попробуем в этом разобраться на примере работы с нашими фигурами.

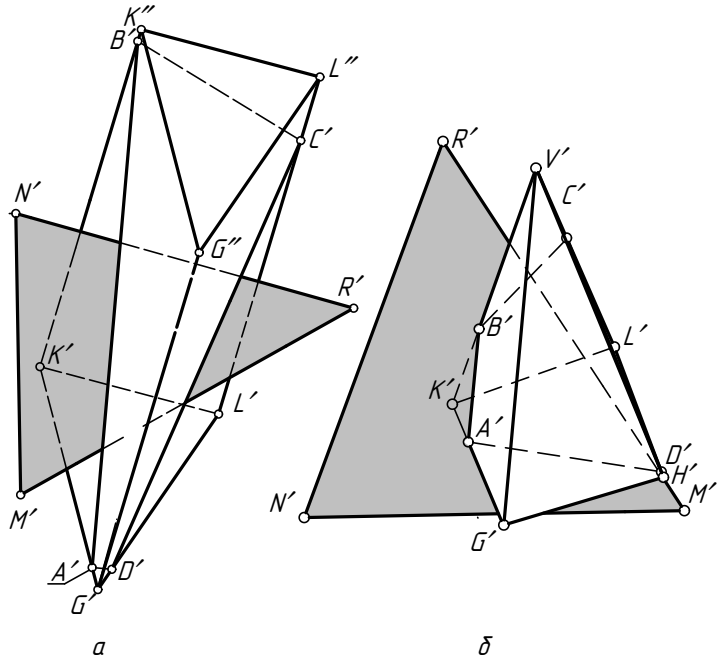


Рис. 1.15. Изображения построенных ранее фигур без обозначения координатных осей и элементов построения

Прежде всего необходимо учесть, что «КОМПАС-3D» — это система трехмерного твердотельного моделирования, то есть она предназначена для работы с конкретным материальным изделием, которое называют деталью или сборочной единицей. Поэтому рассмотренные теоретические поверхности и плоскость *MNR* при работе с компьютером надо рассматривать не как поверхности, а как фигуры, изготовленные из реального материала.

При создании фигуры трехгранной призмы в системе 3D надо последовательно выполнить следующие операции.

1. На инструментальной панели выбрать: файл→создать→деталь→вид→ориентация→изометрия *XYZ*→установить→выход.
2. Кнопки на компактной панели (слева): линии→ломаная→замкнутая (на панели свойств) →вводим координаты вершин заданного основания→Enter←(создать)→ Stop.

   Будет изображен треугольник *GKL* основания призмы (без обозначения вершин).
3. Там же: вспомогательная геометрия→плоскость через три точки (курсором указать построенные точки)→Stop.
4. Курсором указать на фантом созданной плоскости→эскиз (кнопка на панели текущего состояния) →спроецировать (инструмент внизу слева) →курсором указать каждую сторону нашего треугольника→Stop→выход из эскиза.

   Обратите внимание, что фактически у нас получилось два изображения треугольника: первичное и его проекция.

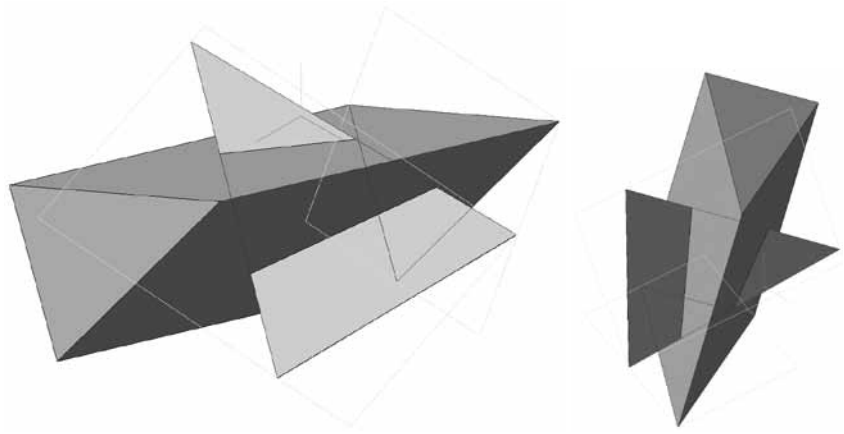
5. Линия→сплайн→ввести координаты вершин *G* и *G'*→Enter←(создать)→Stop.
6. Инструментальная панель→операции→кинематическая операция→указать объект движения — эскиз 1 (в дереве построения) →указать направляющую линию — сплайн 1→Stop.

   Построена призма в системе 3D.
7. Линия→ломаная→замкнутая→ввести координаты точек *MNR* плоскости→Enter ← (создать)→Stop.
8. Создать плоскость через три точки (см. п. 3) *MNR*→Stop.
9. Проделать все операции, предусмотренные в п. 4.

   С такой (теоретической) плоскостью система работать не будет. Надо создать деталь.
10. Операции→выдавливание→на расстояние 0,1 мм→создать→Stop.

Произошло перемещение треугольника *MNR* по нормали к его плоскости на 0,1 мм. Получилась прямая трехгранная призма — деталь высотой 0,1 мм. Машина сразу построила фигуру пересечения призм, которую мы воспринимаем как линию пересечения плоскости с призмой.

Результат проделанной работы в системе координат *XYZ* показан на рис. 1.16, *а*. Это изображение на бумаге обладает теми же недостатками, каким обладает подобное изображение на рис. 1.15, *а*. Другое дело — в машине, где сохраняется параметрическая связь элементов фигуры с осями координат, которая позволяет исследовать геометрические свойства фигуры, то есть работать с ней в компьютерной системе, но не на бумаге.



а *б*

Рис. 1.16. Изображение трехгранной призмы с пластиной в системе 3D

При одинаковом обозначении осей систем координат положение проекции объекта в системе 3D получается иным по сравнению с положением в аксонометрической системе координат начертательной геометрии (сравните рис. 1.15, *а*, и рис. 1.16, *а*). Система 3D позволяет автоматически изменять положение осей системы координат

и положение объекта на экране с помощью инструментов поворота и перемещения изображения. Например, эта возможность использована для построения изображения на рис. 1.16, *б*, аналогичного изображению объекта на рис. 1.15, *а*, но имеющего другую ориентацию.

Следует обратить внимание на одну особенность компьютерной графики. Если вручную мы можем создать комплексный чертеж изделия, а потом построить его аксонометрический чертеж или выполнить работу в обратном порядке, то системы 2D и 3D так не связаны. Здесь создается документ (модель) в системе 3D, а остальные операции выполняются на основе ассоциативной связи с этой системой.

На рис. 1.17 показаны три основных вида, построенных по модели, изображенной на рис. 1.16, *а*. Сравните его с выполненным вручную комплексным чертежом (см. рис. 1.8). Изображения на них разные. И при построении основных видов чертежа по модели, приведенной на рис. 1.16, *б*, когда это положение принято за главный вид, изображения других видов отличаются от таких же по названию видов на рис. 1.8. Такое различие существует потому, что в математический аппарат системы заложена другая модель системы координат.

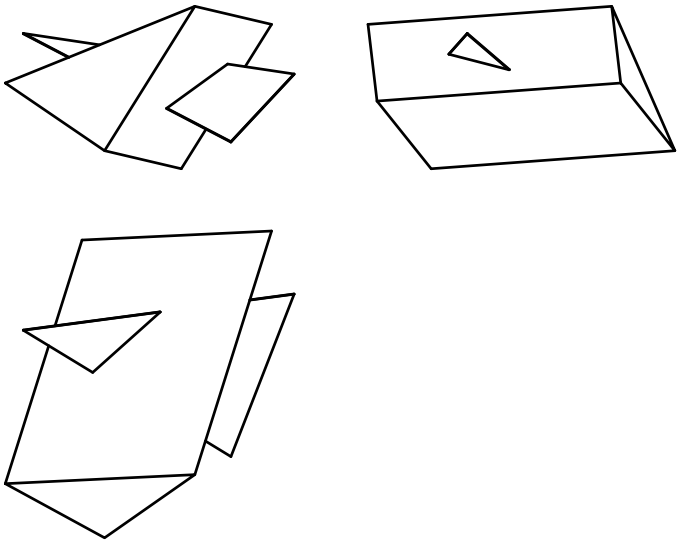


Рис. 1.17. Основные виды изделия, построенные по рис. 1.16, *а*, в системе 3D

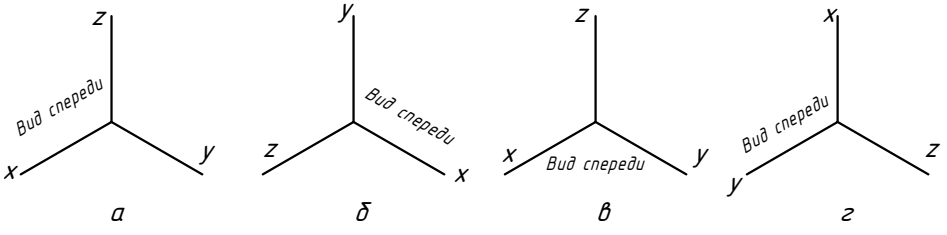


Рис. 1.18. Положение координатных осей в начертательной геометрии и в компьютерной системе 3D

В начертательной геометрии используются оси, которые показаны на рис. 1.18, *а*, и пространство с положительными значениями координат называется первой четвертью. Стандартные правила образования видов установлены по отношению к этим координатным плоскостям. Здесь плоскость *XZ* называется фронтальной, а проекция на ней называется видом спереди, главным видом или главным изображением.

В системе компьютерной графики приняты оси *XYZ* (рис. 1.18, *б*), фронтальной называют плоскость *XY*, а проекции модели на нее — видом спереди. В системе 3D компьютерной графики также используется построение модели в осях *YZX* координат (рис. 1.18, *в*) или в осях *ZXY* (рис. 1.18, *г*) (обратите внимание на связь обозначения с положением осей в системе). На комплексном чертеже этих моделей вид спереди, если не выполняется специальных операций, всегда строится на плоскости *XY*, то есть изображение автоматически приводится к системе координат, приведенной на рис. 1.18, *б*. Поэтому в системе 3D введено понятие *главный вид*. Этот вид считается дополнительным для основных видов (взамен вида спереди), а по отношению к нему строятся другие виды. Это выполняется специальной операцией выбора главного вида. Например, если за главный принять вид, выполненный по рис. 1.16, *б*, то его изображение будет совпадать с изображением вида спереди на рис. 1.8, а остальные виды все равно будут другими.

Следовательно, выполнить задание в системе 3D в тех изображениях, которые будут созданы при ручной работе с компьютером, не получится.

1.2.3. Сравнительная оценка результата решения задачи

При ручном построении чертежа неизбежны определенные погрешности в работе, связанные не только с возможностями человека, но и с качеством используемых инструмента, приспособлений и принадлежностей. В учебном процессе вероятность погрешностей возрастает и тесно связана не только с личным отношением проектировщика (студента) к работе, но прежде всего с его знаниями и умением выполнять геометрические построения и пользоваться чертежным инструментом. Не исключены некоторые погрешности и при использовании компьютерной графики, в чем вы сможете убедиться на собственном опыте.

Сравнительная оценка результата решения задачи на комплексном и аксонометрическом чертежах проста и заключается в следующем. Необходимо выбрать место на свободном поле чертежа (над основной надписью или рядом с ней), начертить и заполнить таблицу по образцу (табл. 1.3).

В качестве примера рассмотрим результаты решения задачи сечения трехгранной призмы. По комплексному чертежу призмы замеряем координаты вершин сечения. На рис. 1.19 показана процедура измерения координат x_A, y_A, z_A вершины *A* сечения (чертить и обозначать эти размеры на чертеже не нужно). Результаты измерения записываем в табл. 1.3. Аналогично замеряем координатные отрезки вершин фигуры сечения на аксонометрическом чертеже (см. рис. 1.9 или рис. 1.10), их численные значения записываем в другую строку таблицы.

Затем определяем погрешность в процентах:

$$\Delta = \frac{x_э - x_а}{x_э} \cdot 100,$$

где $x_э$ — численное значение координаты точки по эпюру, $x_а$ — численное значение координаты этой же точки по аксонометрическому чертежу. Сравниваем координаты x, y, z всех точек своей фигуры и результаты записываем в таблицу. (Для наименования граф рекомендуется шрифт размера 5, а для записи координатных чисел — 3,5.)

Таблица 1.3. Результаты решения задачи сечения

Наименование	Координаты вершин сечения											
	A			B			C			D		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
Эпюр	58	29,4	7,3	23,8	4	71,5	4,4	18,2	51,3	55,5	30,2	6,2
Аксонометрия	58	28.8	7,4	23,6	3,9	72	4,2	18,2	51,8	55,1	30	6,2
Погрешность, %	0	2	1,4	0,8	2,5	0,7	4,5	0	1	0,7	0,7	0

В данной таблице значения координат взяты по рис. 1.10 и 1.19, которые выполнены на компьютере. Посмотрите значения в строке «Погрешность». На них стоит обратить внимание студентам, которые нередко указывают здесь погрешность, равную нулю.

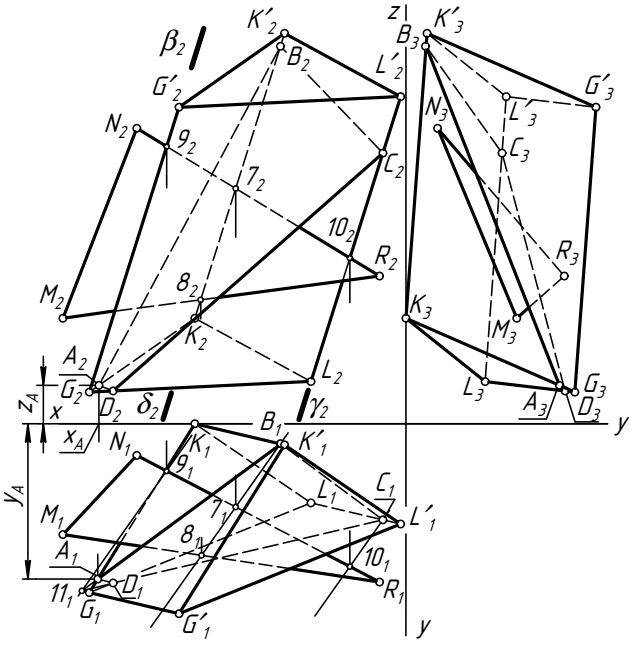


Рис. 1.19. Пример измерения координат вершины *A* фигуры сечения призмы

В учебной работе погрешность до 10 % считается нормальной. Если она больше, то этому могут быть следующие причины:

1. Работа выполнена очень грубо. Обычно это сразу видно по качеству чертежа. В таком случае студент должен привести свою работу в надлежащий вид.
2. Допущена случайная или принципиальная ошибка. В этом случае студенту стоит самому попытаться выяснить причину большой погрешности. Если у него не получится, преподаватель должен оказать ему методическую помощь.

1.2.4. Определение размера фигуры сечения

Плоская фигура на чертеже будет изображена без искажений в том случае, если ее плоскость будет параллельна плоскости проекций, то есть будет плоскостью уровня. Следовательно, мы должны преобразованием чертежа решать четвертую основную задачу курса начертательной геометрии. На рис. 1.20 показан фрагмент созданного ранее чертежа (см. рис. 1.8). Здесь не показана профильная проекция объекта, так как мы к ней не будем обращаться, что позволило разгрузить рисунок.

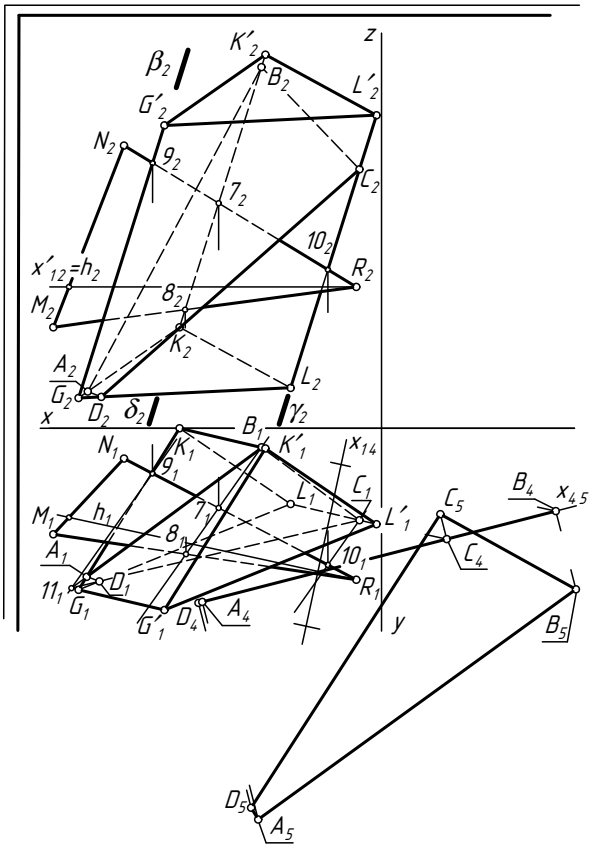


Рис. 1.20. Определение натуральной величины фигуры сечения способом замены плоскостей проекций

Одна из проблем, которую приходится решать при разработке чертежа, — это размещение изображений. В примере наиболее удобным местом для размещения изображений фигуры сечения является поле ниже профильной проекции призмы. Следовательно, следует заменить фронтальную плоскость проекций новой плоскостью.

РЕКОМЕНДАЦИЯ

При последующем разъяснении решений этой задачи будем исходить из предположения, что вы помните основные теоретические положения преобразований чертежа способом замены плоскостей проекций и разобрались в алгоритме решения основных позиционных задач. Если это не так, то рекомендуем предварительно обратиться к учебной литературе, чтобы восстановить в памяти эти несложные закономерности.

На первом этапе решения задачи преобразуем систему плоскостей проекций так, чтобы секущая плоскость стала фронтально проецирующей. Для этого построим в плоскости α (MNR) горизонталь h ($h_2 \rightarrow h_1$), а новую фронтальную плоскость Π_4 проекций поставим перпендикулярно к ней. Это сводится к построению новой оси проекций $x_{14} \perp h_1$ (см. рис. 1.20). Чтобы чертеж сделать более плотным, заменим в старой системе ось x проекций на ось $x'_{12} = h_2$. Тогда высоты точек B_2 и C_2 будут положительными, а высоты точек A_2 и D_2 — отрицательными. Через горизонтальные проекции A_1, B_1, C_1, D_1 вершин фигуры сечения проводим линии связи перпендикулярно новой оси x_{14} и от этой оси с учетом знака отмеряем отрезки, равные высотам указанных вершин. Новые фронтальные проекции B_4, C_4, A_4, D_4 вершин соединяем прямой линией. Так плоскость фигуры стала проецирующей.

На втором этапе нужно новую горизонтальную плоскость Π_5 проекций выбрать так, чтобы она была параллельной плоскости нашей фигуры. Для этого строим новую ось x_{45} проекций параллельно фронтальной проекции $B_4...D_4$. Ось нужно строить в таком месте, в котором удобно разместить новую горизонтальную проекцию фигуры. В примере ось проекций совместили с фронтальной проекцией объекта. Через проекции B_4, C_4, A_4, D_4 вершин фигуры проводим линии связи перпендикулярно x_{45} и по ним строим новые горизонтальные проекции вершин, замеряя их глубину на старой горизонтальной проекции от оси x_{14} с учетом знака (у проекций $C_1 \rightarrow C_5$ глубина отрицательная). Построенная фигура $A_5B_5C_5D_5$ равновелика фигуре сечения призмы заданной плоскостью.

В случае затруднений при размещении новой горизонтальной проекции допускается ось проекций x_{45} вместе с новой фронтальной проекцией объекта B_4, C_4, A_4, D_4 повторить (начертить еще раз, сделать копию) на новом, подходящем для размещения изображений месте. При этом ось x'_{45}, изображенная в новом положении, должна быть параллельна своему прообразу x_{45}, изображенному в исходном положении, и необходимо сохранить проекционную связь с изображением объекта.

При наличии места можно заданную фигуру начертить отдельно от многогранника (как на рис. 1.21) и решать задачу любым способом.

На рис. 1.21 показано построение фигуры в натуральную величину способом вращения вокруг проецирующей прямой линии.

В плоскости фигуры построим горизонталь h ($h_2 \to h_1$). Через точку C проведем горизонтально проецирующую ось i ($i_1 = C_1 \to C_2 \in i_2 \perp x$) и повернем объект до положения, при котором горизонталь h стала фронтально проецирующей прямой (построим $\overline{h}_1 \perp x$), а горизонтальная проекция фигуры при этом сохранила свою форму и величину. Новую фронтальную проекцию объекта строим по точкам пересечения горизонтальных и новых вертикальных линий связи (показано для точки B). При правильном построении все новые фронтальные проекции вершин должны размещаться на одной прямой B_2D_2. Затем через точку D проведем фронтально проецирующую прямую q и повернем объект до положения $\overline{D}_2\overline{\overline{B}}_2$ горизонтальной плоскости уровня.

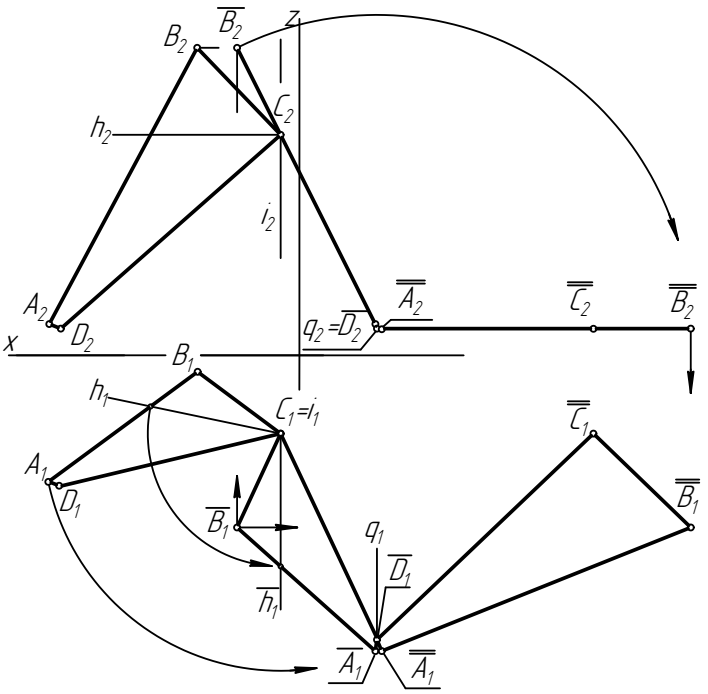


Рис. 1.21. Построение фигуры в натуральную величину способом вращения вокруг проецирующей прямой линии

Горизонтальную проекцию $\overline{\overline{A}}_1\overline{\overline{B}}_1\overline{\overline{C}}_1\overline{\overline{D}}_1$ строим по линиям связи (здесь $\overline{\overline{D}}_1 = \overline{D}_1$ и на чертеже не обозначено). Построения показаны и понятны из чертежа.

На рис. 1.22 показано построение основания пирамиды в натуральную величину. Этот фрагмент взят из чертежа, приведенного на рис. 1.13. Решение этой задачи особенно полезно, когда нужно строить развертку многогранника. Рассмотрим решение задачи способом плоскопараллельного перемещения.

В плоскости основания построим горизонталь h ($h_2 \to h_1$) и переместим ее вместе с основанием относительно горизонтальной плоскости проекций до фронтально проецирующего положения, при котором $\overline{h}_1 \perp x$. Новая горизонтальная проекция при этом сохранит свои форму и размеры. Строим ее по треугольникам, привя-

занным к горизонтали. Эти построения просты и не показаны на чертеже. Важно сохранить направление обхода вершин фигуры в новом положении ее проекции. Новую фронтальную проекцию $\overline{K}_2 ... \overline{H}_2$ фигуры основания строим по линиям связи. Затем повернем объект вокруг фронтально проецирующей прямой q ($q_2 \rightarrow q_1$) до положения горизонтальной плоскости уровня.

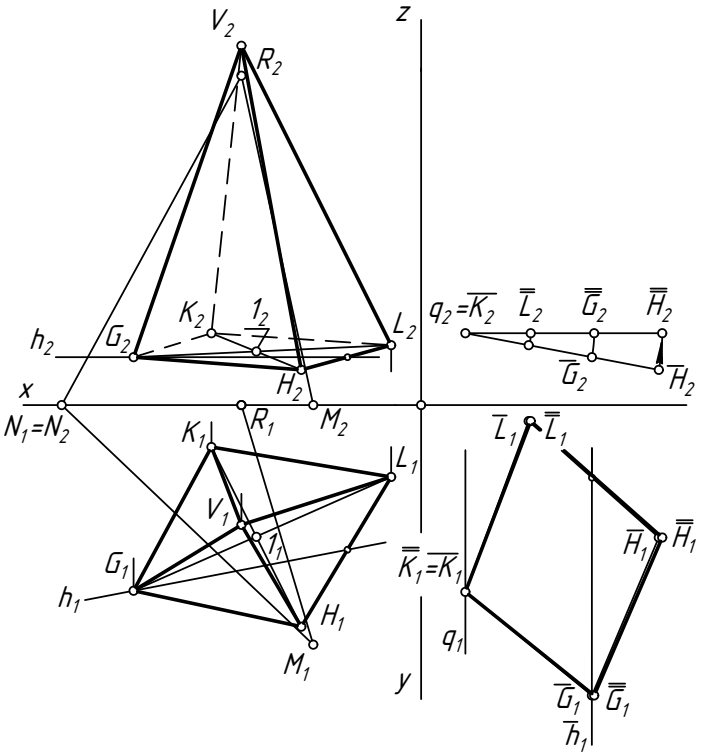


Рис. 1.22. Построение основания пирамиды в натуральную величину способом плоскопараллельного перемещения

Новую горизонтальную проекцию $\overline{\overline{G}}_1\overline{\overline{K}}_1\overline{\overline{L}}_1\overline{\overline{H}}_1$ строим по линиям связи. Конечно, здесь получается наложение проекций, но решение довольно понятное и компактное. Можно основание изобразить отдельно и все изображения разделить. Данный способ позволяет легко это сделать.

Самое компактное решение рассматриваемой задачи дает способ вращения плоскости объекта вокруг линии уровня. На рис. 1.23 выделено основание нашей пирамиды.

В плоскости основания строим горизонталь h ($h_2 \rightarrow h_1$) и вокруг нее поворачиваем основание до положения горизонтальной плоскости уровня. При этом точки G (G_1) и 1 (1_1) останутся на месте, а точка H будет перемещаться по окружности с центром в точке O (O_1). Отрезок O_1H_1 является горизонтальной проекцией отрезка OH — радиуса вращения точки H. Определим его натуральную величину $[OH] = [O_1H^*]$ способом прямоугольного треугольника и отложим ее на траектории движения точки H: $O_1\overline{H}_1 = O_1H^*$.

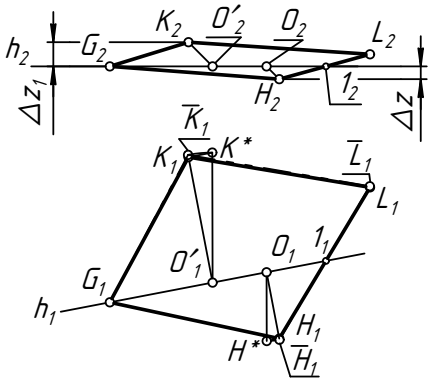


Рис. 1.23. Построение основания способом вращения вокруг линии уровня

Это равенство станет верным, когда треугольник $G_1\overline{H}_1 1_1$ будет изображен в натуральную величину. Точку $\overline{L}_1$ отметим на пересечении линии $\overline{H}_1 1_1$ с линией связи точки L_1, которая перпендикулярна h_1. Движение точки K аналогичное. Центр ее вращения находится в точке O' (O'_1), а радиус вращения равен отрезку $O'_1K^* = O'_1\overline{K}_1$, которым определяется новое положение проекции вершины K. Здесь гипотенуза мало отличается от катета, и проекции точки K практически (на чертеже) совпадают.

Фигура $G_1\overline{K}_1\overline{L}_1\overline{H}_1$ равновелика основанию нашей пирамиды (она изображена штрихпунктирной линией с двумя пунктирами там, где не сливается с основной линией).

1.2.5. Построение развертки многогранника

Разверткой многогранника называют плоскую фигуру, полученную последовательным совмещением его граней с плоскостью.

РЕКОМЕНДАЦИЯ

Чтобы вам были понятнее последующие рассуждения и построения, рекомендуем восстановить в памяти основные понятия, свойства и приемы построения развертки многогранника с помощью учебников, например рекомендуемых в списке литературы.

Построение граней многогранника на развертке сводится к построению треугольников, составляющих грань, по трем сторонам. Следовательно, необходимо выяснить состав этих треугольников и определить размеры их сторон.

Рассмотрим призму, приведенную на рис. 1.8. Для упрощения выделим только две ее проекции с готовой фигурой сечения (рис. 1.24, *а*). Призма занимает общее положение. Действительные размеры нужных отрезков определим способом плоскопараллельного перемещения (рис. 1.24, *б*). Переместим горизонтальную проекцию $G_1G'_1$ ребра GG' до положения горизонтальной проекции фронтали $\overline{G}_1\overline{G}'_1 \parallel x$ и вычертим на свободном месте поля чертежа. При этом фронтальная проекция $\overline{G}'_2\overline{G}_2$ ребра $G'G$ определяется точками пересечения их горизонтальных и вертикальных линий связи.

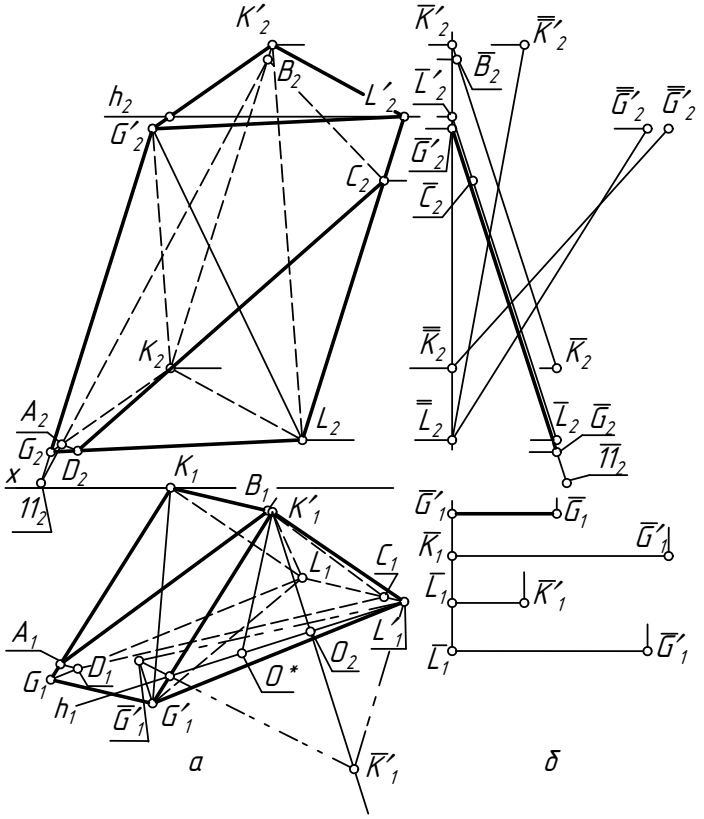


Рис. 1.24. Определение размера ребер призмы

Новое положение проекций ребра $G'G$ выделено основной линией. Другие построения выполнены тонкими линиями как вспомогательные построения к развертке.

На продолжении этого ребра отметим новую проекцию точки 11_2, которую удобно использовать при построении точек A, D фигуры сечения на развертке.

Размеры боковых ребер призмы одинаковы. Однако мы построим новые фронтальные проекции других боковых ребер, используя ту же горизонтальную проекцию $\overline{G}'_1\overline{G}_1$ ребра $G'G$, чтобы показать на них положение точек B и C фигуры сечения.

Боковые грани разделим на треугольники диагоналями KG', LK', LG', размеры которых определяем так же, как определяли размеры боковых ребер. Построения показаны соответствующими проекциями на рис. 1.24.

Так же можно определить размер ребер основания. На рис. 1.24, *а*, способом вращения вокруг линии уровня h ($h_2 \rightarrow h_1$) построен в натуральную величину треугольник $\overline{G}'_1\overline{K}'_1L'_1$ основания $G'K'L'$ призмы (треугольник и его построения показаны тонкими линиями и линиями с двумя пунктирами).

После определения всех необходимых размеров приступаем к построению развертки призмы (рис. 1.25).

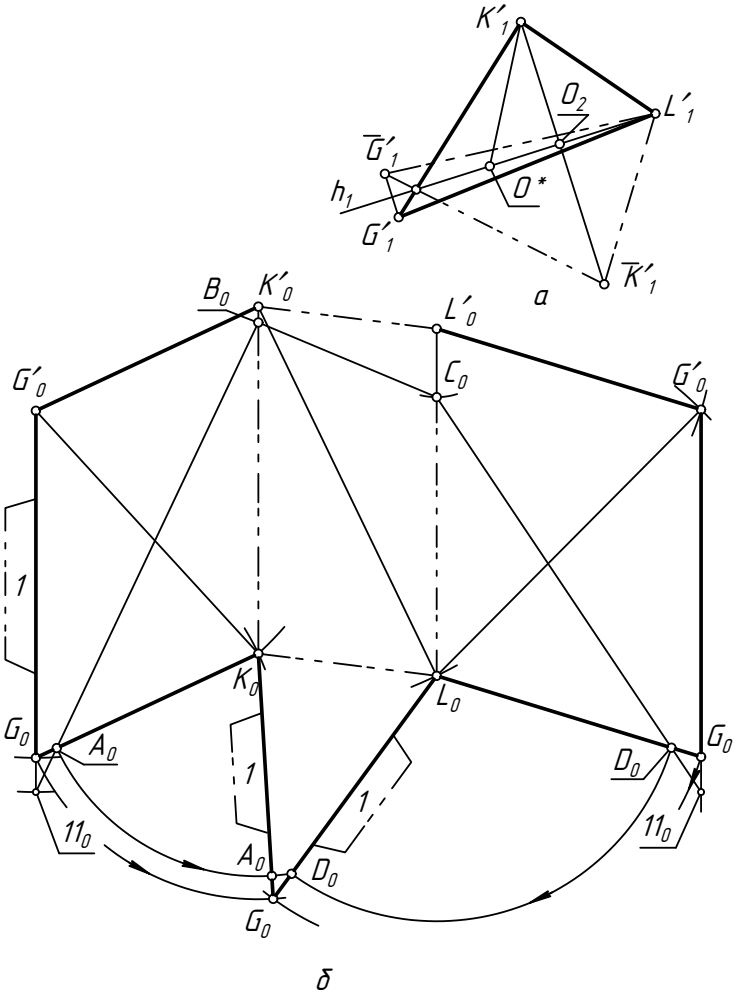


Рис. 1.25. Развертка призмы

На рис. 1.25, *а*, отдельно показано построение основания призмы в натуральную величину способом вращения вокруг линии уровня. Здесь $O_2\overline{K}'_1 = K'_1O^*$. В выбранном на чертеже месте строим вертикальную линию (рис. 1.25, *б*) и на ней — ребро $G_0G'_0$, размер которого равен размеру отрезка $\overline{G}'_2\overline{G}_2$ на рис. 1.24, если масштабы построения совпадают. По рис. 1.25, *а*, берем размеры ребер основания. Из центра G_0 проводим дугу радиусом $G_0K_0 = \overline{G}'_1\overline{K}'_1$, из центра G'_0 — дугу радиусом $G'_0K_0 = \overline{\overline{G}}'_2\overline{\overline{K}}_2$ (берем по рис. 1.24) и в их пересечении отмечаем точку K_0 развертки.

Из точки K_0 проводим второе ребро параллельно $G_0G'_0$, из точки G'_0 — прямую линию параллельно линии G_0K_0 и в их пересечении отмечаем точку K'_0 развертки. Фигура $G_0G'_0K'_0K_0$ является разверткой соответствующей грани.

ВНИМАНИЕ!

Рассмотрите фронтальную проекцию грани на рис. 1.24: видна ее внутренняя сторона, которую называют оборотной стороной, или изнанкой. Ее вершины $G_2G'_2K'_2K_2$ можно обойти в указанном порядке букв, двигаясь по часовой стрелке. На развертке эти же вершины $G_0G'_0K'_0K_0$ тоже расположены по направлению движения часовой стрелки. Следовательно, мы строим развертку, которая обращена к нам своей оборотной (изнаночной) стороной. Если направления обхода вершин не совпадают, будет построена другая сторона развертки.

Аналогично строим другие грани и к ребру основания одной из них пристраиваем основание призмы. На рис. 1.25 построено только одно основание.

Внешние стороны развертки обводим основной линией, а линии внутренних ребер делаем штрихпунктирными с двумя пунктирами, как линии сгиба, которые должны остаться внутри призмы при построения модели. На соответствующих ребрах наносим точки 11_0, B_0, C_0 фигуры сечения и соединяем их прямыми линиями. Отмечаем точки $A_0 = G_0K_0 \cap (B_0{-}11_0)$ и $D_0 = L_0G_0 \cap (C_0{-}11_0)$ и строим линии $A_0B_0C_0L_0$ развертки фигуры сечения. Они изображены сплошной тонкой линией, потому что это изнаночная сторона и на модели она будет не видна. Следовательно, если необходимо указать эти линии на модели, их нужно изобразить на другой стороне развертки. Диагонали граней типа G'_0K_0 изображать необязательно. Здесь они показаны из формальных соображений.

У граней развертки показаны лепестки *1*, которые рекомендуется сохранить, если планируется склеивание модели.

Построение развертки пирамиды. Рассмотрим построение развертки пирамиды, разработанной нами на чертеже рис. 1.13. С целью упрощения чертежа изобразим только две проекции пирамиды с фигурой сечения (рис. 1.26).

Размеры ребер определим способом плоскопараллельного перемещения. Новые горизонтальные проекции боковых ребер разместим так, чтобы не было наложения их и фронтальных проекций. Вершины фигуры сечения определяем по горизонтальным или вертикальным (как показано для точек $B_1 \to B_2$ и $D_1 \to D_2$) линиям связи. Размеры ребер основания можно определить аналогично, или способом вращения вокруг фронтально проецирующей прямой линии (рис. 1.26), или по результатам выполненных нами построений (рис. 1.22 и 1.23).

Предварительно построим развертку лицевой стороны фигуры. Разделим поверхность пирамиды по ребру *VG* (см. рис. 1.26). На фронтальной проекции видим лицевую сторону грани *VGH* и совершаем обход ее вершин, двигаясь против часовой стрелки. Такое же расположение вершин нужно сохранить на развертке.

На выделенном месте поля чертежа (рис. 1.27) отмечаем положение V_0 вершины развертки пирамиды и из нее проводим прямую линию, на которой строим развертку ребра $V_0G_0 = \overline{V}_2\overline{G}_2$ (взяли на рис. 1.26). На отрезке V_0G_0 отмечаем положение точки A_0 сечения. Из точки G_0 как из центра проводим дугу окружности радиусом $G_0H_0 = \overline{G}_1H_1$ (см. рис. 1.26), а из вершины V_0 — дугу радиусом $V_0H_0 = \overline{V}_2\overline{H}_2$ и в их пересечении отмечаем ту точку H_0, при которой обход вершин $V_0G_0H_0$ идет тоже против

часовой стрелки. На ребре V_0H_0 отмечаем точку D_0 и строим отрезок A_0D_0 фигуры сечения. Сейчас видна лицевая сторона грани VGH.

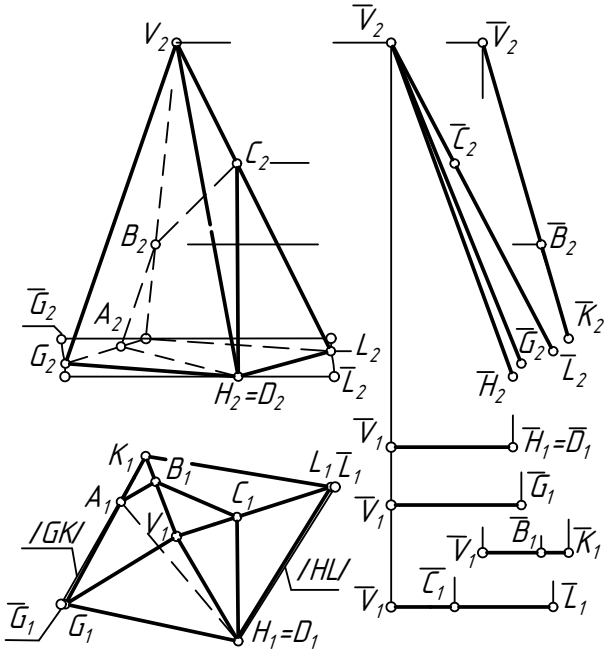


Рис. 1.26. Определение размера ребер пирамиды

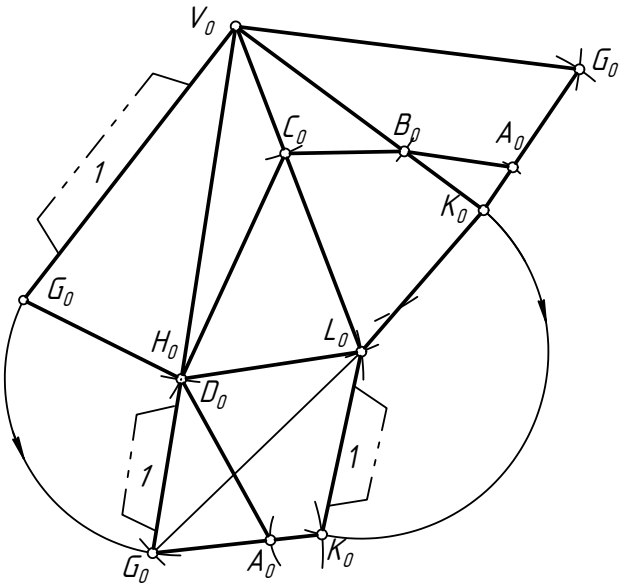


Рис. 1.27. Развертка пирамиды

Затем последовательно строим развертку других граней и линию фигуры $A_0D_0C_0B_0A_0$ сечения на них. Начало и конец развертки должны совпадать.

К одной из граней пристраиваем основание $H_0G_0K_0L_0$, которое разбиваем на треугольники и строим его по размерам сторон этих двух треугольников. Все построения показаны на чертеже. Если планируется склеивать модель, то нужно на выкройке предусмотреть лепестки *1* шириной 5–6 мм. Написанные внутри развертки граней обозначения и линии чертежа сохранятся на модели.

1.2.6. Определение высоты многогранника и углов наклона граней

Высотой пирамиды называют расстояние от ее вершины до основания.

Высотой призмы называют расстояние от любой точки плоскости одного основания до плоскости другого основания или расстояние между параллельными плоскостями оснований.

Определение угла, образованного двумя плоскостями. Для определения угла, образованного двумя плоскостями, используются линии наибольшего наклона одной из них к другой или один из способов преобразования чертежа. На рис. 1.28 показано определение угла наклона плоскости к плоскости проекций с помощью ее линии наибольшего наклона.

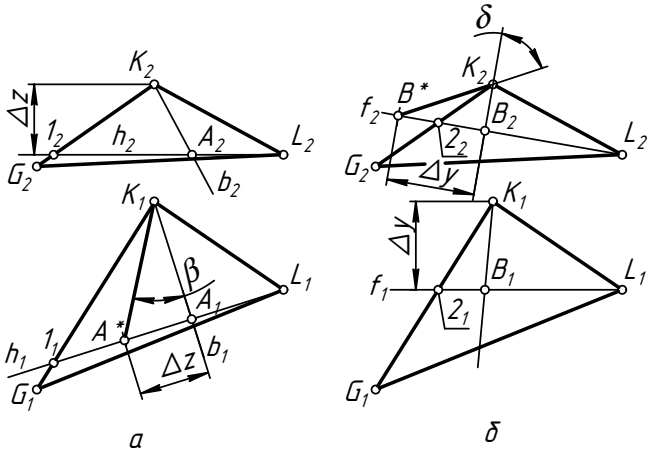


Рис. 1.28. Определение угла наклона плоскости

Определим угол наклона плоскости GKL основания трехгранной призмы из нашего примера к горизонтальной плоскости проекций. На рис. 1.28, *а*, показаны две проекции этой плоскости. *Линиями наибольшего наклона* (*линиями ската*) заданной плоскости к горизонтальной плоскости проекций называют семейство линий, перпендикулярных к горизонталям этой плоскости.

Построим в плоскости GKL горизонталь h ($h_2 \to h_1$) и проекции линии ската: $K_1 \in b_1 \perp h_1 \to A_1 = b_1 \cap h_1 \to A_2 \in b_2$. Способом прямоугольного треугольника строим

натуральную величину K_1A^* отрезка KA на его горизонтальной проекции K_1A_1. Угол β наклона отрезка к его горизонтальной проекции равен углу наклона линии ската b к горизонтальной плоскости проекций. Этот угол равен двугранному углу $\angle\beta = (GKL)\hat{}\Pi_1$. Все построения показаны на чертеже.

На рис. 1.28, *б*, показано определение угла наклона этой же плоскости к фронтальной плоскости проекций. В этом случае строим фронталь данной плоскости и линию наибольшего наклона к фронтальной плоскости проекций: $L_1 \in f_1 \to f_2 \to K_2B_2 \perp f_2 \to K_1B_1 \to \Delta K_2B_2B^* \to \angle\delta = (GKL)\hat{}\Pi_2$. Все построения показаны на чертеже.

Определение высоты многогранника. При определении высоты многогранника одновременно определяются и углы наклона его основания к плоскостям проекций.

На рис. 1.29 показаны основание GKL призмы из примера и одна вершина (G') второго основания. Нужно определить расстояние от этой вершины до плоскости основания. Для этого следует через точку G' провести прямую линию, перпендикулярную плоскости основания, найти точку его пересечения с ней и определить длину полученного отрезка.

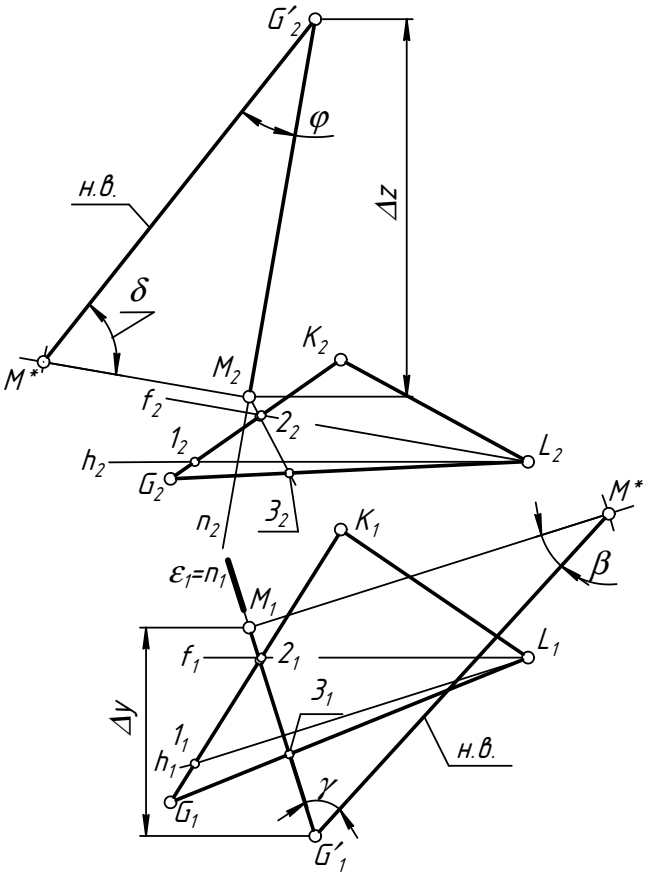


Рис. 1.29. Определение высоты многогранника и углов наклона

На чертеже прямая линия перпендикулярна плоскости, если ее горизонтальная проекция перпендикулярна горизонтальной проекции горизонтали, а фронтальная проекция перпендикулярна фронтальной проекции фронтали этой плоскости. Поэтому строим линии h ($h_2 \to h_1$) $\subset GKL$ и f ($f_1 \to f_2$) $\subset GKL$, а из точки G' опускаем перпендикуляр n, проекции которого перпендикулярны соответствующим проекциям линий уровня, то есть $G'_1 \in n_1 \perp h_1$ и $G'_2 \in n_2 \perp f_2$. Определяем точку его пересечения с основанием: $n_1 = \varepsilon_1 \to (2_1{-}3_1) \to (2_2{-}3_2) \to M_2 = n_2 \cap (2_2{-}3_2) \to M_1$ — это основание нормали n.

Длина отрезка $G'M$ (G'_1M_1, G'_2M_2) равна высоте многогранника (для пирамиды вместо G' надо взять вершину V).

Натуральный размер высоты можно определить преобразованием ее чертежа или способом треугольника. На рис. 1.29 она построена способом треугольника. Если прямоугольный треугольник $G'_1M_1M^*$ построен на горизонтальной проекции отрезка, то $|G'_1M^*| = |G'M|$, а $\angle\gamma = G'M\hat{}\Pi_1$ и $\angle\beta = GKL\hat{}\Pi_1$, то есть определены высота и угол β наклона плоскости основания к горизонтальной плоскости проекций.

Определяя натуральную величину G'_2M^* высоты по ее фронтальной проекции, определяем угол φ наклона плоскости GKL основания к фронтальной плоскости проекций.

Определение величины двугранных углов. Для определения величины двугранных углов, образованных гранями пирамиды, нужно решать вторую основную задачу преобразованием чертежа. Например, на рис. 1.30 показано определение угла, образованного гранями $GG'K'K$ и $KK'L'L$.

Решение задачи заключается в преобразовании чертежа угла до проецирующего положения его ребра KK'. На первом этапе (см. рис. 1.30, *а*) повернем ребро KK' вместе с гранями вокруг горизонтально проецирующей прямой i ($i_1 = K_1$, $i_2 \perp x$ — не изображено) до положения фронтали: $K_1K'_1 \to K_1\overline{K}'_1 \to K_2\overline{K}'_2$. Новое положение горизонтальных проекций граней строим по сторонам их треугольников с общей стороной $G_1K'_1$ на одной и $L_1K'_1$ на другой грани, размеры которых при таком вращении не меняются. Фронтальные проекции вершин при этом перемещаются по горизонтальным линиям связи до положения $\overline{G}_2\overline{G}'_2\overline{K}'_2\overline{K}_2\overline{L}_2\overline{L}'_2$. Новое положение проекций граней показано тонкими линиями, чтобы отделить их изображение от изображения старых проекций.

На втором этапе преобразования переместим объект относительно фронтальной плоскости проекций (см. рис. 1.30, *б*) так, чтобы ребро угла заняло горизонтально проецирующее положение. При этом его новая фронтальная проекция $\overline{\overline{K}}_2\overline{\overline{K}}'_2 \perp x$, новые фронтальные проекции граней строим без изменения их размеров и формы, привязывая к новому положению ребра угла, а горизонтальную проекцию строим по линиям связи. Ребро и грани угла стали горизонтально проецирующими, и изображение угла ψ соответствует его натуральной величине.

Наиболее короткое решение рассмотренной задачи дает способ дополнительного проецирования (рис. 1.31). Если на рис. 1.30 нас не интересовало положение оси x проекций, то при этом способе она необходима. Выбираем положение оси x проекций на чертеже (рис. 1.31) и задаем направление s (s_1s_2) дополнительного параллельного проецирования так, чтобы оно было параллельно ребру KK' двугранного угла, то есть $s_1 \parallel K'_1K_1$ и $s_2 \parallel K'_2K_2$. Новые горизонтальные проекции ребер (отмечены буквами с полочкой) и соответствующих граней совпадают со своими следами,

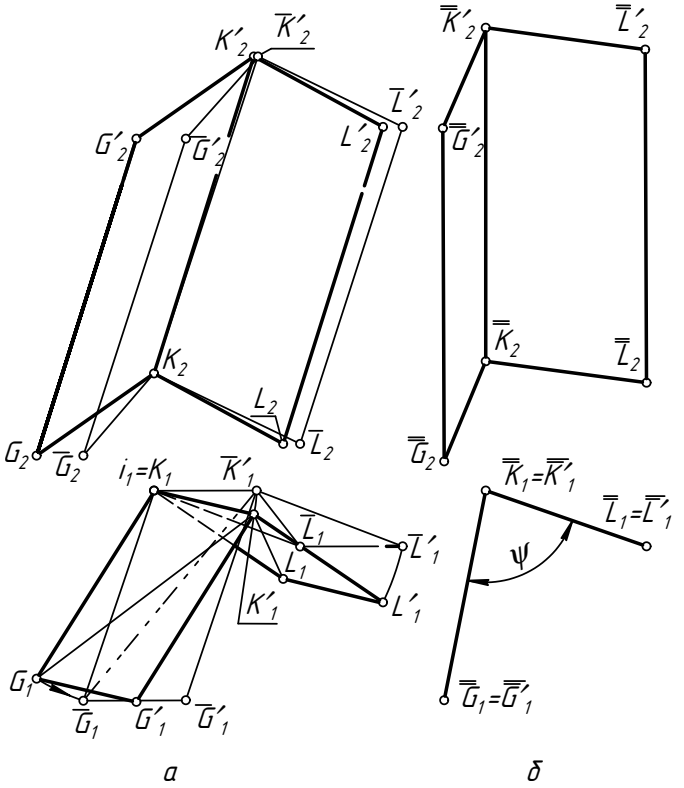


Рис. 1.30. Определение величины двугранного угла способом плоскопараллельного перемещения

то есть угол является горизонтально проецирующим при заданном направлении проецирования. Величина угла равна ψ. Если внимательно посмотреть на чертеж, то можно отметить, что здесь на относительное положение новой горизонтальной проекции угла в определенной степени можно влиять выбором положения оси *x* проекций. Все построения показаны на чертеже.

На рис. 1.32 показано построение двугранного угла *VGKLH*, образованного боковой гранью *VGK* пирамиды нашего примера и ее основанием *GKLH*. Грани выделены из пирамиды, рассматриваемой в примере, поэтому сохранено изображение отдельных ребер штриховой линией.

Вначале зададим направление *s* дополнительного параллельного проецирования так, чтобы ребро угла стало проецирующей прямой. Для этого должно быть $s_1 \parallel G_1K_1$ и $s_2 \parallel G_2K_2$.

Предварительный выбор положения оси *x* и анализ положения ожидаемых проекций показывает, что новая горизонтальная проекция объекта получается за пределами чертежа. Поэтому назначаем положение оси *x* проекций так, чтобы новая фронтальная проекция по возможности не накладывалась на старую проекцию (уменьшаем высоту вершин).

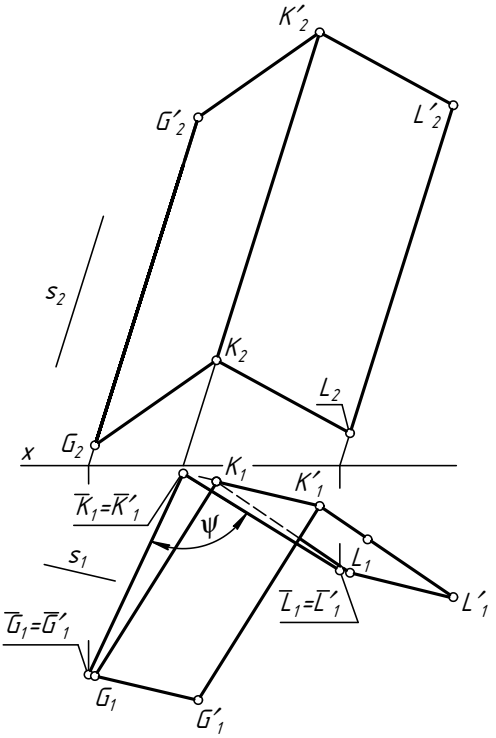


Рис. 1.31. Определение угла способом дополнительного проецирования на горизонтальную плоскость проекций

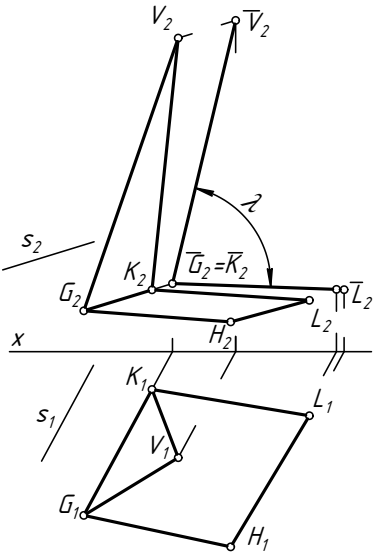


Рис. 1.32. Дополнительное проецирование двугранного угла на фронтальную плоскость проекций

Строим новую фронтальную проекцию $\overline{V}_2\overline{G}_2\overline{K}_2\overline{H}_2$ угла по выбранному направлению проецирования. Ребро и грани угла стали фронтально проецирующими, и мы получили его натуральную величину λ. Построения показаны на чертеже.

1.2.7. Примерный образец содержания задания

На рис. 1.33 показано примерное размещение на основном формате А2 изображений, построенных при решении ГЗ 1 по А.3. Изображение фигуры сечения в натуральную величину показано с разрывом. Это допускается для длинных однородных форм.

На рис. 1.36 показано размещение изображений, построенных при решении ГЗ 1 по А.1, при сокращенном варианте задач (не выполнены задачи развертки поверхности многогранника).

На рис. 1.34 показано примерное размещение изображений отдельных задач ГР 1.1, а на рис. 1.35 — аналогичное размещение задач ГР 1.2, выполняемых при решении ГЗ 1 по А.1.

Вопросы и задания

1. Поясните принцип образования ортогональных проекций обратимого чертежа.
2. Что понимают под основными плоскостями проекций комплексного чертежа?
3. Какова связь натуральной системы координат с комплексным чертежом?
4. Как называют изображения на основных плоскостях проекций эпюра?
5. Чем устанавливается связь изображений?
6. Постройте по двум заданным проекциям точки или отрезка их третью проекцию.
7. Что называют постоянной комплексного чертежа и какова ее роль в системе плоскостей проекций?
8. Постройте проекции точки или отрезка, заданного соответствующими координатами.
9. Какие прямые линии называют прямыми общего и частного положения? Приведите примеры.
10. Постройте проекции определителя плоскости общего и частного положения, назовите их.
11. Раскройте понятие следа и покажите чертежи следов прямой линии и плоскости общего и частного положения.
12. Назовите и покажите на чертеже признаки принадлежности точки заданной прямой линии, точки и прямой заданной плоскости.
13. Назовите признаки параллельности прямой линии и плоскости, двух плоскостей, приведите примеры их использования на чертеже.
14. При каких условиях прямой угол проецируется без искажения? Приведите пример.

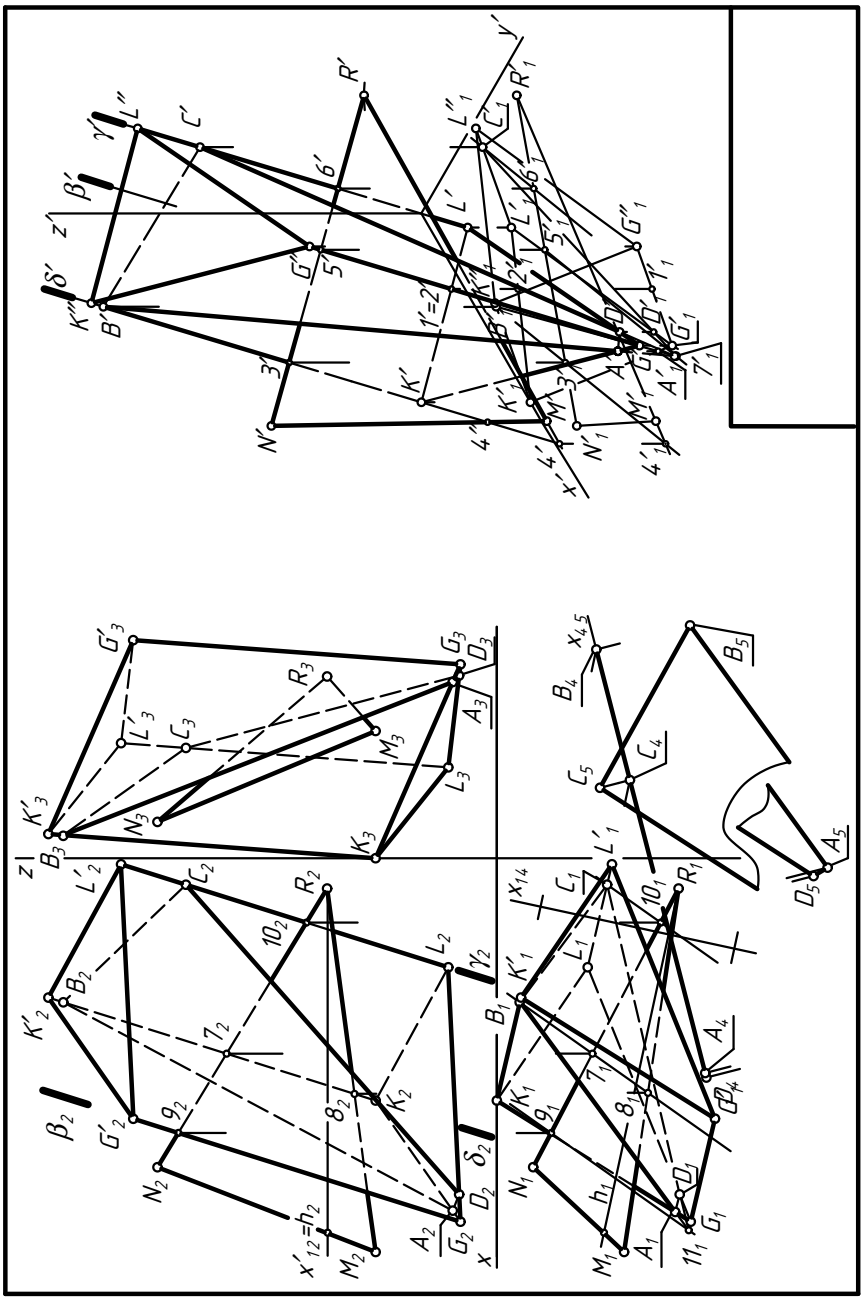


Рис. 1.33. Примерное размещение изображений на формате чертежа

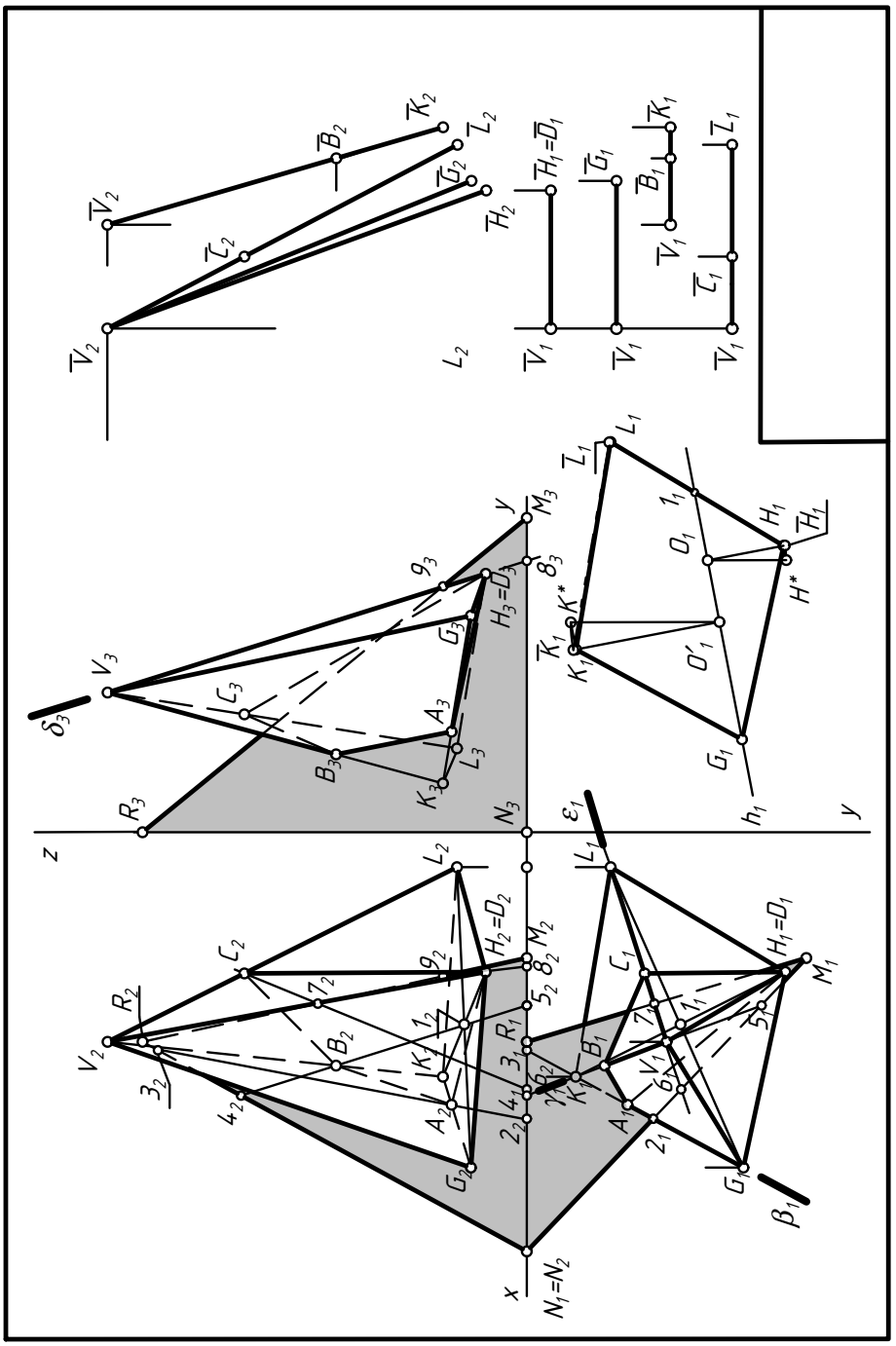


Рис. 1.34. Примерное размещение задач по работе ГР 1.1

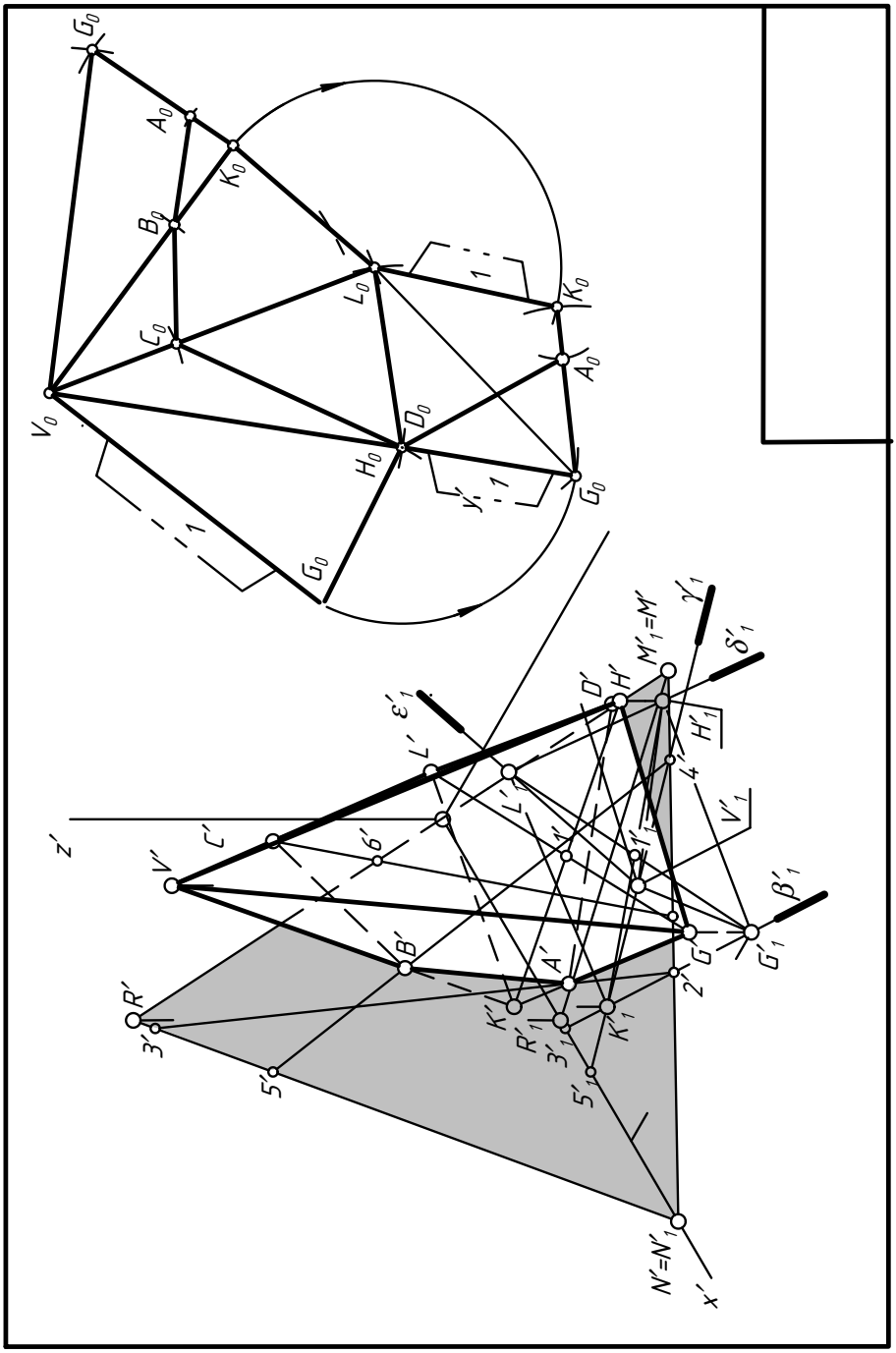


Рис. 1.35. Примерное размещение задач по работе ГР 1.2

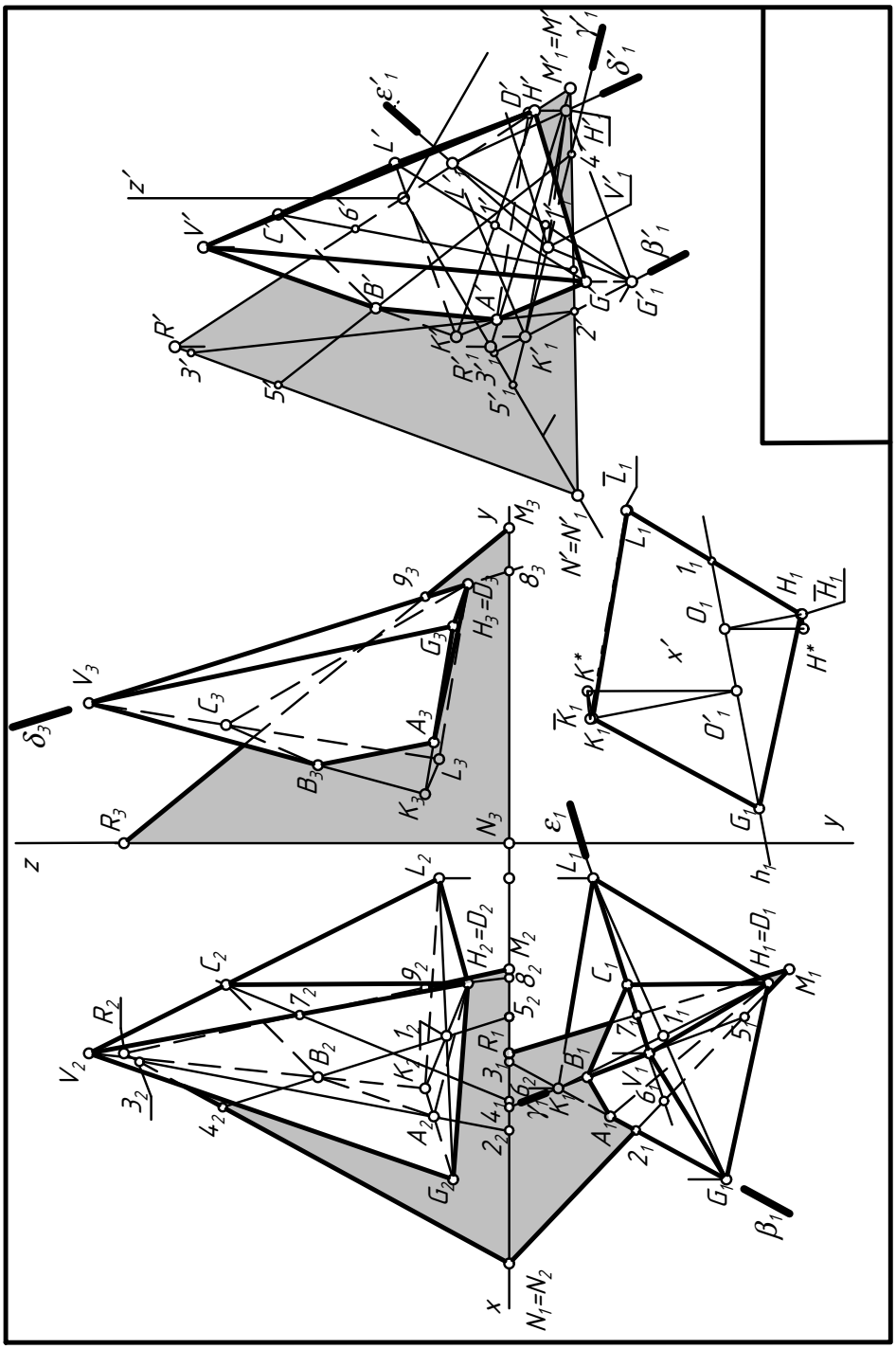


Рис. 1.35. Примерное размещение задач по работе ГЗ 1

15. Назовите признаки перпендикулярности прямой и плоскости, двух плоскостей, которыми пользуются на эпюре. Приведите примеры.
16. Запишите символами, приведите пример и поясните алгоритм построения точки пересечения прямой линии и плоскости.
17. Запишите символами, приведите пример и поясните алгоритм построения линии пересечения двух плоскостей способом плоскостей-посредников.
18. Какие точки называют конкурирующими и как их используют для определения видимости геометрических элементов? Приведите примеры.
19. Как определяются натуральная величина отрезка и его угол наклона к плоскости проекций с помощью треугольника?
20. Что называется линией наибольшего наклона плоскости и как она используется на практике?
21. Назовите способы преобразования чертежа, которые вы изучали.
22. Покажите принцип преобразования чертежа способом замены плоскостей проекций.
23. Какие позиционные задачи, решаемые преобразованием чертежа, называют основными?
24. Раскройте закономерности преобразования чертежа способом плоскопараллельного перемещения.
25. В чем различие в преобразовании чертежа способами вращения вокруг проецирующей прямой и плоскопараллельного перемещения?
26. В каких задачах выгодно пользоваться преобразованием чертежа вращением вокруг линии уровня?
27. Приведите пример преобразования чертежа способом дополнительного проецирования.
28. Постройте отрезок, равный расстоянию от точки до прямой линии общего положения, способом дополнительного проецирования.
29. Определите величину двугранного угла способом дополнительного проецирования.
30. Что называют разверткой многогранной поверхности?
31. Приведите примеры определения размера ребер многогранника.
32. Каково основное различие в построении развертки пирамиды и призмы?
33. Как определяется или задается сторона развертки?
34. Какие изображения называют аксонометрическими проекциями?
35. Какова связь между комплексным и аксонометрическим чертежом?
36. Какую теорему называют основной теоремой аксонометрии?
37. Какие изображения называют аксонометрической и вторичной проекцией?
38. Какие виды стандартной аксонометрии вы изучали?
39. Какие аксонометрические чертежи называют точными, а какие — приведенными?
40. Запишите алгоритм и приведите пример определения точки пересечения прямой линии и плоскости на аксонометрическом чертеже.

Глава 2

Задачи с поверхностями вращения

Класс поверхностей, объединенных общим названием «поверхности вращения», имеет самое широкое распространение в природе, технике и быту. Мы постоянно пользуемся изделиями, в организации которых используются поверхности вращения. Кинематический принцип образования этих поверхностей, принятый в начертательной геометрии, и их свойства удобно использовать при изучении общих правил построения изображений изделий и способов решения позиционных и метрических задач на чертеже. Поэтому этот класс поверхностей взят за основу второй самостоятельной графической работы студентов. По содержанию эта работа служит переходным мостиком, связывающим теоретические основы начертательной геометрии с практическим курсом инженерной графики.

Основными целями задания являются следующие:

- приобретение и закрепление знаний о проблемах кинематического образования поверхностей, их свойствах, а также методах решения позиционных задач;
- изучение правил, развитие умений и навыков построения сопряжений;
- изучение правил образования и приобретение навыков построения основных изображений чертежа, называемых видами и разрезами;
- изучение правил и приобретение навыков параметризации простого изделия и нанесения размеров на чертеж;
- изучение правил и приобретение навыков выполнения аксонометрического чертежа;
- приобретение навыков разработки чертежа изделия (детали) и выполнения сечений и простых разрезов;
- развитие умения и приобретение навыков использования компьютерной графики в режимах ручного и автоматизированного проектирования.

После изучения этой темы студент должен знать:

- кинематический принцип образования, понятия определителя и каркаса поверхностей, признак принадлежности точки и линии данной поверхности;
- принцип образования, определитель и каркас поверхностей вращения;
- определитель и виды алгебраических поверхностей вращения;
- принцип образования и названия трех основных видов на чертеже изделий;

- ❒ принцип образования изображений, называемых простыми разрезами;
- ❒ правила совмещения вида с простым разрезом;
- ❒ способы построения аксонометрического чертежа поверхностей и линий их пересечения с плоскостью;
- ❒ способы решения позиционных и метрических задач поверхностей на плоских изображениях;
- ❒ основы геометрических построений линий, состоящих из прямых линий и дуг окружностей (сопряжений);
- ❒ основы параметризации и правил нанесения размеров на изображения изделий на чертеже;
- ❒ основные компоненты системы «КОМПАС-График».

В результате изучения теории, выполнения и защиты ГЗ 2 студент должен уметь:

- ❒ строить изображения поверхностей по их определителю;
- ❒ выполнять необходимые виды и разрезы на чертеже изделия, организованного поверхностями вращения и плоскостями;
- ❒ выполнять аксонометрический чертеж этого изделия;
- ❒ строить линии среза поверхностей и их сечения;
- ❒ строить составные линии, содержащие сопряжения;
- ❒ определять натуральную величину фигуры сечения, используя преобразование чертежа;
- ❒ выполнять анализ детали по составу поверхностей, организующих ее внешнюю и внутреннюю форму;
- ❒ выбирать системы отсчета (базы), выделять необходимые параметры формы и положения поверхностей данной детали и наносить их на чертеже;
- ❒ использовать компьютерную графику в режиме ручного управления;
- ❒ создавать модель и чертеж несложной детали в системе 3D.

В пособии предлагаются варианты заданий для самостоятельной работы, задачи, рекомендуется порядок их выполнения, даются необходимые теоретические сведения и методические указания по предлагаемым задачам, рассматривается пример ручного выполнения задания и твердотельного моделирования, приводится примерный образец выполненной работы.

2.1. Условие, содержание и рекомендуемый порядок выполнения задания

Задание: выполнить комплексный и аксонометрический чертежи, содержащие основные изображения и заданные сечения детали, внешняя и внутренняя поверхности которой образованы вращением составной образующей g вокруг неподвижной оси вращения i (примерные исходные данные приведены на рис. 2.1).

Определитель (g, i) составной поверхности α детали принадлежит фронтальной плоскости уровня и задан своей фронтальной проекцией (g_2, i_2). Деталь изготовлена из металла и срезана фронтальными плоскостями β и β' уровня, расположенными симметрично на расстоянии y от плоскости фронтального меридиана детали.

Индивидуальные варианты определителя детали и координаты y заданы в приложении Б. Задание выполняется на формате А2 в натуральную величину. Оформление задания стандартное. Все построения следует сохранить. Срок выполнения устанавливается календарным планом.

Содержание задания соответствует перечню задач, которые предлагается выполнить в данной работе. Порядок предлагаемых задач одновременно является планом работы, то есть методика их выполнения такова, что решение предыдущей задачи является условием выполнения последующей. В то же время отдельные задачи могут выполняться самостоятельно. Поэтому конкретный перечень задач, выполняемых в задании, устанавливается на кафедре.

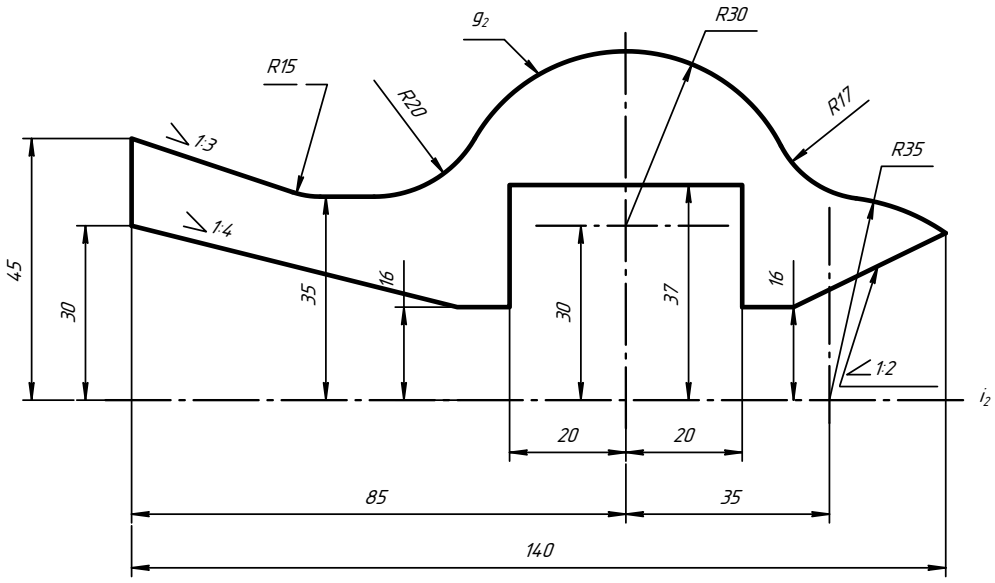


Рис. 2.1. Примерный образец определителя детали

Содержание задания.

1. Выписать исходные данные и ознакомиться с ними.
2. Выполнить планировку формата.
3. Произвести геометрический анализ определителя и построить его фронтальную проекцию.
4. Построить вид спереди, вид сверху и вид слева детали, полученной вращением образующей вокруг заданной оси.

5. На месте главного изображения построить вид спереди, совмещенный с простым фронтальным разрезом.
6. Вид слева и сверху ограничить плоскостями β и β′ среза, вид сверху совместить с горизонтальным разрезом. Невидимый контур показать штриховыми линиями (в пределах плоскостей среза).
7. Построить линии среза детали (построения сохранить).
8. Построить две проекции линии дополнительного сечения детали плоскостью, заданной преподавателем. Наложенное сечение оформить тонкими линиями с учетом видимости без графического обозначения материала.
9. Построить натуральную величину фигуры дополнительного сечения с графическим обозначением материала детали.
10. Произвести параметризацию детали и нанести на чертеж необходимые размеры.
11. Построить аксонометрический чертеж детали с вырезом одной четверти.
12. Оформить работу в соответствии с требованиями стандартов.

2.2. Методические указания по отдельным этапам второго задания

Рассматривая приемы решения отдельных задач, мы исходим из предположения, что читатель знаком с теоретическими основами образования и изображения поверхностей и методом решения позиционных задач. Помочь восстановить необходимые знания помогут ссылки на определенные разделы рекомендуемой литературы, приведенной в конце пособия.

2.2.1. Планировка формата, анализ определителя и геометрические построения

Решение отдельных задач рассмотрим на примере определителя, показанного на рис. 2.1. Положение плоскости среза детали задано координатой $y = 25$ мм. При ручной работе для размещения основных изображений комплексного чертежа используем габаритные прямоугольники — условные прямоугольники, внутри которых будут размещаться планируемые изображения детали (рис. 2.2).

Из рис. 2.1 видим, что широта фронтальной проекции (вида спереди) детали $x = 140$ мм, а высота будет равна удвоенной максимальной высоте определителя (см. рис. 2.1), то есть $z = 120$ мм. Так мы получили прямоугольник главного изображения. Профильная проекция (вид слева) имеет ту же высоту, а глубина ее определяется удвоенной координатой y, заданной в условии. Так построен прямоугольник вида слева. Параметры прямоугольника горизонтальной проекции (вида сверху) уже определены. Габаритные прямоугольники нужно вычертить на тетрадном листе, снабдив осями вращения, обозначить цифрами и вырезать.

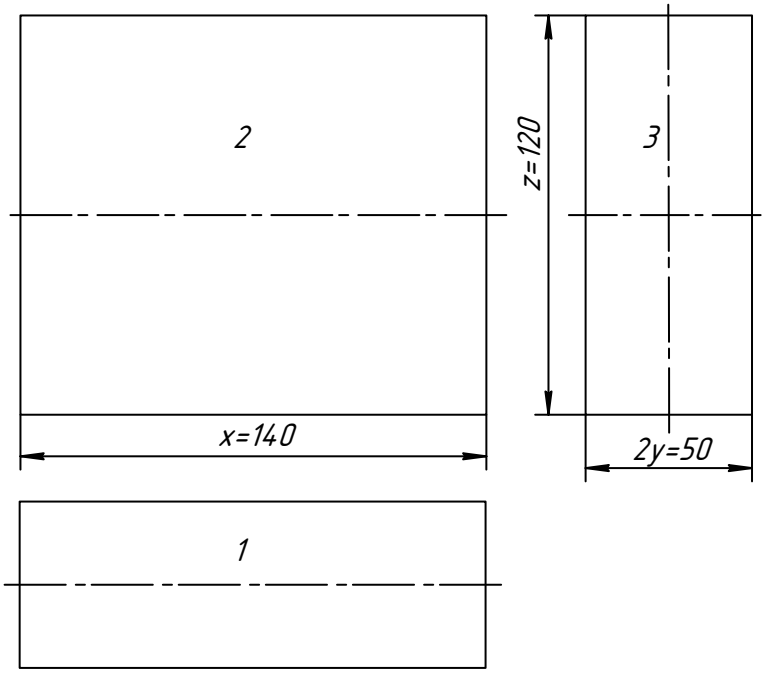


Рис. 2.2. Габаритные прямоугольники основных видов

Аксонометрический чертеж детали рекомендуется выполнять в прямоугольной диметрии, расположив ось вращения вертикально (оси *x* и *z* поменялись ролями), а плоскости среза — параллельно координатной плоскости *x0z*. Ось *z* следует совместить с осью вращения, а деталь поставить основанием на плоскость *x0y*. По этим параметрам нужно построить габаритный параллелепипед на черновике (рис. 2.3).

Здесь значения координат *x* и *z* соответственно изменились (оси поменялись ролями). Однако такая операция с изменением положения детали совсем не обязательна, а в отдельных случаях может оказаться неудобной. Тогда ось вращения детали нужно совместить с осью *x* и построить габаритный параллелепипед.

На чертеже детали в прямоугольной диметрии получается более развернутое изображение ее линий среза, если плоскости среза детали параллельны координатной плоскости *x'0'z'*. Аналогичную операцию рекомендуется выполнять и в том случае, когда используется изометрическая проекция.

Построенный параллелепипед с отмеченными осями нужно вырезать ножницами по внешнему контуру.

На формате А2 следует начертить рамку, выделить место для основной надписи и разместить вырезанные габаритные фигуры на поле чертежа так, чтобы оно примерно равномерно было ими занято (рис. 2.4). На поле чертежа надо отметить положение осей габаритных фигур, а потом эти фигуры убрать и по отметкам вычертить необходимые оси. Так будет выполнено размещение изображений.

При этом надо предусмотреть место для размещения фигуры сечения $A-A$, которое задаст преподаватель, и (возможно) таблицы параметризации (ее лучше всего расположить над основной надписью или слева от нее).

Планировка формата является несложным, но очень важным этапом работы, необходимым для получения качественного чертежа с наименьшими затратами времени. При работе с компьютером в системе 3D необходимость в ней отпадает.

Следующим важным этапом работы является анализ состава образующей линии. Но прежде чем выполнять его, попробуем разобраться в некоторых геометрических понятиях и построениях, с которыми, возможно, вы до сих пор не встречались.

Образующая линия (см. рис. 2.1) состоит из отрезков прямых линий и дуг окружностей. Условимся геометрический объект, состоящий из некоторой совокупности элементарных геометрических объектов (ЭГО), называть составным геометрическим объектом (СГО). Под элементарными геометрическими объектами будем подразумевать точки, прямые и дуги окружностей. Их связь в СГО будем называть геометрическими отношениями.

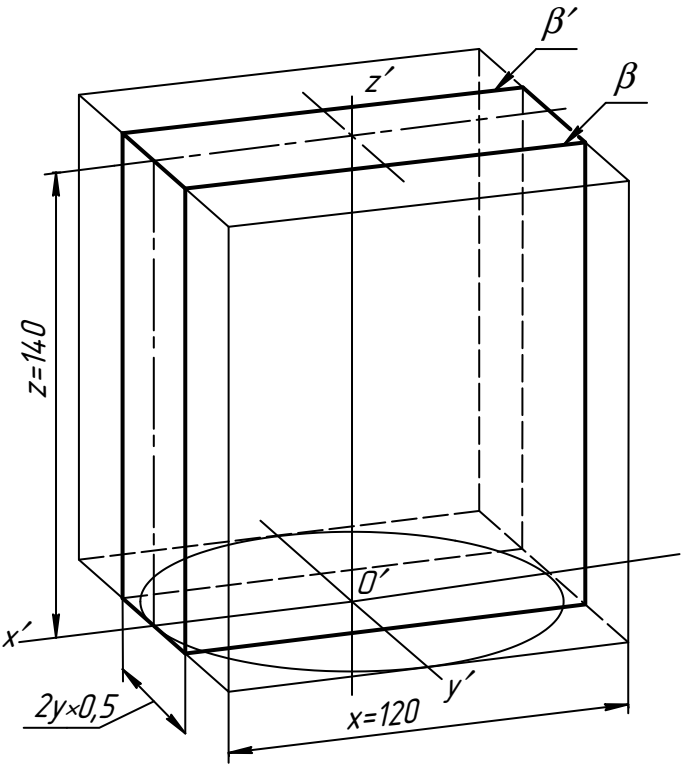


Рис. 2.3. Изображение габаритного параллелепипеда в прямоугольной диметрии

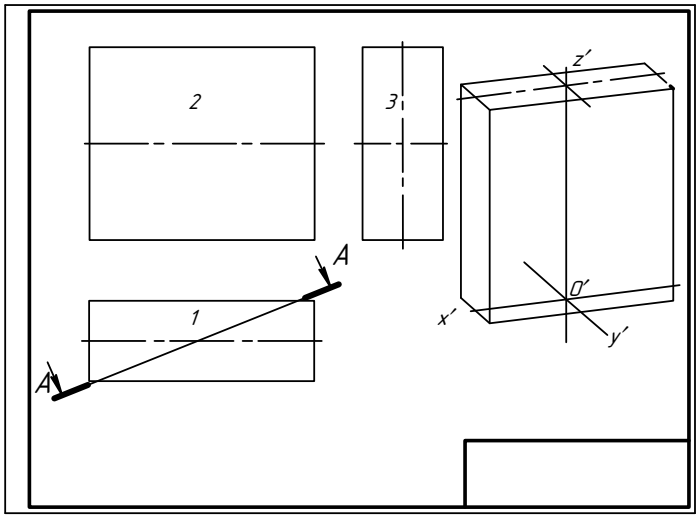


Рис. 2.4. Планировка формата

Таким образом, определитель является составным объектом. Чтобы разобраться в принципе образования (построения) СГО, расчленим его на ЭГО (рис. 2.5). За базу (систему отсчета) примем точку O и ось вращения i (i_2), совмещенную с координатной осью x. Обозначим отдельные ЭГО: T — точка; P — прямая линия; L — отрезок прямой линии, у которого заданы координаты концов; K — окружность или дуга окружности.

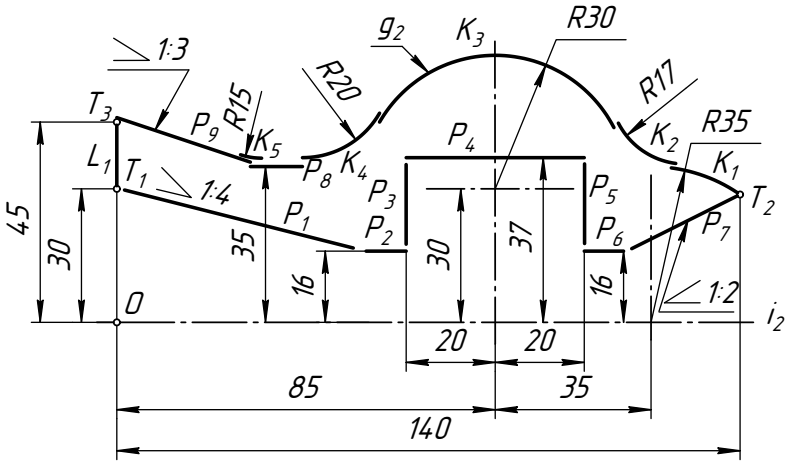


Рис. 2.5. Анализ структуры образующей линии

Положение отдельных точек образующей линии определяется их координатами или геометрическими отношениями других ЭГО (прямых и окружностей). Геометри-

ческими являются отношения принадлежности, параллельности, перпендикулярности, пересечения, касания. Эти отношения на чертеже задаются определенными параметрами и призваны обеспечить наглядность.

Условно разделим СГО на внутреннюю и внешнюю части. Для внутренней части запишем геометрическую строку ее образования: $T_1 P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 P_6 P_7 T_2$.

Например, точка T_1 задана координатами $x = 0$, $z = 30$, а T_2 — координатой $x = 140$ и условием принадлежности дуге K_1, заданной параметром положения и формы. Прямые линии P_1 и P_7 проходят через заданные точки, а их направления определяются параметром, который называется *уклоном*. Здесь цифровые индексы соответствуют порядковому номеру одноименного обозначения элемента.

Пусть на чертеже задана некоторая прямая линия P (рис. 2.6). Выделим на ней произвольный отрезок, который примем за гипотенузу прямоугольного треугольника с катетами a и b. Катет b (горизонтальную проекцию отрезка) называют *заложением*, а катет a (разность высот его концов) — *превышением*.

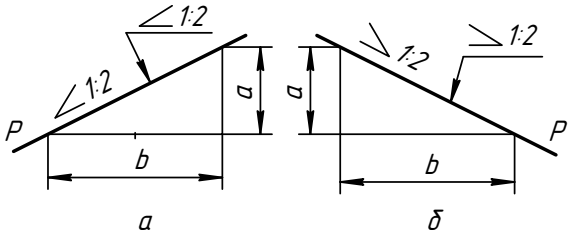


Рис. 2.6. Понятие уклона и примеры его обозначения на чертеже

Уклоном называют отношение превышения концов отрезка к его заложению и обозначают его острым углом, как показано на рис. 2.6. Знак изображается тонкой линией по размеру шрифта и направляется в сторону обозначаемого уклона. На рис. 2.6, *а*, показано обозначение уклона, направленного влево, а на рис. 2.6, *б*, — направленного вправо. Уклон может проставляться непосредственно над линией или над полкой с выносной линией со стрелкой. По указанному отношению строят направление линии.

Линии P_2, P_4, P_6 заданы параметрами положения (высотой) относительно оси, а их направление определяется наглядностью — они параллельны оси. Линии P_3, P_5 заданы параметром положения относительно вспомогательной базы, которой служит вертикальная ось окружности K_3. Их направление также определяется наглядностью — они перпендикулярны оси вращения.

Точки изменения линий определяются отношением их пересечения. Следовательно, приведенная ранее геометрическая строка полностью воспроизводится по заданным параметрам.

Рассматривая внешнюю часть СГО, замечаем, что прямые линии P_8, P_9, L_1 заданы аналогично внутренним линиям, окружности K_1 и K_3 заданы параметрами формы (радиусами) и положения (координатами их центров), а окружности K_2, K_4, K_5 — только параметрами формы. Следовательно, недостающие параметры положения центров этих дуг компенсируются их геометрическими отношениями с сопря-

женными (соседними) ЭГО. В нашем случае это отношения касания с прямыми и дугами окружностей, обеспечивающие плавный переход от одной линии к другой. В этом случае геометрическая строка имеет вид $T_1\ T_3\ P_9\ \underline{K_5}\ P_8\ \underline{K_4}\ K_3\ \underline{K_2}\ K_1\ T_2$ (подчеркнуты элементы, которые нужно строить). Слева и справа от каждого из этих элементов должны быть элементы, параметры которых заданы. Следовательно, чтобы реализовать эти отношения, нужно рассмотреть их закономерности (правила построения).

Точка касания линий называется *точкой плавного перехода* от одной линии к другой. Плавный переход от одной линии к другой называется *сопряжением*. Точка плавного перехода называется *точкой сопряжения*.

Рассмотрим построение отдельных сопряжений, которые могут встретиться в заданиях.

Сопряжение двух прямых линий дугой окружности заданного радиуса строится на основе того, что центр окружности находится на расстоянии радиуса от касательной (рис. 2.7). Построим сопряжение линий P_8 и P_9 дугой K_5 окружности (обозначения линий взяты из примера построения образующей (см. рис. 2.5)).

Центр O дуги K_5, сопрягающей окружности, находится на прямой P'_8, которая параллельна прямой P_8 и удалена от нее на размер радиуса этой дуги ($R15$). Такая линия называется *геометрическим местом центров сопряжения*. Для прямой P_9 геометрическим местом центров сопряжения является прямая P'_9. Их построение показано на чертеже. Центр O сопряжения определяется пересечением этих линий. Очевидно, здесь есть и другие варианты сопряжений. Предлагаем читателю выполнить эти исследования самостоятельно. Точки A и B пересечения нормалей OA и OB с сопрягаемыми элементами называются *точками сопряжения*. Важно знать, где они расположены, так как они определяют границу перехода от одной поверхности к другой. Между ними строим сопрягающую дугу заданного радиуса. Так создается плавный переход от одной прямой линии к другой.

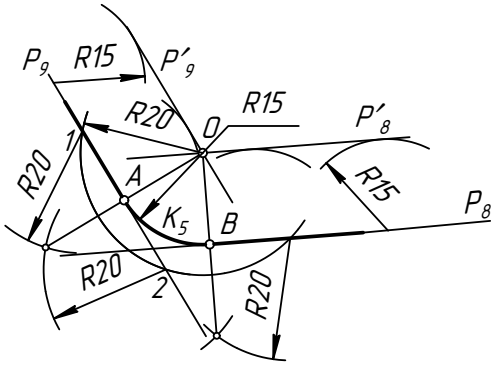


Рис. 2.7. Сопряжение прямых линий дугой окружности

Сопряжение прямой линии и окружности с помощью дуги окружности строится аналогично, но с учетом того, что расстояние между центрами соприкасающихся окружностей равно сумме их радиусов (рис. 2.8).

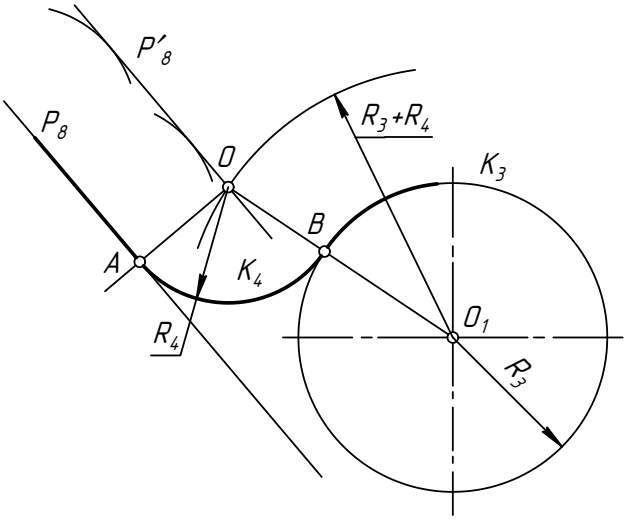


Рис. 2.8. Сопряжение прямой линии и окружности с помощью дуги окружности

Тогда геометрическим местом центров сопряжения окружностей будет окружность радиуса $R = R_3 + R_4$. Точка ее пересечения с геометрическим местом P'_8 является центром сопряжения. Точка A сопряжения находится пересечением нормали OA с P_8, а точка B находится пересечением межцентрового расстояния OO_1 с окружностью K_3. Дуга между точками A и B является сопрягающим элементом.

Для **построения внешнего сопряжения окружностей** K_1 и K_3 дугой K_2 окружности отмечаем центр O сопряжения в точке пересечения окружностей радиусов $(R_1 + R_2)$ и $(R_3 + R_2)$ (рис. 2.9). Потом выделяем точки A и B сопряжения в пересечении межцентровых расстояний O_2O_1 и O_2O_3 с соответствующими окружностями, а между ними строим сопрягающую дугу радиусом R_2 и обводим нужные части сопрягаемых окружностей. Здесь тоже имеется другое решение. Постройте его сами.

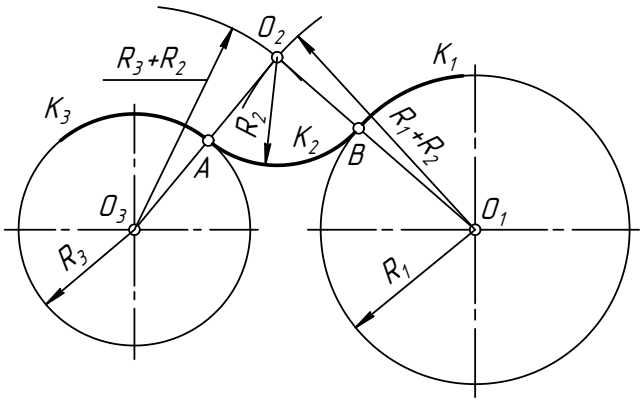


Рис. 2.9. Внешнее сопряжение окружностей дугой окружности

Построение сопряжения, которое называют *внутренним*, показано на рис. 2.10 (обозначения не связаны с рис. 2.5). В этом случае центр O сопряжения находится в пересечении окружностей радиусов $(R - R_1)$ и $(R - R_2)$ с центром в точках O_1 и O_2 соответственно.

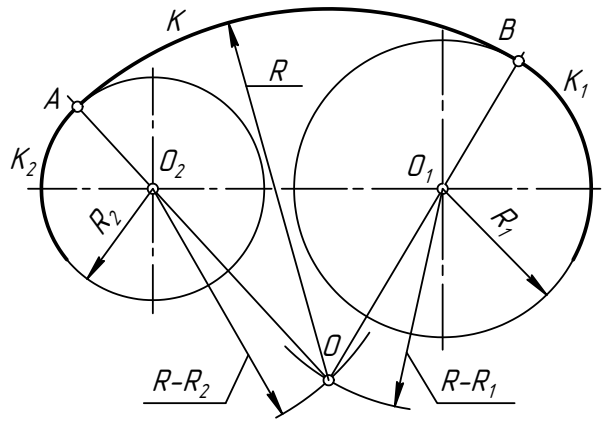


Рис. 2.10. Внутреннее сопряжение окружностей дугой окружности

Точки сопряжения также определяются на пересечениях межцентровых линий OO_1 и OO_2 с соответствующими окружностями. Второе решение рекомендуется проверить самостоятельно.

При построении **прямой**, **касательной к окружности** и проходящей через точку A, используется свойство внутреннего угла окружности, опирающегося на ее диаметр (рис. 2.11).

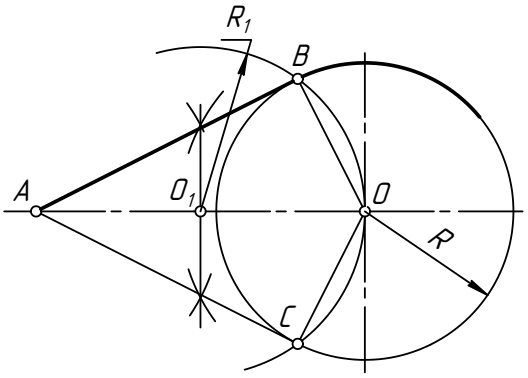


Рис. 2.11. Построение касательной к окружности

Отрезок AO примем за диаметр окружности с центром в точке O_1. Построим дугу радиусом R_1. Точки B и C ее пересечения с окружностью радиуса R являются точками сопряжения прямой AB (AC) с этой окружностью (угол ABO прямой).

Это же свойство используется и при построении **сопряжения окружностей прямой линией** (рис. 2.12).

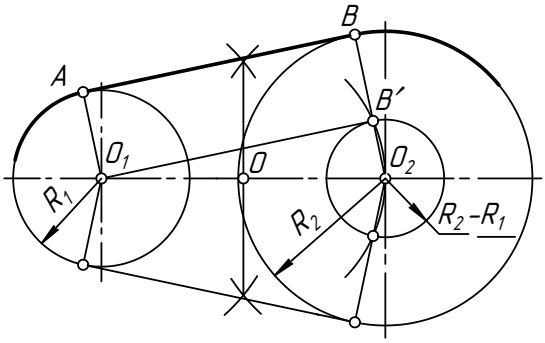


Рис. 2.12. Построение сопряжения окружностей прямой линией

Построением окружности радиуса $(R_2 - R_1)$ задача сводится к задаче рис. 2.11 (сравните построение касательной O_1B' на рис. 2.12 и касательной AB на рис. 2.11). После построения касательной O_1B' отмечаем точку B сопряжения в пересечении нормали O_2B с окружностью радиуса R_2. Точку B принимаем за центр окружности радиуса $O_1B' = BA$ и засечкой отмечаем положение точки A сопряжения.

Прямая линия AB является сопрягающим элементом заданных окружностей. Такое сопряжение называется *внешним*.

На рис. 2.13 показано построение внутреннего сопряжения окружностей K_1 и K_2 прямой линией AB. В этом случае надо построить дополнительную окружность K_3 радиуса $(R_2 + R_1)$ и касательную O_1B' к ней (как на рис. 2.11).

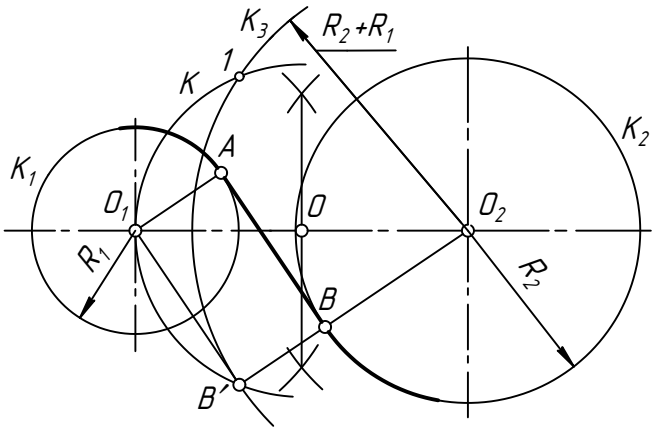


Рис. 2.13. Внутреннее сопряжение окружностей прямой линией

Потом выделяем точку B на пересечении нормали O_2B' с окружностью K_2 и строим касательную BA из условия, что $O_1B' = AB$ или $O_1A \parallel B'B$. Касательная AB является

внутренним сопрягающим элементом. Второй вариант решения получится, если использовать точку *1* касания.

Ознакомившись с геометрическими построениями, приступаем к построению главного меридиана поверхностей детали примера (рис. 2.14).

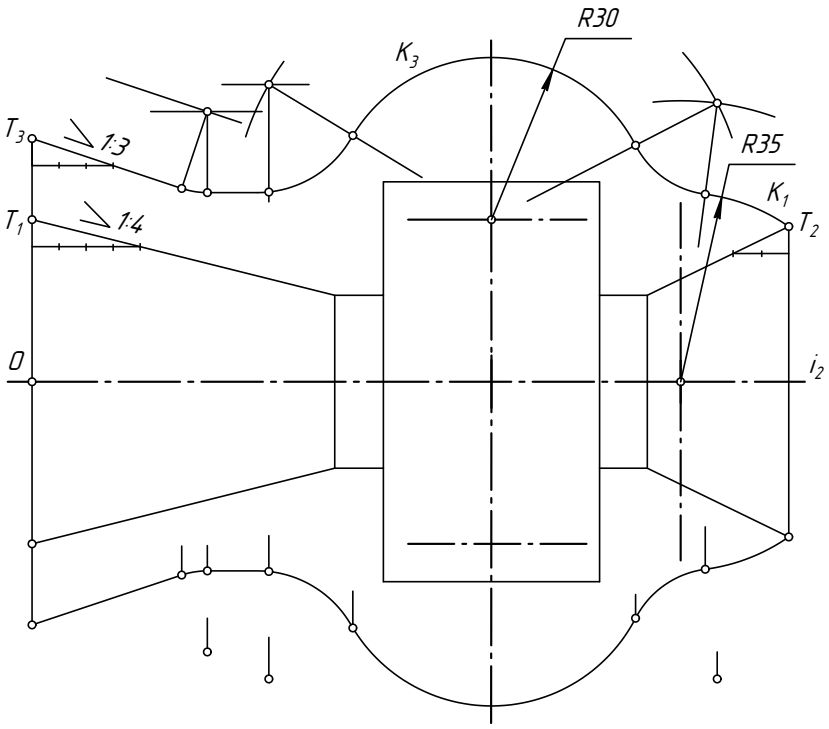


Рис. 2.14. Построение изображения главного меридиана детали

Вначале строим все геометрические элементы, параметры которых заданы: окружности K_1, K_3, точки T_2, T_1, T_3, прямые линии с заданным уклоном, другие прямые, параметры положения которых заданы. Затем строим сопряжения. Построение линий по заданным уклонам, центров и точек сопряжения показано на чертеже.

Построенная линия является половиной меридиана детали, образованной вращением этой линии вокруг оси i (i_2). Вторая половина меридиана симметрична ей относительно оси вращения. Построить ее легко: нужно по вертикальным линиям построить все симметричные узловые точки, а по ним и необходимые линии.

При работе с машиной в режиме ручного управления сопрягающие элементы будут выполнены автоматически по командам оператора, а вторая половина меридиана построена по закону симметрии. В системе 3D также строится образующий контур в режиме эскиза, но при этом с помощью вспомогательной геометрии необходимо построить ось, проходящую через две точки, только в пределах широты этого контура. Эта ось будет служить осью вращения будущей детали.

2.2.2. Построение основных видов и разрезов детали

При вращении составной образующей (заданной на рис. 2.1 и построенной на рис. 2.14) вокруг оси *i* образуется внешняя и внутренняя поверхности детали, которые тоже являются составными. Строим три основных вида детали в тонких линиях.

Вначале строим вид спереди (главный вид) и вид слева (рис. 2.15). Составляющие элементы внешней линии меридиана образуют поверхности, которые закрывают внутреннюю поверхность детали. Например, точка T_1 (см. рис. 2.14) описывает параллель внутренней поверхности (основания внутреннего конуса), а точка T_3 принадлежит параллели основания внешнего конуса, но оба основания лежат в одной плоскости. Очевидно, на изображении мы будем видеть параллель внешнего конуса. На виде слева обе параллели видимы и будут изображены без искажений (см. рис. 2.15). Параллель точки T_2 является линией пересечения соосных поверхностей — конуса и сферы и на виде слева будет невидимой (показана штриховой линией). Профильные проекции точек T_1, T_3, T_2 показаны, но не обозначены.

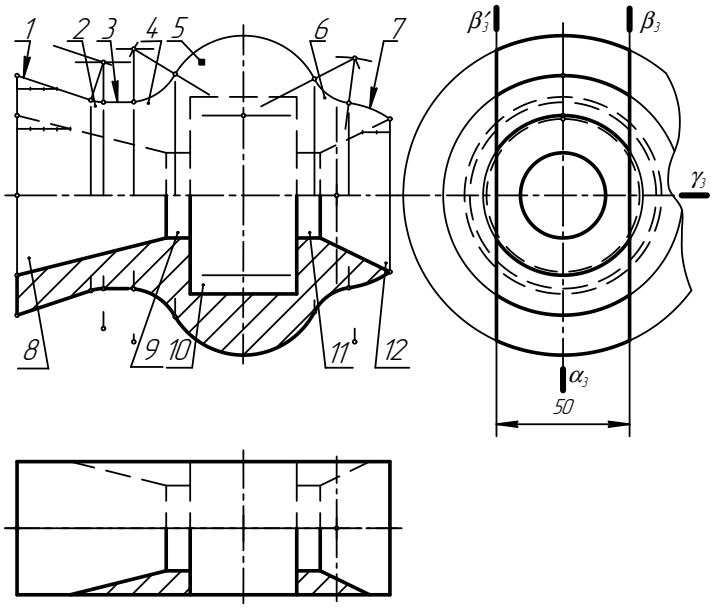


Рис. 2.15. Построение основных видов и разрезов детали

Элементарные составляющие внешней линии при вращении образуют следующие поверхности (см. рис. 2.15) (показана только их верхняя половина): *1* — конус; *2*, *4*, *6* — глобоиды; *3* — цилиндр; *5* — закрытый тор; *7* — сфера. Границы этих поверхностей показаны тонкими линиями.

Позиции показывают на горизонтальных полках с выносными линиями, которые выравнивают по строкам и столбцам. Стиль выносных линий и полок — тонкая

сплошная. Если выносная линия заканчивается на очерке (толстой линии контура), то она должна иметь стрелку длиной 3–5 мм, а если заходит на поле поверхности — то видимую точку. Выносные линии не должны пересекаться между собой и с размерными линиями.

Точки сопряжения элементарных линий меридиана образуют параллели касания поверхностей, которые называют *границами плавного перехода* от одной поверхности к другой. На чертежах эти границы указывают тонкой сплошной линией, которая не доводится до контура на 2–3 мм, или не изображают совсем. На учебных чертежах рекомендуется показывать границы плавного перехода поверхностей, так как эта информация нужна при решении других задач.

Невидимый контур внутренних поверхностей допускается изображать штриховой линией, что мы и сделали. Однако чертеж значительно легче читать, когда показаны видимые элементы поверхностей. Для этого используются изображения, которые называют разрезами.

Разрезом называют изображение изделия, мысленно рассеченного одной или несколькими плоскостями. Такая операция никакого влияния на другие изображения не оказывает.

Если разрез выполнен одной плоскостью α (α_3), то он называется *простым*. Мы пока будем пользоваться только простыми разрезами. Если при этом секущая плоскость параллельна фронтальной плоскости проекций, то разрез называется *фронтальным*. Соответственно образуются *горизонтальный* и *профильный* разрезы.

Разрез можно располагать на месте соответствующего вида. Если при этом секущая плоскость является плоскостью симметрии изделия и разрез расположен в проекционной связи, то плоскость разреза на чертеже не обозначается и разрез не надписывается. В рассматриваемом примере выполняются все условия, в соответствии с которыми разрез можно назвать простым фронтальным, выполненным плоскостью симметрии и расположенным на месте вида спереди. На виде слева профильная проекция α_3 секущей плоскости показана только для того, чтобы легче было понять, как образуется фронтальный разрез.

Если вид и разрез, который располагается на месте этого вида, симметричны относительно общей плоскости симметрии, то допускается совмещать половину вида с половиной разреза. Это удобно и сокращает общее число отдельных изображений на чертеже. Воспользуемся такой возможностью и изобразим половину фронтального разреза детали на месте нижней (относительно оси) половины вида спереди (см. рис. 2.15).

Такое изображение называют совмещением половины вида с половиной разреза. Их разделительной линией служит ось симметрии, если на нее не попадает толстая линия изображения. В противном случае разделительной линией должна служить тонкая волнистая линия, проводимая от руки так, чтобы сохранилась толстая линия, попавшая на ось. Волнистая линия не должна совпадать с осью или с другой толстой линией, но может их пересекать.

Материал детали, попавший в секущую плоскость, обозначают графически в соответствии с ГОСТ 2.306–68 «Графическое обозначение материалов в разрезах и сечениях». Будем считать, что наша деталь изготовлена из металла. Металл

обозначают тонкими сплошными линиями, проводимыми под углом 45° к рамке чертежа с интервалом 1...10 мм с наклоном в ту или иную сторону. Большой интервал используется на больших чертежах. В учебных работах рекомендуется выдерживать интервал 2...5 мм.

Процесс графического обозначения материала называют штриховкой. Одна и та же деталь на всех своих изображениях должна иметь одинаковую штриховку (направление, угол и интервал).

Внутренняя полость детали (см. рис. 2.15) организована следующими поверхностями: *8*, *12* — конусы; *9*, *10*, *11* — цилиндры. Точки пересечения образующих эти поверхности линий описывают видимые (в разрезе) параллели, которые называют параллелями пересечения соосных поверхностей вращения.

В соответствии с заданием деталь срезана фронтальными плоскостями уровня β и β′, положение которых относительно плоскости симметрии задано координатой *y* (в примере *y* = 25 мм). Фактическая глубина нашей детали равна 50 мм, и изображение ее вида слева (см. рис. 2.15) показано основными (толстыми) линиями, то есть части параллелей, лежащие за пределами плоскостей среза, фактически удалены (их можно стереть).

На виде сверху (горизонтальная проекция) изображена уже срезанная деталь, то есть та, которая должна быть изготовлена по нашему чертежу. Вид сверху совмещен с горизонтальным разрезом (выполнен плоскостью γ (γ_3)). Штриховые линии и разрез на этом изображении полезны для того, чтобы понять, какие перемены произошли в детали после ее среза и в построениях, которые надо будет выполнить в других задачах.

2.2.3. Построение линий среза и сечения детали

Для того чтобы быстрее и лучше разобраться в этой задаче, вначале рассмотрим ее решение на более простой детали. Допустим, что задана образующая, внешняя часть которой представлена отрезком прямой *AB* (A_2B_2), а внутренняя часть — линией *CDE* ($C_2D_2E_2$), (рис. 2.16). При вращении этой образующей вокруг горизонтальной оси каждый ее элемент описывает определенную поверхность:

- ❒ отрезок *AB* — поверхность усеченного конуса;
- ❒ отрезок *CD* — внутреннюю поверхность усеченного конуса;
- ❒ отрезок *DE* — внутреннюю поверхность цилиндра.

Совокупность этих поверхностей организует форму изделия-детали.

На рис. 2.16 фронтальная проекция представлена изображением половины вида спереди и половины фронтального разреза детали, а профильная проекция — изображением, которое называется видом слева.

Затем заготовку срезали фронтальными плоскостями уровня, расположенными симметрично. На виде слева показаны их профильные следы без обозначений. В результате получилась деталь, показанная изображением половины вида сверху и половины горизонтального разреза. Очевидно, необходимо внести изменения, произошедшие с изображением вида спереди, совмещенного с фронтальным разрезом, и на виде слева, то есть построить линии среза детали (рис. 2.17).

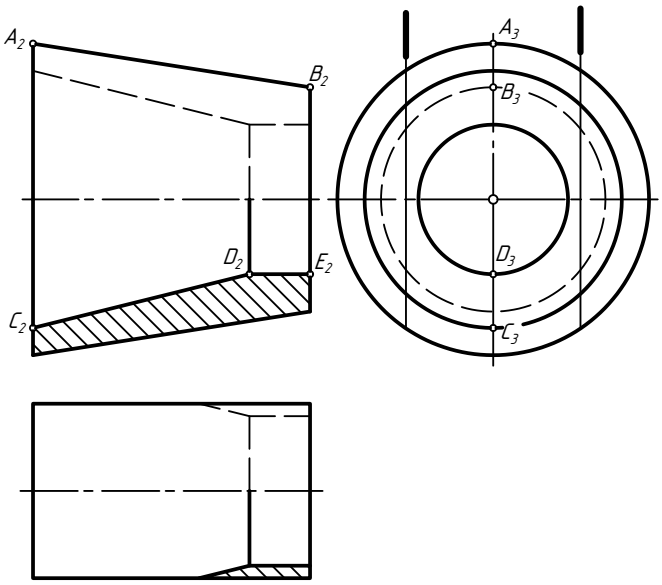


Рис. 2.16. Виды и разрезы дополнительной детали

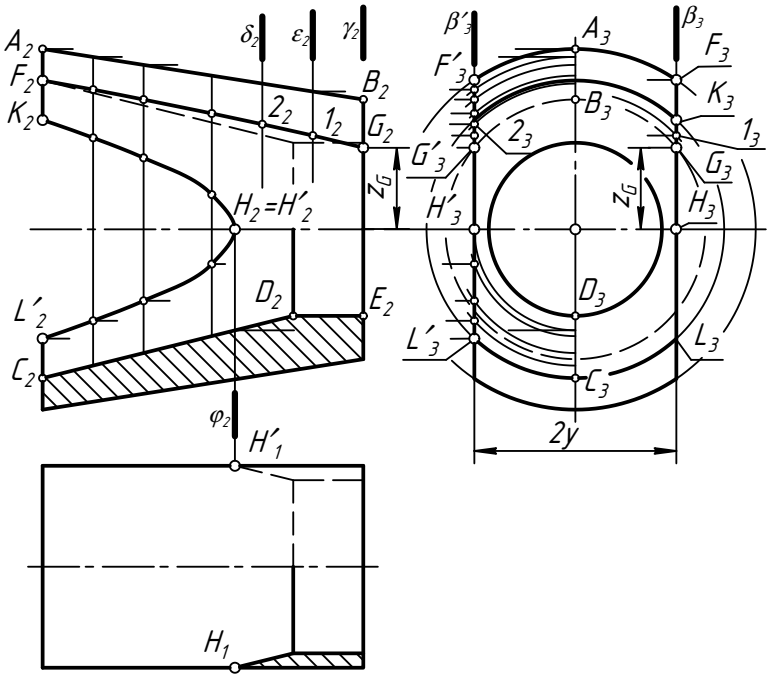


Рис. 2.17. Построение линий среза дополнительной детали

По рис. 2.16 и рис. 2.17 вида слева видно, что внутренний цилиндр не пересекается плоскостями среза, а оба конуса срезаются по гиперболам, так как плоскости среза параллельны оси вращения. На виде слева останется только та часть изображения, которая находится между плоскостями среза. Натуральные линии среза мы увидим на главном изображении.

Вспомним алгоритм решения задачи сечения поверхности плоскостью.

Дано: α — поверхность, β — плоскость.

Требуется построить $l = \alpha \cap \beta$ — линию их пересечения.

Решение:

1. Вводим вспомогательную проецирующую плоскость γ так, чтобы она пересекала поверхность α по простым линиям (прямым или окружностям). В примере (см. рис. 2.17) плоскость γ (γ_2) перпендикулярна оси вращения и совпадает с плоскостью основания внешнего конуса.
2. Строим простую линию пересечения $m = \alpha \cap \gamma$. В примере это параллель точки B (см. проекции B_2 и B_3).
3. Строим линию $k = \gamma \cap \beta$. Проекции прямой линии k пересечения проецирующих плоскостей совпадают со следами этих плоскостей и поэтому на чертеже не обозначены.
4. Отмечаем точки пересечения линий k и m, принадлежащие линии пересечения поверхностей α и β. В примере на виде слева отмечаем фронтально конкурирующие точки G (G_3) и G' (G'_3) пересечения параллели точки B с плоскостями среза, а на горизонтальной линии связи (по координате z_G) строим их фронтальную проекцию (обозначена только проекция G_2).

В примере линии среза симметричны и фронтально конкурируют. Поэтому на рис. 2.17 показано построение линии среза внешнего конуса только на изображении вида спереди.

Аналогично вводим плоскости ε (ε_2), δ (δ_2) и другие (показаны только их параллели). Отмечаем точки 1 ($1_3 \to 1_2$), 2 ($2_3 \to 2_2$) пересечения их параллелей со следами секущих плоскостей. Полученные точки соединяем плавной кривой линией F_2G_2. Линия FG (F_2G_2, F_3G_3) и фронтально конкурирующая линия $F'G'$ ($F'_3G'_3$) являются линиями среза верхней половины внешнего конуса детали.

Параллель точки C (C_2C_3) основания внутреннего конуса пересекается плоскостями среза тоже в четырех точках, которые называют опорными. На рис. 2.17 отмечены только точки L (L_3), L' ($L'_3 \to L'_2$) и K ($K_3 \to K_2$) пересечения этой параллели. При этом точка L' принадлежит плоскости β' и ее фронтальная проекция видна на разрезе, а точка K принадлежит плоскости β и видна на видах. Это говорит о том, что на фронтальной проекции будут изображены две ветви гиперболы: одна на разрезе, а другая на виде, — но в силу их симметрии изображения сливаются в одну линию среза. Этим свойством удобно пользоваться при построении всей линии.

Другой опорной точкой являются вершины H ($H_1 \to H_2 \to H_3$) и H' ($H'_1 \to H'_2 \to H'_3$) гипербол. Для определения этой точки в данном примере удобно использовать горизонтальную проекцию поверхности, как показано на рис. 2.17. Если этого изображения нет, то нужно на виде слева построить параллель, вписанную в плоскость среза, и отметить точки H_3 и H'_3 ее касания, которые являются проекциями вершин

гипербол. Затем по линии связи строим фронтальную проекцию этой параллели и отмечаем проекцию H_2 (построения показаны на рис. 2.17 в плоскости ϕ (ϕ_2)).

Для построения случайных точек использованы посредники, которыми мы уже пользовались, а соответствующие параллели строим для внутреннего конуса. Полученные точки соединяем плавной кривой линией. Построения показаны на разрезе, а на виде точки кривой построены по закону симметрии.

ВЫВОД

Для решения позиционных задач на поверхностях нужно знать и уметь строить линии их каркаса, в частности параллели и меридианы поверхностей вращения.

Необходимость этого замечания наглядно подтверждается задачей построения проекций и натуральной величины фигуры сечения детали (рис. 2.17) плоскостью $A–A$, которое условно называют косым сечением (рис. 2.18).

Сечением называют фигуру, полученную мысленным рассечением предмета плоскостью.

Если сечение строят на изображении вида, то оно называется *наложенным* и его контуры обводят тонкой сплошной линией. Если сечение строят отдельным изображением, то его называют *вынесенным* и обводят основной линией. Материал в сечении обозначается так же, как и на разрезе.

В примере линия сечения принадлежит горизонтально проецирующей плоскости $A–A$ и ее горизонтальная проекция задана отрезком $1_1–3_1$. Сечение симметрично относительно плоскости горизонтального меридиана, и это удобно использовать при построении. Направление взгляда в данном случае несущественно.

На рис. 2.18 построение линии сечения внешнего конуса показано на половине вида, а построение внутренней линии — на половине разреза. Вторая половина линий построена по закону симметрии.

Полезно предварительно оценить ожидаемую линию сечения по положению секущей плоскости относительно поверхности и по свойству этой поверхности. Для оценки положения плоскости $A–A$ относительно внешнего конуса на горизонтальной проекции детали построена проекция λ_1 конуса, подобного внешнему. Для этого произвольный отрезок приняли за диаметр основания конуса и из его концов провели прямые линии параллельно образующим внешнего конуса. Здесь видно, что подобный, а следовательно и внешний конус рассечены по эллипсу. Внутренний конус и цилиндр тоже рассекаются по эллипсу (это видно на чертеже).

Горизонтально проецирующие плоскости среза с заданной плоскостью сечения пересекаются по горизонтально проецирующим прямым, обозначенным точками ($1–1'$) ($1_1 \to 1_2 \to 1_3–1'_1 \to 1'_2 \to 1'_3$) и точкой 3 ($3_1 \to 3_2 \to 3_3$), которые принадлежат линиям среза. Это опорные точки. Другие опорные точки лежат на вертикальной линии связи, проходящей через точку 2 ($2_1 \to 2_2 \to 2_3$), — это точки пересечения главных меридианов поверхностей с плоскостью $A–A$. Для линии, лежащей на поверхности, они являются границей видимости, то есть участок $1–2$ линии сечения на фронтальной проекции будет видимым, а на участке $2–3$ фронтальная проекция линии будет невидимой (при условии, что контур сечения рассматривается как линия на поверхности детали).

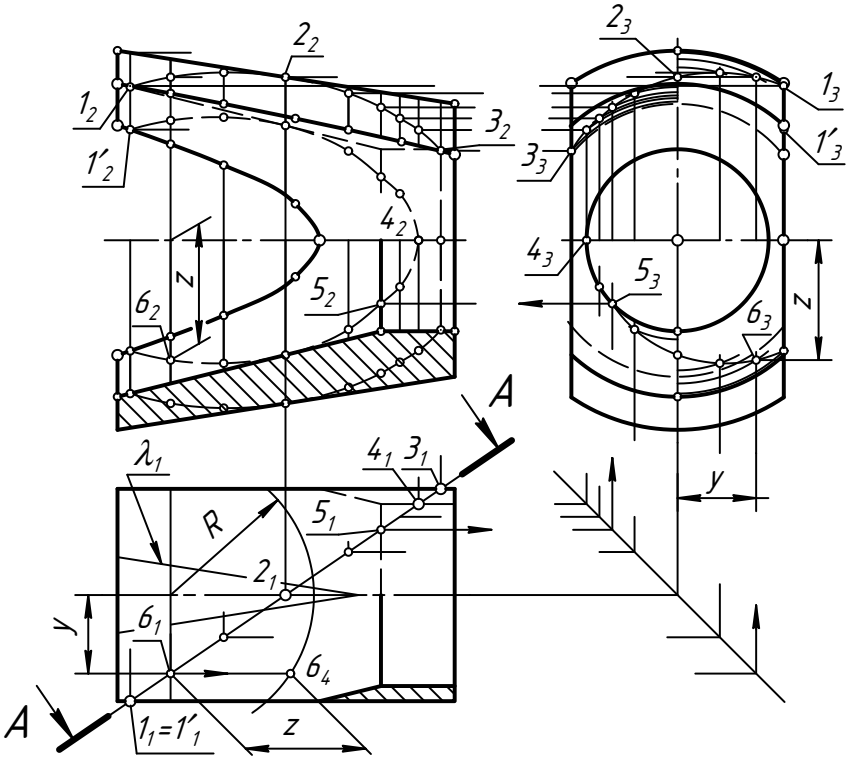


Рис. 2.18. Построение линии наложенного сечения детали

На параллели пересечения внутреннего конуса с цилиндром лежат точки 5 ($5_1 \rightarrow 5_3 \rightarrow 5_2$) пересечения их эллипсов сечения. Опорная точка 4 ($4_1 \rightarrow 4_2 \rightarrow 4_3$) является вершиной эллипса цилиндра.

Затем строим необходимое количество случайных точек линий сечения. Например, выбираем проекцию 6_1 точки 6. Через нее проводим плоскость, рассекающую деталь по параллелям, и строим профильные проекции этих параллелей. На рис. 2.18 вспомогательная плоскость не изображена и не обозначена, а на фронтальной и профильной проекциях показаны только необходимые части параллелей. По координате y отмечаем профильную проекцию 6_3 точки на соответствующей параллели, а по координате z строим ее фронтальную проекцию. Аналогично строим другие случайные точки.

Можно обойтись и без вида слева, если использовать преобразование чертежа. Например, плоскость параллели, проходящей через точку 6, принимаем за новую фронтальную плоскость проекций и строим новую фронтальную проекцию этой параллели (дуга радиуса R на виде сверху на рис. 2.18). Величину радиуса R параллели определяем по старой проекции. По линии связи отмечаем новую фронтальную проекцию 6_4 точки 6 и по координате z строим проекцию 6_2. Так можно построить все точки сечения и линии среза.

ВНИМАНИЕ!

Построенные линии сечения $A-A$ рассматриваются как вспомогательные, необходимые для построения вынесенного сечения. Поэтому на изображениях детали фигура сечения и материал изделия (штриховка) не обозначаются.

На рис. 2.19 показано построение и оформление вынесенного сечения преобразованием чертежа способом замены плоскостей проекций.

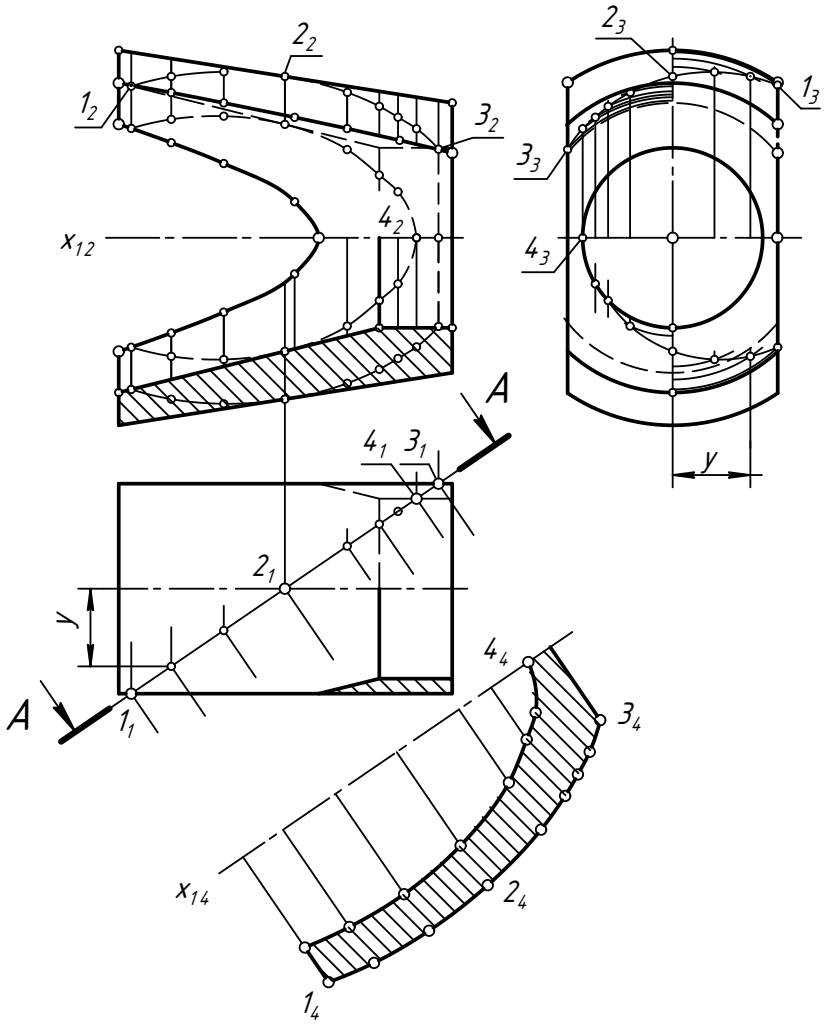


Рис. 2.19. Построение вынесенного сечения в проекционной связи

Для удобства построений старую ось x_{12} проекций совместили с осью вращения. Новую фронтальную плоскость $П_4$ проекций ставим параллельно плоскости $A-A$.

Фиксируем это изображением новой оси x_{14} проекций, которую чертим параллельно следу секущей плоскости $A–A$. Так как сечение симметричное, то при выбранном положении осей проекций ось x_{14} будет совпадать с осью симметрии сечения. Сечение строим в проекционной связи. В этом случае изображение вынесенного сечения не обозначают и буквы $A–A$ над ним не пишут.

По существующим стандартам допускается строить половину изображения, если оно симметрично и это понятно из чертежа. Этой возможностью мы воспользовались в данном случае. Построения показаны на чертеже.

На рис. 2.20 это же сечение построено с разрывом непосредственной проекционной связи. В этом случае ось x_{14} можно разместить на любом свободном месте поля чертежа, но желательно близко к месту непосредственного сечения и в соответствии с главным видом.

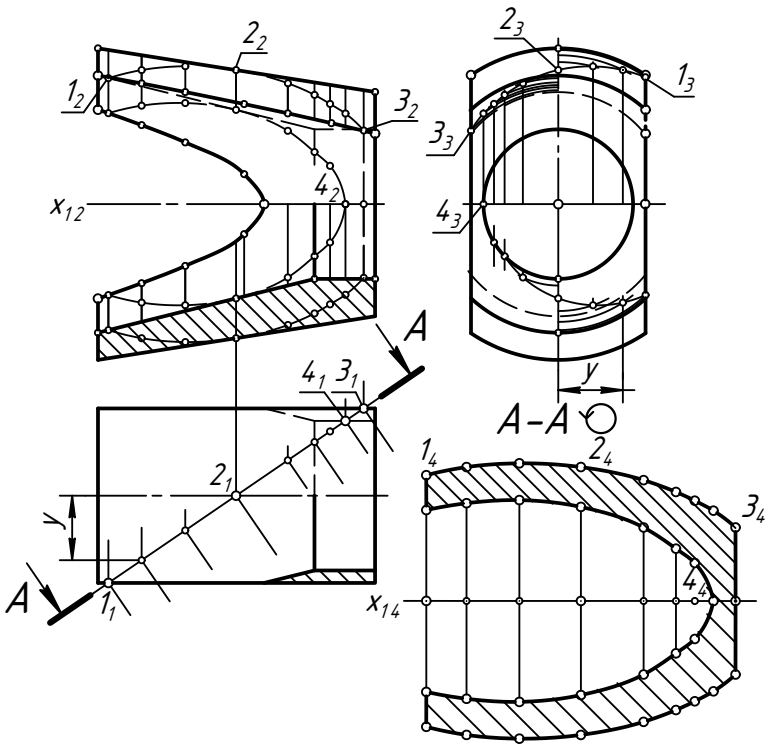


Рис. 2.20. Построение вынесенного сечения заменой плоскостей проекций

Если при этом сохраняется параллельность оси x_{14} и секущей плоскости, то над серединой вынесенного сечения пишется обозначение $A–A$ шрифтом, более крупным (в два раза больше), чем тот, которым написаны размерные числа. Сечение может быть повернуто до положения, соответствующего главному изображению, и тогда рядом с буквенным обозначением ставится знак «повернуто» — тонкая окружность со стрелкой по размеру шрифта, как показано на рис. 2.20.

На вынесенных сечениях материал обозначается так же, как на основных изображениях изделия, то есть штриховка одной детали должна быть одинаковой на всех ее изображениях.

На рис. 2.21 показано построение сечения детали фронтально проецирующей плоскостью. Принципиально работа отличается от предыдущего варианта только тем, что решение выполняется в обратной последовательности. Выделяем фронтальные проекции опорных точек (точки обозначены цифрами с *1* по *8*), последовательно строим их профильные, а потом горизонтальные проекции. На рисунке в деталях показано построение случайной (не обозначенной) точки внешнего конуса, лежащей между точками *3* и *4*.

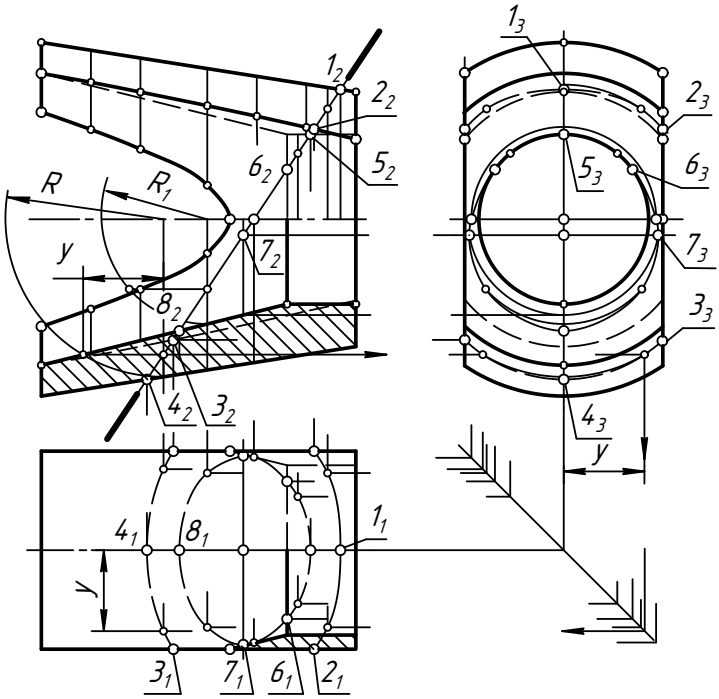


Рис. 2.21. Построение сечения, выполненного фронтально проецирующей плоскостью

При этом построение горизонтальной проекции показано с использованием постоянной комплексного чертежа и просто по координате *y* (на рис. 2.21 есть оба варианта). Через точки 7 проходит ось эллипсов сечения, поэтому они тоже относятся к числу опорных точек. Проекция 7_2 точки совпадает с проекцией центра эллипсов конических поверхностей.

Здесь так же, как на рис. 2.18, для построения горизонтальной проекции линии сечения можно воспользоваться преобразованием чертежа. В этом случае заменяем горизонтальную плоскость проекций. За новую горизонтальную плоскость принимаем плоскость выбранной параллели и новую проекцию этой параллели совмещаем с фронтальной плоскостью проекций.

Это построение показано для случайных точек, расположенных между точками 3 (3_2) и 4 (4_2), а также 7 (7_2) и 8 (8_2). Соответствующие этим точкам параллели указаны радиусами R и R_1 (построены только их дуги). Здесь же на линии связи отмечаем новые горизонтальные проекции выбранных точек и определяем их координату y, которую используем для построения старых горизонтальных проекций этих точек (на Π_1).

Когда секущая плоскость фронтально проецирующая, для построения вынесенного сечения удобно использовать преобразование чертежа способом плоскопараллельного перемещения (рис. 2.22).

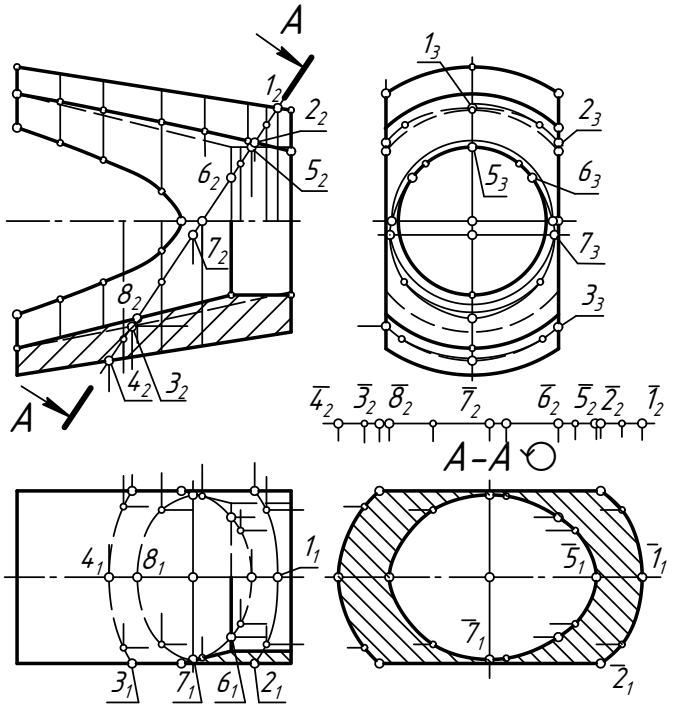


Рис. 2.22. Построение вынесенного сечения способом плоскопараллельного перемещения объекта

В примере плоскость сечения преобразована до положения горизонтального уровня и по линиям связи построена новая горизонтальная проекция фигуры сечения, которая соответствует ее натуральной величине. В принципе, здесь не нарушена проекционная связь, но по принятым стандартами правилам оформления производственных чертежей мы обязаны дополнить обозначение сечения знаком «повернуто». Это делается потому, что расположение сечения не соответствует направлению взгляда, то есть правило стандарта, при котором изображение сечения можно не обозначать, предусматривает только замену плоскостей проекций.

Разобравшись в приемах построений на примере дополнительной детали, вернемся к детали нашего задания, с которой мы расстались на рис. 2.15. Здесь более сложный комплекс поверхностей детали. Построим ее линии среза (рис. 2.23).

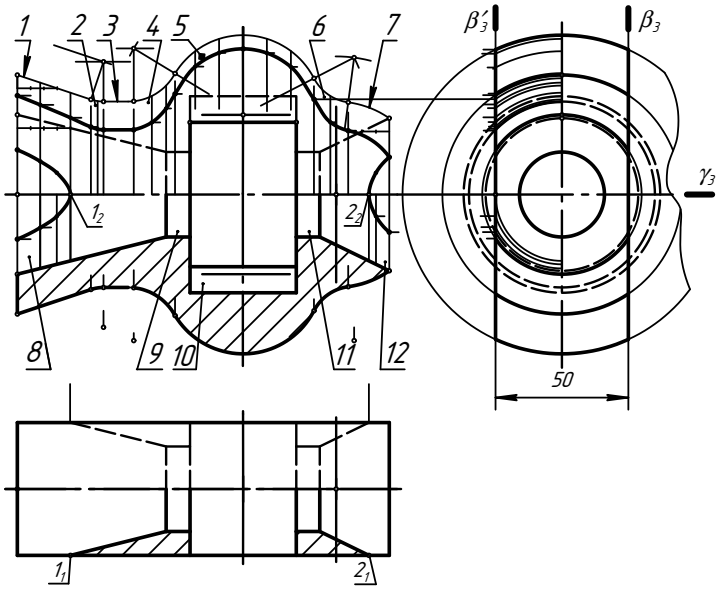


Рис. 2.23. Построение линий среза на детали задания

Построения рекомендуется выполнять по участкам поверхностей. Например, строим линию среза внешних поверхностей детали, начав с конуса *1*. Находим точки среза граничных параллелей конуса, то есть его основания и параллели касания с глобоидом *2*. Между ними выбираем еще несколько случайных сечений, но стараемся их положения выбрать так, чтобы их можно было использовать и для построения линий среза внутренних поверхностей. В примере назначены два сечения, причем одно из них совпадает с плоскостью параллели вершины гиперболы внутреннего конуса (точка *1*). Строим случайные точки в выбранных вспомогательных сечениях с помощью вида слева.

По этому же принципу работаем с поверхностями *2*, *3*, 4 и т. д. Выбранные сечения на рис. 2.23 отмечены тонкими линиями изображения соответствующих параллелей. Потом строим линии среза внутренних поверхностей и обводим изображения детали с линиями среза (рис. 2.24).

Построение линий среза по найденным точкам вначале следует делать от руки, то есть без инструмента, карандашом средней твердости. При этом важно следить, чтобы линия получалась плавной, обращая особое внимание на места плавного перехода от одной поверхности к другой.

ВНИМАНИЕ!

На этом этапе работу необходимо показать ведущему преподавателю, который оценит правильность выполнения и задаст плоскость дополнительного сечения.

Когда, по вашему мнению, линия получится вполне удовлетворительной, ее нужно обвести мягким карандашом с помощью лекала.

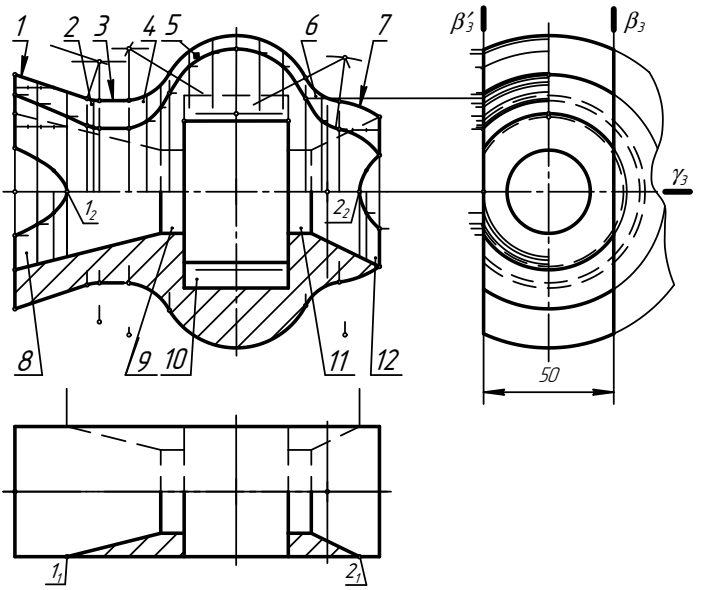


Рис. 2.24. Пример изображения детали с линиями среза

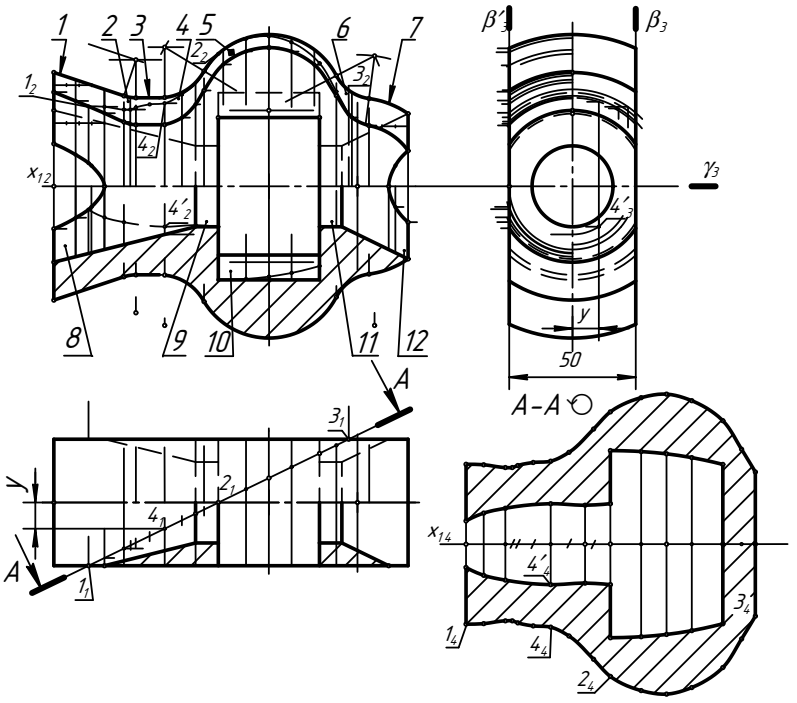


Рис. 2.25. Построение дополнительного сечения детали задания

При работе с компьютером по найденным точкам строим кривую Безье.

На следующем этапе строим проекции линий дополнительного сечения детали (рис. 2.25). Поскольку ожидаемая линия дополнительного сечения симметрична относительно плоскости горизонтального меридиана поверхностей, допускается строить только ее половину. Например, верхнюю половину фронтальной проекции линии построим на виде, а нижнюю — на разрезе.

Построения начинаем с выделения опорных точек. Максимально используем уже назначенные вспомогательные сечения, которые использовали при построении линий среза, и при необходимости вводим новые. На рис. 2.25 построения показаны, а более явно выделены обозначения опорных точек и построение точки 4.

Вынесенное сечение $A–A$ построено способом замены плоскостей проекций. Для ускорения процесса построения рекомендуется к линии $A–A$ сечения приложить кромку бумаги и аккуратно карандашом нанести на ней все намеченные точки отрезка $[1_1–3_1]$. Затем перенести с нее точки на ось x_{14}. Через отмеченные точки перпендикулярно к оси провести тонкие линии. На построенных линиях по соответствующей координате z отмечаем точки фигуры вынесенного сечения, а потом оформляем его.

При работе с компьютером надо поработать с кнопками Выделение объекта и Сдвиг.

2.3. Параметризация детали и нанесение ее размеров

Основанием для изготовления изделия служат его размеры, указанные на чертеже. В условиях задания определитель (линия) будущей детали задан размерами, которых достаточно для построения этой линии. А деталь организована поверхностями. Поэтому мы должны перейти от параметров линии к параметрам поверхностей. При этом каждый из размеров детали должен быть указан на чертеже один раз. Исключения случаются, но в таких случаях повторный размер отмечается особо. В данной работе исключительные случаи не рассматриваются.

Правила нанесения размеров устанавливаются ГОСТ 2.307–68. Изучение этого стандарта предусмотрено в курсе инженерной графики. Здесь по мере необходимости мы будем знакомиться с его элементами. Размерные числа указываются в миллиметрах и их размерность не обозначается. Углы указываются в градусах и минутах.

Прежде всего нужно понять основной принцип нанесения размеров изделия и научиться выделять те из них, которые необходимо показать на чертеже. Любой размер имеет начало отсчета (базу) и связан с определенной системой координат. Эта система координат не указывается явно, но она заложена в принципе выделения размеров, которые называют параметрами или геометрическими параметрами, когда их нужно отделить от других параметров, например физических. Мы работаем с прямоугольной системой координат, и все дальнейшие рассуждения будут опираться на нее.

Процесс выделения параметров, определяющих изделие, называют *процессом параметризации*. Число параметров должно быть наименьшим, но полностью и однозначно определяющим данное изделие.

На процесс параметризации могут влиять такие производственные факторы, как способ изготовления изделия, способ измерения, способ поэтапного и итогового контроля и др. В наших работах при выделении баз и параметров преобладающими будут геометрические факторы.

Все параметры можно разделить на две группы: *параметры формы* и *параметры положения*. Параметры формы являются определителем поверхности, то есть они выделяют данную поверхность из общего класса поверхностей, к которому она принадлежит. Эти параметры не зависят от положения поверхности в пространстве. Параметры положения определяют положение объекта в пространстве, взаимное расположение объектов и зависят от выбора баз (систем отсчета).

Систему правил выделения параметров и выбора баз называют *системой параметризации*. Начальное знакомство с этой системой произошло при выполнении первого графического задания. Вспомните: там базой служили оси проекций, а параметрами положения были координаты точек, определяющих заданные объекты (призму или пирамиду и секущую плоскость). Но не было параметров формы, и все задачи, вплоть до изготовления макета, мы решали с использованием геометрических отношений и свойства ортогонального проецирования. В этом процессе не были выделены явные параметры формы, необходимые для непосредственного производства изделия. Но мы пользовались ими, когда определяли длину отрезков — ребер. Мы получали только шаблон, выкройку для листового материала, из которого могли изготовить модель, соответствующую изображениям изделия на чертеже. Такой процесс производства тоже применяется в практике, например при изготовлении изделий из листового материала по шаблонам (нефтегазовая, авиационная, швейная промышленность и т. п.). Здесь на примере нашей детали продолжим изучение системы параметризации и начнем изучать правила нанесения размеров.

Деталь с указанными размерами показана на рис. 2.26. На основе их анализа рассмотрим процесс выделения размеров и правила их нанесения на чертеже.

При нанесении размеров не допускается:

- ❒ взаимное пересечение размерных линий;
- ❒ пересечение размерной и выносной линий (по возможности);
- ❒ пересечение выносных линий указания позиций между собой и с размерными линиями.

Основными базами детали служат оси вращения и плоскости ее торцов. Размеры наносят в порядке их увеличения, чтобы не было пересечения размерных и выносных линий. При выделении параметров обязательно учитывают геометрические отношения поверхностей (линий).

Указываем параметры формы внутренних цилиндров. Цилиндров диаметром 32 мм два. Можно отдельно указать диаметр каждого из них или сделать так, как на чертеже. При этом размер диаметра всегда указывают со знаком ∅ по размеру шрифта. Если второй выносной линии нет, размерная линия должна пересекать ось и заканчиваться стрелкой с одной стороны. Размерные и выносные линии чертят сплошной тонкой линией. Расстояние от размерной линии до изображения должно быть не менее 10 мм. Выносная линия должна выходить за размерную линию на

1...3 мм. Другой параметр формы — высота цилиндров — определяется геометрическим условием — пересечением с соосными конусами.

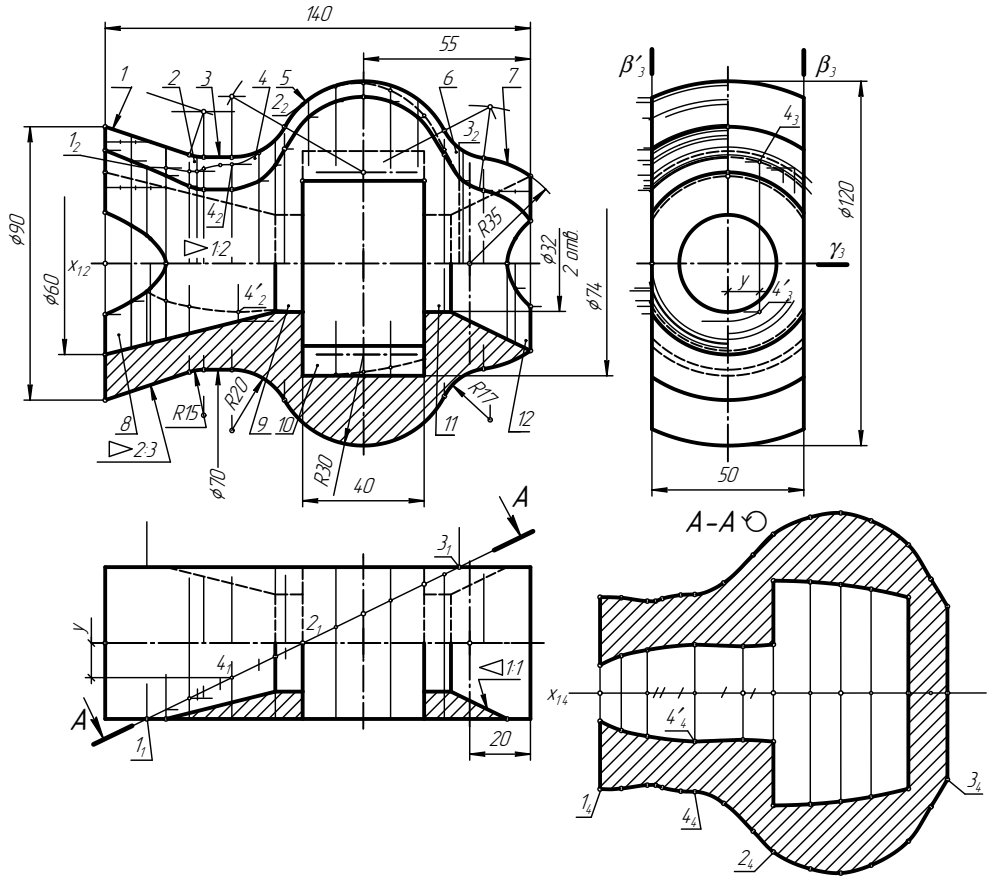


Рис. 2.26. Нанесение размеров детали

Диаметр большого внутреннего цилиндра (∅74) наносим также с односторонней стрелкой. Его положение задано параметром *55* положения плоскости (оси симметрии) экватора тора относительно основной базы. Эта ось является вспомогательной базой для цилиндра. Если цилиндр расположен симметрично относительно этой базы, то достаточно задать только его параметр *40* формы. В противном случае нужно дополнительно задать параметр положения одного из его оснований.

Параметры формы правого конуса определяются конусностью, которая указана на горизонтальном разрезе, и параллелями его пересечения со сферой и с цилиндром. А линии пересечения определяются не размерами, а алгоритмом их построения.

Левый внутренний конус определяется диаметром (*∅60*) основания и конусностью, значение которой нанесено на его оси. Аналогичными параметрами задана форма внешнего конуса, а его положение определяется геометрическими условиями.

Сопрягающие поверхности (глобоиды) заданы их параметром формы — радиусом, а положение определяется условием сопряжения.

В стесненных условиях допускается наносить диаметр, как показано для цилиндра *3*, — со стороны фронтального разреза.

Положение тора *5* задано параметром *55*, а форма определяется радиусом *R30* образующей окружности и диаметром экватора (его размер нанесен на виде слева).

Сфера *7* определяется радиусом *R35* и параметром *20* положения.

Основные базы связаны размером *140*, глубина изделия определяется параметром *50* положения плоскостей среза, а наибольшая высота — диаметром *120* экватора тора. Эти три размера называют габаритными, они важны и должны быть заданы на чертеже.

2.4. Построение аксонометрического чертежа детали и примерное содержание задания

Аксонометрический чертеж выполняется тогда, когда очень важна наглядность. И выбор вида аксонометрии зависит от того, на что мы хотим обратить внимание, каков объект.

Вначале рассмотрим построение изображения дополнительной детали, с которой легче разобраться, в прямоугольной изометрии (рис. 2.27). Напомним, что в этом виде аксонометрии:

- показатели искажения по осям равны $U = V = W = 1$;
- коэффициент приведения $m = 1{,}22$;
- большая ось эллипса $2a = 1{,}22d$;
- малая ось эллипса $2b = 0{,}71d$.

Выбираем место размещения изображения на поле чертежа (рис. 2.27 не может служить примером расположения изображений. Здесь место очень ограничено, а мы стремились показать связь комплексного чертежа и аксонометрии).

Строим аксонометрические оси, эллипсы оснований, линии очерка поверхностей и касательные к соответствующим эллипсам. При построении эллипсов удобно использовать масштабный треугольник. На фронтальной проекции он построен на основании конуса. В плоскости параллели основания построили катет O_2M произвольной длины, а на нем — катеты длиной $0{,}71[O_2M]$ и $1{,}22[O_2M]$. Гипотенузы этих треугольников служат масштабной шкалой. Например, при построении аксонометрической проекции окружности радиусом R мы на этом отрезке строим второй катет, а по нему замеряем $0{,}71R$ малой полуоси и $1{,}22R$ большой полуоси. Там же показано определение размеров полуосей для параллелей с координатой x_2 и для внутренней параллели точки *3* (3_2). А на примере параллели точки *1* (1_2) радиуса R_1 показано, что необязательно полностью строить горизонтальный катет, достаточно сделать соответствующие засечки, позволяющие снять размеры полуосей. Так можно работать с любой окружностью. Построив необходимые эллипсы и очерки поверх-

ностей, по размеру $2y$ строим линии пересечения основания детали плоскостями среза и точки пересечения оси y с этими линиями (точка O' и симметричная ей).

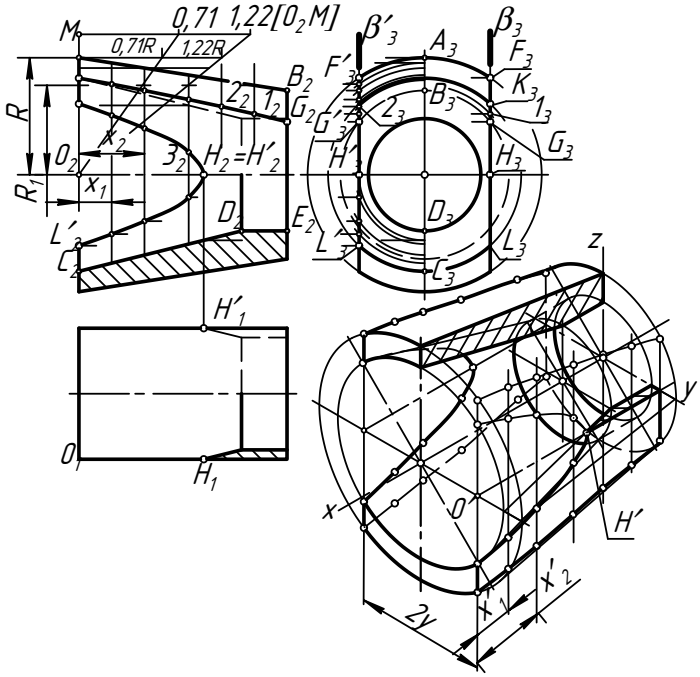


Рис. 2.27. Построение прямоугольной изометрии дополнительной детали

Через эти точки параллельно оси x' проводим оси симметрии линий среза (линия $O'H'$ и симметричная ей). Строим опорные точки. Потом от точки O' по координате $x'_1 = x_1$, $x'_2 = x_2$ и т. д. отмечаем положения и строим вертикальные линии вспомогательных сечений. Это можно сделать так: наложить кромку бумаги на фронтальную проекцию этой линии, отметить на ней положения вспомогательных сечений и перенести отметки на аксонометрическую проекцию. Через отмеченные точки надо провести тонкие вертикальные линии, на которых по координате z, замеренной на фронтальной проекции, построить соответствующие точки линии среза. На параллельной плоскости среза точки строим по условию симметрии линий относительно вертикальной плоскости $x'O'z'$. Точки линий среза соединяем плавной кривой, делаем вырез одной четверти детали, как показано на чертеже, штрихуем и обводим изображение.

После того как построена аксонометрия поверхностей вращения, можно приступить к построению аксонометрического чертежа детали задания. Для удобства объяснений мы на рис. 2.28 повторили два изображения детали задания в соответствии с рис. 2.24, где построены ее основные изображения.

Выберем для изображения прямоугольную диметрию, потому что в этом виде аксонометрии линия среза будет изображаться с меньшим искажением, если плоскость

среза параллельна координатной плоскости $x'O'z'$. Ось вращения детали совместим с осью z'. Выбранные оси натуральной системы координат показаны на эпюре. Показатели искажения приведенной диметрической проекции:

- по осям x' и z' $U = W = 1$;
- по оси y' $V = 0{,}5$.

Коэффициент приведения $m = 1{,}06$, оси эллипсов для плоскости $x'O'y'$: $2a = 1{,}06d$, $2b = 0{,}35d$.

Рекомендуется предварительно начертить масштабный треугольник на эпюре (более удобный вариант) или на аксонометрических осях, как показано на рис. 2.28 (еще лучше — отдельно на листе миллиметровки). На фронтальной проекции эпюра треугольник построен на отрезке, равном радиусу наибольшей параллели (экватора тора), и сразу отмечены концы отрезков, отражающих результат умножения радиуса экватора на соответствующий коэффициент. Масштабный треугольник избавляет нас от необходимости иметь дело с числами, запоминать их и переводить в отрезок. Это удобно, облегчает и ускоряет работу. На рисунке также засечками показан перевод радиуса случайной параллели в соответствующие умножению на коэффициент отрезки.

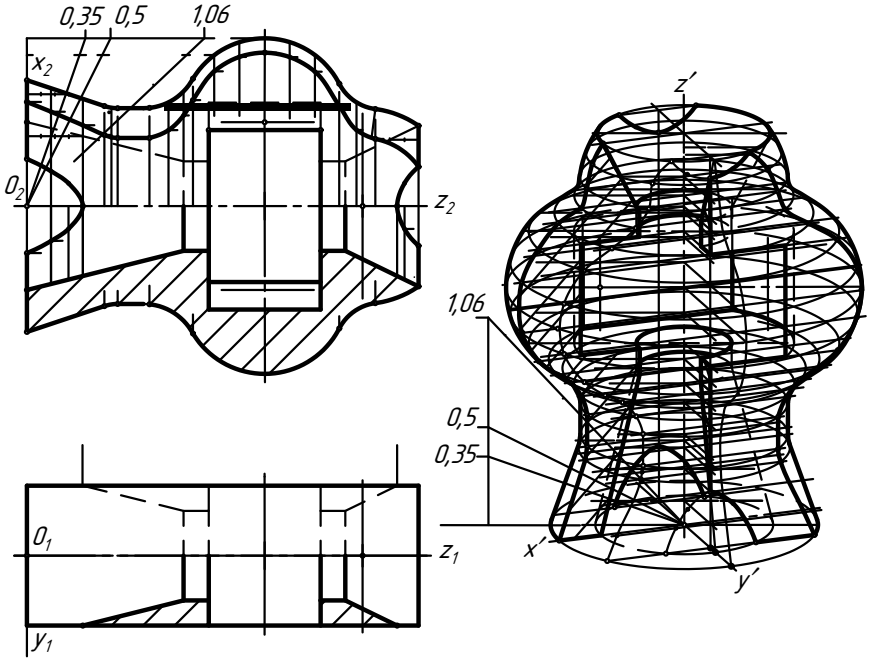


Рис. 2.28. Построение изображения детали задания в прямоугольной диметрии

Строим изображение способом параллелей. Рекомендуется использовать те же параллели детали, с помощью которых строились линии среза. Для построения эллипсов достаточно использовать известные восемь точек. Вначале строим очерки

поверхностей с учетом их видимости. Затем строим ось симметрии в плоскости линий среза и на ней отмечаем положения используемых параллелей. Через отмеченные точки проводим хорды соответствующих параллелей и выделяем точки их пересечения со своими эллипсами. Это и будут точки линий среза. Соединяем их плавной кривой линией. Линии симметричной плоскости среза удобно строить по координате y, равной расстоянию между плоскостями среза. По точкам пересечения осей x' и y' с эллипсами, лежащими в их плоскости, строим разрезы плоскостями $x'O'z'$ и $y'O'z'$ и графически обозначаем материал (штрихуем).

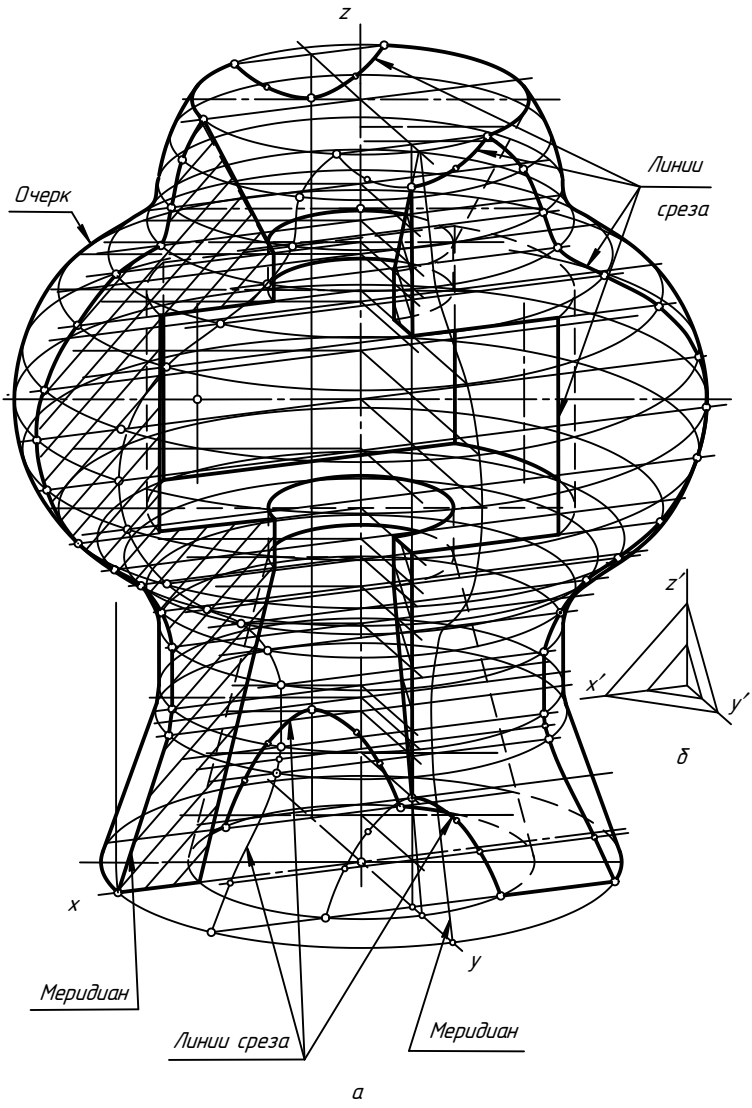


Рис. 2.29. Аксонометрический чертеж детали задания

На рис. 2.29, *а*, это же аксонометрическое изображение показано в большем масштабе для того, чтобы подробнее показать построения. Работа несложная, но трудоемкая, и, чтобы все получилось, нужно выполнять ее внимательно и аккуратно. Здесь большую роль играет качество линий: они должны быть тонкими и четкими (контрастными). Важна также продуманная последовательность работы. Выделяемые точки не следует затушевывать, их область должна быть указана четкой тонкой линией.

На рис. 2.29, *б*, указано направление штриховки по координатным плоскостям. По осям x' и z' откладываем одинаковые отрезки произвольной длины и соединяем их концы. Штриховка в плоскости $x'O'z'$ должна быть параллельна этой линии.

По оси y' откладываем 0,5 предыдущего отрезка и конец нового отрезка соединяем с концом отрезка, уже построенного на оси z'. Эта линия показывает направление штриховки в плоскостях, параллельных плоскости $y'O'z'$.

Линия, соединяющая концы отрезков, построенных на осях x' и y', показывает направление штриховки в плоскостях, параллельных плоскости $x'O'y'$.

Название линий в графической работе писать не нужно. Число вспомогательных параллелей надо назначать наименьшее, но достаточное для построения очерка и линий среза детали.

На рис. 2.30 показана аксонометрия детали без вспомогательных параллелей построения (они удалены).

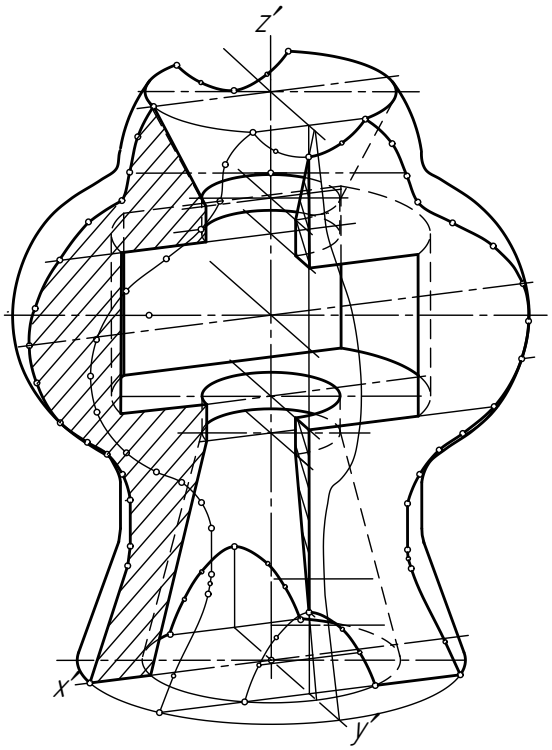


Рис. 2.30. Аксонометрический чертеж детали

Изображение выделено для того, чтобы более наглядно представить форму детали, ее меридиан и построенные линии среза. Сравнение этого изображения с изображениями комплексного чертежа детали (например, на рис. 2.28) хорошо демонстрирует преимущества аксонометрических проекций в наглядности.

Процесс построения аксонометрии детали довольно трудоемок. Поэтому в задании может быть указан сокращенный объем аксонометрического чертежа, то есть построение определенной части детали. Например, на рис. 2.31, *а*, показана аксонометрия только ее внутренних поверхностей.

А на рис. 2.31, *б*, показан другой прием ускорения работы, тоже использующий свойство сохранения пропорциональности в проекциях. Он заключается в следующем. Пусть построен эллипс, который является проекцией окружности радиусом R с центром в точке O. По оси x показатель искажения равен 1, поэтому здесь отложили отрезок, отражающий длину R. Построим прямые линии $(R-a)$, $(R-b)$, $(R-y)$, то есть прямые линии, соединяющие концы соответствующих отрезков полуосей.

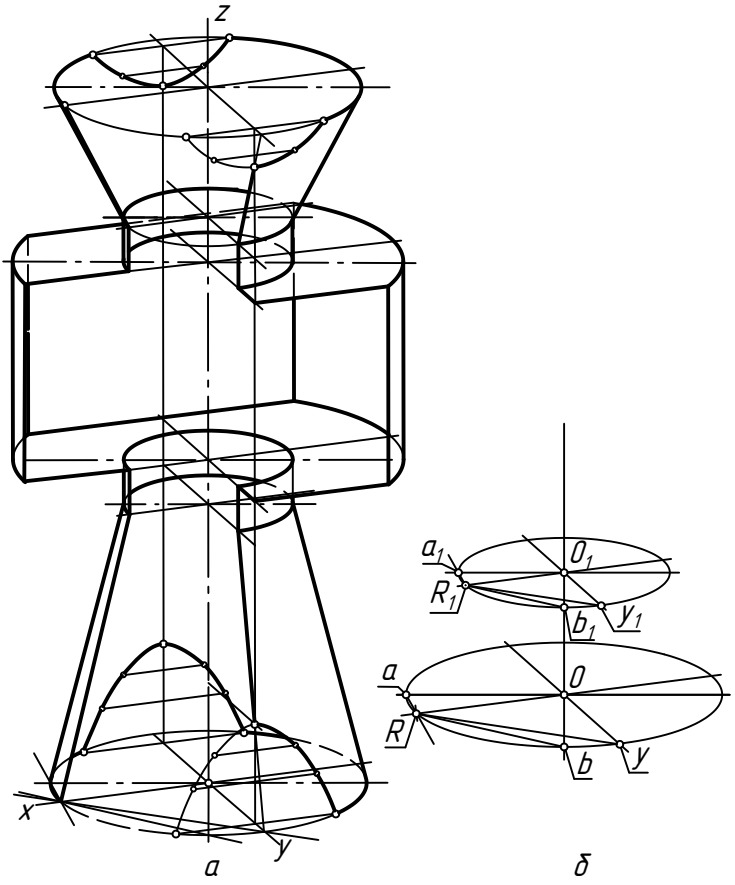


Рис. 2.31. Другой вариант построения аксонометрии задания

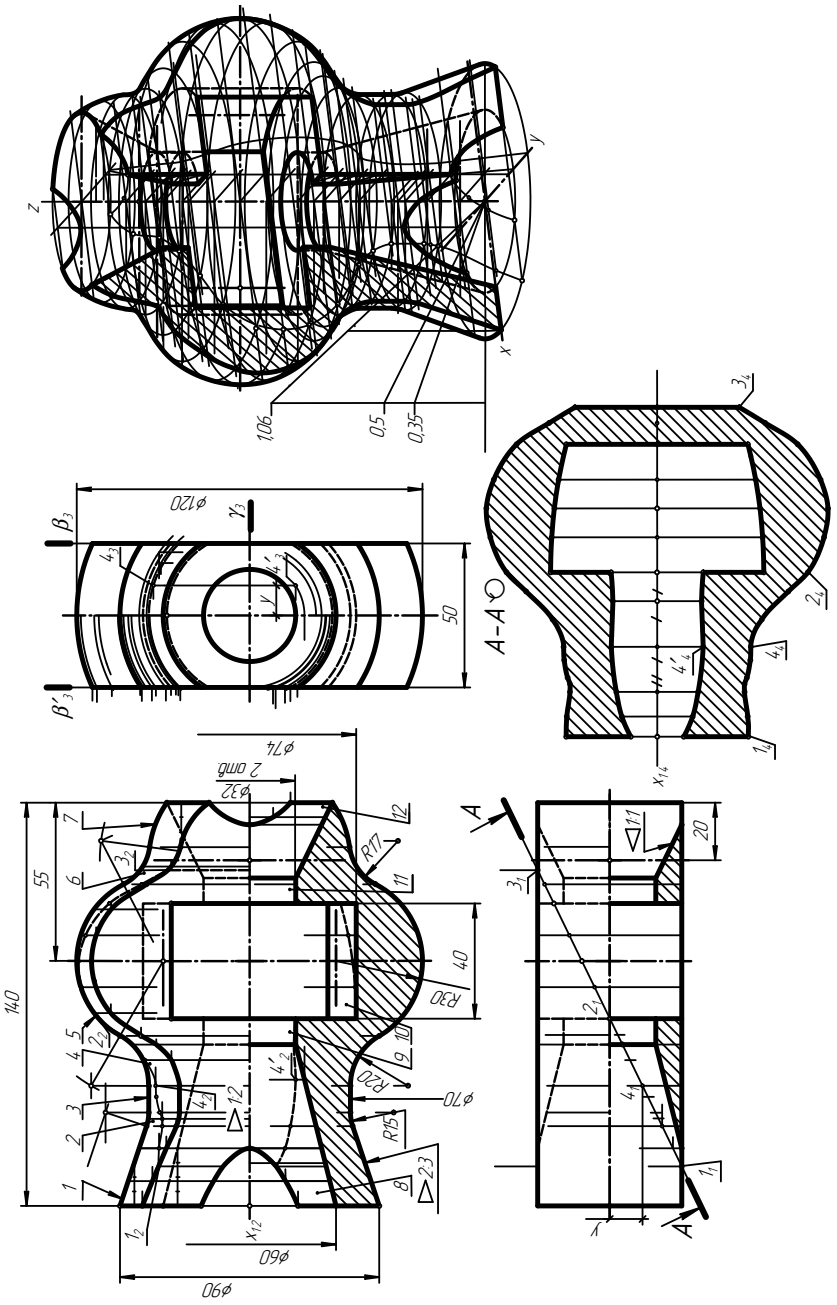


Рис. 2.32. Примерное содержание и размещение изображений задания

Для другого эллипса с центром в точке O_1 строим оси, по оси x откладываем отрезок, отражающий длину радиуса R_1 окружности, проекцию которой мы хотим строить,

и из конца этого отрезка проводим прямые линии $(R_1–a_1) \parallel (R–a)$, $(R_1–b_1) \parallel (R–b)$, $(R_1–y_1) \parallel (R–y)$, пересечение которых с соответствующими осями определяет нужные концы a_1, b_1, y_1 полуосей. Очевидно, нет необходимости чертить линии типа $(R_1–a_1)$ — достаточно делать только засечки на соответствующих полуосях. Затем циркулем достраиваем вторые половины полуосей и по этим точкам строим эллипс. То же проделываем с каждым последующим эллипсом. Такой прием тоже значительно упрощает работу.

На рис. 2.32 показано примерное содержание и размещение изображений задания, а в приложении Б даны координаты плоскостей среза и варианты определителя.

При подготовке к защите задания студенту рекомендуется проверить, способен ли он ответить на вопросы или выполнить задание, которые приведены далее.

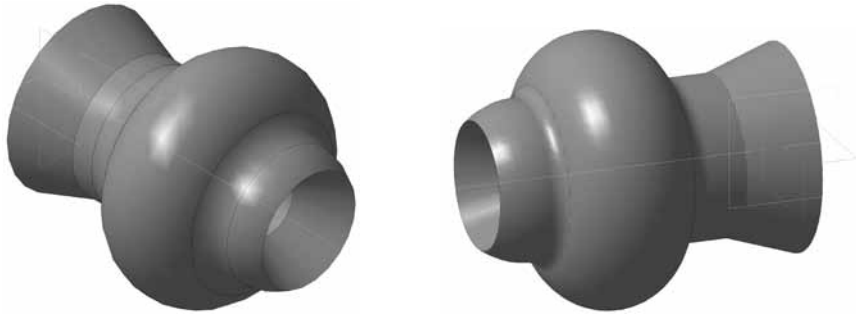
2.5. Отдельные замечания по работе с компьютером в системе 3D

При изучении материала данной главы вы убедились, что решение поставленных задач в ручном режиме, даже при использовании компьютерной графики, довольно трудоемко. Однако мы надеемся, что при этом решена главная задача: вы познакомились со способами решения подобных задач методами начертательной геометрии, получили определенные навыки подобных решений и развили пространственное воображение так, что при необходимости сможете использовать этот опыт как в ходе учебы, так и на производстве, в том числе работая с компьютером.

Некоторые особенности графической системы «КОМПАС-3D» изложены в пояснениям к рис. 1.15–1.18. Основная специализация системы — разработка производственных задач. Ее совершенствование продолжается. На данном этапе полезно научиться использовать машинную графику в учебном процессе для того, чтобы более глубоко понять ее связь с начертательной геометрией, изучить возможности при решении различных задач.

Создадим на мониторе компьютера деталь в соответствии с заданным определителем (см. рис. 2.1) в системе 3D.

1. Создаем документ.
2. Выбираем инструмент Вид→Ориентация→Изометрия XYZ.
3. В дереве построений выделяем плоскость *XZ*, создаем эскиз, в нем строим определитель, выходим из эскиза.
4. В режиме редактирования включаем вспомогательную геометрию, строим ось, проходящую через две вершины (вершинами служат концы отрезка $x = 140$ мм — длина детали), нажимаем Stop.
5. Редактирование→операция «вращение»→создать. На экране будет построено изображение детали, показанное на рис. 2.33, *а*. Это основное изображение.
6. Если вы хотите создать изображение детали в диметрии, то с помощью инструмента Вид задайте ориентацию Диметрия. Будет построено изображение детали, показанное на рис. 2.33, *б*. Сравните их. Программа позволяет поворачивать, перемещать и фиксировать изображение детали в различных положениях.



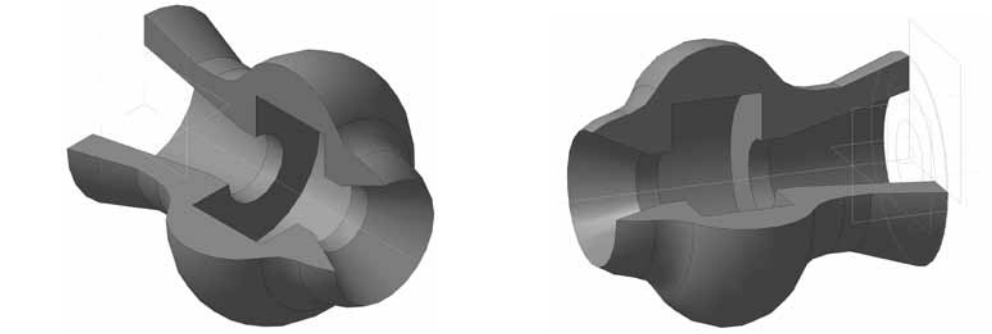
а *б*

Рис. 2.33. Компьютерное изображение детали

На экране монитора можно увидеть каркас этих моделей. Для демонстрации внутренних поверхностей детали легко построить модель с вырезом одной четверти (рис. 2.34). Для этого:

1) на экране нужно повернуть деталь так, чтобы увидеть плоскость ее основания, и выделить эту плоскость, а затем перейти в режим эскиза;
2) в эскизе на осях основания построить прямоугольник, имитирующий нужный вырез, и вернуться в режим редактирования;
3) в режиме редактирования выбрать Операция→Выдавливание→Через все. Машина построит изображение, показанное на рис. 2.34, *а*.

Если выбрать ориентацию Диметрия, то изображение будет перестроено в диметрию с вырезом (рис. 2.34, *б*). То есть для перестройки вида изображения не нужно делать дополнительных операций, кроме задания нужной ориентации.

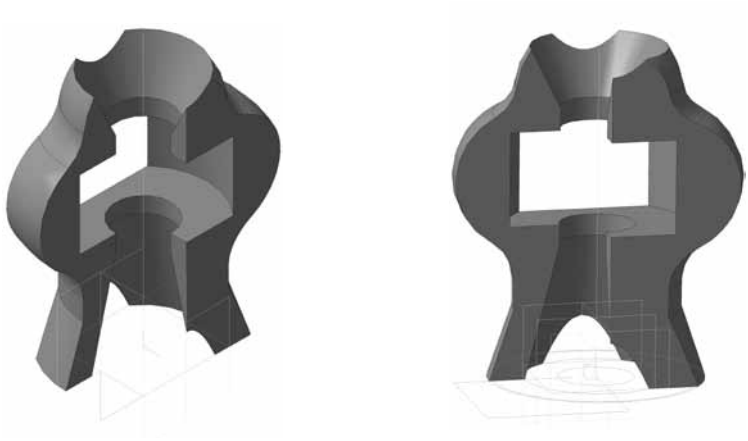


а *б*

Рис. 2.34. Изображения детали с вырезом одной четверти

На таком изображении хорошо просматриваются очертания и вид внешних и внутренних поверхностей, образующих форму детали (сравните с рис. 2.29, 2.30, 2.32). Там мы строили вручную, а здесь машина выполняет аналогичные операции с большой скоростью.

На рис. 2.35 эти же детали показаны в вертикальном положении с выполненными срезами. В диметрической проекции линия среза искажена меньше, потому что ее плоскость повернута к наблюдателю под небольшим углом.



а *б*

Рис. 2.35. Изображения детали со срезами и вырезом при вертикальном положении оси вращения

Конечно, быстро такие вариации можно делать только с помощью машины. На рис. 2.36 построены три основных вида детали по ассоциативной связи с изображением рис. 2.35.

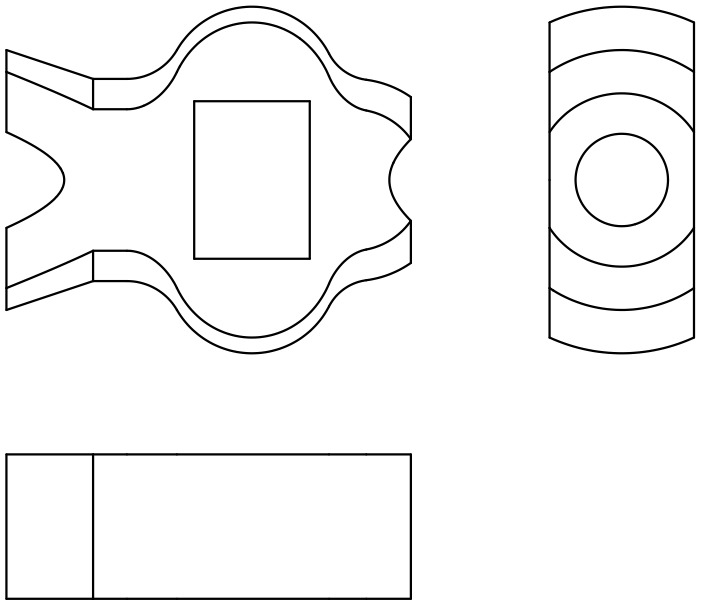


Рис. 2.36. Комплексный чертеж детали, построенный по ассоциативной связи

Программа предусматривает, что по изображению в 3D можно построить чертеж в 2D и на этом чертеже выполнять определенные операции в автоматизированном режиме, то есть между этими изображениями сохраняется математическая связь. Компьютерная программа построит чертеж именно в таком изображении, как показано на рис. 2.36, то есть без осей и других атрибутов.

Рисунок 2.36 представляет собой фрагмент чертежа, а машина поддерживает ассоциативную связь только с документом «Чертеж». Чтобы перейти от чертежа к фрагменту, достаточно предварительно выделить на чертеже отдельный вид, скопировать его и сохранить в новом файле.

В дальнейшем работать с этими изображениями можно только в ручном режиме. Например, на рис. 2.37 показано построение осей и выполнение разреза. Здесь связь с системой 3D потеряна.

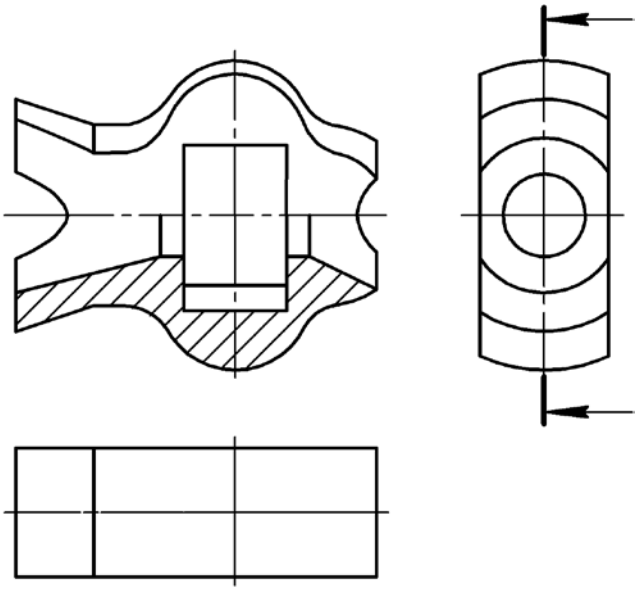


Рис. 2.37. Элементы чертежа, выполненные в ручном режиме

Вопросы и задания

1. Что называют сопряжением?
2. Какие сопряжения использованы на вашем чертеже?
3. Какие поверхности называют поверхностями вращения?
4. Приведите примеры названий алгебраических поверхностей вращения и покажите их определитель.
5. Дайте определение следующих линий: параллель, меридиан, главный меридиан, экватор, горло. Покажите их на своем чертеже.

6. Что называют каркасом поверхности?
7. Какие линии образуют каркас поверхности вращения?
8. Назовите признак принадлежности точки заданной поверхности и поясните его применение на примере конуса.
9. Запишите и поясните порядок построения точек пересечения линии с поверхностью.
10. Запишите и поясните порядок построения линии пересечения поверхности с плоскостью.
11. В чем отличие линии среза от сечения?
12. Какие сечения называют наложенными и вынесенными и как их оформляют?
13. Что называют видом?
14. Какие виды называют основными?
15. Что называют разрезом?
16. Когда разрез называют фронтальным (горизонтальным, профильным)?
17. Постройте сечение элементарной поверхности, заданной преподавателем.
18. Поясните порядок построения очерка поверхности вращения в аксонометрии.
19. Поясните принцип построения разреза и штриховки в аксонометрии.
20. Поясните порядок построения линии среза в аксонометрии.
21. Поясните порядок построения сечения в аксонометрии.
22. Постройте аксонометрический чертеж поверхности с линией сечения, заданной преподавателем.
23. Что такое уклон и конусность? Каковы правила их указания на чертеже?

Глава 3

Построение изображений детали с линиями пересечения поверхностей

При изучении задач построения на чертеже проекций линий пересечения двух поверхностей используются обобщенные примеры, удобные для объяснения конкретного способа построения линии. Однако производственные условия разнообразны, состав поверхностей, организующих форму изделия, и их относительное расположение многоплановы. Поэтому необходимым условием успешного конструирования и качественного изготовления изделий является знание форм поверхностей и умение создавать новые составные части и анализировать по составу и взаимному расположению поверхностей уже готовые.

Основной задачей ГЗ 3 является закрепление знаний и развитие умений выбирать способы и строить линии пересечения поверхностей на изображениях деталей, читать и строить их изображения — виды и разрезы. Особенность задания заключается в том, что поставленные задачи решаются на конкретных изделиях (деталях). Это обстоятельство придает задачам пересечения поверхностей практическую направленность, создает ситуацию конструирования и служит связующим переходным звеном от теории изображений (начертательной геометрии) к практическому конструированию — инженерной графике.

Поэтому основными целями задания являются:

- развитие умений и навыка чтения формы изделия по изображениям, анализа формы по составу поверхностей и их взаимному расположению;
- закрепление знаний и навыка построения и оформления основных видов, простых разрезов и их совместных изображений;
- закрепление знаний и развитие умений и навыка выбирать способ построения и строить линии пересечения поверхностей;
- изучение правил и углубление навыка параметризации детали средней сложности и нанесения ее размеров на чертеже;
- закрепление навыка разработки и оформления чертежа изделия (детали).

По окончании изучения темы студент должен знать:

- понятия и принцип образования основных видов, простых разрезов и правила выполнения их совместных изображений;
- способы построения линий пересечения поверхностей и условия их применения;

- ❒ понятие определителя поверхности и правила параметризации детали и нанесения ее размеров на чертеже;
- ❒ правила оформления конструкторского документа — чертеж детали.

В результате изучения теории, выполнения и защиты ГЗ 3 студент должен уметь:

- ❒ читать чертеж детали по двум видам;
- ❒ анализировать деталь по составу поверхностей, организующих ее внешнюю и внутреннюю форму;
- ❒ строить третий вид и разрезы на чертеже детали;
- ❒ выбирать способ построения и строить линии пересечения поверхностей;
- ❒ выбирать системы отсчета (базы), выделять необходимые параметры формы и положения поверхностей данной детали и наносить их на чертеже.

3.1. Исходные данные и содержание задания

Исходными данными для всех вариантов задания являются размеры детали и две проекции: фронтальная (вид спереди) и горизонтальная (вид сверху). Внутренние контуры формы детали показаны штриховыми линиями. На изображениях нанесены размеры с необходимыми обозначениями, которые дополняют информацию изображений. Но виды заданной детали построены не полностью. В той части видов, где в соответствии с конструкцией детали должны быть линии пересечения поверхностей или линии среза, изображения не достроены и отдельные части линий очерка поверхности не завершены или показаны условно тонкими линиями (чтобы только обозначить форму поверхности). Варианты заданий даны в приложении В.

Описание содержания задания одновременно является рекомендуемым поэтапным планом его выполнения:

1. Перечертить заданные виды детали своего варианта на черновой формат. Можно использовать тетрадный лист и выполнять работу в форме эскиза (от руки в глазомерном масштабе). Но лучше вычертить заданные изображения по размерам в натуральную величину, так как это будет полезно для процесса планировки формата и поможет более детально разобраться в конструкции изделия.
2. На тетрадном листе вычертить форму и заполнить таблицу параметризации (можно это сделать от руки, без тщательного оформления).
3. Равномерно разместить на формате чертежа и вычертить три основных вида детали в натуральном масштабе с недостроенными элементами пересечения поверхностей.
4. Выбрать и выполнить необходимые разрезы детали. При этом рекомендуется использовать совмещение вида с разрезом.
5. Построить линии среза и пересечения поверхностей, организующих внутреннюю и внешнюю форму детали.

6. Построить и заполнить таблицу параметризации, составленную на этапе 2 (шрифт размера 5 и 3,5).
7. Нанести необходимые размеры, используя все изображения детали, в соответствии с таблицей параметризации.
8. Обвести изображения и оформить работу.

РЕКОМЕНДАЦИЯ

Линии построения сохранить.

Формат листа А2, расположение альбомное. Для размерных чисел использовать шрифт типа Б размера 5.

3.2. Методические указания по выполнению задания

Конкретное содержание задания устанавливается преподавателем в соответствии с рабочей программой и календарным планом специальности. Например, предложенное здесь содержание задания можно сократить, исключив этап 6, или увеличить, например построением косого сечения или аксонометрического чертежа.

Содержанием задания предусматривается самостоятельная работа студента с учебной литературой как по курсу начертательной геометрии, так и по курсу инженерной графики в объеме понятий и правил построения трех основных видов и простых разрезов и оформления чертежа детали. Список рекомендуемой литературы приведен в конце пособия. Можно пользоваться и другой литературой по теме задания.

Особенности выполнения задания и методические рекомендации по отдельным этапам работы рассмотрим на конкретном примере.

3.2.1. Анализ, параметризация и построение видов и разрезов детали

Пример исходных данных задания, которое нужно выполнить, показан на рис. 3.1. Представим, что эти изображения детали перечерчены из приложения В. Там было все, что здесь показано, кроме позиций (крупные числа), которые нанесены в результате анализа конструкции после выполнения этого чертежа.

Эти виды можно выполнить на черновике эскизно, но лучше их начертить по указанным размерам, потому что это поможет разобраться в назначении каждого размера и в форме поверхности, к которой он относится. Следует не просто повторять линии изображений по подобию, а анализировать, какой поверхности та или иная линия принадлежит, какова пространственная форма этой поверхности, как называется поверхность и какими линиями можно организовать ее каркас.

Анализ чертежа и детали по составу поверхностей следует начать с наиболее крупных геометрических элементов (поверхностей) или с основания. Пример анализа

мы начнем с основания *1* как с фундамента, на котором создавалась вся конструкция (см. рис. 3.1). Для удобства рассуждений договоримся называть геометрический элемент, входящий в состав детали, непроизводной фигурой (НФ).

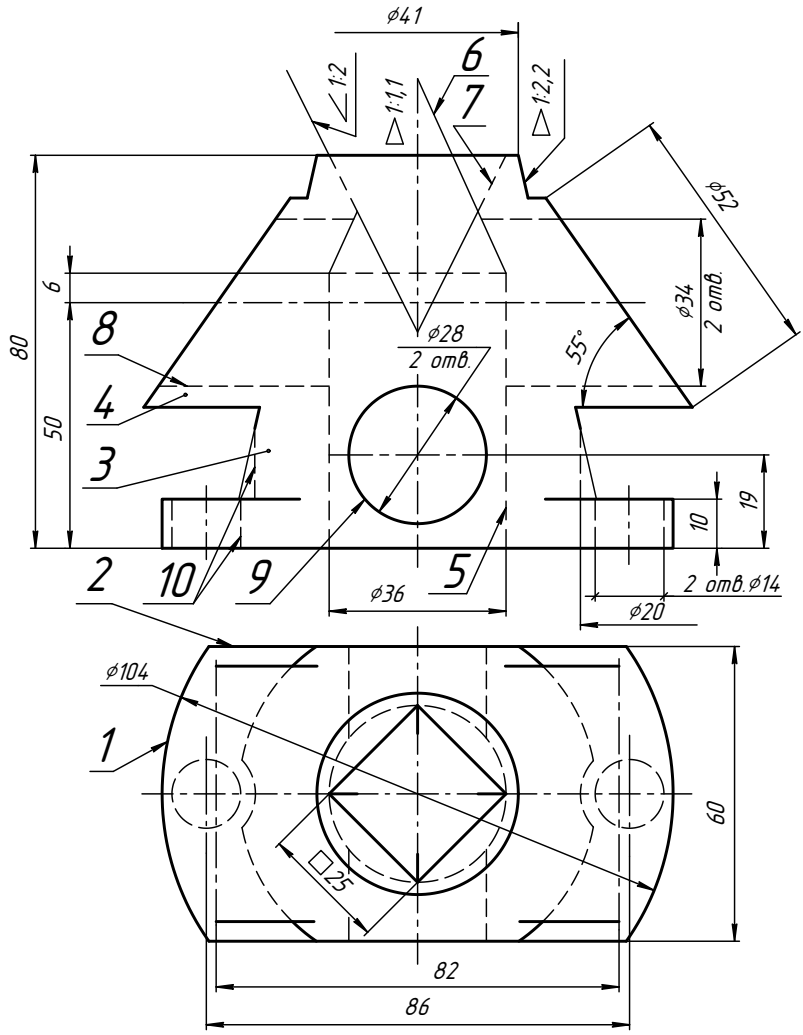


Рис. 3.1. Вариант задания примера

Непроизводной называют фигуру, которая в данном рассуждении принята неделимой. Это может быть точка, линия или совокупность линий, плоскость, поверхность или определенная совокупность поверхностей и плоскостей.

Основание рассматриваемой детали ограничено поверхностью цилиндра, заданного параметрами формы (диаметром 104 и высотой 10 мм), который симметрично срезан плоскостями *2* фронтального уровня. Чтобы оценить ситуацию, создадим

таблицу параметризации (табл. 3.1) и будем проставлять позиции НФ на рис. 3.1 и заполнять графы таблицы по ходу анализа.

Таблица 3.1. Пример параметризации детали

Позиция НФ	Наименование поверхности (НФ)	Параметры формы НФ	Параметры положения НФ	Геометрические отношения НФ
1	Цилиндр	∅104 z 10	—	Пересечение с НФ 2 и склеивание с НФ 3
2	Плоскость	—	y 60	Пересечение с НФ 1 и 3
3	Конус	∅41 Конусность 1:2,2	z 80	Соосность и склеивание с НФ 1, пересечение с НФ 4, 2 и 10
4	Цилиндроид	∅52 ∠55° x 82	z 50	Пересечение с НФ 3, соосность с НФ 8
5	Цилиндр (отверстие)	∅36 z 56	—	Соосность с НФ 3 и 6, пересечение с НФ 6
6	Конус (отверстие)	∅36 Конусность 1:1,1	—	Соосность и склеивание с НФ 5, пересечение с НФ 7
7	Пирамида четырехгранная (отверстие)	□ 25 ∠1:2	z 80	Соосность и пересечение с НФ 6
8	Цилиндр (отверстие)	∅34	—	Соосность с НФ 4, пересечение с НФ 5 и 6
9	Цилиндр (отверстие)	∅28	z 19	Пересечение с НФ 5
10	Цилиндры (отверстие и выемка)	∅14 ∅20	x 86	Соосность, пересечение с НФ 3

Посмотрите запись в 1-й и 2-й строках таблицы и найдите эти элементы на рис. 3.1. Важно оценить геометрические отношения НФ. За основную базу (систему координат) приняли вертикальную ось симметрии (ось *z*) и нижнюю плоскость основания детали. Основание *1* детали имеет форму цилиндра, радиус которого 52 мм, а высота 10 мм. Цилиндр симметрично срезан плоскостями *2* фронтального уровня, положение которых определяется наглядностью чертежа и параметром положения — глубиной 60 мм, которая указывается по правилам нанесения размеров.

На плоскость верхнего основания цилиндра поставлен конус *3* так, что их оси вращения и плоскости оснований совпадают. При этом никаких новых линий не возникает. Для удобства такое отношение поверхностей называют склеиванием. Форма конуса *3* задана диаметром верхнего основания и конусностью, а положение определяется условием соосности с цилиндром *1* и положением $z = 80$ мм верхнего основания.

Так можно описать конструкцию всей детали, но это будет длинно и неэффективно. Все, что здесь изложено, в сжатой форме отражено в таблице параметризации, а на практике выражается в устной форме. По таблице можно проследить за достаточ-

ностью размеров на чертеже, так как каждый размер в ней должен быть указан только один раз, но при этом мы должны иметь возможность построить на чертеже заданную поверхность в заданном месте (это критерий достаточности размеров). Если какой-либо параметр показан повторно, то его значение подчеркивают.

Анализ графы «Геометрические отношения НФ» помогает увидеть и выбрать способы дополнительных геометрических построений, связанных с пересечением поверхностей. После детального изучения детали достраиваем ее виды, продумываем и выполняем разрезы (рис. 3.2).

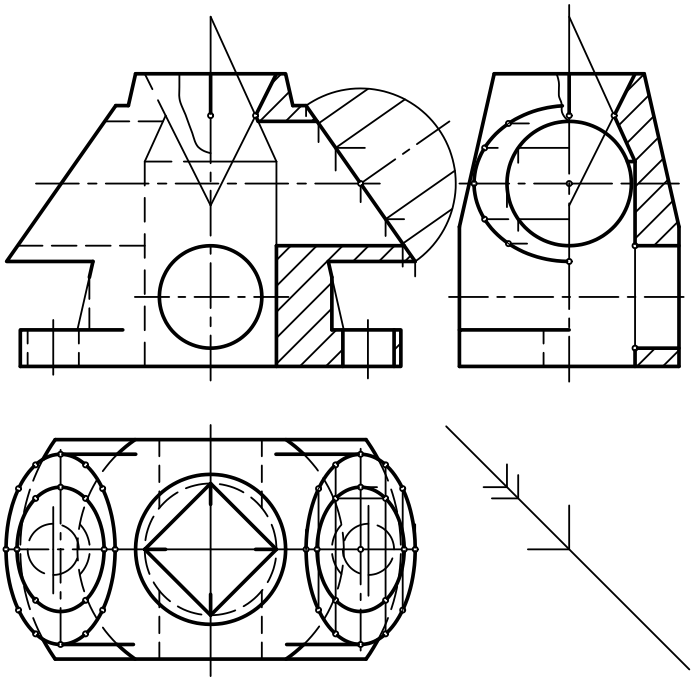


Рис. 3.2. Построение видов и разрезов детали примера

Основаниями (направляющими) цилиндроида 4 являются две окружности диаметром 52 мм, фронтальная проекция которых выродилась в прямую линию, а горизонтальная и профильная проекции будут эллипсами. Для их построения можно воспользоваться преобразованием чертежа заменой плоскостей проекций. Совместим новую горизонтальную плоскость с плоскостью окружности. Тогда ее новая горизонтальная проекция будет изображена в натуральную величину. На фронтальной проекции чертежа показана ее половина. Хорды этой окружности равны хордам эллипсов (координатам *y*), стягивающим соответствующие точки.

Так по хордам и линиям связи строим горизонтальную и профильную проекции этих окружностей. Отверстие в цилиндроиде 4 образовано прямым круговым цилиндром *8* диаметром 34 мм. Плоскость основания цилиндроида 4 рассекает этот цилиндр по эллипсу. Данный цилиндр по положению является профильно-проецирующим,

и его профильная проекция будет окружностью, которую используем для построения горизонтальной проекции сечения (по двум проекциям точки строим третью).

Для изображения внутреннего строения детали используем фронтальный и профильный разрезы плоскостями, совпадающими с ее плоскостями симметрии. Если секущая плоскость совпадает с плоскостью симметрии изделия, то при выполнении разреза она не изображается и разрез не обозначается, если он размещен на месте основного вида.

Используя симметрию изображений, совместим часть вида с частью разреза так, чтобы в основном их соединительной линией служила ось симметрии. Однако в области пирамиды совпали изображения оси и ребра (см. рис. 3.2), а так как ребро изображается толстой линией, которая не может служить соединительной линией вида и разреза, в качестве соединительной линии используется тонкая волнистая линия, выполняемая от руки. Ее нужно провести так, чтобы она не совпадала с любой толстой или осевой линией, а видимость ребра в разрезе сохранилась.

Металл в разрезе заштриховываем под углом 45° к рамке чертежа с шагом 2–4 мм одинаково на всех изображениях детали.

3.2.2. Построение линий пересечения поверхностей

Способ плоскостей. Рассмотрим построение линий среза цилиндра *1* и конуса *3* плоскостями *2* и линий пересечения цилиндров *10* с конусом *3* (см. табл. 3.1 и рис. 3.1 и 3.2). Выделим часть детали с этими поверхностями (рис. 3.3), чтобы лучше видеть характер пересечения поверхностей и элементы построения этих линий.

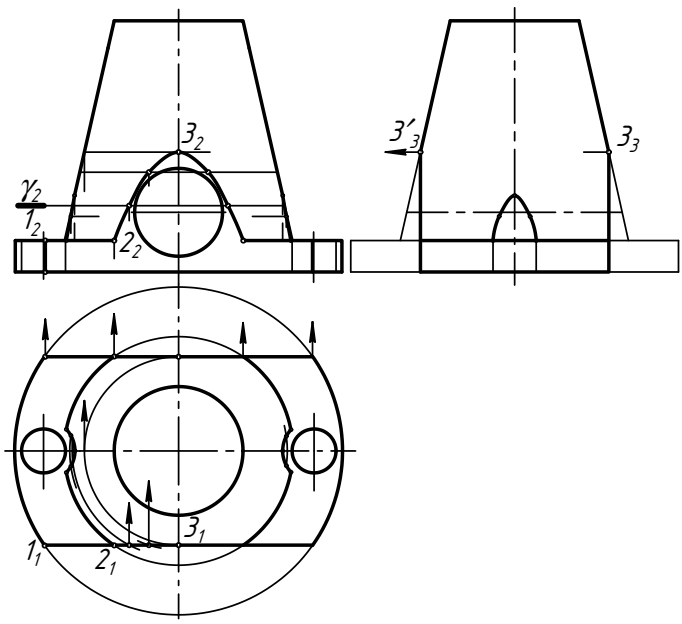


Рис. 3.3. Построение внешних линий пересечения поверхностей способом плоскостей

Плоскости *2* среза параллельны общей плоскости симметрии детали и пересекают цилиндр *1* по прямым образующим линиям (типа $1 \rightarrow 1_1 \rightarrow 1_2$), а конус *2* — по гиперболе с точками типа *2* ($2_1 \rightarrow 2_2$) на основании.

Проекции вершины гиперболы легко построить по ее профильной проекции 3_3 или по горизонтальной проекции точки *3* ($3_1 \rightarrow 3_2$), которая принадлежит параллели конуса, касательной к плоскостям среза. Это опорные точки. Для построения случайных точек построим между опорными точками несколько случайных параллелей конуса и отметим точки их пересечения с плоскостями среза. Иногда удобно заказать нужные точки, то есть вначале указать их на вырожденной (горизонтальной или профильной) проекции плоскости, а затем по условию принадлежности найти их другую (фронтальную) проекцию. Построения показаны на чертеже.

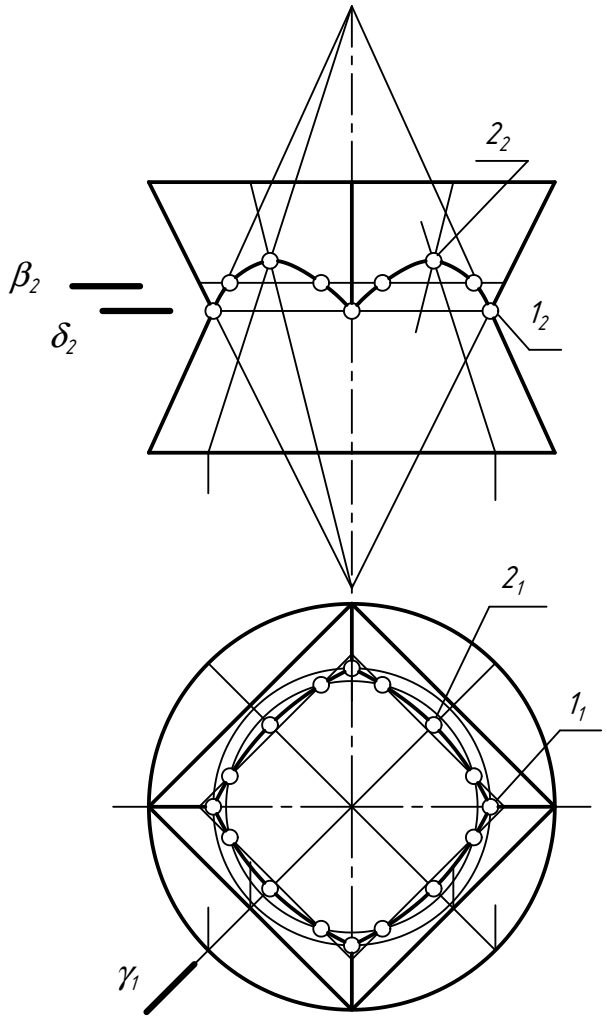


Рис. 3.4. Построение линий пересечения конуса и пирамиды

В основании выполнены два цилиндра *10*. Цилиндр ∅14 мм образует отверстие (антитело, пустоту). Здесь линии пересечения не появляются. А цилиндр ∅20 мм образует выемку (тоже антитело) в конусе *3*, поэтому их поверхности пересекаются. По положению этот цилиндр проецирующий, и задача решается по аналогии с предыдущей задачей.

Можно построить параллель плоскости γ (γ_2) и точки пересечения ее горизонтальной проекции с проекцией цилиндра выемки, а затем по линиям связи построить фронтальные и по линии связи и координате *y* профильные проекции этих точек. Можно заказать точки линии пересечения на горизонтальной проекции и построить их другие проекции так же, как на линии среза, с помощью параллелей по принадлежности конусу.

Далее рассмотрим построение линии пересечения конуса *6* и пирамиды *7* (см. рис. 3.1), образующих часть центрального отверстия детали. Их изображения показаны отдельно на рис. 3.4.

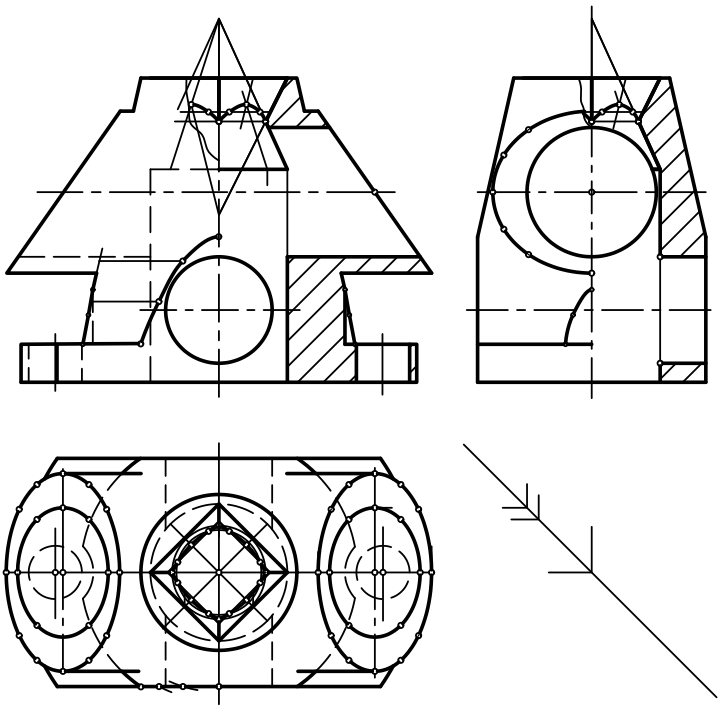


Рис. 3.5. Чертеж детали с линиями пересечения ее поверхностей, построенными способом вспомогательных секущих плоскостей

Вначале отмечаем опорные точки пересечения боковых ребер пирамиды с конусом, которые находятся на одной параллели с точкой *1* ($1_2 \rightarrow 1_1$). Далее проводим плоскости типа γ (γ_1), проходящие через вершины пирамиды и конуса, перпендикулярно ребрам основания пирамиды (строим их горизонтальные следы). Они пересекут конус по прямым образующим, а боковые грани пирамиды — по прямым линиям,

которые являются линиями ската, то есть на них будут самые высокие точки линий пересечения граней с конусом. Это тоже опорные точки. Выделяем их в пересечении (2_2) фронтальных проекций построенных линий и по линиям связи строим другие проекции (2_1). Случайные точки (они показаны, но не обозначены) построим с помощью вспомогательной плоскости β (β_2), которая пересекает конус по параллели, а пирамиду — по фигуре, подобной основанию. На пересечении горизонтальных проекций этих линий отмечаем проекции случайных точек линии пересечения и из условия принадлежности строим их другие проекции.

Полученные точки на каждой грани соединяем плавными кривыми линиями. Эти линии пересекаются между собой на ребрах. Положение этих линий симметрично относительно плоскостей симметрии детали, поэтому на фронтальной и профильной проекциях мы видим только две ветви линий. Изображаем фронтальные и профильные проекции этих линий только в пределах выполненных разрезов (рис. 3.5).

Способ концентрических сфер. Продолжаем рассматривать внутреннюю поверхность детали (см. рис. 3.1 и 3.2). Цилиндры *5* и *9* являются горизонтально и фронтально проецирующими соответственно, и их проекции вырождаются в окружности. Внутренние поверхности обоих цилиндров мы сможем увидеть на профильном разрезе.

Выделим фрагмент (рис. 3.6) полного профильного разреза детали, изображенной на рис. 3.2, с цилиндрами *5* и *9*, чтобы показать его крупным планом. Здесь наблюдаем случай, когда пересекаются поверхности вращения и их пересекающиеся оси принадлежат профильной плоскости уровня. При этих условиях для построения линии пересечения поверхностей в качестве посредников можно применить вспомогательные сферы, центром которых является точка пересечения осей вращения цилиндров.

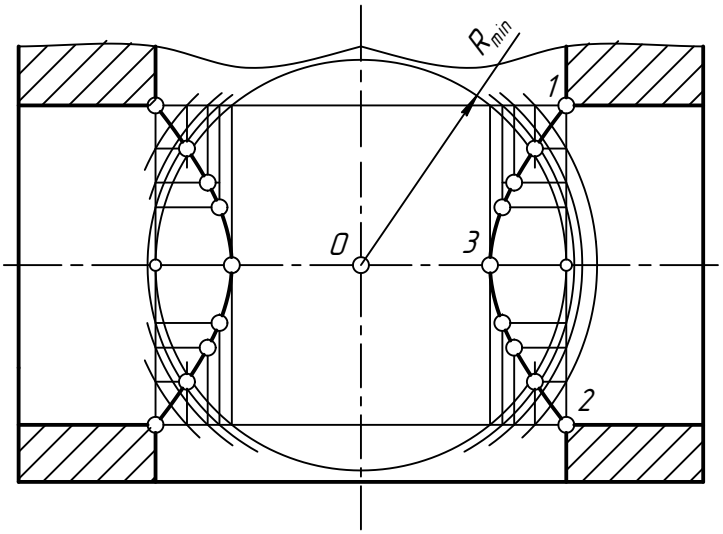


Рис. 3.6. Фрагмент профильного разреза детали с построением линий пересечения цилиндров

Отмечаем на рис. 3.6 опорные точки *1* и *2* и точку *0* пересечения осей вращения — центр вспомогательных сфер. Строим вспомогательную сферу минимального радиуса R_{min}, которая вписана в вертикальный цилиндр и пересекает горизонтальный цилиндр. Линии пересечения цилиндров симметричны относительно фронтальной плоскости уровня (вертикальной оси вращения).

Отмечаем точки *3* (обозначена только одна) пересечения параллелей касания вспомогательной сферы с вертикальным и пересечения с горизонтальным цилиндрами. Это тоже опорные точки линии пересечения, самые близкие (с координатой y_{min}) к фронтальной плоскости симметрии детали. Затем строим проекции (окружности) ряда случайных сфер, радиус которых задаем по своему усмотрению. Строим проекции параллелей пересечения случайных сфер с цилиндрами и выделяем точки их пересечения, которые принадлежат линии пересечения поверхностей. Полученные точки соединяем плавной кривой линией. На рис. 3.7 показан чертеж детали с построенной линией пересечения рассмотренных цилиндров.

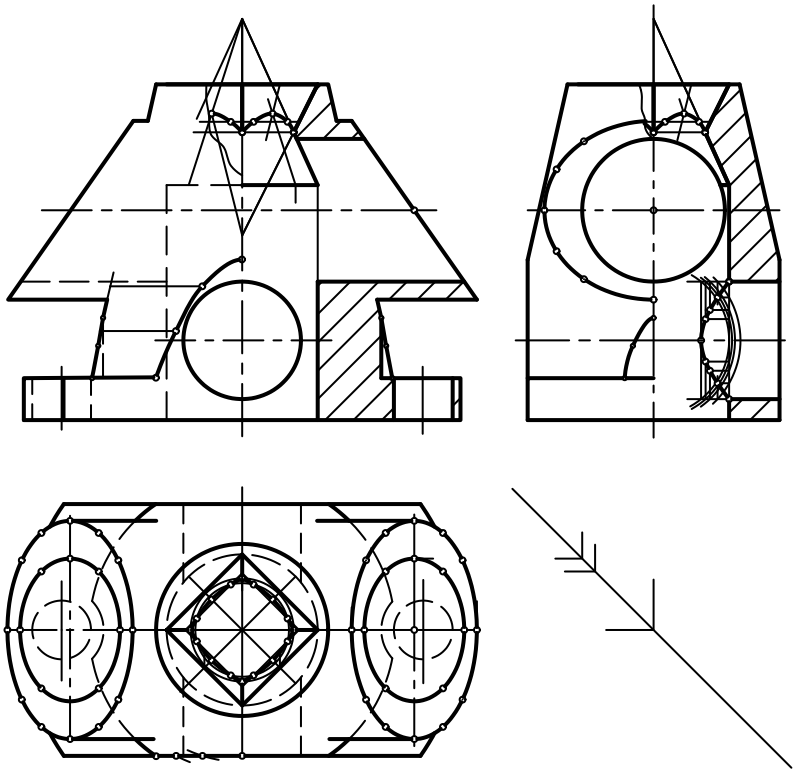


Рис. 3.7. Чертеж детали с линией пересечения внутренних цилиндров

Теперь переходим к построению линий пересечения внутреннего вертикального цилиндра *5* и конуса *6* с горизонтальным цилиндром *8* (см. рис. 3.1 и табл. 3.1). Увеличенный фрагмент этого места детали показан на рис. 3.8.

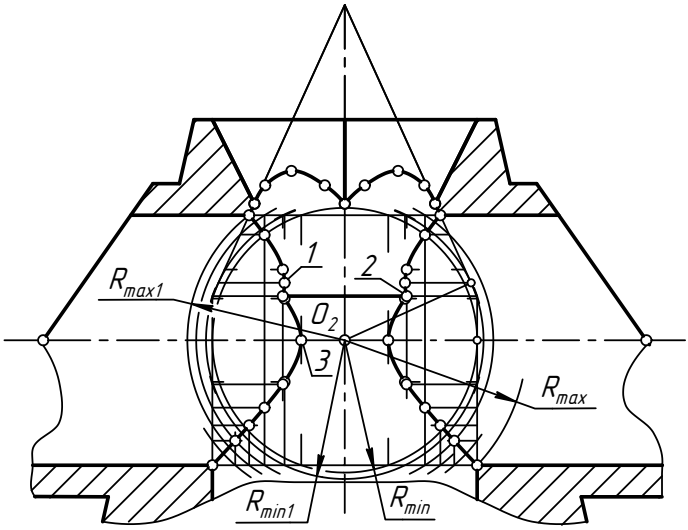


Рис. 3.8. Фрагмент верхней части детали с линиями пересечения внутренних поверхностей

Цилиндр *5* и конус *6* имеют общую ось вращения (соосные поверхности) и пересекаются по параллели (склеиваются основаниями). Их ось пересекается с осью вращения цилиндра *8*. Оси принадлежат фронтальной плоскости уровня. Следовательно, здесь также удобно для построения линий пересечения поверхностей использовать способ концентрических сфер.

Отмечаем опорные точки пересечения очерков поверхностей и точку O_2 — центр концентрических сфер. Из центра O_2 проводим перпендикуляр к образующей конуса и отмечаем его основание. Длина этого отрезка равна радиусу R_{min1} сферы (окружности) с центром в точке O_2, вписанной в коническую поверхность. Строим проекцию этой сферы (окружности радиусом R_{min1}), проекцию параллели ее касания с конусом и отмечаем точки *1* пересечения параллели касания с параллелями пересечения горизонтального цилиндра и сферы. Эти точки тоже относятся к числу опорных.

На рис. 3.8 проекции вспомогательных сфер и параллелей их пересечения с поверхностями построены не полностью, а только в той части, которая необходима для того, чтобы показать и понять процесс построения изображений. И обозначения отдельных точек даны без индексов и в наименьшем количестве, чтобы не загромождать общее поле построений.

Построенная сфера (радиусом R_{min1}) пересекает вертикальный цилиндр *5* по двум параллелям. Отмечаем точки их пересечения с построенными параллелями цилиндра *8* (параллели показаны, но не обозначены).

Строим проекцию сферы радиусом R_{min}, вписанной в цилиндр *5*, чертим параллель касания и параллели пересечения этой сферы с цилиндром *8*. На пересечениях построенных проекций параллелей выделяем точки *3* линии пересечения. Это тоже опорные точки.

К числу опорных относятся и точки, принадлежащие параллели пересечения цилиндра *5* и конуса *6* (их общему основанию). Поэтому строим проекцию сферы (окружность) так, чтобы она пересекла поверхности *5* и *6* по этой параллели. При этом сфера будет пересекаться с поверхностями и по другим параллелям. Их тоже строим. На пересечениях параллелей выделяем точки линий пересечения поверхностей. Среди построенных точек точки типа *2* являются опорными, а другие случайными.

Далее строим нужное количество случайных точек линии пересечения поверхностей. Для этого строим вспомогательные сферы, постепенно увеличивая их радиус до R_{max1} для линии пересечения конуса *6* и цилиндра *8* и до R_{max} для линии пересечения цилиндров *5* и *8*. Построенные точки соединяем плавной кривой линией до точек *2*, в которых происходит пересечение линий, лежащих на конусе *6* и цилиндре *5*.

На рис. 3.9 изображена деталь с построенными линиями пересечения ее внутренних поверхностей. В местах пересечений не нанесены обозначения, которые использовались при построении этих линий, и линии построения показаны не все.

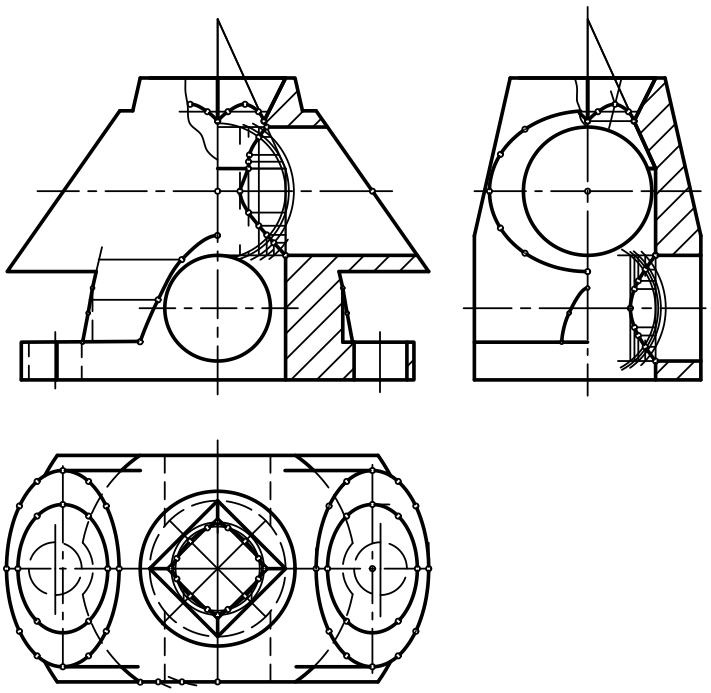


Рис. 3.9. Изображения детали с построенными линиями пересечения ее внутренних поверхностей

Способ эксцентрических сфер. Следующим шагом является построение линии пересечения внешних поверхностей *3* и *4* (см. рис. 3.1 и 3.2). Поверхность *3* — коническая, поверхность вращения. Поверхность *4* линейчатая, но она имеет круговые сечения, плоскости которых параллельны ее основаниям.

Пересекающиеся поверхности имеют общую плоскость симметрии, параллельную фронтальной плоскости проекций. При выполнении этих условий для построения линии пересечения заданных поверхностей можно применить способ эксцентрических сфер.

Выделим левую часть указанных поверхностей (рис. 3.10), чтобы показать построения крупным планом и отдельно от других построений. При необходимости восстановить теоретические основы способа эксцентрических сфер рекомендуем учебники [1]–[9].

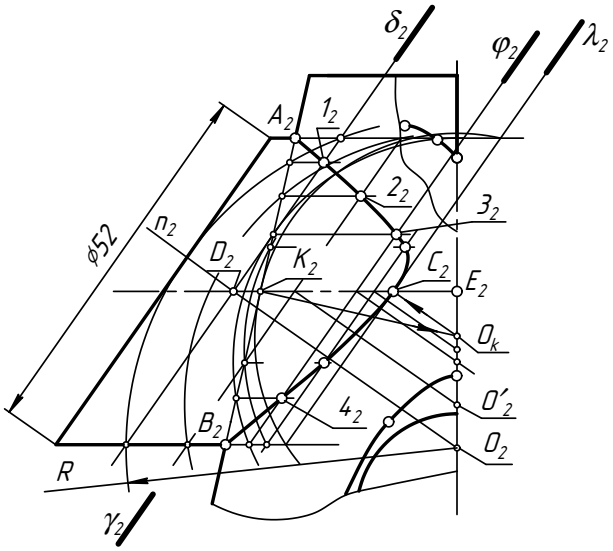


Рис. 3.10. Построение линии пересечения поверхностей способом эксцентрических сфер

Выделим точки A (A_2) и B (B_2) пересечения очерков поверхностей. Параллельно плоскости окружности $\varnothing 52$ основания цилиндроида построим фронтально проецирующую плоскость δ (δ_2). Она пересекает поверхность цилиндроида по окружности $\varnothing 52$ с центром в точке D (D_2). В данной точке построим нормаль n (n_2) к плоскости этой окружности. В точке O (O_2) пересечения построенной нормали с осью вращения конуса назначаем центр вспомогательной сферы. Из него строим проекцию сферы (окружность) радиусом R так, чтобы окружность сечения лежала на этой сфере (была бы хордой построенной окружности). Построенная вспомогательная сфера соосна с конусом и пересечет его по параллели. Точки 1 (1_2) пересечения (здесь пара конкурирующих точек) параллели конуса и линии сечения цилиндроида принадлежат линии пересечения поверхностей.

Аналогично строим сечение плоскостью γ (γ_2) и центр O'_2 новой вспомогательной сферы. Эта сфера тоже пересекает конус по двум параллелям, но только одна из них лежит в области линии пересечения поверхностей. В пересечении построенных линий выделяем точку 2. Сфера, построенная для сечения плоскостью φ (φ_2), пересекает конус по двум параллелям, лежащим между опорными точками A (A_2)

и B (B_2), то есть в области линии пересечения поверхностей, и в этом случае определяются две пары 3 (3_2) и 4 (4_2) конкурирующих точек. Правее построено еще одно сечение, плоскость и точки которого не обозначены, но построение показано. Оно выполнено с целью уточнения формы линии пересечения в этом месте.

Особое внимание уделим параллели конуса, проекция которой совпадает с линией KE (K_2E_2). Заметим, что все перпендикуляры к плоскости вспомогательного сечения являются семейством прямых линий одного направления. Поэтому можно поступить следующим образом. В точке K_2 построим перпендикуляр к очерковой образующей конуса и отметим точку $O_к$ его пересечения с осью вращения. Эту точку примем за центр сферы, вписанной в конус, а точка K (K_2) будет принадлежать параллели касания сферы с конусом, то есть $O_кK_2$ — радиус сферы. Если из центра $O_к$ построить перпендикуляр к плоскости кругового сечения цилиндроида, то он пересечется с осью цилиндроида в центре кругового сечения плоскостью λ (λ_2), а точка C (C_2) будет опорной точкой линии пересечения поверхностей.

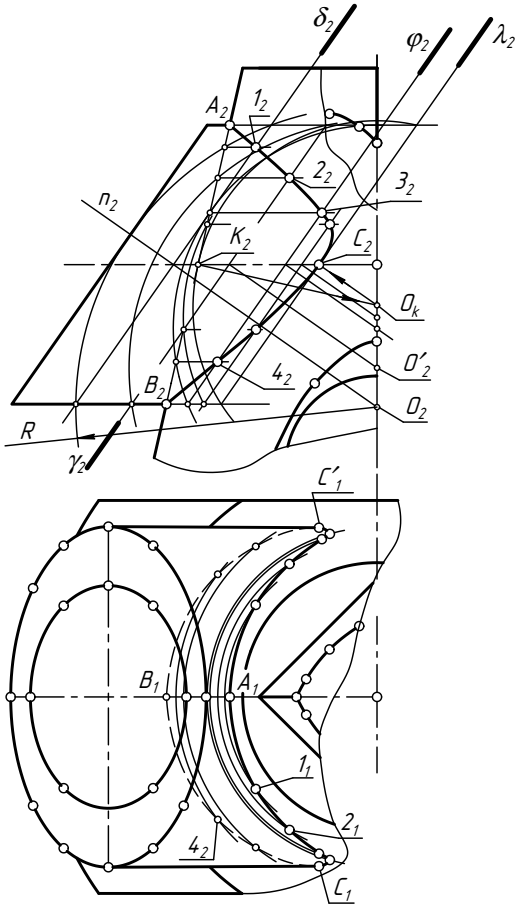


Рис. 3.11. Фрагмент чертежа детали с построением линии пересечения на виде сверху

Плоскость λ (λ_2) — последняя из вспомогательных плоскостей, справа от нее уже нет точек линии пересечения данных поверхностей. Построенные точки соединим плавной кривой линией.

Профильная проекция цилиндроида 4 вырождается в эллипс. А горизонтальную проекцию (рис. 3.11) линии его пересечения с конусом необходимо строить. Это удобно делать, если линия принадлежит поверхности конуса.

Отмечаем на линии связи точки A (A_1) и B (B_1), при этом замечаем, что точка B (B_1) невидимая. Следовательно, существует граница видимости горизонтальной проекции линии пересечения. Очевидно, в примере эта граница определяется очерковыми образующими цилиндроида. На линии связи отмечаем горизонтальные проекции C_1 и C'_1 точек линии пересечения поверхностей, принадлежащих очерковым образующим цилиндроида.

Опорные точки построены. Затем выбираем конкурирующие точки на фронтальной проекции линии пересечения поверхностей и строим фронтальную и горизонтальную проекции параллели, которой принадлежат выбранные точки. На линии связи отмечаем горизонтальные проекции выбранных точек на построенной проекции параллели.

Точки, фронтальные проекции которых лежат выше проекции C_2, на горизонтальной проекции будут видимыми. Соединяем построенные точки плавной кривой линией так, чтобы она касалась проекций очерковых образующих линий в области точек C.

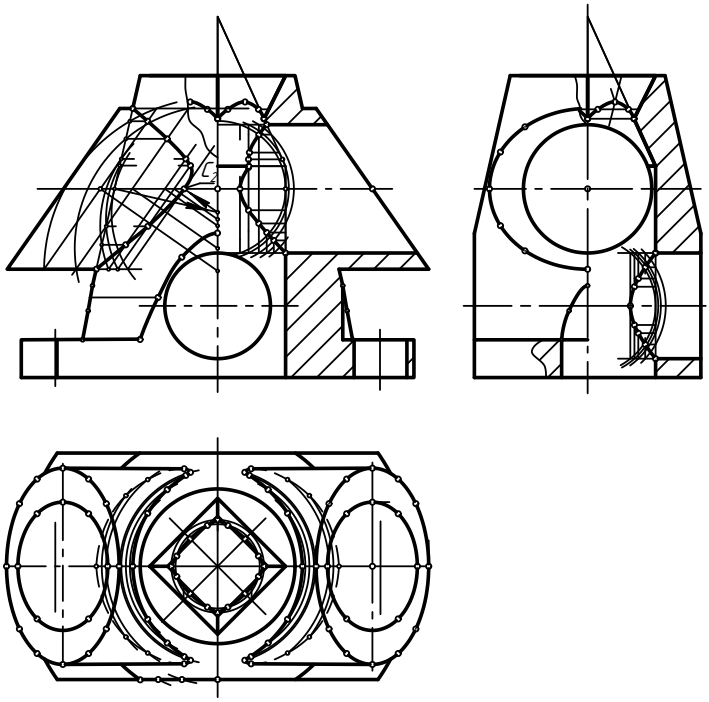


Рис. 3.12. Основные изображения детали с линиями пересечения поверхностей

На рис. 3.12 изображена деталь со всеми построенными линиями пересечения ее поверхностей. Основная часть задания, связанная с построением основных изображений детали, выполнена.

3.2.3. Нанесение размеров и оформление задания

Размеры, указанные на чертеже, являются основанием для изготовления изделия. А в учебной работе это зеркало, отражающее ваши знания по довольно широкому кругу тем, в том числе образованию и форме поверхностей.

Данный этап работы мы начали с анализа исходных данных, когда составляли таблицу параметризации (см. рис. 3.1 и табл. 3.1). Если вы внимательно отнеслись к содержанию таблицы параметризации, то остается только нанести указанные в ней параметры (размеры) по принятым правилам. При этом нужно следить, чтобы каждый из них был нанесен только один раз.

Если работа по параметризации не была выполнена вначале, это необходимо сделать сейчас, то есть внимательно продумать, каких параметров формы и положения поверхностей детали будет достаточно для ее изготовления. Критерием достаточности размеров на учебном чертеже является возможность построения по ним изображений изделия или заданной фигуры с учетом выполнения необходимых геометрических построений, связанных с геометрическими отношениями (принадлежности, пересечения, касания и т. д.). Не использованные при этом размеры — лишние.

Также необходимо помнить основные правила нанесения размеров на чертеже.

- ❒ Для начертания выносных и размерных линий на чертеже используется тонкая сплошная линия без разрывов толщиной не менее 0,3 мм при выполнении ее карандашом.
- ❒ Размерные линии не должны пересекаться между собой и с другими выносными линиями.
- ❒ Расстояние между размерной линией и изображением должно быть не менее 10 мм.
- ❒ Расстояние между параллельными размерными линиями должно быть не менее 7 мм.
- ❒ Размерные числа, нанесенные над параллельными размерными линиями, нужно смещать от середины размера в шахматном порядке.
- ❒ Все размерные числа и знаки при них следует наносить шрифтом одного размера.
- ❒ Размерное число нужно наносить в той части изображений, где его назначение наиболее понятно и помогает читать чертеж.
- ❒ По возможности размерные числа нужно указывать за пределами изображения.
- ❒ Размерное число и знаки при нем нельзя разделять или пересекать линиями.

Рекомендуется вначале продумать и нанести размерные линии, а потом — размерные числа. Параметры внутренних поверхностей нужно показывать на разрезах и линии невидимого контура при этом по возможности не использовать. На линиях сечения и пересечения поверхностей размеры не наносят — они определяются условиями геометрических отношений (алгоритмами построений).

В примере плоскость нижнего основания детали и центральная вертикальная ось симметрии приняты за основные базы, горизонтальные оси служат вспомогательными базами (рис. 3.13).

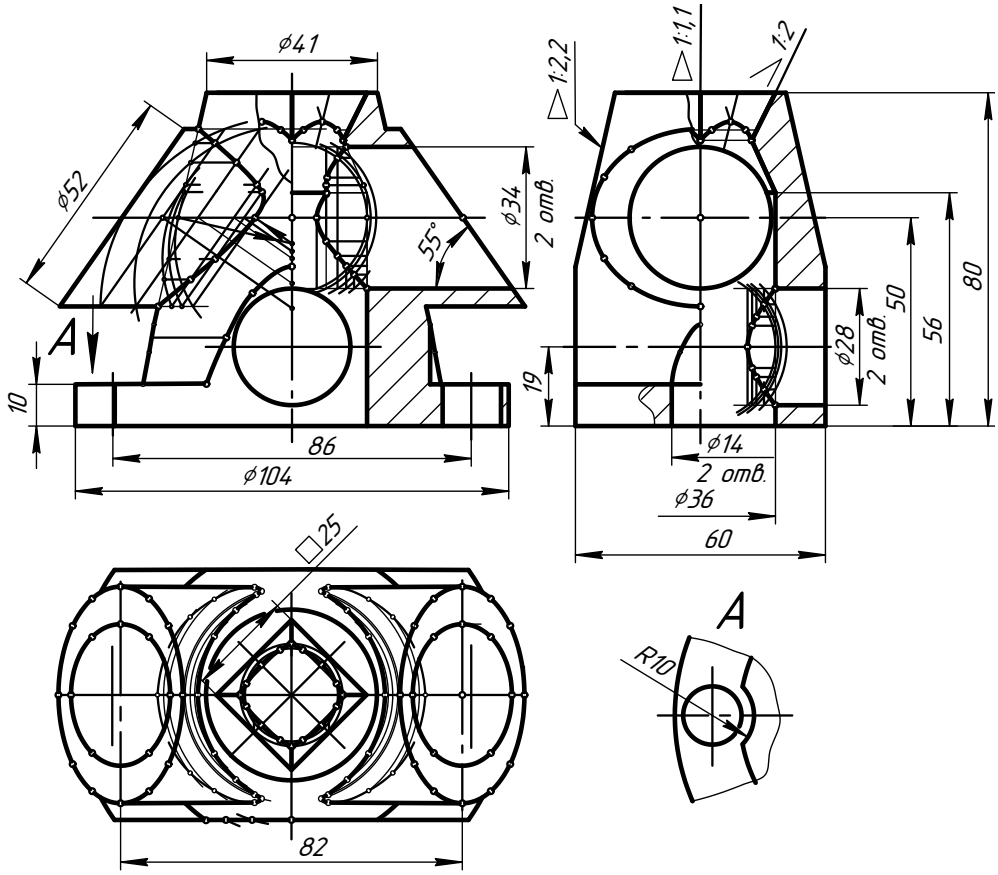


Рис. 3.13. Пример чертежа детали с нанесенными размерами

Задаем параметры положения горизонтальных осей цилиндров относительно основной базы (высоты 19 мм, 50 мм), осей вертикальных отверстий в основании детали (широта 86 мм) и плоскостей среза (глубина 60 мм). Наносим параметры формы поверхностей (см. табл. 3.1) — они указаны на чертеже и, надеемся, понятны.

Цилиндрическое отверстие в основании и углубление в центральном конусе показываем местным видом *A*, так как на виде сверху их не видно (закрыты цилиндроидом). На этом же изображении наносим размер *R10* радиуса цилиндрического углубления на конусе. Если в предмете делается несколько одинаковых отверстий, допустимо показывать размер одного из них с указанием количества, если их положение понятно из чертежа.

Допускаются два варианта нанесения таких размеров: как показано на рис. 3.13 для отверстий ∅34 или как для отверстий ∅14 и ∅28. Если эти варианты нанесения размеров не используются, то нужно показывать размер каждого отверстия отдельно.

При окончательном оформлении чертежа рекомендуется построения линий пересечения поверхностей сохранить. Линии чертежа и надписи должны быть контрастными: толщина тонких линий не менее 0,3 мм, основных линий — не менее 0,6 мм (как на рисунках данного пособия).

3.2.4. Использование компьютерной графики в системе 3D для данного задания

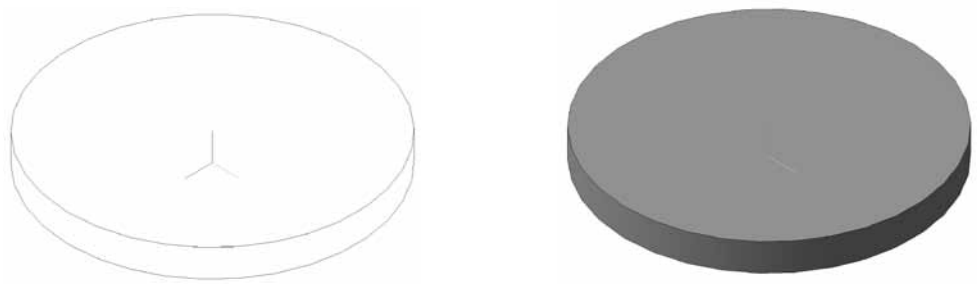
Научиться пользоваться компьютерной графикой необходимо! Мы пытаемся внести посильный вклад в решение этой проблемы. При этом считаем необходимым подчеркнуть, что повышение уровня владения ею до профессионального зависит не только от материального обеспечения пользователя, но и от его теоретической подготовки, общего знания геометрии и понимания основ теории изображений, начертательной геометрии.

Чтобы успешно освоить возможности графической системы, необходимо понимать метод проекций, знать кинематический принцип образования поверхностей и геометрические отношения элементарных объектов, уметь распознавать эти объекты на чертеже и экранной модели, знать общепринятые правила и условности инженерной графики, не пренебрегая такими понятиями, как стили линий, форматы, масштабы и шрифты. В справедливости этих замечаний вы сможете убедиться на примере построения любой модели и ее чертежа, в том числе детали нашего примера. Далее полезно читать этот раздел только в том случае, если перед вами экран работающего компьютера.

Рассмотрим один из вариантов решения задачи построения модели и чертежа детали. Начинать необходимо с анализа конструкции детали на предмет состава ее поверхностей, возможностей их кинематического образования и их геометрических отношений. Воспользуемся результатами подобного анализа, выполненного нами в 3.2.1 в форме таблицы с кратким объяснением. Далее строим модель, опуская общепринятые операции настройки системы.

Начинаем работу с построения модели цилиндра основания детали. В режиме редактирования выбираем ориентацию *YZX* системы координат, в дереве построения выделяем плоскость *XY*, переходим в режим эскиза, строим окружность $R = 52$ мм основания цилиндра, проецируем окружность на себя и выходим из режима эскиза.

В режиме редактирования выбираем операцию Выдавливание, на панели состояния указываем расстояние 10 мм (это высота цилиндра) и нажимаем на кнопку Создать. Перемещением окружности на заданную высоту машина создает изображение цилиндра (рис. 3.14).



а *б*

Рис. 3.14. Модель основания детали

На рис. 3.14, *а*, показан каркас модели без невидимых линий в прямоугольной изометрии так, как если бы мы строили вручную. Машина выполняет те же операции, что и человек, только делает это во много раз быстрее. А на рис. 3.14, *б*, показано полутоновое изображение этой же модели с каркасом. В машинной модели оси не изображаются.

В дереве модели выделяем плоскость *XZ*, переходим в режим эскиза и, начиная с центра верхнего основания построенного цилиндра, основной линией строим трапецию, основаниями которой служат радиусы оснований центрального конуса, а боковой стороной — его образующая. Штрихпунктирной линией строим ось конуса. Проецируем эскиз на себя.

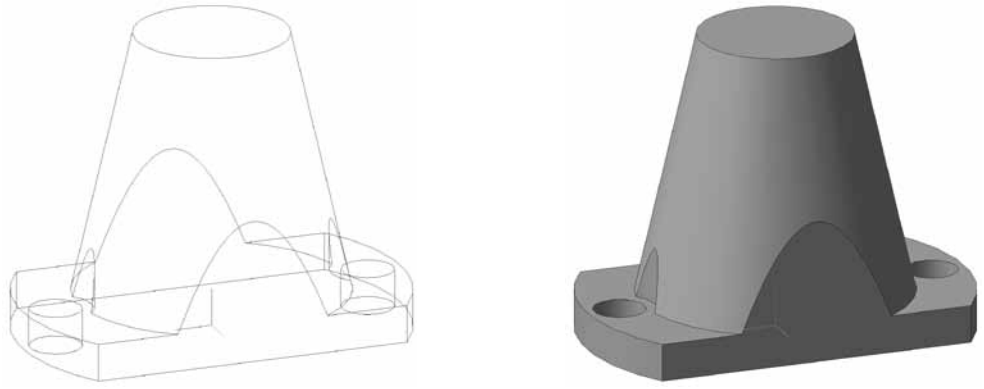
Выходим из режима эскиза. Входим в режим редактирования, выбираем Операция ▸ Приклеить вращением ▸ Создать. Машина вращением построенной трапеции вокруг неподвижной оси строит конус на верхнем основании цилиндра (на рис. 3.15, *а*, построенная в изометрии модель показана в форме каркаса).

Выделяем верхнюю плоскость цилиндра (кольцо), входим в режим эскиза. Строим оси и две окружности $R = 10$ мм основания цилиндров (см. рис. 3.1, позиция *10*), проецируем их и выходим из режима эскиза, не забыв нажать на кнопку Stop.

В режиме редактирования вырезаем отверстие выдавливанием вверх от основания цилиндра и выбираем Создать — будет построен цилиндрический вырез на теле конуса (см. рис. 3.15, *а*).

Выделяем то же кольцо основания цилиндра *1* и строим две окружности $R = 7$ мм сквозных цилиндрических отверстий *10* в теле цилиндра, проецируем их и выходим из режима эскиза. Выбираем Режим редактирования ▸ Вырезать выдавливанием (создается антитело — цилиндр) ▸ Создать. Получим сквозные отверстия.

В дереве построения выделяем вертикальную плоскость *XY*, входим в режим вспомогательной геометрии и строим плоскости, параллельные *XY*, на расстоянии 30 мм от нее. В режиме редактирования строим сечения этими плоскостями: выбираем операцию Сечение, курсором выделяем секущую плоскость, в дереве указываем поверхности, которые подлежат сечению, и направление сечения, нажимаем на кнопку Создать (и так для каждой из плоскостей). Будет построена деталь, показанная на рис. 3.15, *б*, в полутоновом изображении с каркасом. Изображение выполнено в прямоугольной диметрии, потому что так более развернуто показана фигура среза.

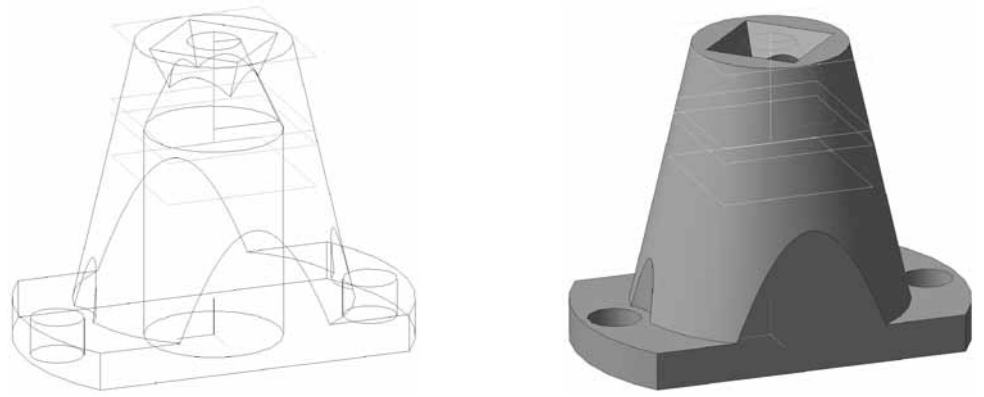


а *б*

Рис. 3.15. Изображение дополнительных элементов модели в форме каркаса

Строим центральное отверстие детали, образованное поверхностями *5*, *6*, *7* (см. рис. 3.1). Выделяем плоскость *XY*, переходим в режим эскиза. Строим окружность основания цилиндра *5*, проецируем на себя и выходим из режима эскиза.

В режиме редактирования выбираем Вырезать выдавливанием, указываем расстояние 56 мм (высота цилиндра), нажимаем на кнопку Создать. Будет построено отверстие, каркас которого показан на рис. 3.16, *а*.



а *б*

Рис. 3.16. Построение элементов центрального отверстия детали

В режиме вспомогательной геометрии строим смещенную плоскость *1*, совпадающую с верхним основанием конуса *3*, и смещенную плоскость *2*, совпадающую с верхним основанием цилиндра *5*. Выделяем плоскость *1*, эскиз → строим окружность верхнего основания усеченного конуса отверстия → проецируем на себя → выходим из эскиза. Выделяем уже построенную смещенную плоскость *2* → переходим в эскиз → строим окружность нижнего основания конуса → проецируем на себя → выходим из эскиза.

В режиме редактирования вырезаем элемент выдавливанием по сечениям → указываем сечение *1* в дереве построения и сечение *2*. Будет построен конус *6* центрального отверстия.

Выделяем смещенную плоскость *1*, переходим в режим эскиза и строим квадрат основания пирамиды-отверстия, проецируем его на себя и выходим из режима эскиза.

Включаем режим вспомогательной геометрии, строим смещенную плоскость *3* на расстоянии высоты пирамиды и параллельно плоскости ее основания (плоскости *1*). Выделяем плоскость *3* и включаем режим эскиза. Фиксируем точку (вершину) на оси, проецируем ее и выходим из режима эскиза.

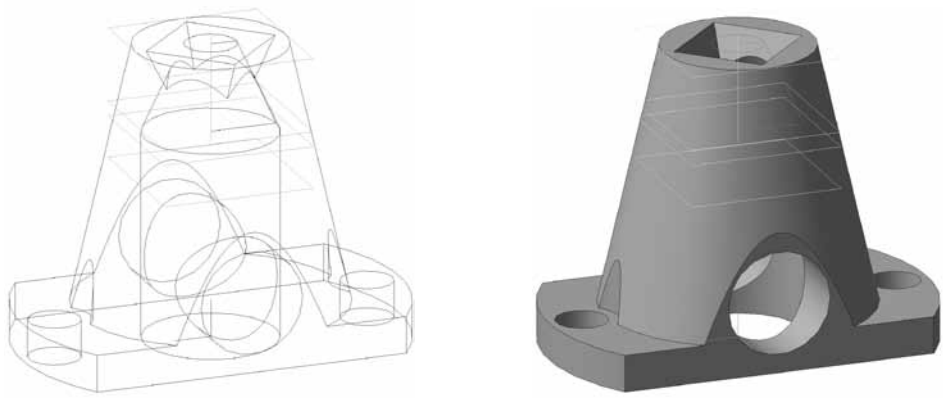
В режиме редактирования: Вырезать отверстие по сечениям → указываем эскиз смещенной плоскости *3*, а затем эскиз основания (квадрат смещенной плоскости *1*) → Создать. Машина построит призматическое отверстие с линиями его пересечения с конусом (см. рис. 3.16).

В режиме редактировании выделяем плоскость *2* (см. рис. 3.1) среза детали → переходим в эскиз → строим окружность $R = 14$ мм основания горизонтального отверстия *9* → проецируем на себя → выходим из эскиза.

В режиме редактирования: Вырезать отверстие выдавливанием → Через все → Создать. Будет построено сквозное горизонтальное отверстие (на рис. 3.17, *а*, показан каркас детали, а на рис. 3.17, *б*, — деталь в полутоновом изображении с каркасом).

Строим элемент детали, организованный поверхностью цилиндроида (эллиптического цилиндра) *4*. В дереве построения выделяем плоскость *ZX*, переходим в режим эскиза. Если изображение перевернуто, с помощью клавиш Alt+→ устанавливаем нужный ракурс.

Дальнейшее построение можно проследить по рис. 3.18, *а*, где элементы детали показаны с помощью видимых линий каркаса и вспомогательных фантомов.

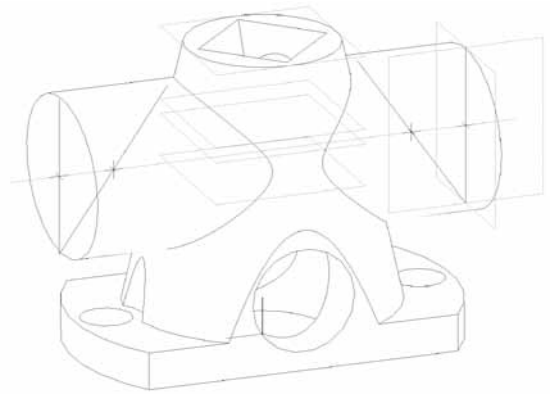


а *б*

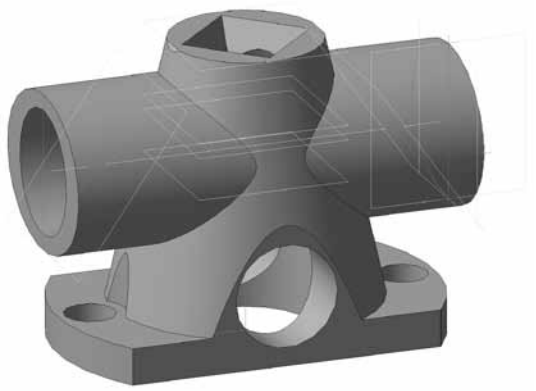
Рис. 3.17. Построение горизонтального цилиндрического отверстия

Используя вспомогательные линии, строим ось цилиндроида (эллиптического цилиндра) и на ней по межцентровому расстоянию 82 мм отмечаем центры (точки) окружностей ∅52 мм его сечений. Через отмеченные центры строим отрезки, рав-

ные диаметру 52 мм, под углом 55° основной линией. Через концы этих отрезков проводим вспомогательные линии параллельно горизонтальной оси цилиндроида (они соответствуют его очерку).



а



б

Рис. 3.18. Построение фигуры цилиндроида с цилиндрическим отверстием

Основной линией строим вертикальный отрезок, исходящий из нижней точки построенного наклонного отрезка и ограниченный линиями очерка поверхности. Этот отрезок является малой осью эллипса нормального сечения цилиндроида. Выходим из режима эскиза.

В режиме редактирования выбираем режим вспомогательной геометрии: строим ось через две вершины (центры сечений цилиндроида) → плоскость через вертикальное ребро и перпендикулярно плоскости *ZX* → Создать.

Выделяем построенную вспомогательную плоскость → переходим в эскиз → отмечаем точку — центр основания цилиндроида и точки концов вертикальной (малой) оси эллипса → строим большую ось эллипса и сам эллипс по осям (основной линией) → проецируем → выходим из эскиза.

В режиме редактирования: выбираем операцию → Приклеить элемент выдавливанием до ближайшей поверхности → Создать. Будет создан отвод с одной стороны детали.

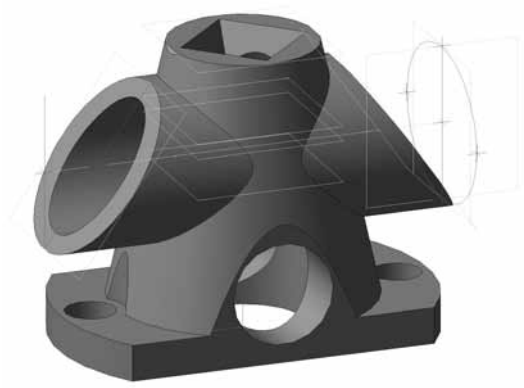
Выделяем построенный отвод → Зеркальный массив → Относительно плоскости ZY → Создать. Будет построена вторая часть отвода (см. рис. 3.18, *а*).

Выделяем плоскость основания цилиндроида → переходим в эскиз → строим окружность ∅34 мм основания цилиндрического отверстия в цилиндроиде → проецируем на себя → выходим из эскиза.

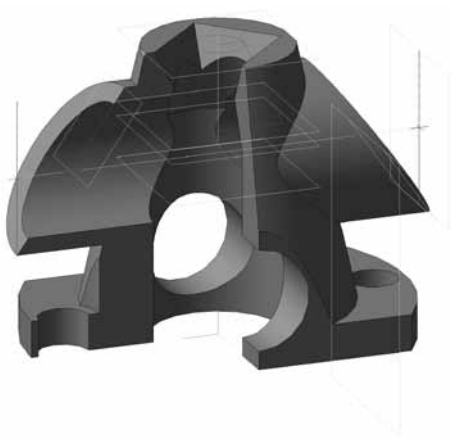
В режиме редактирования → Операция → Вырезать выдавливанием → Через все → Создать. Машина построит сквозное цилиндрическое отверстие (см. рис. 3.18, *б*).

Входим в режим вспомогательной геометрии → строим вспомогательную плоскость через наклонное ребро и перпендикулярно плоскости *ZX* → Создать.

Входим в режим редактирования → операция Сечение → указываем построенную наклонную плоскость → Создать. Будет построено наклонное сечение цилиндроида (рис. 3.19, *а*).



а



б

Рис. 3.19. Построение срезов цилиндроида и разреза детали

Курсором выделяем плоскость основания детали → переходим в эскиз → строим прямоугольник, пересекающий основание детали по границам планируемого выреза (основной линией) → выходим из эскиза.

В редактировании → Операция — Вырезать выдавливанием → Через все → Создать.

Будет построено изображение детали, показанное на рис. 3.19, *б*.

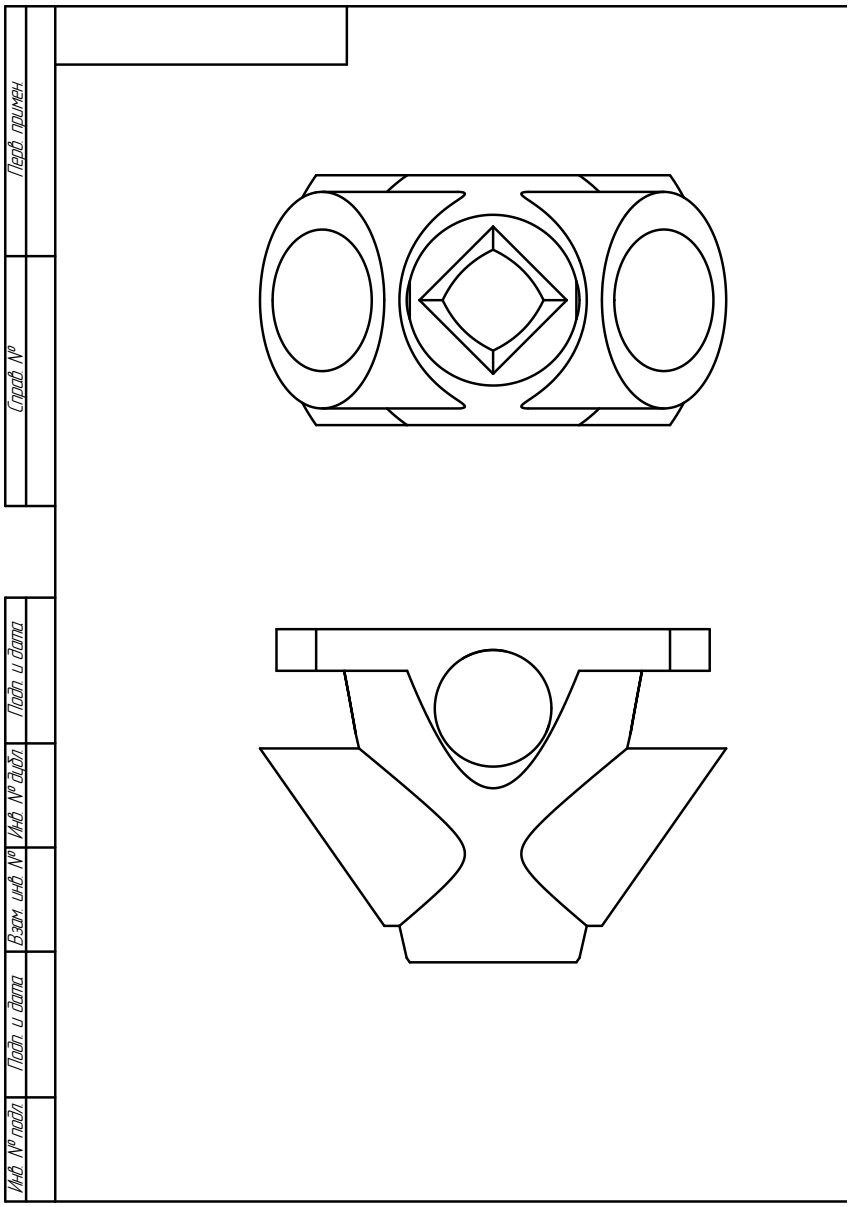


Рис. 3.20. Основные виды детали, построенные по созданной модели

Ручное построение такой модели трудоемко. Мы демонстрировали каркас строящейся модели поэтапно для того, чтобы показать, что машина выполняет те же операции, что и человек, но очень быстро. Однако человек должен указать машине нужные операции на каждом этапе построения, а это возможно только в том случае, когда конструктор понимает стоящую перед ним задачу.

Для построения комплексного чертежа детали в ассоциативной связи с моделью нужно создать новый документ — чертеж и указать модель, по которой будут строиться виды. На рис. 3.20 показан такой чертеж, выполненный компьютером по модели, показанной на рис. 3.19, *а*.

Такой выбор видов связан с особенностью принятой в системе 3D прямоугольной системы координат, о которой говорилось в пояснении к рис. 1.18.

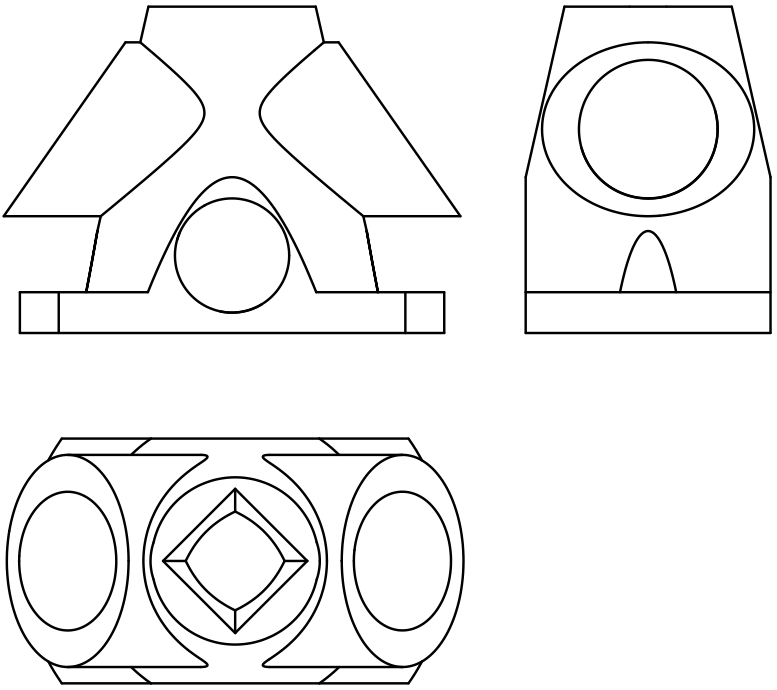


Рис. 3.21. Основные виды детали, соответствующие заданию

На рис. 3.21 показаны основные виды детали, которые соответствуют принятым в задании видам. Чтобы изменить положение видов на чертеже, мы выделили каждый из видов чертежа по рис. 3.20, затем скопировали их и вставили в другой документ (во фрагмент). Построенные таким образом виды разместили в проекционной связи. В таком чертеже ассоциативная связь с моделью 3D разорвана и дальнейшая работа с чертежом будет выполняться в ручном режиме.

Многие из отмеченных проблем в работе с компьютером, очевидно, могут быть решены при правильном выборе положения объекта и соответствующей квалификации оператора.

Вопросы и задания

При подготовке к защите задания студенту рекомендуется проверить, способен ли он ответить на следующие вопросы или выполнить задания.

1. Покажите изображения и назовите непроизводные фигуры, образующие внешнюю и внутреннюю форму детали.
2. Назовите геометрические отношения непроизводных фигур детали.
3. Покажите на чертеже размерные числа, относящиеся к параметрам формы внешних и внутренних поверхностей, положения этих поверхностей.
4. Дайте определения вида, разреза, сечения.
5. Перечислите названия основных видов и назовите изображения на своем чертеже.
6. Перечислите названия простых разрезов по положению секущей плоскости относительно плоскостей проекций.
7. Назовите разрезы на вашем чертеже и объясните, какую новую информацию несет каждый из них.
8. Поясните основное правило совмещения вида с разрезом (какая линия может служить границей?).
9. В каких случаях при выполнении разреза секущая плоскость не изображается и разрез не обозначается?
10. Запишите и поясните общий алгоритм построения линии пересечения поверхностей.
11. На примере покажите и поясните построение линии пересечения поверхностей способом плоскостей (можно использовать построения на вашем чертеже).
12. Назовите условия применения и поясните суть построения линии пересечения поверхностей способом концентрических сфер (можно на примере своего чертежа).
13. По каким линиям пересекаются соосные поверхности вращения? Покажите на примере цилиндра и конуса.
14. Назовите условия применения и поясните суть построения линии пересечения поверхностей способом эксцентрических сфер (можно на примере своего чертежа).
15. Назовите на примере своей работы:
    - правила начертания размерных и выносных линий;
    - правила нанесения размерных чисел;
    - правила изображения (и форму знаков) радиуса, диаметра, квадрата, уклона, конусности;
    - правила указания и использования значений уклона и конусности.

Покажите эти обозначения, нанесенные на чертеже.

Приложение А

Таблицы координат многогранников

А.1. Таблицы координат определителя многогранника и секущей плоскости общего положения

Таблица А.1.1. Координаты определителя многогранника общего положения, мм (см. примечание)

Вариант	Фигура	Координаты вершин определителя, мм														
		G			*K*			*L*			*H*			*G′* **или** *V*		
		x	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*
1	Призма	140	48	16	88	82	5	24	60	10	72	25	—	115	90	125
2	Призма	170	60	0	180	100	10	124	80	25	140	40	—	92	80	120
3	Пирамида	154	54	20	106	128	10	24	58	30	86	10	—	72	62	120
4	Призма	128	15	56	80	10	12	28	30	44	68	—	70	108	120	110
5	Призма	180	50	20	160	100	0	95	82	30	120	30	—	88	70	120
6	Пирамида	174	12	68	76	5	12	40	30	86	120	40	—	112	145	86
7	Призма	130	140	64	72	105	16	20	120	44	64	—	116	150	24	100
8	Призма	180	68	52	160	40	16	136	30	36	140	70	—	100	128	70
9	Пирамида	16	20	104	20	80	130	40	130	60	42	44	—	176	88	92
10	Призма	172	240	60	152	156	108	112	178	44	122	228	—	62	96	120
11	Призма	180	50	25	150	100	0	115	80	15	140	30	—	92	60	126
12	Пирамида	190	58	25	152	144	0	70	52	17	126	15	—	60	116	158
13	Пирамида	112	184	40	52	160	20	12	110	52	80	—	92	200	16	50
14	Призма	200	120	68	180	70	24	132	60	52	140	120	—	70	70	55
15	Пирамида	164	92	0	88	150	30	22	100	20	58	36	—	88	80	150

16	Призма	190	60	100	176	92	40	124	30	45	155	16	—	62	140	60
17	Призма	185	120	68	165	60	24	117	80	52	140	130	—	70	60	80
18	Пирамида	160	68	14	100	148	5	28	100	25	60	30	—	80	86	164
19	Призма	195	28	30	148	68	10	72	42	20	100	8	—	84	80	96
20	Призма	160	48	80	144	100	120	100	72	130	120	16	—	70	60	16
21	Пирамида	192	24	100	128	24	20	52	24	56	90	—	124	106	120	74
22	Призма	124	40	23	88	88	5	36	72	30	70	10	—	124	50	120
23	Призма	190	76	30	158	112	15	114	92	15	144	40	—	84	116	108
24	Пирамида	180	20	122	160	5	32	72	10	32	56	—	100	112	154	72
25	Призма	120	40	15	90	90	35	32	70	25	52	20	—	130	70	120
26	Призма	96	36	14	40	82	6	12	44	30	60	16	—	190	120	106
27	Пирамида	24	30	124	10	104	100	46	76	14	40	15	—	180	52	64
28	Призма	110	30	10	76	80	3	25	60	20	45	16	—	130	70	120
29	Призма	185	20	46	150	10	12	96	25	32	130	—	96	90	120	112
30	Пирамида	185	32	124	155	108	100	110	80	12	140	20	—	15	60	90
31	Призма	110	32	15	76	80	5	24	60	25	44	16	—	170	100	120
32	Призма	90	27	44	60	10	20	10	20	50	50	—	90	180	100	92
33	Пирамида	126	80	17	112	150	6	28	128	30	60	48	—	176	12	120
34	Призма	124	152	52	96	70	12	24	70	48	70	—	100	150	70	110
35	Призма	176	56	12	104	80	4	84	34	62	152	—	66	112	104	100

продолжение ⇩

Таблица А.1.1 (*продолжение*)

Вариант	Фигура	Координаты вершин определителя, мм														
		G			*K*			*L*			*H*			*G′* **или** *V*		
		x	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*
36	Пирамида	160	154	40	60	130	0	80	50	35	140	68	—	20	10	100
37	Призма	100	90	52	79	153	10	20	69	30	50	—	63	170	60	124
38	Пирамида	150	23	120	126	43	50	36	23	50	64	—	130	160	130	20
39	Призма	160	130	50	110	110	15	70	120	30	90	—	70	100	30	130
40	Пирамида	190	27	60	116	10	10	84	60	92	140	—	130	92	114	74
41	Призма	112	120	52	96	140	16	32	120	32	68	—	80	180	45	100
42	Пирамида	145	88	44	120	160	10	40	100	5	96	33	—	160	150	130
43	Призма	150	60	80	130	100	30	100	40	10	—	12	56	60	80	90
44	Пирамида	128	5	64	52	5	10	28	60	80	160	—	130	20	118	22
45	Призма	130	70	90	150	110	40	110	150	10	90	100	—	50	20	110
46	Пирамида	130	90	10	110	150	50	30	120	60	64	52	—	184	20	130
47	Призма	150	68	92	130	90	40	80	110	35	100	—	80	75	20	135
48	Пирамида	150	150	30	70	160	10	50	80	40	130	70	—	20	10	130
49	Призма	170	40	100	160	90	40	120	60	70	140	12	—	50	70	90
50	Пирамида	95	10	50	40	0	15	10	70	44	67	—	90	50	20	130
51	Призма	100	35	20	80	90	50	20	70	40	50	15	—	180	80	100
52	Призма	170	150	15	100	150	5	90	80	50	150	70	—	80	90	110

53	Пирамида	130	50	70	90	10	20	40	50	65	80	—	110	190	140	100
54	Призма	164	15	64	110	25	15	80	70	80	120	—	106	120	110	130
55	Пирамида	107	20	10	147	32	60	80	95	80	40	—	18	20	35	150
56	Призма	180	50	22	150	100	60	100	90	40	130	30	—	80	80	100

Примечание. Тире в колонке координат вершины H основания многогранника означает, что эта координата определяется геометрическим построением из условия принадлежности этой точки плоскости основания.

Таблица А.1.2. Координаты определителя секущей плоскости

Вариант	Координаты точек, мм					Вариант	Координаты точек, мм				
	M		*N*	*R*			*M*		*N*	*R*	
	x	*y*	*x*	*x*	*z*		*x*	*y*	*x*	*x*	*z*
1	150	90	24	90	120	29	140	104	10	160	112
2	120	84	32	110	128	30	200	140	50	100	120
3	140	130	10	104	120	31	0	104	176	132	72
4	140	108	20	120	108	32	80	124	180	100	112
5	0	52	50	160	120	33	120	100	190	70	120
6	80	128	180	60	128	34	100	150	180	140	80
7	140	152	180	70	120	35	152	112	40	75	108
8	148	120	0	120	100	36	122	176	180	40	110
9	100	128	160	80	90	37	150	155	30	80	100
10	60	152	180	135	132	38	50	100	185	130	100
11	40	112	120	160	100	39	0	120	140	200	90
12	140	172	16	120	140	40	200	128	0	50	190
13	180	132	44	0	80	41	125	140	60	160	120
14	0	136	130	190	60	42	104	156	25	130	130
15	120	148	10	130	132	43	70	100	170	80	90
16	200	108	140	56	116	44	130	110	20	100	120
17	100	94	190	100	104	45	0	100	100	140	100
18	0	160	180	0	172	46	110	124	180	100	132
19	160	104	68	172	120	47	20	104	82	132	84
20	160	96	30	85	84	48	80	100	50	120	100
21	140	140	20	140	140	49	150	100	20	60	100

22	140	96	0	130	96	50	80	130	15	96	140
23	158	132	14	114	128	51	50	130	150	110	110
24	136	140	20	120	146	52	90	150	20	110	110
25	0	60	68	142	88	53	130	110	200	165	110
26	15	104	150	90	120	54	160	130	110	130	120
27	10	128	174	90	120	55	120	125	25	85	140
28	56	100	140	80	150	56	170	115	140	110	110

Примечание. Для всех вариантов координаты $z_M = z_N = y_N = y_R = 0$.

А.2. Таблицы координат определителя секущей плоскости и многогранника частного положения

Таблица А.2.1. Координат определителя многогранника частного положения

Вариант	Фигура	Координаты вершин определителя, мм														
		G			*K*			*L*			*H*			*G′* или *V*		
		x	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*
1	Призма	140	48	16	88	112	16	24	60	16	72	16	16	140	48	140
2	Призма	208	60	0	180	100	0	124	80	0	170	32	0	92	60	120
3	Пирамида	154	54	0	106	128	0	24	58	0	86	10	0	72	62	140
4	Призма	128	20	56	80	20	12	28	20	44	68	20	104	128	140	56
5	Призма	204	60	0	172	100	0	120	82	0	144	30	0	88	60	120
6	Пирамида	174	12	68	76	12	12	20	12	86	124	12	132	82	172	86
7	Призма	130	140	64	72	140	16	20	140	44	64	140	116	130	24	64
8	Призма	180	68	52	160	40	16	136	6,4	36	172	57	72	100	128	52
9	Пирамида	16	20	104	16	80	160	16	156	60	16	44	24	176	88	92
10	Призма	160	28	60	160	88	108	160	120	44	160	76	16	32	28	60
11	Призма	220	60	0	170	100	0	136	80	0	160	30	0	90	126	100
12	Пирамида	232	58	0	152	144	0	110	52	0	176	28	0	60	116	148
13	Призма	112	124	40	52	124	20	12	124	52	80	124	92	228	16	40
14	Призма	200	120	68	180	120	24	132	120	52	156	120	88	86	0	68
15	Пирамида	164	92	0	88	160	0	22	100	0	58	36	0	88	88	160

16	Призма	228	40	100	196	92	100	124	60	100	172	16	100	108	40	12
17	Призма	200	120	68	180	120	24	132	120	52	156	120	88	86	0	68
18	Пирамида	160	68	14	100	148	14	28	100	14	52	32	14	80	86	164
19	Призма	236	28	0	188	68	0	112	42	0	140	8	0	124	80	96
20	Призма	160	48	80	144	100	102	120	72	136	126	16	128	70	48	16
21	Пирамида	192	24	100	128	24	20	52	24	56	70	24	124	106	160	74
22	Призма	124	40	0	88	88	0	36	72	0	56	28	0	124	40	120
23	Призма	192	76	0	158	112	0	114	92	0	144	40	0	84	116	108
24	Пирамида	180	0	132	160	0	32	72	0	32	56	0	100	112	154	72
25	Призма	120	40	0	88	88	0	32	68	0	52	28	0	120	40	120
26	Призма	96	36	0	40	82	0	12	44	0	60	16	0	196	122	106
27	Пирамида	24	30	124	24	104	100	24	76	14	24	6	40	188	52	64
28	Призма	112	32	12	76	80	12	24	60	12	44	16	12	112	32	120
29	Призма	228	0	46	188	0	12	136	0	32	170	0	96	108	112	112
30	Пирамида	200	32	124	200	108	100	200	80	12	200	8	40	16	52	66
31	Призма	112	32	12	76	80	12	24	60	12	44	16	12	112	32	120
32	Призма	92	0	44	66	0	20	12	0	46	52	0	90	184	100	92
33	Пирамида	126	80	0	112	174	0	28	128	0	60	48	0	176	12	140
34	Призма	124	152	52	96	152	12	24	152	48	84	152	100	124	16	52
35	Призма	176	56	12	104	80	4	84	34	62	152	14	66	112	104	100
36	Пирамида	160	154	0	58	168	0	76	90	0	140	68	0	44	12	140
37	Призма	120	108	52	80	108	80	36	108	32	68	108	15	100	12	52

продолжение ⇩

Таблица А.2.1 (*продолжение*)

Вариант	Фигура	Координаты вершин определителя, мм														
		G			*K*			*L*			*H*			*G'* или *V*		
		x	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*
38	Пирамида	148	0	120	126	0	52	36	0	52	64	0	140	208	144	16
39	Призма	136	110	52	112	110	16	52	110	28	88	110	68	126	12	52
40	Пирамида	190	0	64	116	0	8	84	0	92	140	0	140	24	146	154
41	Призма	112	120	52	96	120	16	32	120	32	68	120	80	112	12	52
42	Пирамида	134	88	0	120	188	0	24	140	0	66	52	0	160	40	120
43	Призма	120	60	80	120	80	28	120	35	8	120	12	56	16	60	80
44	Пирамида	130	0	64	72	0	8	20	0	90	100	0	135	15	130	150
45	Призма	128	58	92	128	84	36	128	40	12	128	12	64	20	68	92
46	Пирамида	132	88	0	120	186	0	24	140	0	64	52	0	184	8	152
47	Призма	128	68	92	128	84	36	128	40	12	128	12	64	20	68	92
48	Пирамида	150	172	0	36	186	0	60	96	0	130	72	0	20	8	152
49	Призма	150	70	100	150	88	36	150	44	14	150	12	60	40	70	100
50	Пирамида	144	0	132	120	0	58	24	0	50	56	0	148	170	156	20
51	Пирамида	130	80	0	112	168	0	28	128	0	64	48	0	170	8	140
52	Пирамида	172	160	0	68	170	0	88	64	0	152	64	0	50	12	145
53	Пирамида	130	0	120	108	0	50	20	0	48	48	0	140	188	140	20
54	Пирамида	164	0	64	90	0	8	60	0	92	114	0	136	0	140	148
55	Пирамида	152	20	0	100	100	0	32	68	0	40	10	0	80	50	130
56	Пирамида	236	48	0	200	100	0	104	90	0	132	16	0	164	72	124

Таблица А.2.2. Таблица координат определителя секущей плоскости

Вариант	Координаты точек, мм						Вариант	Координаты точек, мм					
	M		*N*		*R*			*M*		*N*		*R*	
	x	*y*	*x*	*y*	*x*	*z*		*x*	*y*	*x*	*y*	*x*	*z*
1	136	80	42	0	0	42	29	136	104	10	0	160	112
2	120	84	32	0	120	128	30	208	140	60	0	208	128
3	140	130	10	0	104	120	31	0	104	76	0	132	72
4	140	108	20	108	120	108	32	80	124	180	0	80	112
5	0	52	50	0	160	120	33	172	170	16	0	172	100
6	80	128	180	0	80	128	34	140	160	0	0	140	80
7	140	152	28	0	0	40	35	152	112	40	0	0	108
8	148	120	0	0	120	100	36	122	176	180	0	40	110
9	100	128	160	0	100	72	37	0	132	160	0	80	100
10	160	152	0	0	112	128	38	216	104	14	0	48	160
11	165	112	40	0	115	100	39	52	132	0	0	52	44
12	140	172	16	0	140	140	40	20	128	200	0	128	154
13	180	112	44	0	0	80	41	48	136	0	0	112	76
14	0	136	144	0	200	48	42	70	176	160	0	90	130
15	120	148	10	0	120	132	43	40	100	140	0	40	88
16	220	108	140	0	56	116	44	60	93	10	0	85	155
17	100	94	190	0	100	104	45	0	92	120	0	140	100
18	0	160	180	0	0	172	46	110	124	180	0	100	132
19	160	104	68	0	172	88	47	20	104	82	0	132	84

продолжение ⇗

Таблица А.2.2 (*продолжение*)

Вариант	Координаты точек, мм						Вариант	Координаты точек, мм					
	M		*N*		*R*			*M*		*N*		*R*	
	x	*y*	*x*	*y*	*x*	*z*		*x*	*y*	*x*	*y*	*x*	*z*
20	160	96	68	0	40	84	48	80	196	12	0	80	136
21	140	140	20	0	140	140	49	150	92	24	0	0	32
22	140	96	0	0	140	96	50	104	132	180	0	80	156
23	158	132	14	0	114	128	51	0	106	92	0	188	112
24	136	140	20	0	136	146	52	128	174	24	0	128	120
25	0	60	68	0	142	88	53	180	88	56	0	0	72
26	0	104	100	98	0	98	54	180	52	128	0	0	124
27	0	128	174	0	0	160	55	80	128	186	0	60	128
28	56	88	124	0	56	168	56	220	120	0	0	208	90

Примечание. Для всех вариантов координаты $z_M = z_N = y_R = 0$.

А.3. Таблица координат определителя трехгранной призмы и секущей плоскости

Таблица А.3.1. Координаты точек определителей, мм

Вариант	Координаты вершин призмы												Координаты точек плоскости								
	G			*K*			*L*			*G'*			*M*			*N*			*R*		
	x	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*
1	140	90	60	130	40	140	120	80	100	20	140	20	130	20	40	80	140	30	40	90	140
2	140	70	60	120	30	140	120	0	100	30	140	20	90	20	40	130	130	30	70	100	140
3	40	0	60	50	40	130	110	40	90	0	100	20	30	10	40	130	80	30	70	80	130
4	70	20	30	130	0	100	140	50	60	0	100	70	70	40	10	130	130	30	110	60	140
5	140	120	60	80	90	140	60	140	80	80	40	20	120	100	40	10	130	30	50	90	140
6	120	90	20	140	140	90	90	140	60	90	0	70	110	90	10	10	120	10	90	120	140
7	140	80	60	110	40	140	110	0	100	20	140	0	116	10	80	120	110	20	80	90	140
8	150	130	80	150	80	160	170	60	120	30	80	20	170	60	70	100	140	50	100	210	150
9	80	20	20	140	10	80	130	80	50	0	70	80	80	40	10	100	140	40	110	70	140
10	120	40	20	160	80	80	120	120	50	20	0	80	110	40	10	50	130	40	110	100	140
11	130	120	10	130	160	70	80	160	40	90	20	80	120	100	10	0	130	30	80	140	140
12	70	0	100	50	60	140	120	50	120	20	80	20	90	0	50	140	70	50	50	100	130
13	120	100	100	60	70	140	60	130	110	70	40	20	120	90	70	10	140	50	10	40	140
14	70	90	20	140	60	60	140	130	30	0	150	100	60	112	10	100	200	30	130	120	130
15	100	60	20	140	120	60	90	140	40	20	10	100	80	60	10	10	140	40	90	120	130
16	140	10	110	80	70	140	120	100	130	70	40	10	140	20	100	140	130	40	40	110	130
17	60	0	110	40	70	130	110	50	120	20	70	10	80	0	70	140	60	90	30	120	120

продолжение ☞

Таблица А.3.1 (*продолжение*)

Вариант	Координаты вершин призмы												Координаты точек плоскости								
	G			*K*			*L*			*G'*			*M*			*N*			*R*		
	x	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*
18	120	120	110	70	70	140	40	130	130	80	50	10	120	130	120	10	140	50	20	20	130
19	70	30	10	150	0	50	150	70	20	20	80	100	60	40	10	130	140	40	150	30	120
20	140	60	10	160	140	40	100	140	30	80	0	110	110	40	10	20	120	30	130	130	120
21	90	10	120	70	60	140	130	90	140	20	50	20	120	20	110	130	130	60	20	120	140
22	40	0	160	30	80	210	100	60	160	10	60	50	40	0	60	120	60	100	60	100	140
23	120	120	100	70	80	140	40	120	140	90	40	20	110	60	60	0	70	130	20	20	130
24	30	70	10	90	40	0	120	60	20	0	120	130	130	80	10	30	140	40	110	30	120
25	120	60	10	140	140	0	80	130	10	80	0	130	110	50	10	0	80	30	140	100	80
26	60	10	120	40	90	120	100	90	140	20	50	10	70	10	110	120	100	60	20	140	110
27	120	12	120	60	90	120	30	40	140	100	90	10	110	30	110	0	10	70	20	140	110
28	20	70	10	80	0	50	110	50	0	0	110	130	20	90	20	120	140	60	110	20	110
29	110	40	10	140	130	60	60	116	0	0	90	90	90	30	20	0	70	60	110	140	109
30	100	60	80	60	0	80	60	60	130	50	140	40	130	70	50	10	60	30	60	100	140
31	70	130	80	140	100	180	70	80	130	0	50	40	50	140	50	100	50	30	20	80	140
32	50	100	60	100	40	20	180	120	100	0	60	90	150	120	120	20	120	120	80	0	0
33	90	110	60	90	20	30	140	80	100	20	90	90	80	140	10	50	10	50	100	90	140
34	40	120	50	110	70	20	90	140	100	10	50	70	0	130	50	100	40	20	60	130	130
35	50	70	120	30	150	130	120	130	140	20	20	0	70	150	120	0	160	20	0	40	100
36	130	120	100	140	50	190	100	70	140	30	90	40	120	140	70	120	40	30	70	80	100
37	120	80	130	80	10	20	140	30	100	30	110	100	130	130	10	30	40	40	110	70	140
38	100	50	30	20	30	20	90	0	80	60	120	80	120	90	10	0	80	40	80	50	130

39	50	120	140	110	180	20	110	130	80	0	70	100	10	120	10	80	20	40	60	106	140
40	120	60	90	70	0	80	50	80	130	70	130	30	140	80	70	50	30	30	30	120	120
41	190	110	110	140	70	90	60	60	140	130	220	60	180	140	60	140	160	50	20	50	140
42	110	80	20	70	30	20	130	10	60	40	140	100	100	130	10	0	70	10	100	60	140
43	80	140	30	110	60	30	140	130	70	10	90	100	20	140	10	80	30	20	100	120	130
44	130	90	100	110	10	140	80	70	140	50	140	10	140	120	100	80	40	80	30	140	140
45	90	100	110	140	30	100	60	50	130	30	80	40	100	130	90	110	30	50	10	50	130
46	100	80	60	50	10	40	140	20	70	50	110	110	90	120	10	20	30	40	130	50	130
47	70	120	20	90	30	50	190	120	60	10	90	100	30	140	40	60	30	10	110	120	120
48	50	100	20	110	60	20	100	140	50	20	40	120	70	120	130	0	80	10	90	20	50
49	70	120	120	140	80	120	50	50	130	20	80	20	120	40	110	30	0	60	30	120	130
50	120	60	10	30	50	10	100	0	30	90	110	120	60	140	100	110	60	60	10	40	110
51	50	100	20	110	50	10	120	140	40	20	50	130	130	110	10	20	80	30	130	10	110
52	120	100	140	80	10	120	40	110	140	80	130	20	140	100	110	80	30	70	30	140	110
53	90	100	140	140	40	140	50	40	120	50	70	10	100	140	110	140	40	70	10	40	110
54	100	80	20	40	40	20	140	10	10	60	110	130	90	140	20	20	60	70	140	30	110
55	40	110	10	90	30	20	120	130	10	10	80	120	0	100	50	60	20	10	90	140	110
56	80	60	140	140	70	110	130	0	70	0	130	90	140	60	50	130	120	20	80	110	140
57	100	60	140	100	120	120	140	60	90	0	10	80	110	110	70	30	140	30	30	60	160
58	140	30	90	120	10	50	140	80	0	20	70	140	120	50	0	70	120	30	70	70	130
59	140	100	80	140	60	40	110	140	0	30	40	140	100	110	0	30	110	30	70	90	140
60	80	60	140	140	90	120	140	70	90	0	90	60	140	70	80	130	130	40	50	110	130
61	30	100	120	90	70	100	30	20	80	0	160	40	90	20	50	120	90	40	50	140	130
62	120	20	100	110	80	50	60	10	20	50	50	140	90	50	10	60	130	30	50	80	140
63	80	30	100	110	70	20	20	50	20	30	140	140	70	70	10	140	150	30	70	120	140

продолжение ⇩

Таблица А.3.1 (*продолжение*)

Вариант	Координаты вершин призмы												Координаты точек плоскости								
	G			*K*			*L*			*G'*			*M*			*N*			*R*		
	x	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*
64	130	140	90	70	140	40	130	90	40	70	50	130	100	120	30	0	90	30	60	80	120
65	70	70	140	120	70	100	90	0	80	0	140	80	130	30	70	140	110	20	50	120	140
66	60	70	140	60	130	100	140	110	100	10	0	60	90	140	80	20	140	40	20	50	130
67	140	0	60	130	70	30	70	30	10	70	60	130	70	90	10	70	130	80	120	50	130
68	140	120	60	80	140	50	80	60	10	60	60	140	50	100	10	0	120	20	120	120	140
69	60	80	140	100	110	90	120	20	110	0	110	30	120	60	90	120	130	40	30	120	110
70	90	40	140	110	100	110	140	40	110	0	10	30	140	90	70	100	140	50	30	50	120
71	70	60	140	50	120	130	120	110	120	10	20	40	100	140	70	0	140	50	0	30	130
72	90	0	40	120	60	30	40	50	10	50	70	140	60	110	10	110	140	50	110	20	130
73	130	140	30	60	130	20	100	60	10	80	80	130	50	90	10	0	110	30	50	120	120
74	60	90	140	120	90	120	100	10	120	0	120	40	130	50	110	140	120	50	40	140	110
75	60	60	120	80	130	140	140	80	130	0	20	0	110	130	100	70	160	60	0	60	100
76	150	50	60	120	120	40	60	60	40	100	70	170	70	110	40	60	180	90	140	90	150
77	140	90	10	90	130	30	60	30	10	80	70	120	40	80	10	0	130	50	110	110	120
78	120	140	30	60	120	10	110	60	10	90	80	140	60	60	10	0	60	60	90	130	120
79	30	100	130	100	80	140	50	0	140	0	140	0	100	30	120	130	90	50	40	140	100
80	50	70	120	30	150	130	120	130	140	20	20	0	70	150	120	0	160	20	0	40	100
81	120	0	120	90	80	10	40	40	10	90	110	140	120	70	110	10	20	0	0	70	70
82	130	130	20	60	120	10	80	40	20	100	100	140	40	70	10	0	90	50	100	140	100
83	60	70	130	110	50	80	40	0	80	20	140	90	100	20	50	20	50	30	50	120	130
84	70	90	130	70	140	80	140	100	50	0	10	90	80	140	10	110	50	30	20	60	130

85	140	0	100	140	50	50	80	0	30	60	80	140	130	50	10	40	50	30	100	70	140
86	140	100	90	110	140	50	120	50	20	30	70	140	110	100	10	50	40	30	70	100	140
87	90	60	140	140	90	110	140	0	70	0	100	80	140	70	70	90	20	20	40	110	140
88	50	40	140	100	30	100	30	0	80	0	140	80	90	0	70	0	30	10	50	120	130
89	70	90	140	60	140	90	140	120	80	30	0	80	90	140	10	130	90	60	30	40	130
90	140	0	80	140	50	40	70	40	20	80	90	140	0	40	20	80	120	130	160	30	70
91	130	140	80	80	130	40	130	80	20	60	60	140	10	50	40	140	60	50	70	0	140
92	30	60	140	90	40	110	30	0	90	0	140	60	120	100	80	0	10	140	0	40	60
93	50	80	140	50	140	100	140	120	100	110	0	70	120	140	80	110	80	10	10	50	130
94	110	0	70	110	60	40	30	30	20	40	80	130	70	90	10	0	90	50	110	60	110
95	130	140	70	70	120	40	130	70	20	90	70	140	70	80	10	110	20	50	90	110	140
96	60	190	140	120	90	120	90	0	110	0	140	50	140	40	100	70	30	10	40	130	130
97	70	60	140	90	100	110	140	60	110	0	10	50	130	110	90	130	30	30	30	50	130
98	140	10	70	120	80	40	60	30	30	90	60	140	100	80	10	30	60	30	140	50	130
99	140	140	50	90	130	20	120	60	10	80	80	140	70	90	10	50	20	80	110	130	130
100	50	100	140	120	90	130	90	0	120	0	140	30	130	50	110	70	20	10	30	140	120
101	60	0	80	60	50	130	110	50	80	0	90	40	20	40	20	130	90	30	70	90	110
102	90	70	40	30	40	110	10	120	60	170	50	60	170	80	80	110	140	20	40	20	170
103	80	20	20	40	0	90	140	60	50	0	90	70	40	30	10	110	140	10	110	70	150
104	120	80	20	140	130	100	90	140	60	30	0	70	110	80	10	10	130	30	80	110	120
105	0	140	80	130	60	140	40	180	30	140	100	70	80	140	40	40	70	60	120	20	120
106	130	40	60	80	30	140	70	0	90	80	140	0	50	10	60	130	80	30	80	90	140
107	90	10	10	140	10	70	130	70	40	0	50	80	80	20	0	70	140	50	110	60	130
108	50	40	20	90	0	70	130	40	40	0	130	90	40	50	10	130	120	40	100	50	140

продолжение ⇘

Таблица А.3.1 (*продолжение*)

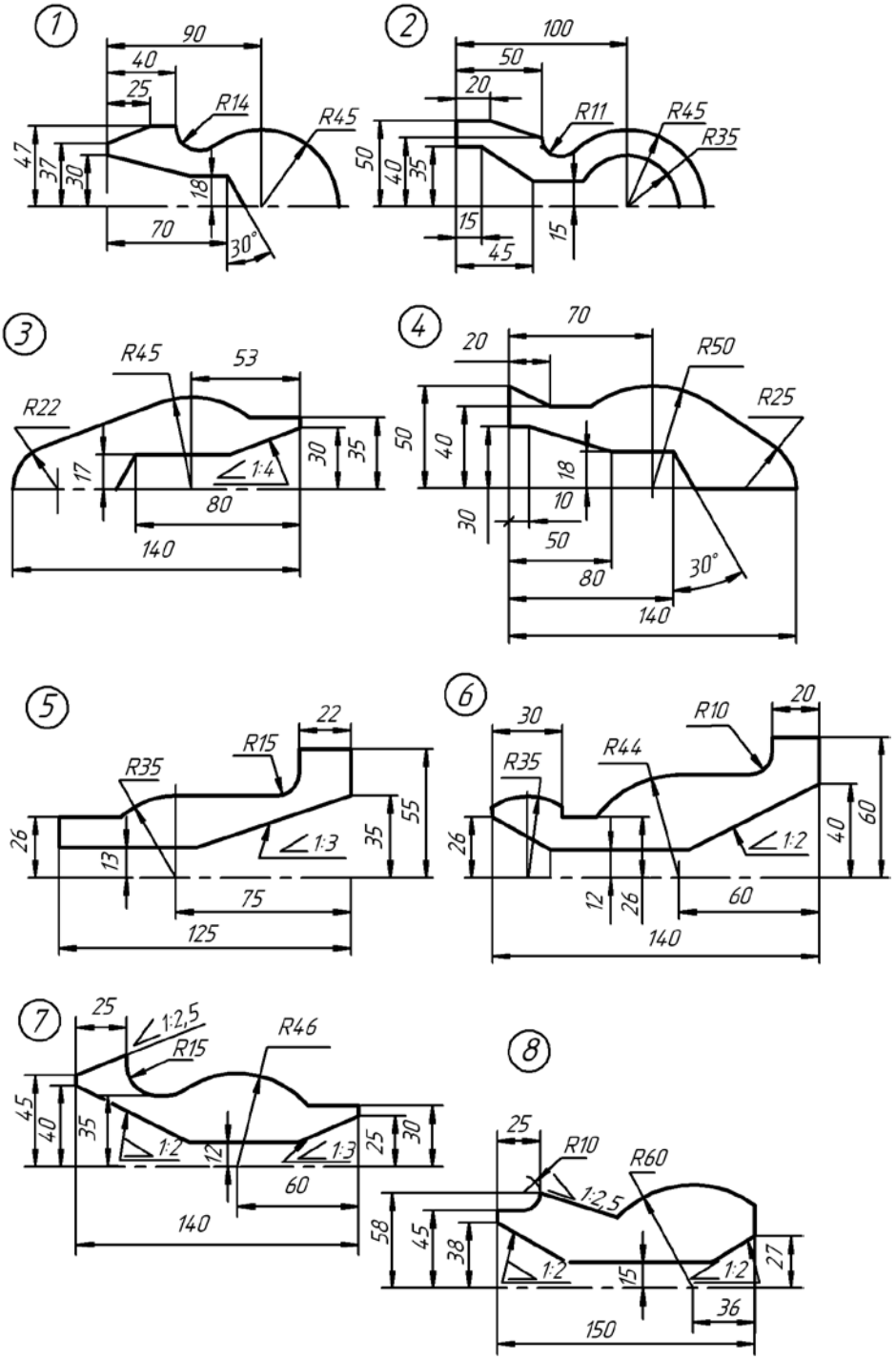
Вариант	Координаты вершин призмы												Координаты точек плоскости								
	G			*K*			*L*			*G'*			*M*			*N*			*R*		
	x	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*	*x*	*y*	*z*
109	130	90	20	140	140	80	80	140	50	70	0	80	120	100	10	0	110	40	90	140	140
110	90	0	130	60	70	130	130	70	100	30	70	50	120	0	90	90	130	20	40	110	120
111	90	90	70	70	60	130	20	100	80	180	100	0	90	20	0	50	50	40	150	120	110
112	70	30	20	140	10	60	130	80	40	0	70	90	50	40	10	90	140	30	120	60	130
113	90	30	20	40	80	70	90	120	50	0	0	90	80	30	10	0	120	40	100	90	130
114	120	90	20	120	140	60	70	140	40	70	0	100	110	80	20	0	80	50	80	140	130
115	80	0	110	50	120	90	130	70	120	30	60	10	110	0	100	130	110	30	30	120	120
116	160	110	110	80	80	140	110	160	110	100	40	30	140	90	100	60	140	80	10	50	130
117	70	20	10	140	0	40	130	60	10	0	70	110	50	40	10	110	130	30	130	40	120
118	70	50	0	130	110	30	90	140	40	20	20	110	60	50	0	10	130	40	100	120	110
119	140	10	120	70	60	140	120	100	160	70	40	20	140	20	110	140	130	70	30	110	130
120	60	0	80	40	90	140	110	70	120	20	60	10	40	0	30	130	70	60	40	130	130

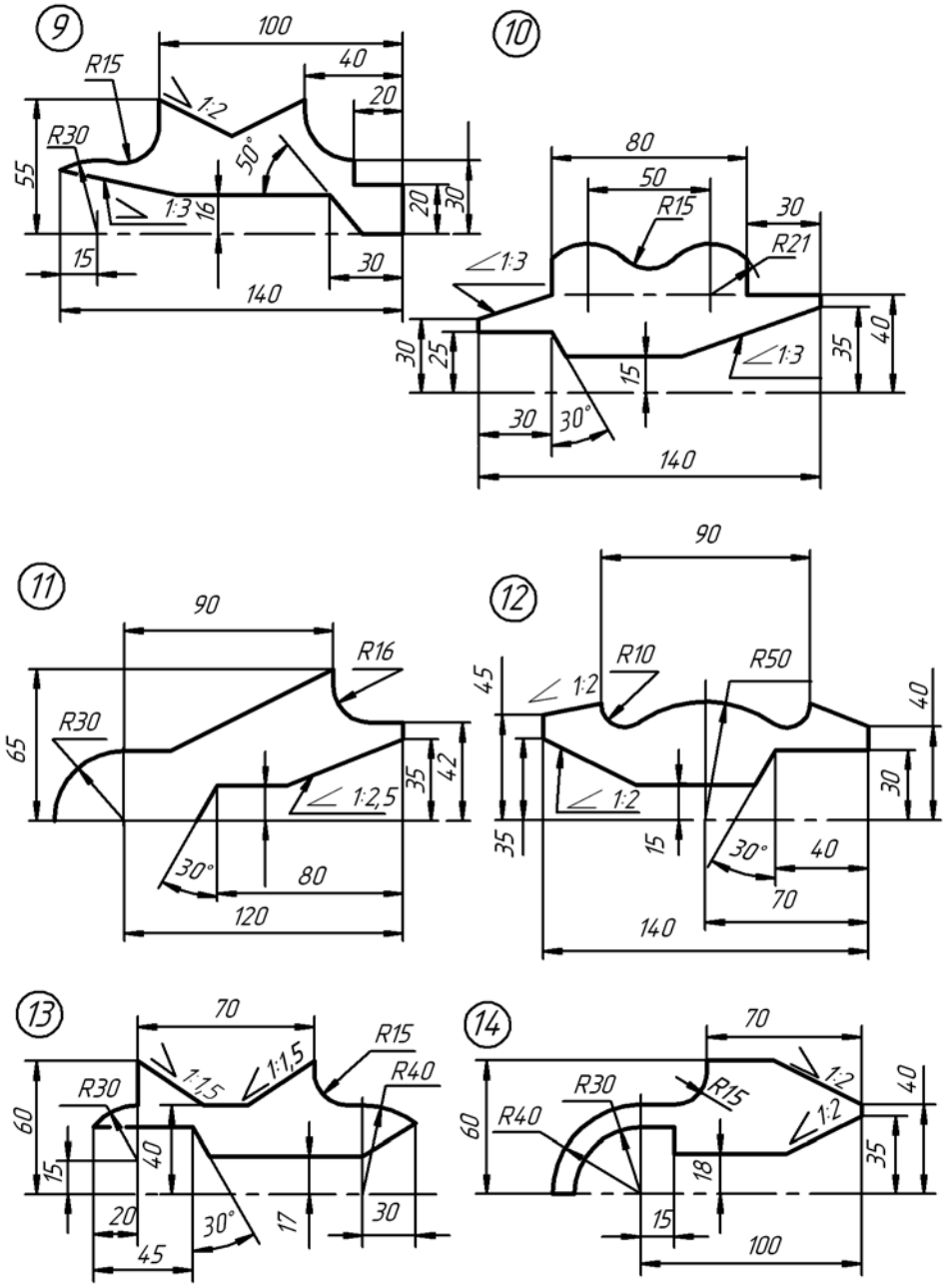
Приложение Б

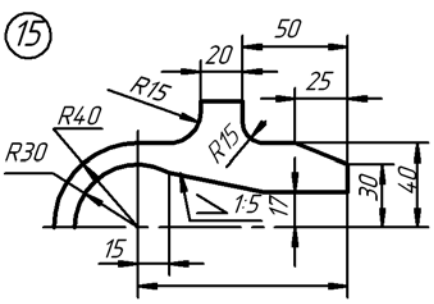
Варианты заданий определителя поверхностей вращения

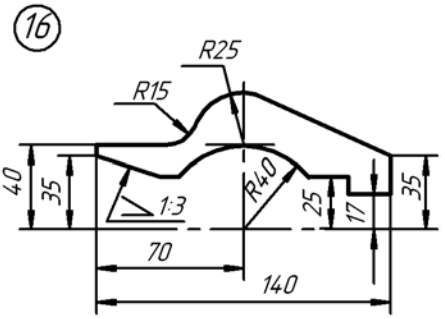
Таблица Б.1. Расстояние (координата) *y* от плоскости симметрии детали до плоскости среза, мм

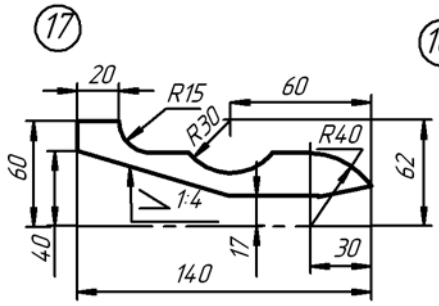
Вариант	Значение ±*y* по варианту		Вариант	Значение ±*y* по варианту		Вариант	Значение ±*y* по варианту		Вариант	Значение ±*y* по варианту	
	А	Б		А	Б		А	Б		А	Б
1	23	26	16	24	26	31	25	27	46	24	27
2	25	23	17	25	27	32	24	25	47	25	26
3	24	26	18	25	28	33	25	26	48	24	27
4	22	25	19	24	27	34	22	27	49	25	26
5	21	25	20	24	26	35	24	28	50	24	28
6	24	25	21	23	26	36	24	28	51	23	27
7	22	26	22	22	25	37	23	27	52	22	26
8	22	24	23	25	27	38	24	27	53	23	25
9	23	25	24	24	27	39	23	26	54	24	26
10	23	26	25	25	26	40	24	25	55	23	27
11	25	27	26	23	26	41	23	25	56	24	28
12	24	26	27	25	27	42	23	25	57	23	27
13	25	27	28	23	25	43	24	26	58	25	26
14	23	25	29	24	26	44	24	28	59	24	27
15	24	27	30	25	27	45	25	27	60	25	27

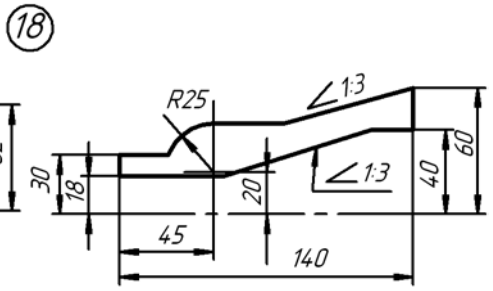

1
90
40
25
R14
R45
47
37
30
18
70
30°
2
100
50
20
R11
R45
R35
50
40
35
15
45
15
3
R45
53
R22
17
1:4
30
35
80
140
4
70
20
R50
R25
50
40
18
10
30
50
80
30°
140
5
22
R15
R35
26
13
1:3
35
55
75
125
6
30
R10
20
R35
R44
26
1:2
40
60
12
26
60
140
7
25
1:2,5
R15
R46
45
40
35
1:2
12
1:3
25
30
60
140
8
25
R10
R60
1:2,5
58
45
38
1:2
15
1:2
27
36
150

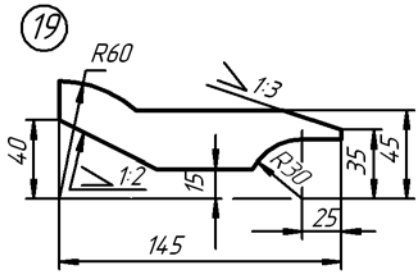

9
100
40
20
R15
1:2
R30
50°
55
1:3
16
20
30
15
30
140
10
80
50
R15
30
R21
1:3
30
25
15
1:3
35
40
30
30°
140
11
90
R16
R30
65
1:2,5
35
42
30°
80
120
12
90
R10
R50
45
1:2
40
1:2
30
35
15
30°
40
70
140
13
70
R15
1:1,5
1:1,5
R40
R30
60
15
40
20
30°
17
30
45
14
70
1:2
40
R30
R15
R40
1:2
60
18
35
15
100

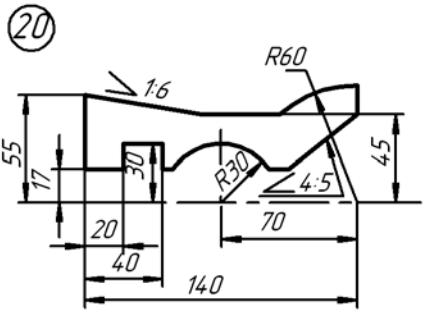

15
50
20
25
R15
R40
R30
R15
1:5
17
30
40
15

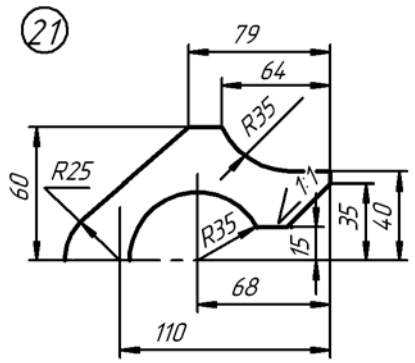

16
R25
R15
40
35
1:3
R40
25
17
35
70
140

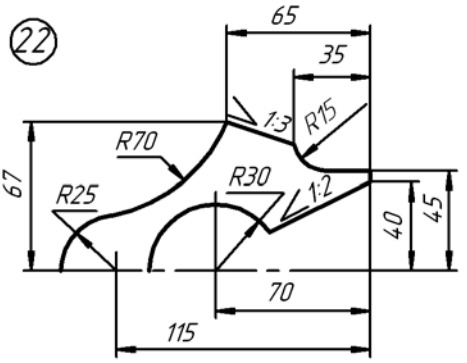

17
20
R15
60
R30
R40
60
62
1:4
40
17
30
140

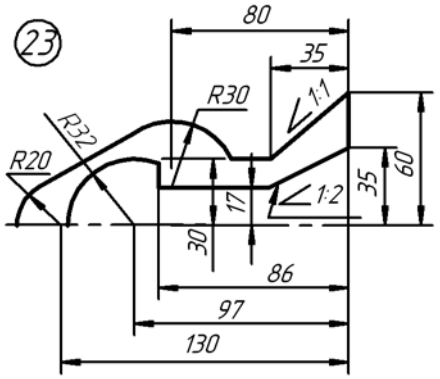

18
R25
1:3
30
18
1:3
20
40
60
45
140

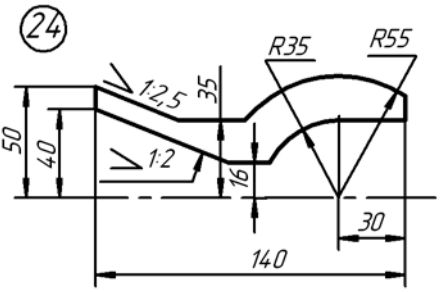

19
R60
1:3
40
1:2
15
R30
35
45
25
145

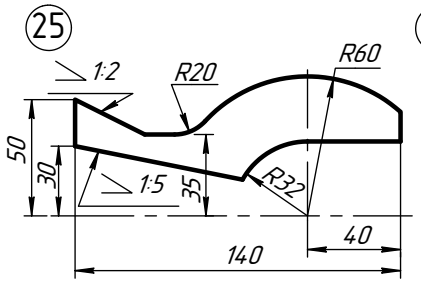

20
R60
1:6
55
17
30
R30
4:5
45
20
70
40
140

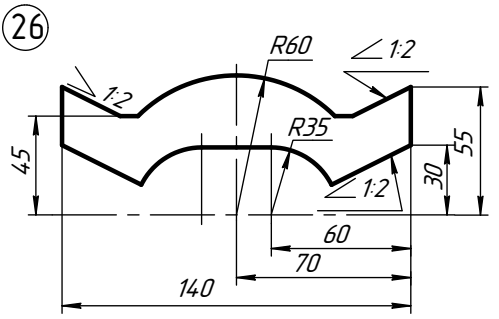

21
79
64
R35
60
R25
1:1
R35
15
35
40
68
110

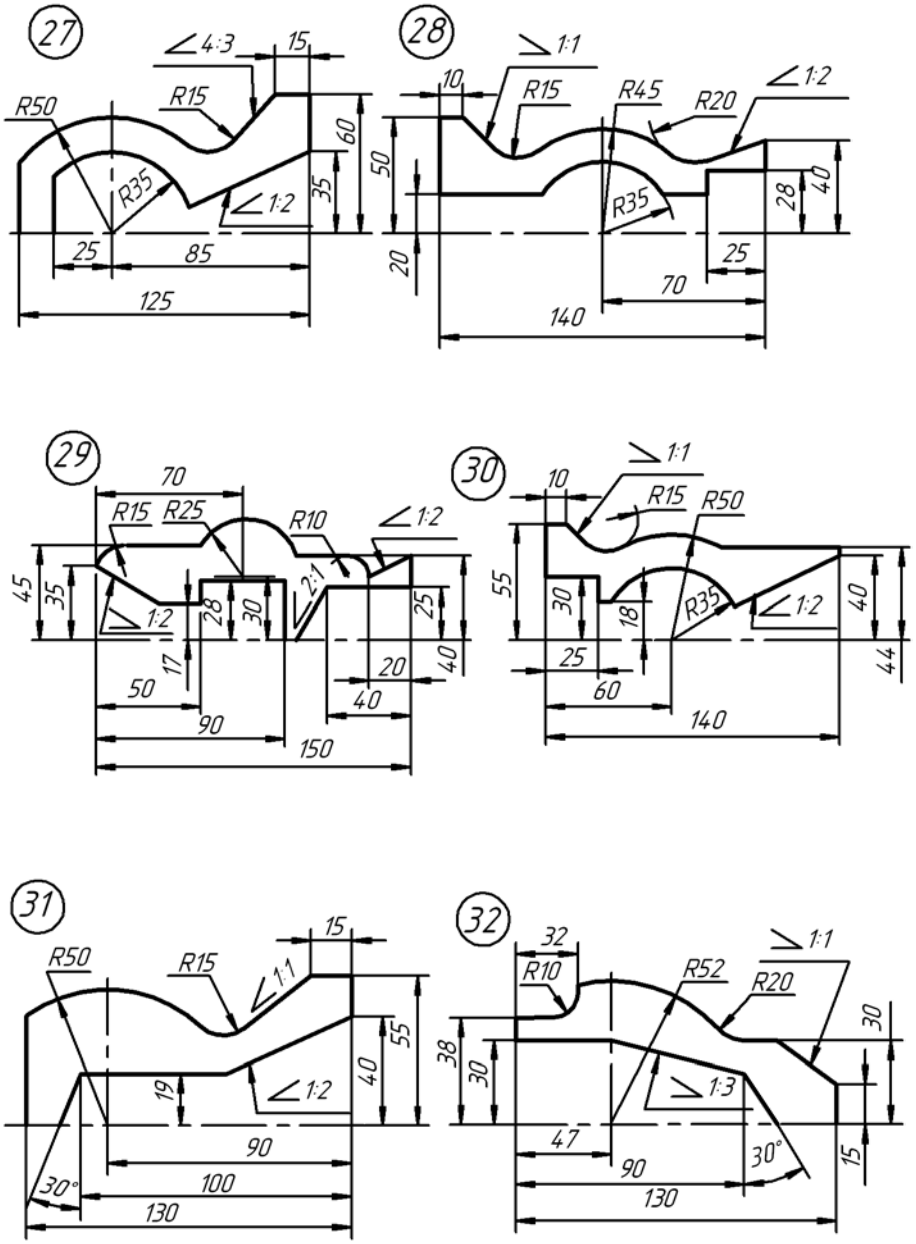

22
65
35
1:3
R15
R70
67
R25
R30
1:2
40
45
70
115

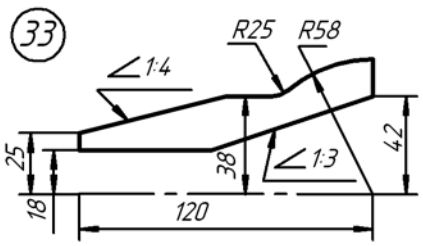

23
80
35
R30
1:1
R32
R20
17
1:2
35
60
30
86
97
130

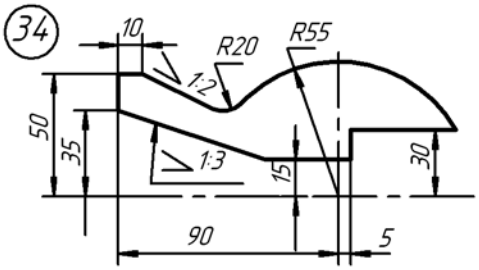

24
R35
R55
1:2,5
35
50
40
1:2
16
30
140

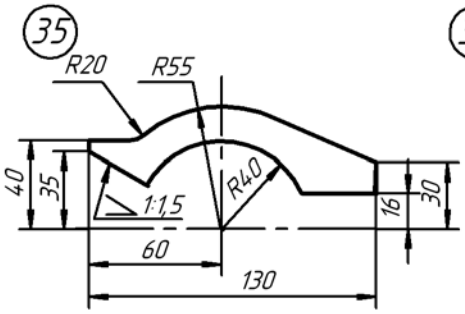

25
1:2
R20
R60
50
30
1:5
35
R32
40
140

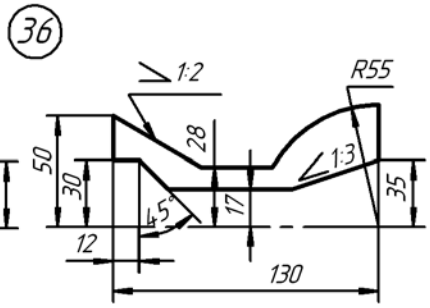

26
R60
1:2
1:2
R35
45
55
1:2
30
60
70
140

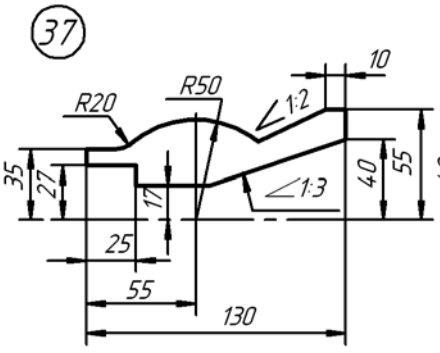

27
4:3
15
R50
R15
60
R35
35
1:2
25
85
125
28
1:1
10
R15
R45
R20
1:2
50
R35
28
40
25
20
70
140
29
70
R15
R25
R10
1:2
45
35
1:2
28
30
2:1
25
17
20
40
50
40
90
150
30
1:1
10
R15
R50
55
30
18
R35
1:2
40
25
44
60
140
31
15
R50
R15
1:1
55
40
19
1:2
90
30°
100
130
32
32
R10
R52
R20
1:1
38
30
30
1:3
47
90
30°
15
130

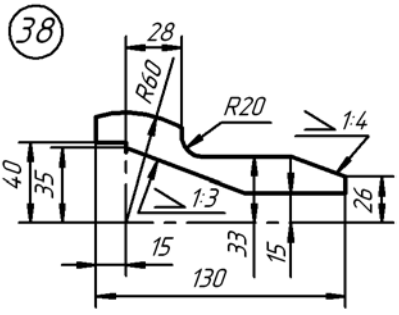

33
R25
R58
1:4
25
18
38
1:3
42
120

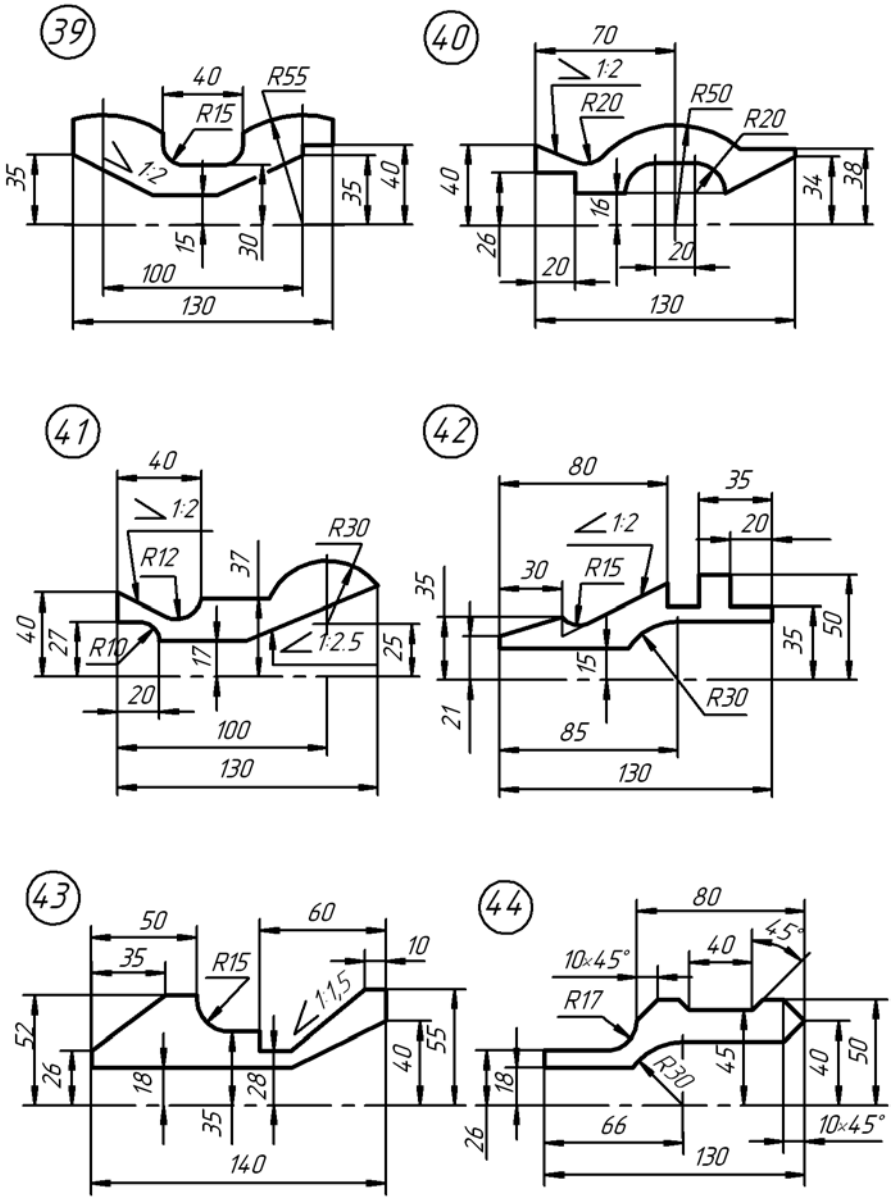

34
10
R20
R55
1:2
50
35
1:3
15
30
90
5

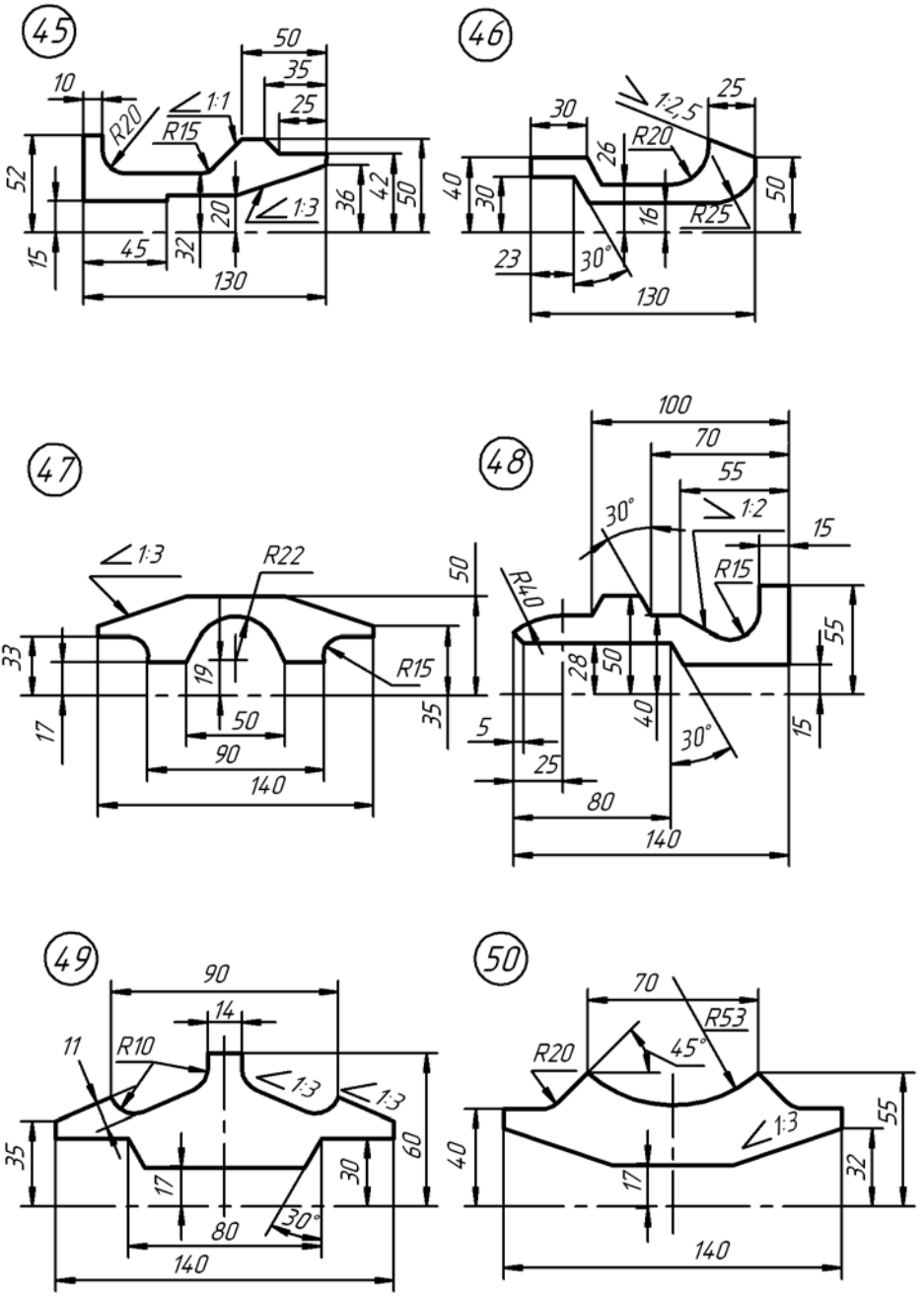

35
R20
R55
40
35
1:1,5
R40
16
30
60
130

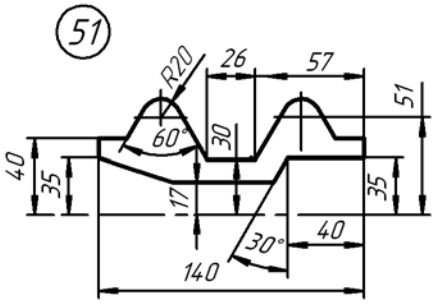

36
1:2
R55
28
50
30
1:3
35
45°
17
12
130

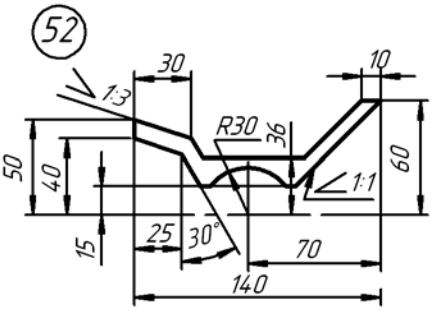

37
10
R20
R50
1:2
35
27
17
1:3
40
55
25
55
130

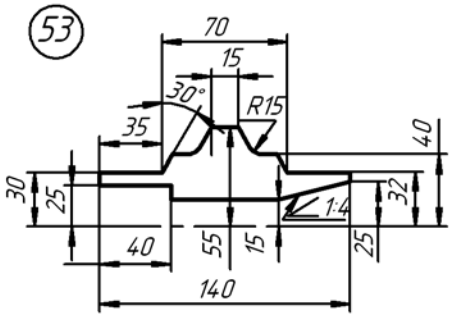

38
28
R60
R20
1:4
40
35
1:3
26
15
33
15
130

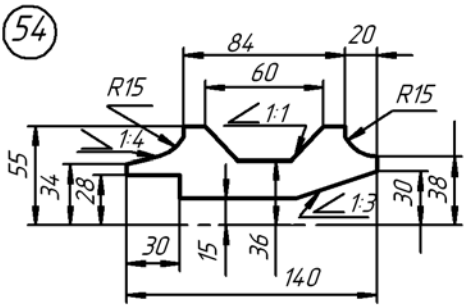

39
40
R55
R15
1:2
35
35
40
15
30
100
130
40
70
1:2
R20
R50
R20
40
34
38
16
26
20
20
130
41
40
1:2
R30
R12
37
40
27
R10
17
1:2.5
25
20
100
130
42
80
35
20
1:2
30
R15
35
35
50
15
R30
21
85
130
43
50
60
35
R15
10
1:1,5
52
26
18
28
35
40
55
140
44
80
45°
10×45°
40
R17
R30
45
18
40
50
26
66
10×45°
130

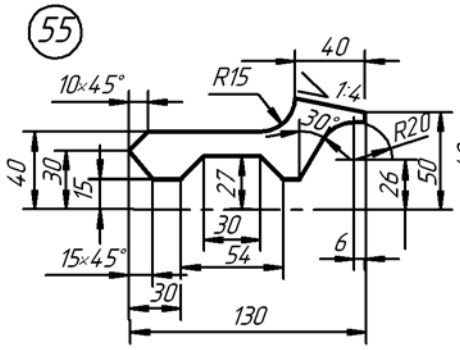

45
50
35
25
10
R20
1:1
R15
52
20
1:3
36
42
50
15
45
32
130
46
30
1:2,5
25
R20
26
40
30
16
R25
50
23
30°
130
47
1:3
R22
50
33
19
R15
35
17
50
90
140
48
100
70
55
1:2
30°
15
R40
R15
55
28
50
40
30°
15
5
25
80
140
49
90
14
11
R10
1:3
1:3
35
60
17
30
80
30°
140
50
70
R53
R20
45°
1:3
55
40
17
32
140

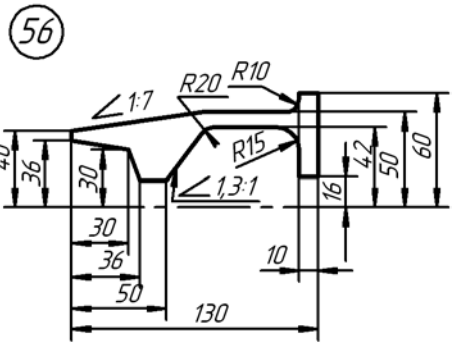

51
R20
26
57
51
60°
30
40
35
17
35
30°
40
140

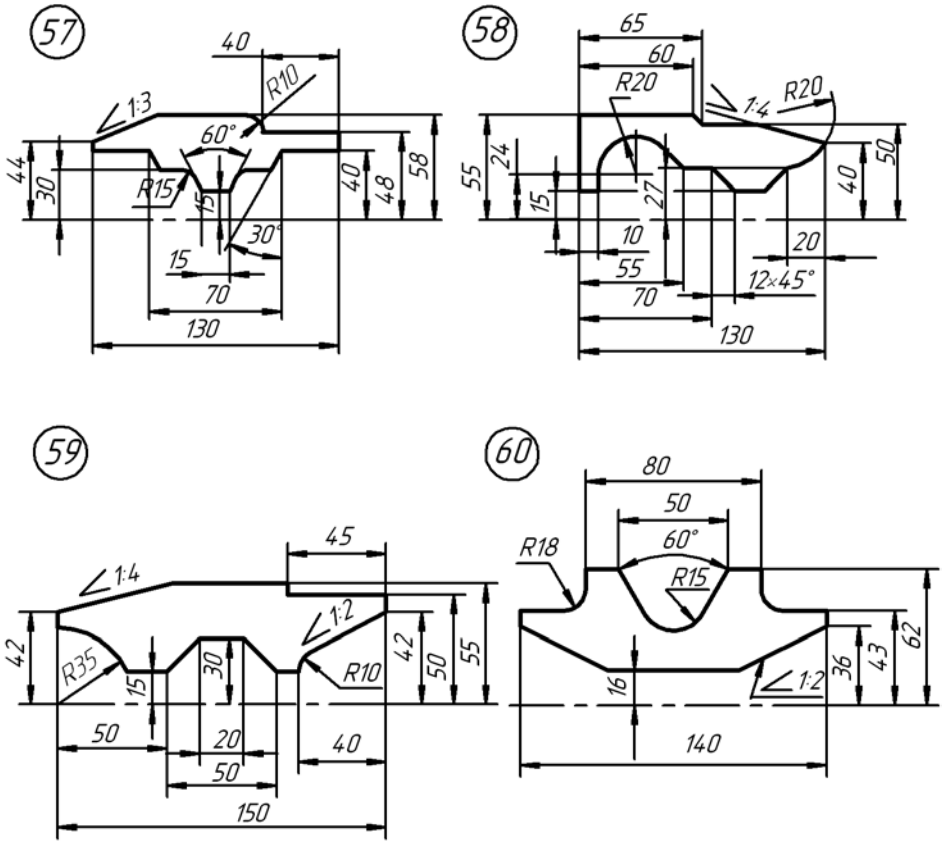

52
30
10
1:3
R30
36
50
40
1:1
60
15
25
30°
70
140


53
70
15
30°
R15
35
40
30
25
1:4
32
40
55
15
25
140


54
84
20
60
R15
R15
1:1
1:4
55
34
28
1:3
30
38
30
15
36
140

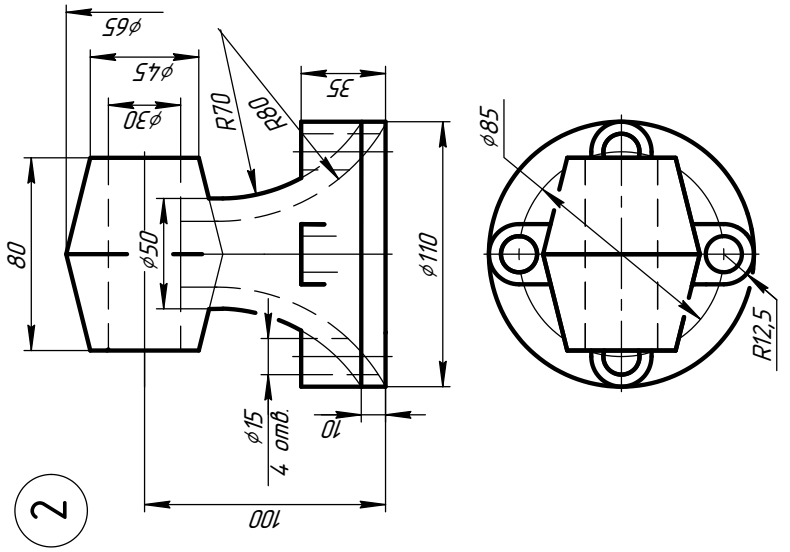

55
40
10×45°
R15
1:4
30°
R20
40
30
15
27
26
50
30
6
15×45°
54
30
130

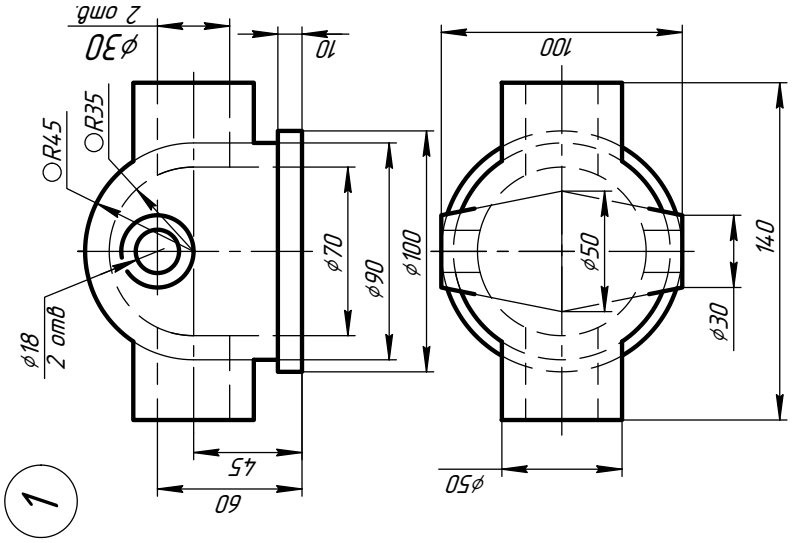

56
1:7
R20
R10
R15
40
36
30
1,3:1
16
4,2
50
60
30
36
10
50
130

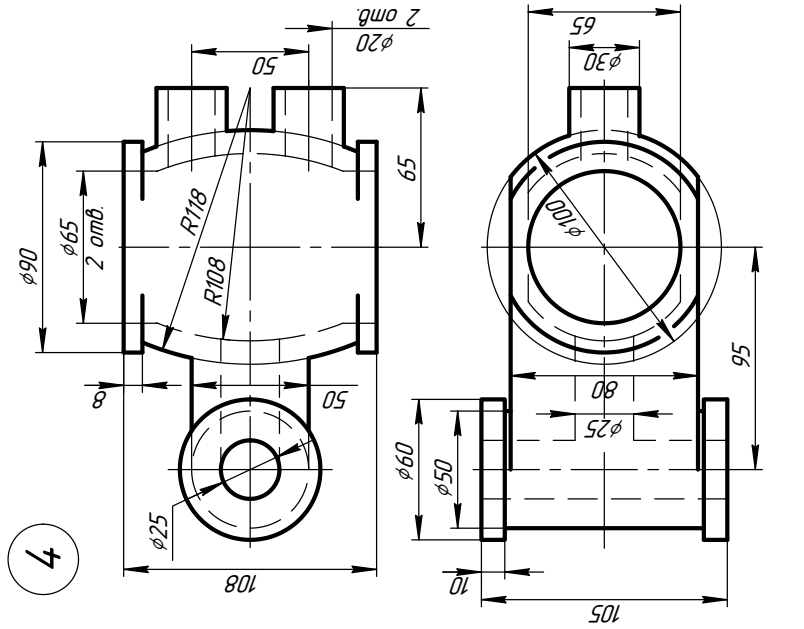

57
40
R10
1:3
60°
44
30
R15
15
40
48
58
30°
15
70
130
58
65
60
R20
R20
1:4
55
24
15
27
40
50
10
20
55
12×45°
70
130
59
45
1:4
1:2
42
R35
15
30
R10
42
50
55
50
20
40
50
150
60
80
50
60°
R18
R15
16
1:2
36
43
62
140

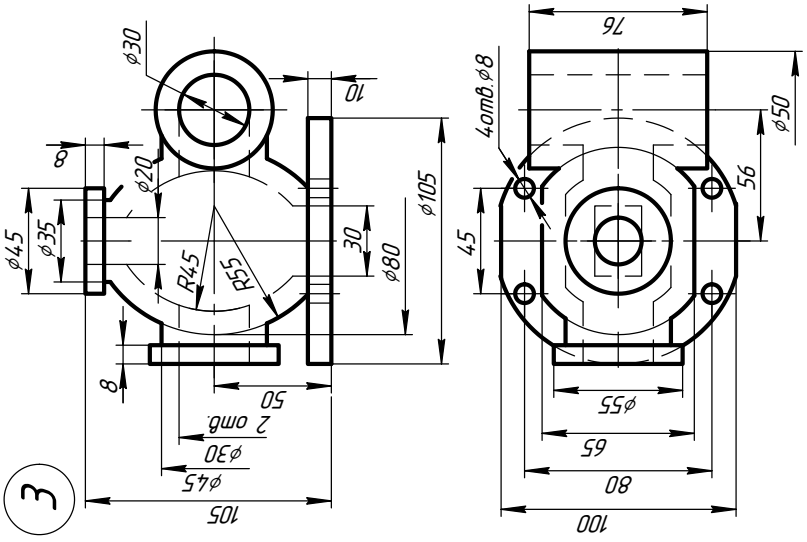
Приложение В

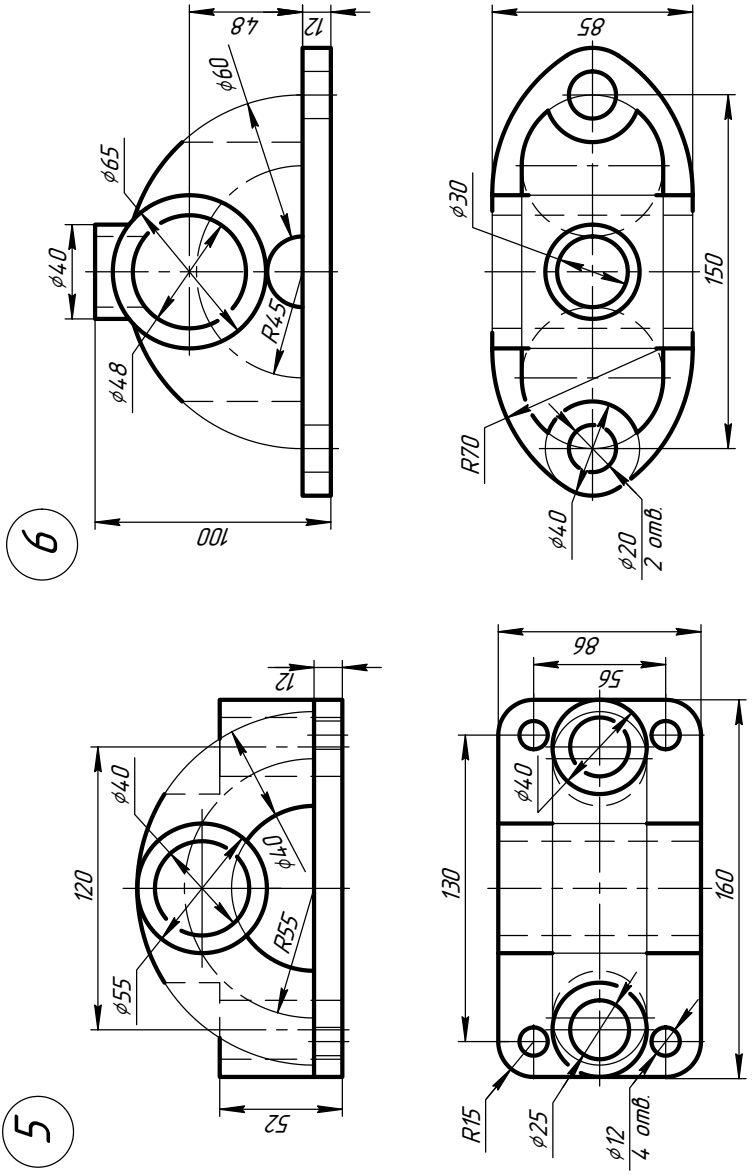
Варианты заданий на построение изображений деталей с линиями пересечения поверхностей

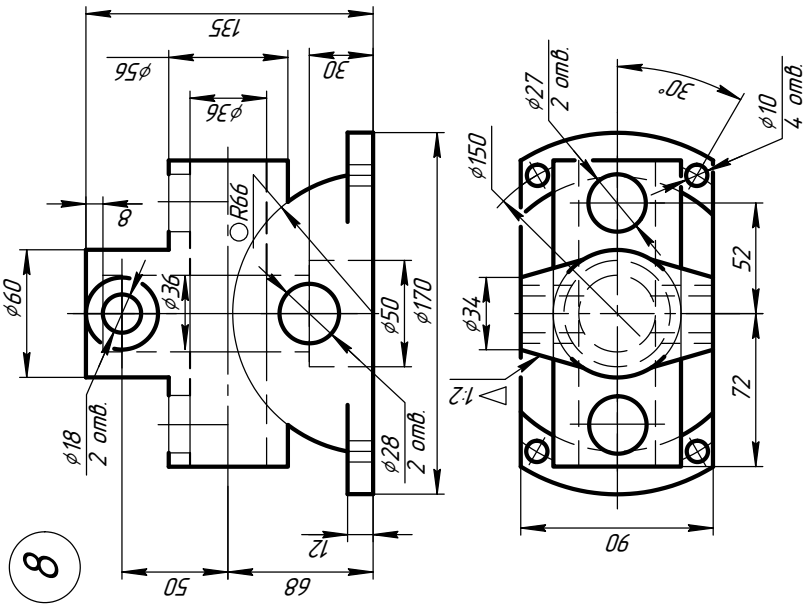

ø65
ø45
ø30
R70
R80
35
80
ø50
ø110
ø85
R12,5
ø15
4 отв.
10
100
2

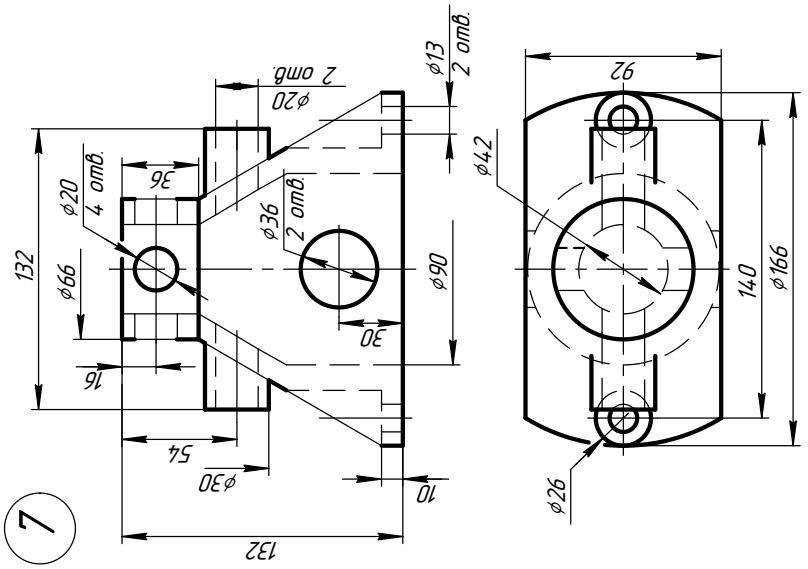

2 отв.
ø30
10
100
R45
R35
ø70
ø90
ø100
ø50
140
ø30
ø18
2 отв.
45
60
ø50
1

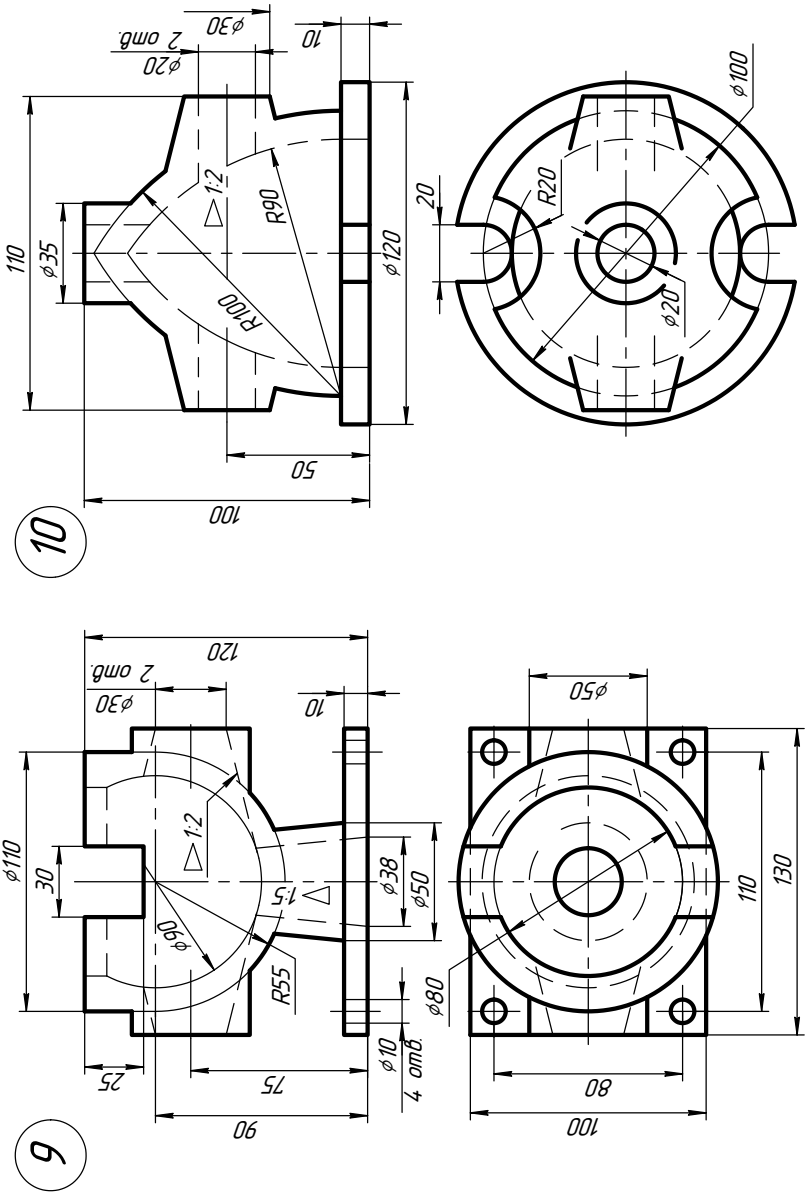

4
2 отв.
ø20
50
65
ø65
2 отв.
R118
R108
ø90
8
50
ø25
108
65
ø30
ø100
95
80
ø25
ø60
ø50
10
105

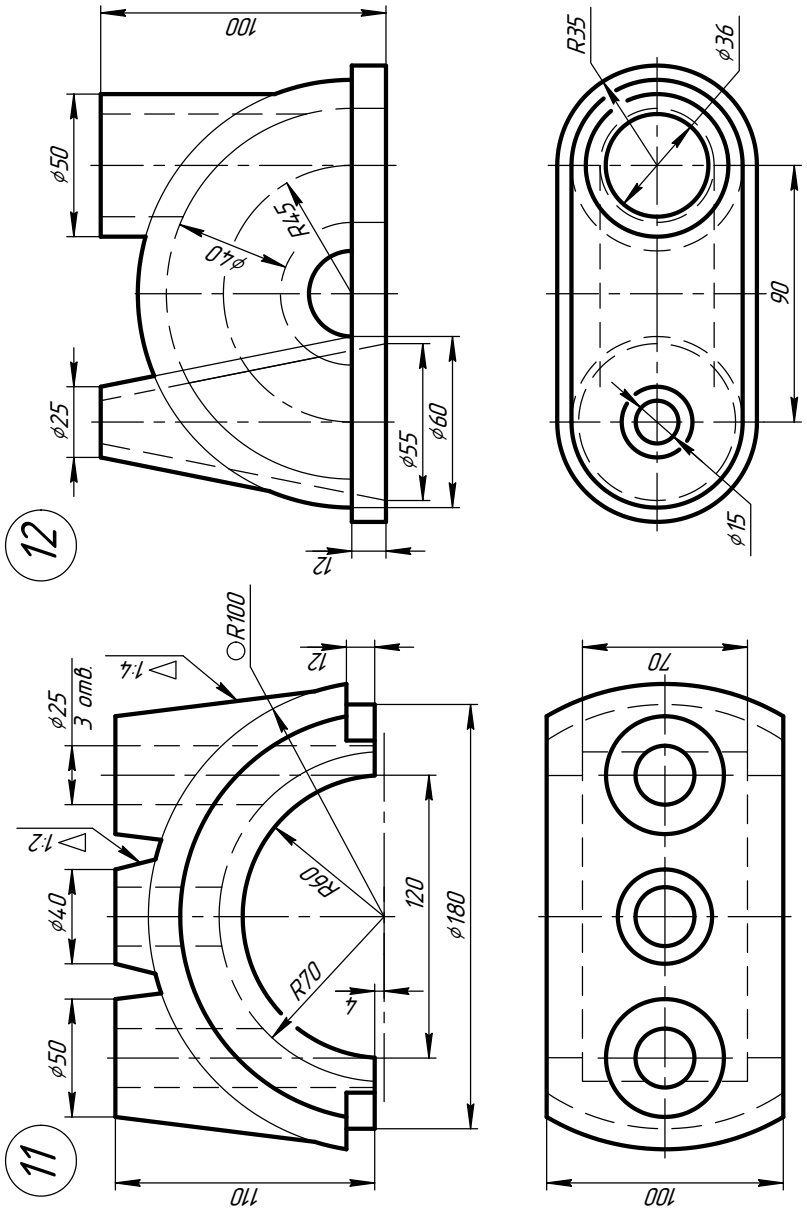

3
ø30
10
8
ø20
ø45
ø35
R45
R55
30
ø80
ø105
8
50
2 отв.
ø30
ø45
105
76
4 отв. ø8
ø50
56
45
ø55
65
80
100

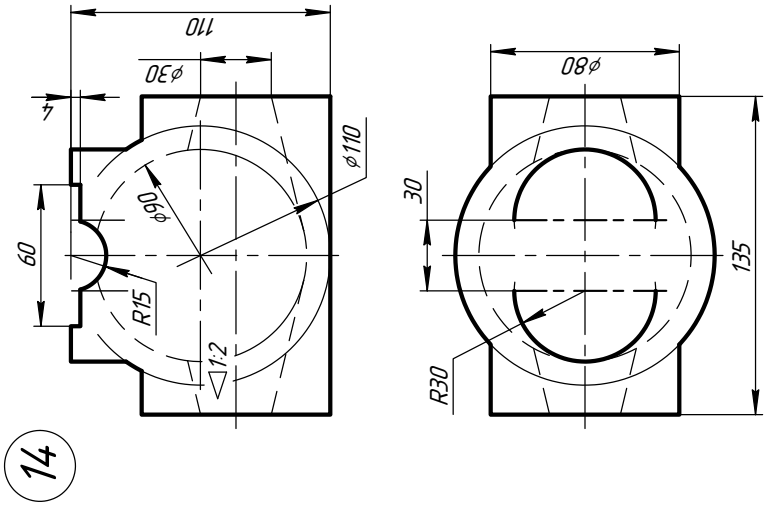

6
48
12
ϕ60
ϕ65
ϕ40
R45
ϕ48
100
85
ϕ30
150
R70
ϕ40
ϕ20
2 отв.
5
12
ϕ40
ϕ40
120
R55
ϕ55
52
98
56
ϕ40
130
160
R15
ϕ25
ϕ12
4 отв.


135
ϕ56
30
ϕ36
8
R66
ϕ60
ϕ36
ϕ50
ϕ170
ϕ18
2 отв.
ϕ28
2 отв.
12
50
68
8
ϕ27
2 отв.
30°
ϕ10
4 отв.
ϕ150
52
ϕ34
1:2
72
90

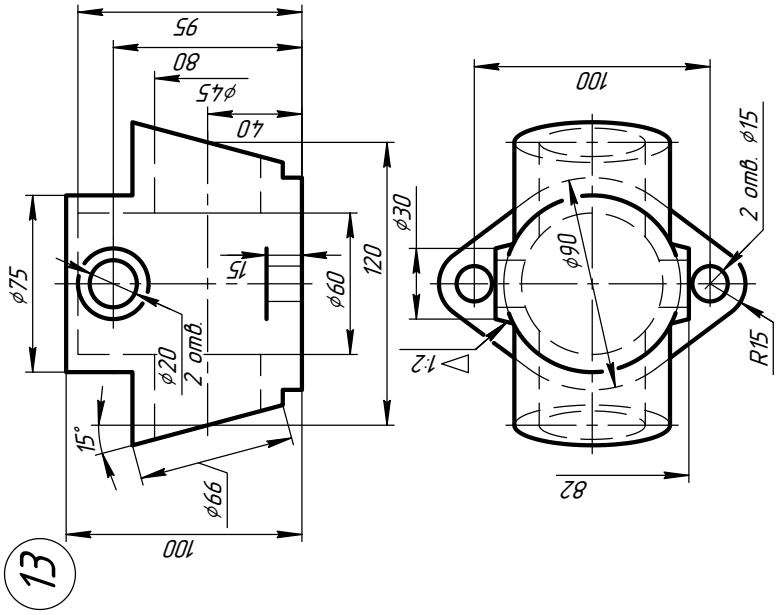

ϕ13
2 отв.
2 отв.
ϕ20
92
ϕ42
ϕ20
4 отв.
36
ϕ36
2 отв.
132
ϕ66
ϕ90
140
ϕ166
30
16
54
ϕ30
10
ϕ26
132
7


10
ϕ30
2 отв.
ϕ20
10
110
ϕ35
1:2
R90
R100
ϕ120
20
R20
ϕ100
ϕ20
50
100
9
120
2 отв.
ϕ30
10
ϕ110
30
1:2
1:5
ϕ90
R55
ϕ38
ϕ50
ϕ10
4 отв.
25
75
90
ϕ50
ϕ80
110
130
80
100

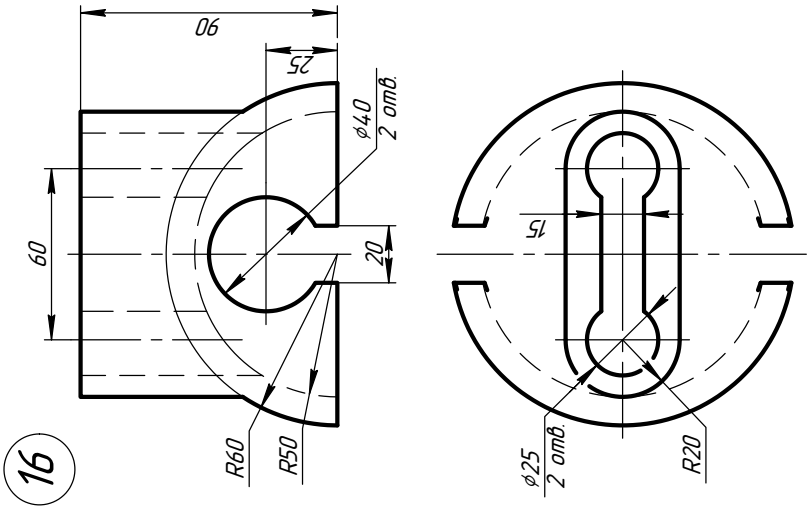

100
ø50
R45
ø40
ø25
ø55
ø60
12
R35
ø36
90
ø15
12
R100
1:4
3 отв.
ø25
1:2
ø40
R60
120
ø180
R70
4
ø50
110
11
70
100

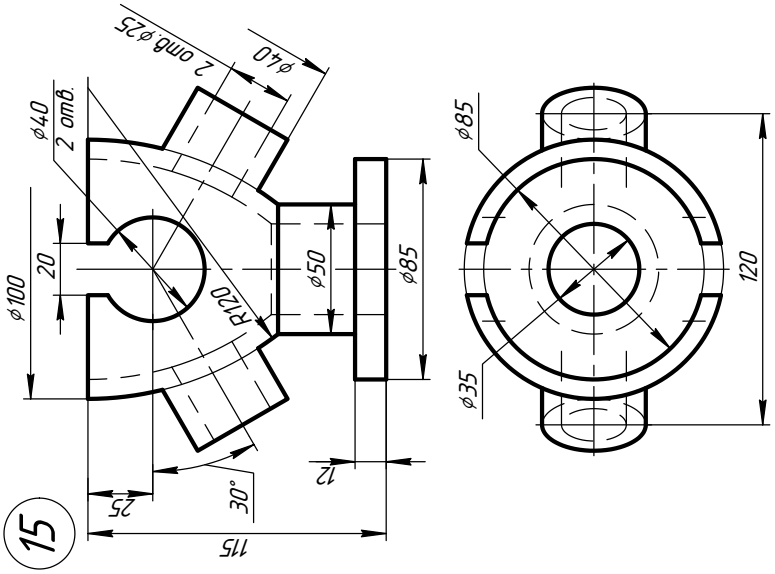

110
ø30
4
ø110
ø90
60
R15
1:2
ø80
30
135
R30

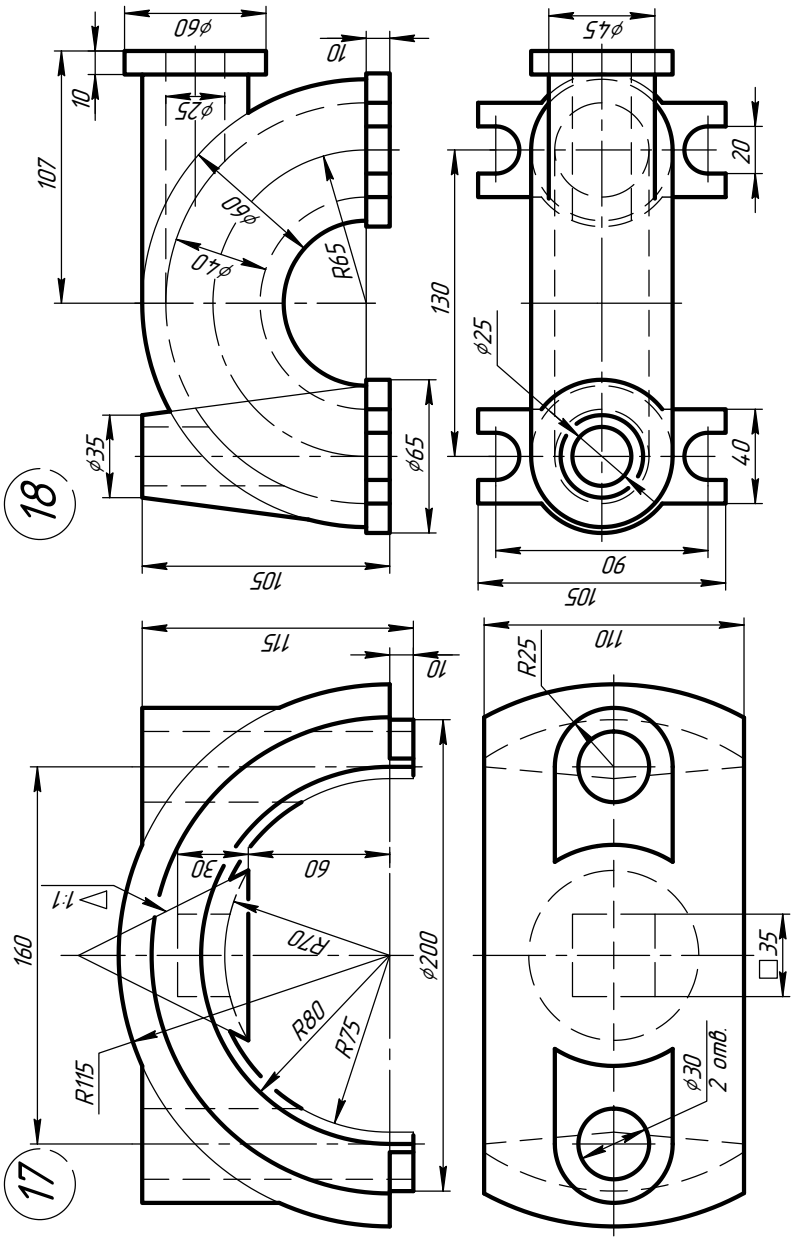
14

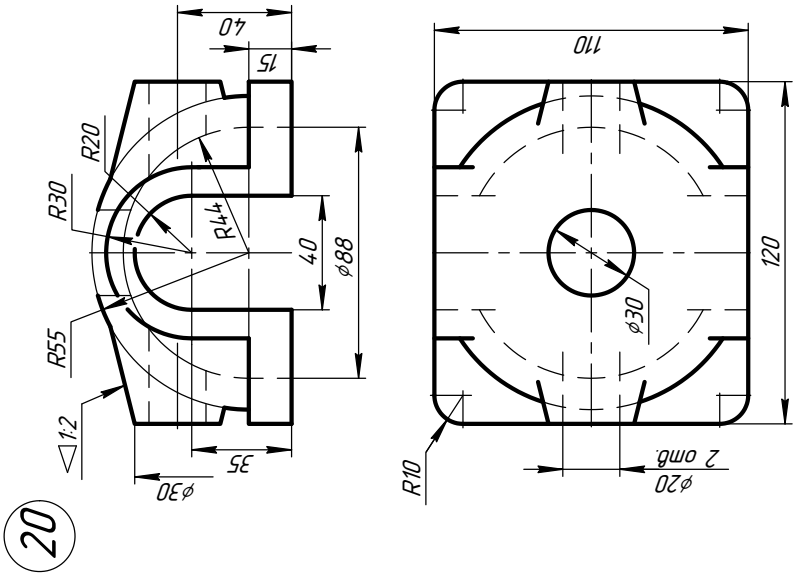

95
80
ø45
40
ø75
15
ø60
120
ø20
2 отв.
15°
ø66
100
100
ø30
ø90
2 отв. ø15
1:2
R15
82

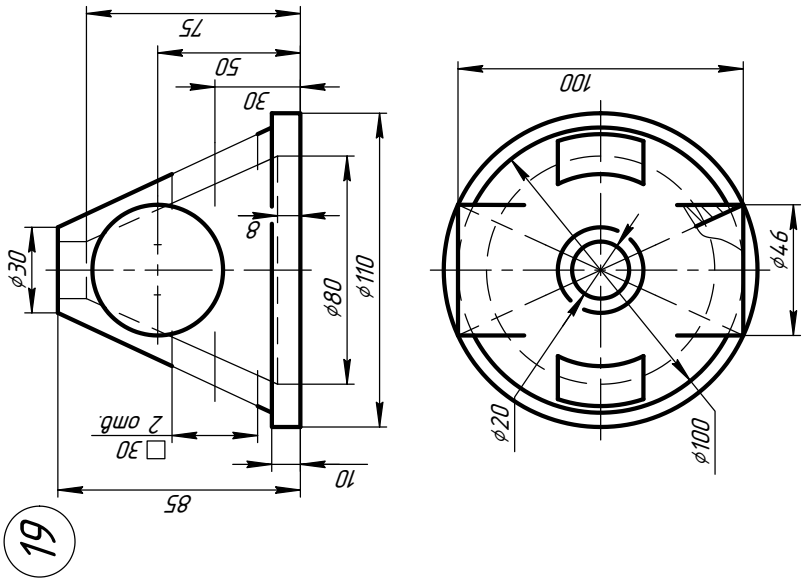
13

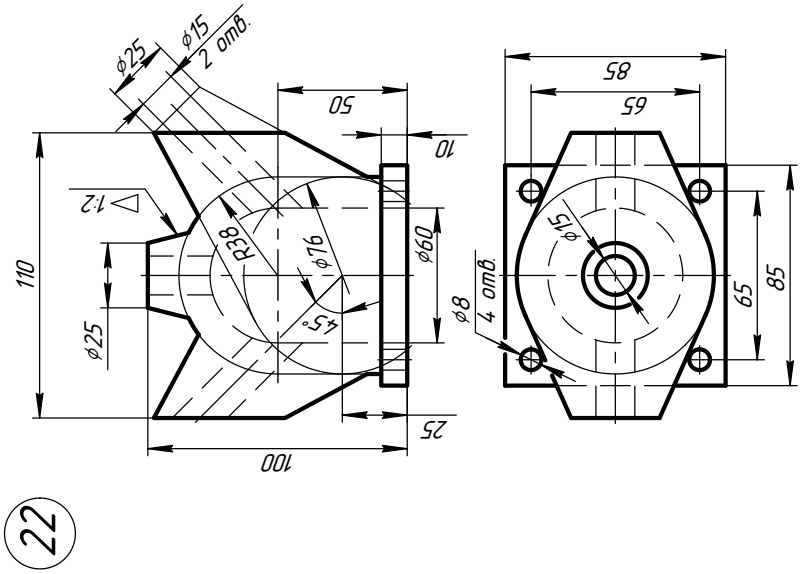

90
25
ϕ40
2 отв.
60
20
R60
R50
16
15
ϕ25
2 отв.
R20


2 отв. ϕ25
ϕ40
ϕ40
2 отв.
20
ϕ100
R120
ϕ50
ϕ85
12
25
30°
115
15
ϕ85
120
ϕ35

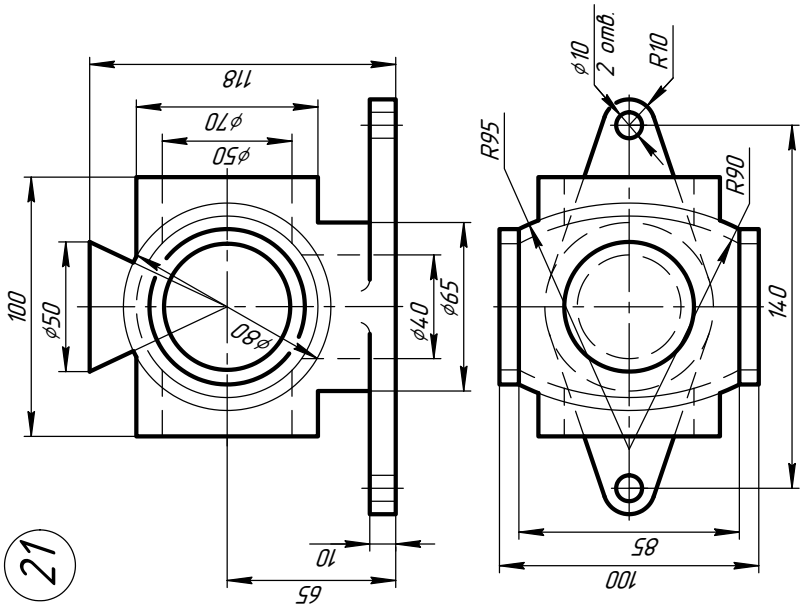

ø60
10
10
ø25
107
ø60
ø40
R65
ø35
ø65
105
18
ø45
20
130
ø25
40
90
105
115
10
R25
110
30
60
1:1
160
R70
ø200
R80
R75
R115
□35
ø30
2 отв.
17


40
15
R20
R30
R44
40
ø88
R55
1:2
35
ø30
110
120
ø30
R10
2 отв.
ø20
20

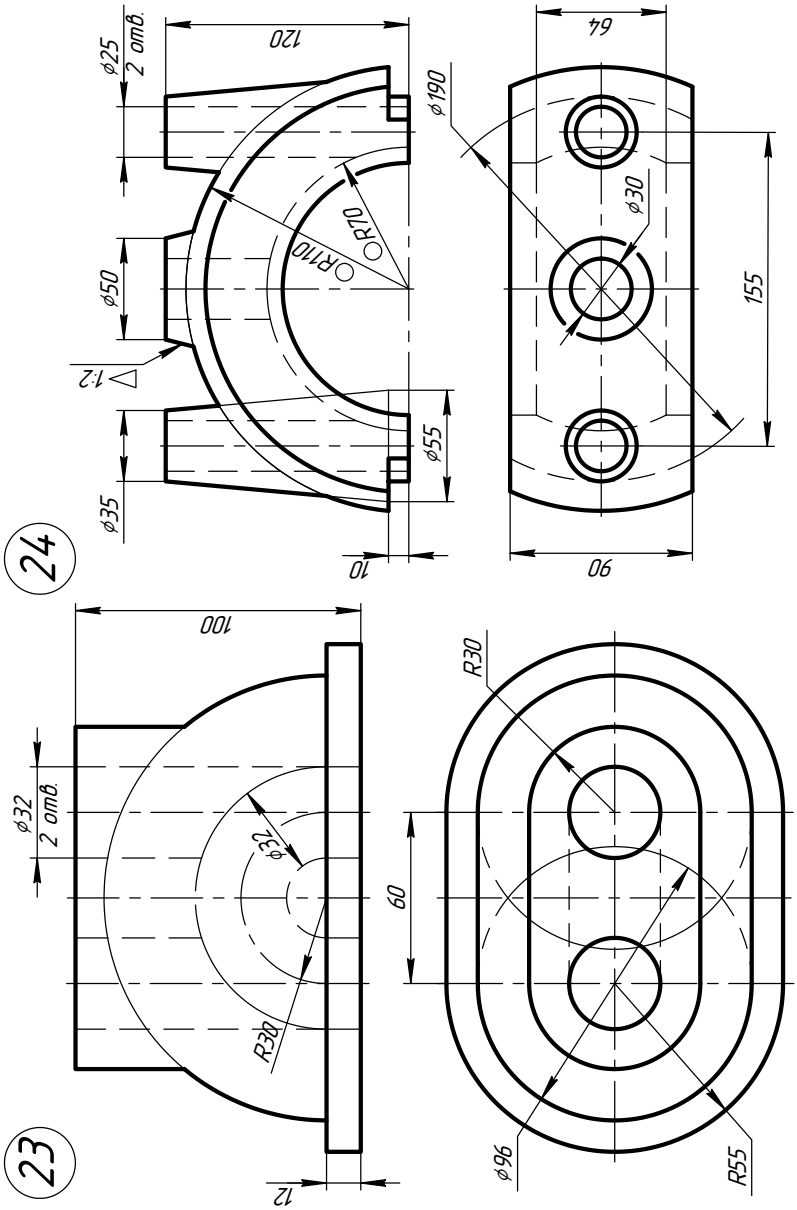

75
50
30
8
ø30
ø80
ø110
2 отв.
□30
10
85
100
ø46
ø20
ø100
19

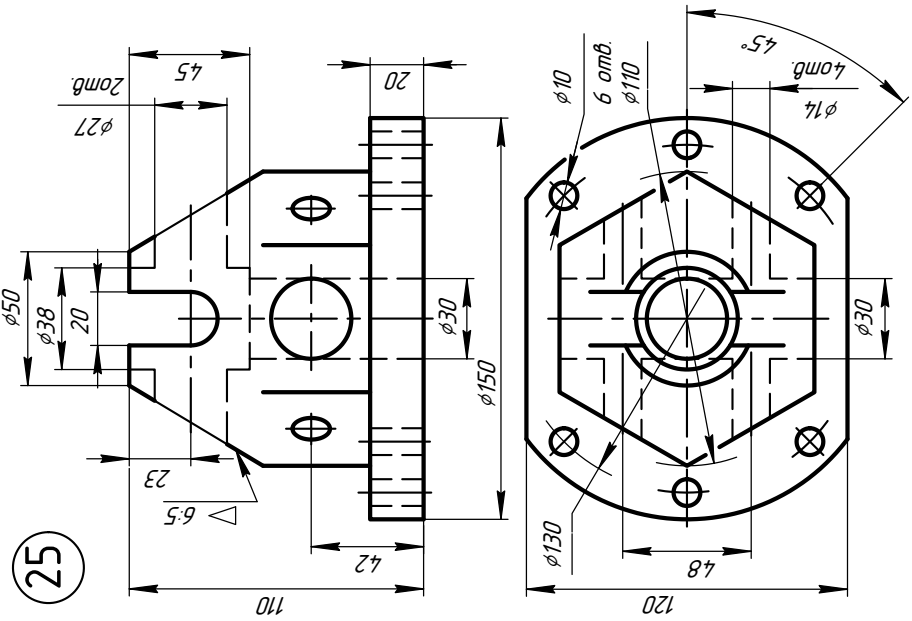

ø25
ø15
2 отв.
50
10
1:2
R38
ø16
ø60
110
ø25
45°
ø8
4 отв.
ø15
85
65
85
65
25
100

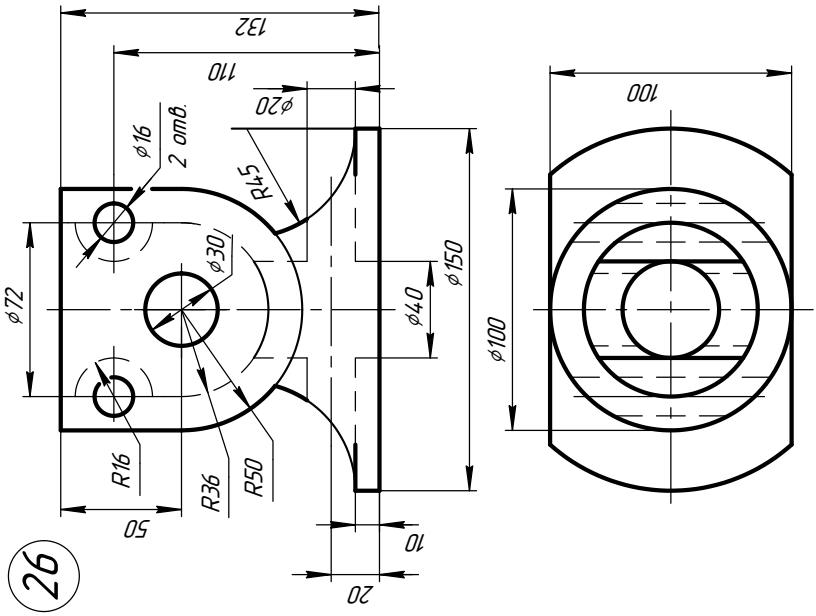
22


118
ø70
ø50
100
ø50
ø80
ø40
ø65
10
65
ø10
2 отв.
R10
R95
R90
140
85
100

21


24
120
ø25
2 отв.
ø50
1:2
ø35
R110
R70
ø55
10
64
ø190
ø30
155
90
23
100
ø32
2 отв.
ø32
R30
12
R30
60
ø96
R55


25
45
20
2отв.
ф27
ф50
ф38
20
ф30
ф150
23
6,5
42
110
ф10
6 отв.
ф110
45°
4отв.
ф14
ф30
ф130
48
120

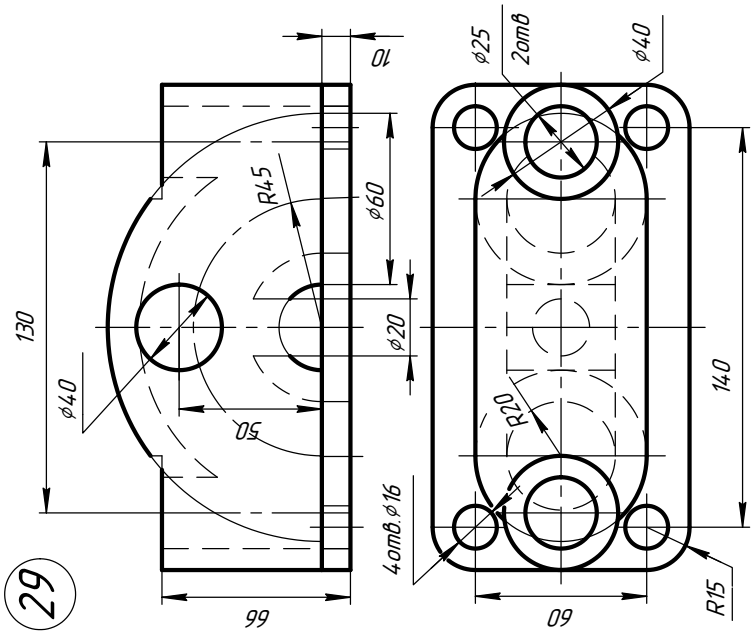

26
132
110
ф20
ф16
2 отв.
R45
ф72
ф30
ф40
ф150
R16
R36
R50
50
10
20
100
ф100

100
65
R65
30°
ø36
ø50
ø30
ø26
2 отв.
2 отв.
ø30
ø50
20
70
110
1:1
R70

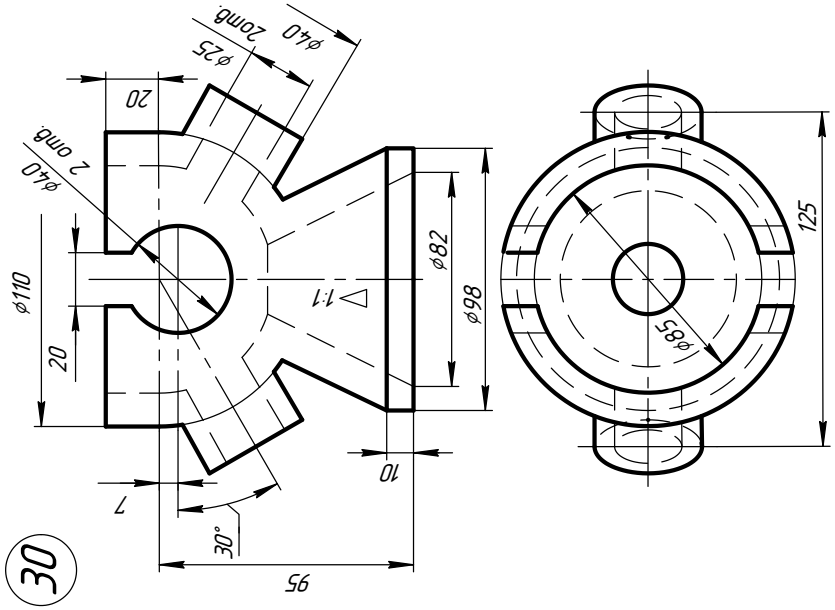
27

40
50
1:6
ø50
30°
1:6
120
R50
2отв.
ø30
8
ø40
□32
R75

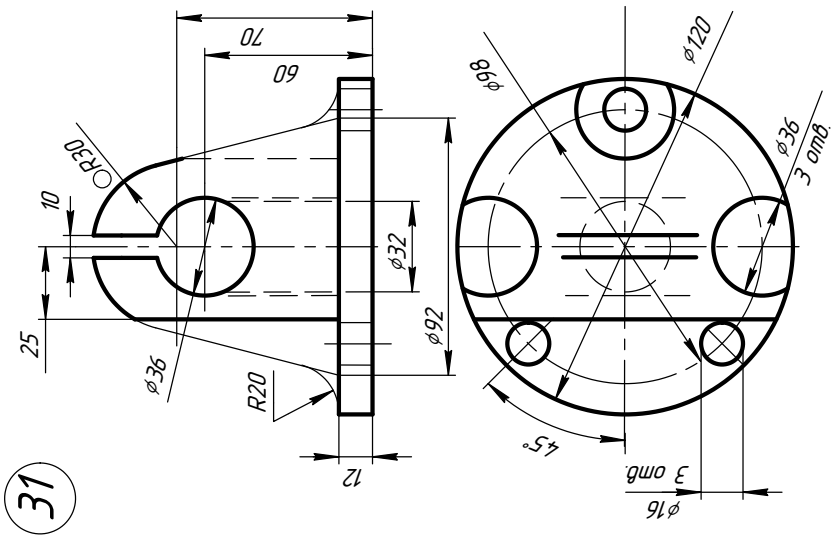
28


10
ø25
2отв
ø40
R45
ø60
130
ø20
ø40
50
R20
140
4отв.ø16
R15
66
60

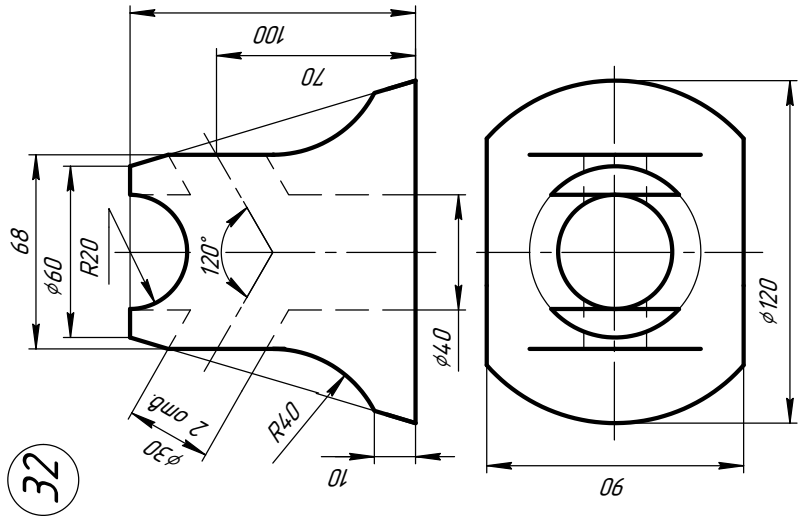
29


ø40
2отв.
ø25
20
2 отв.
ø40
ø110
20
1:1
ø82
ø98
ø85
125
10
7
30°
95

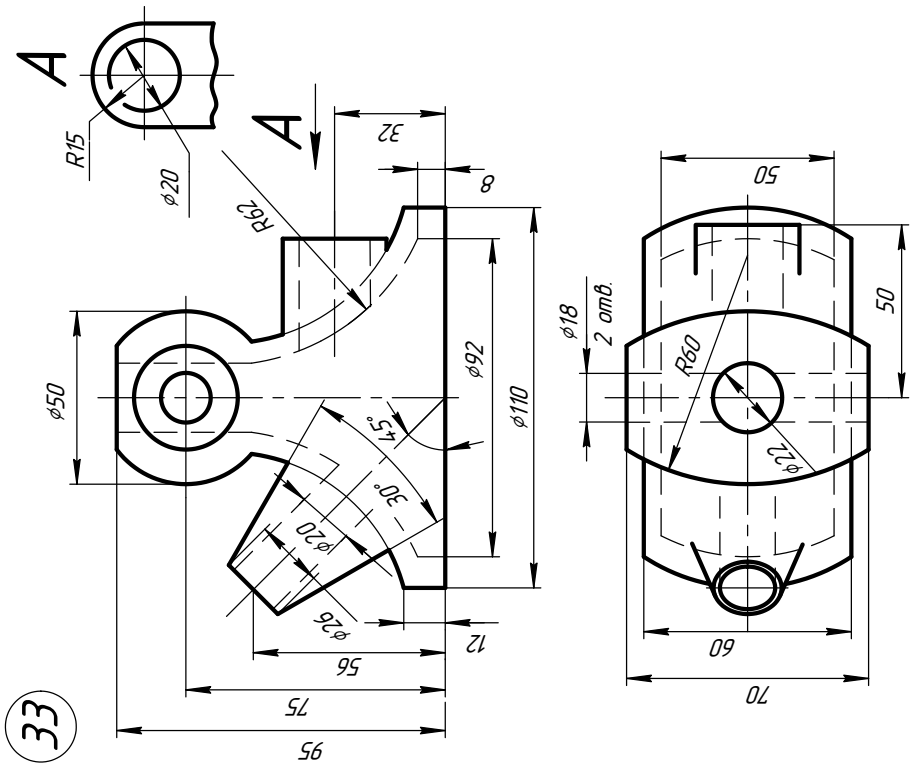
30

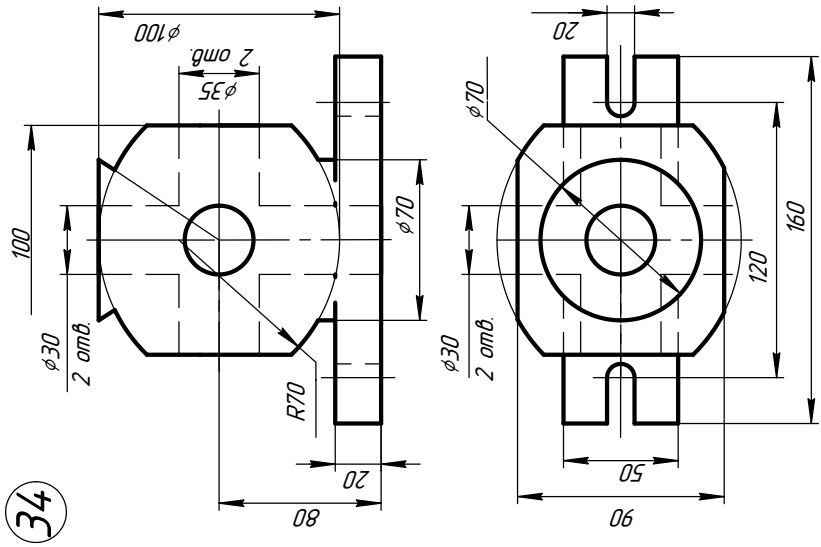

70
60
R30
10
25
ø32
ø92
ø36
R20
12
ø98
ø120
ø36
3 отв.
45°
ø16
3 отв.

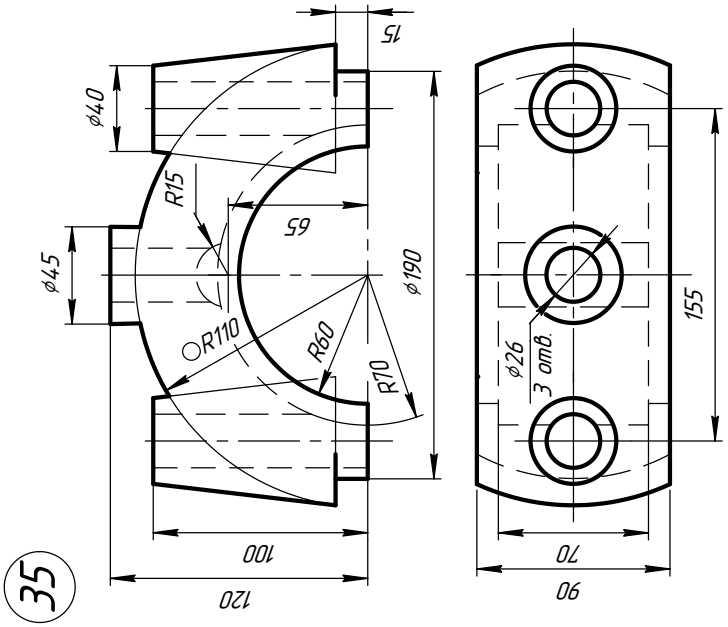
31


100
70
68
ø60
R20
120°
ø40
ø30
2 отв.
R40
10
90
ø120

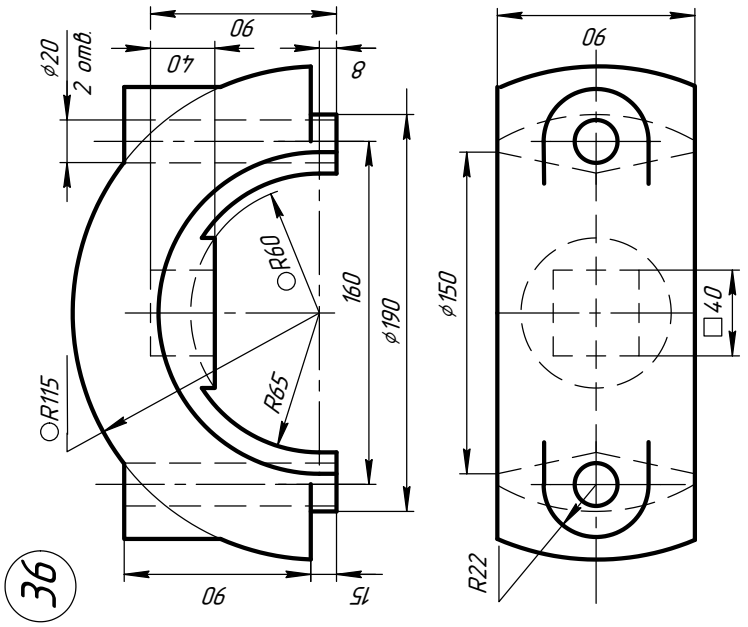
32


A
A
R15
ϕ20
R62
32
8
ϕ50
ϕ92
ϕ110
45°
30°
ϕ20
ϕ26
12
56
75
95
33
50
ϕ18
2 отв.
R60
ϕ22
50
60
70


ϕ100
2 отв.
ϕ35
100
ϕ70
ϕ30
2 отв.
R70
20
80
34
20
ϕ70
160
120
ϕ30
2 отв.
50
90


15
ø40
R15
65
ø45
ø190
R110
R60
R70
100
120
ø26
3 отв.
155
70
90

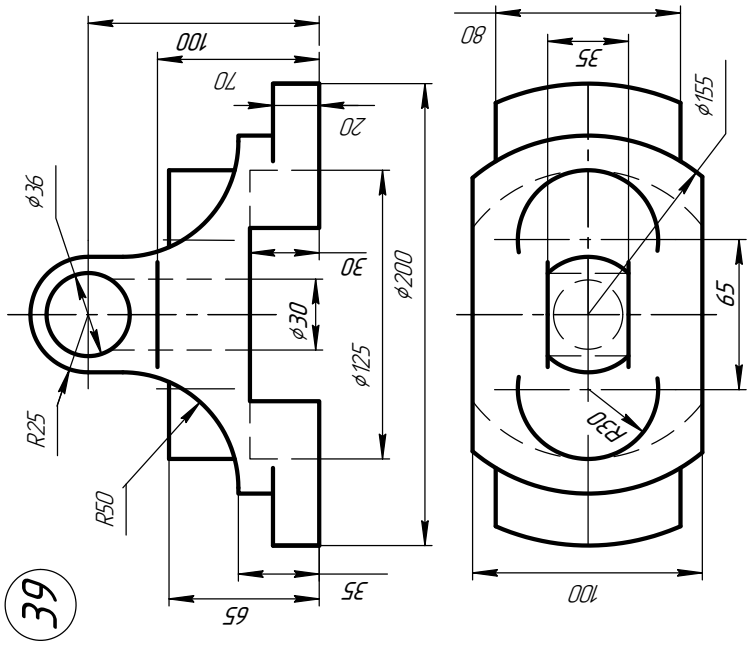
35

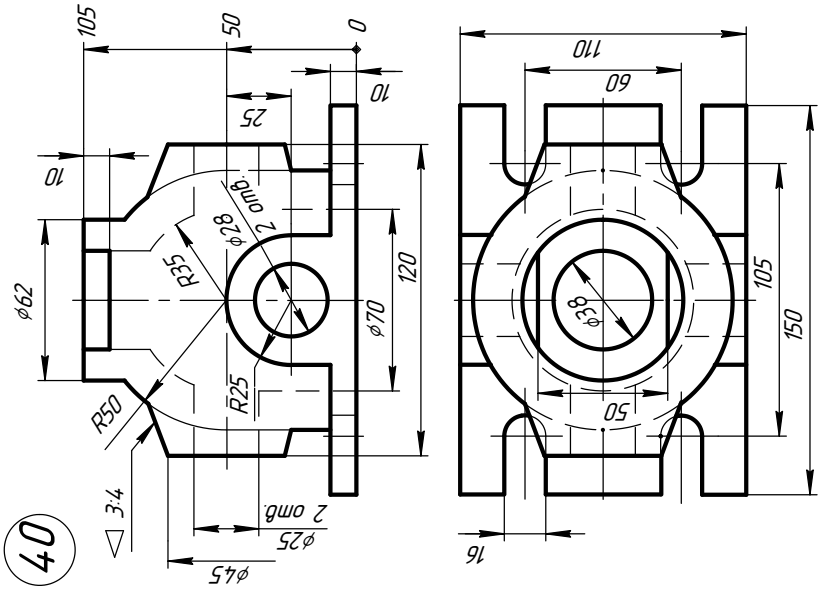

90
ø20
2 отв.
40
8
R60
160
ø190
R115
R65
90
15
90
ø150
□40
R22

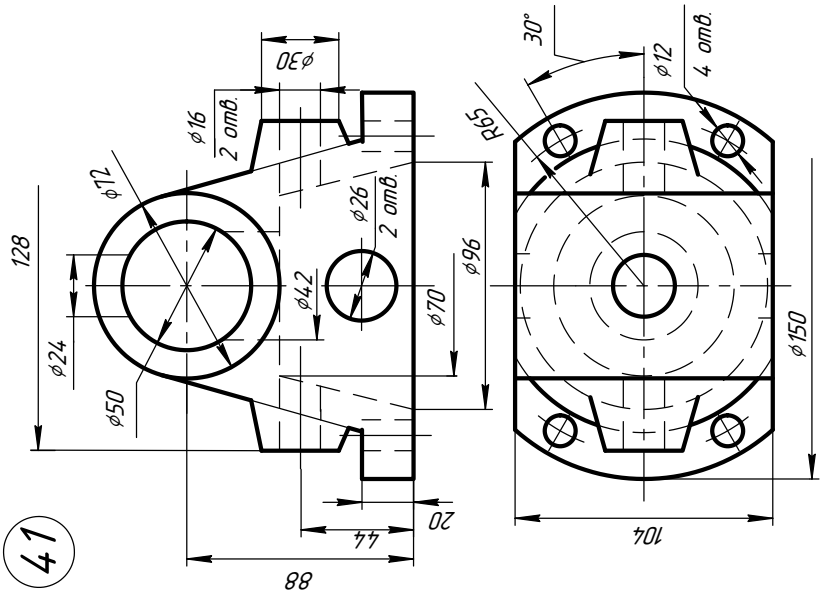
36

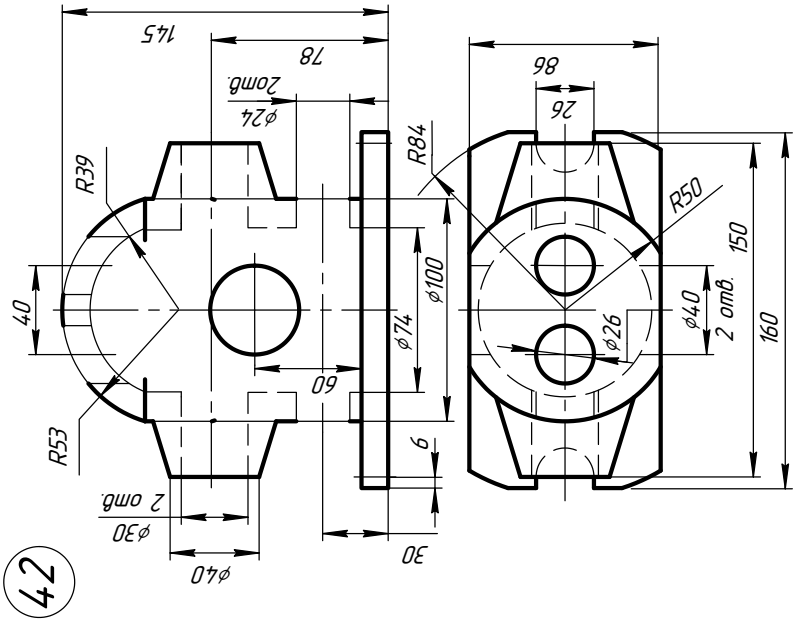
120
65
15
110
66
100
R80
ϕ60
ϕ40
2 отв.
2:3
ϕ90
R60
20
ϕ30
2 отв.
37

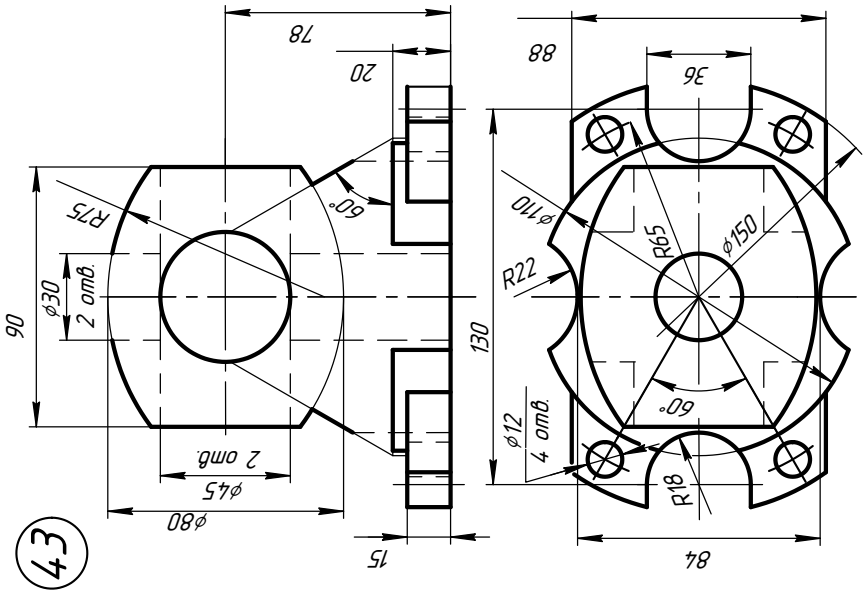
100
55
15
100
ϕ40
10
R20
ϕ70
ϕ40
ϕ20
ϕ110
ϕ170
140
1:2
2 отв
ϕ25
38


100
70
20
ø36
30
ø30
ø125
ø200
R25
R50
65
35
80
35
ø155
65
R30
100
39

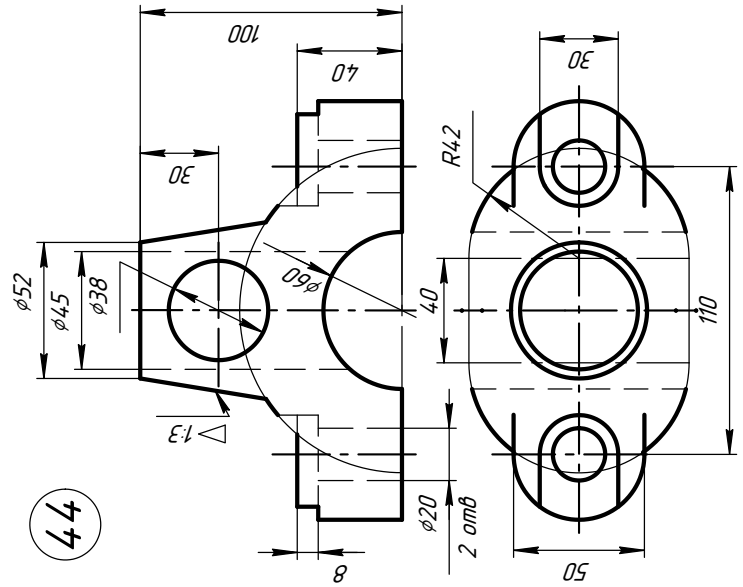

105
50
0
10
25
10
ø62
R35
ø28
2 отв.
ø70
120
R25
R50
3:4
2 отв.
ø25
ø45
110
60
ø38
105
150
50
16
40


41
128
ϕ24
ϕ50
ϕ12
ϕ16
2 отв.
ϕ30
ϕ42
ϕ26
2 отв.
ϕ70
ϕ96
R95
30°
ϕ12
4 отв.
ϕ150
104
88
44
20

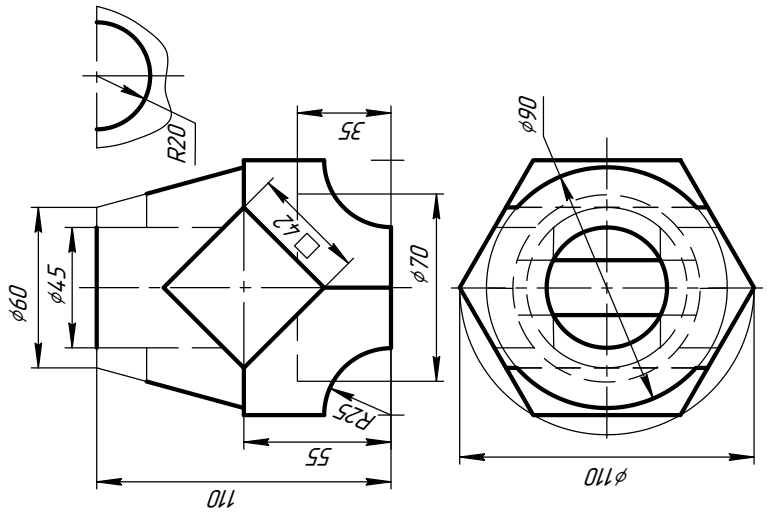

42
145
78
2отв.
ϕ24
R39
R84
86
26
R50
40
ϕ100
ϕ74
ϕ40
2 отв.
ϕ26
150
160
60
R53
9
2 отв.
ϕ30
ϕ40
30


78
20
88
36
R75
60°
ϕ110
R65
ϕ150
R22
ϕ30
2 отв.
90
130
60°
ϕ12
4 отв.
2 отв.
ϕ45
ϕ80
R18
15
84

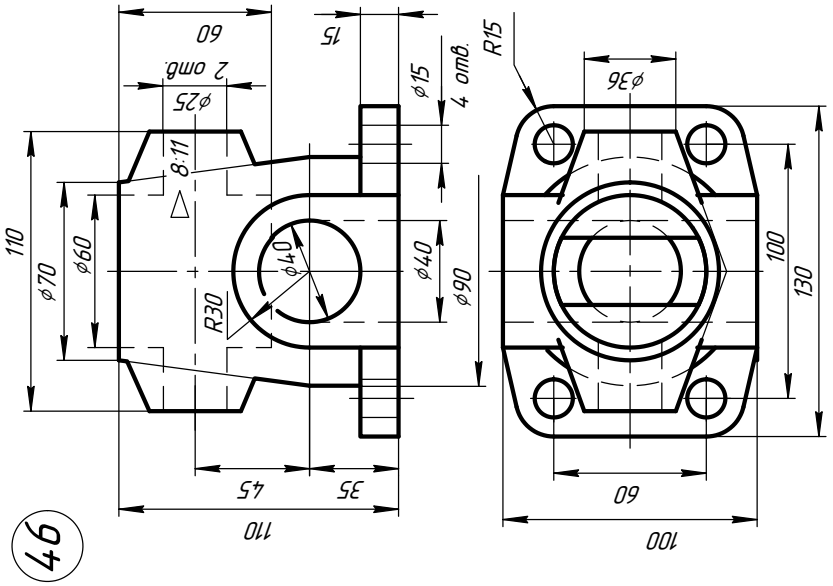
43


100
40
30
30
R42
ϕ52
ϕ45
ϕ38
ϕ60
40
110
1:3
ϕ20
2 отв
8
50

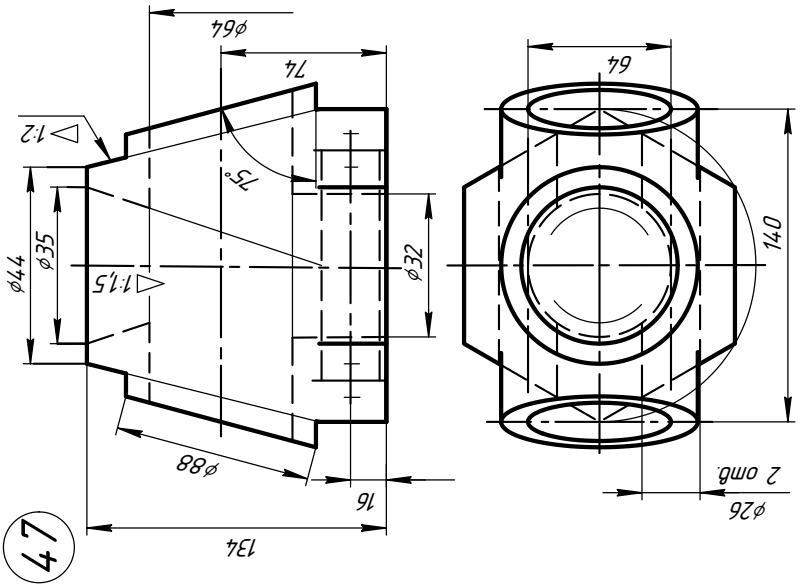
44


R20
35
□42
ϕ60
ϕ45
ϕ70
R25
55
110
ϕ90
ϕ110

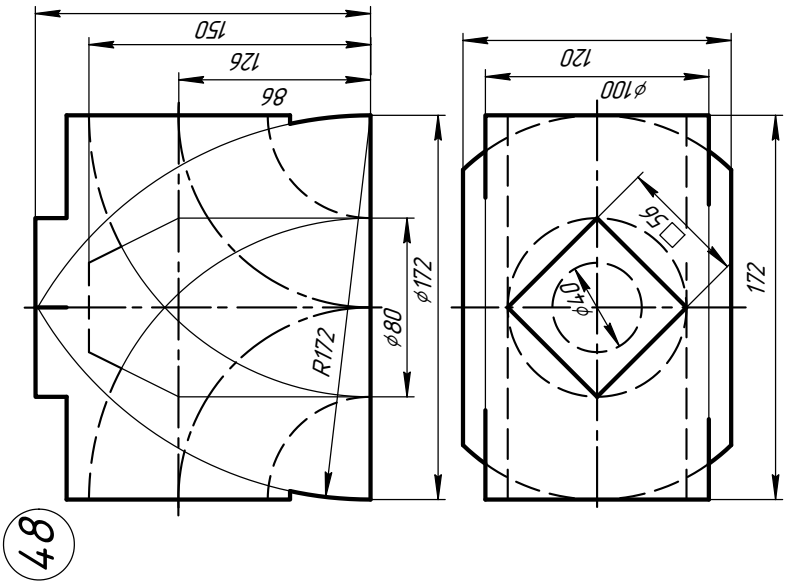
45


60
15
2 отв.
ϕ25
ϕ15
4 отв.
R15
ϕ36
8:11
110
ϕ70
ϕ60
ϕ40
R30
ϕ90
100
130
45
35
110
60
100

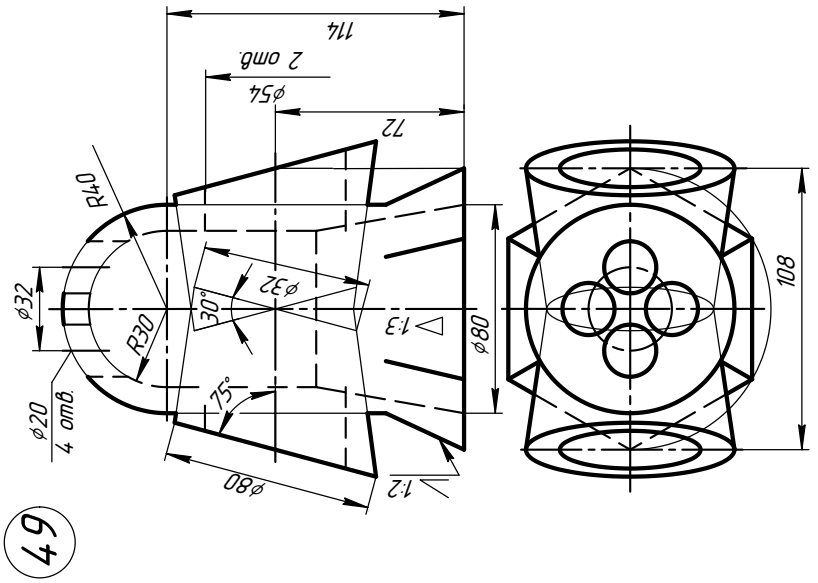
46


ø64
74
1:2
75°
ø44
ø35
1:1,5
ø32
ø88
16
134
64
140
2 отв.
ø26

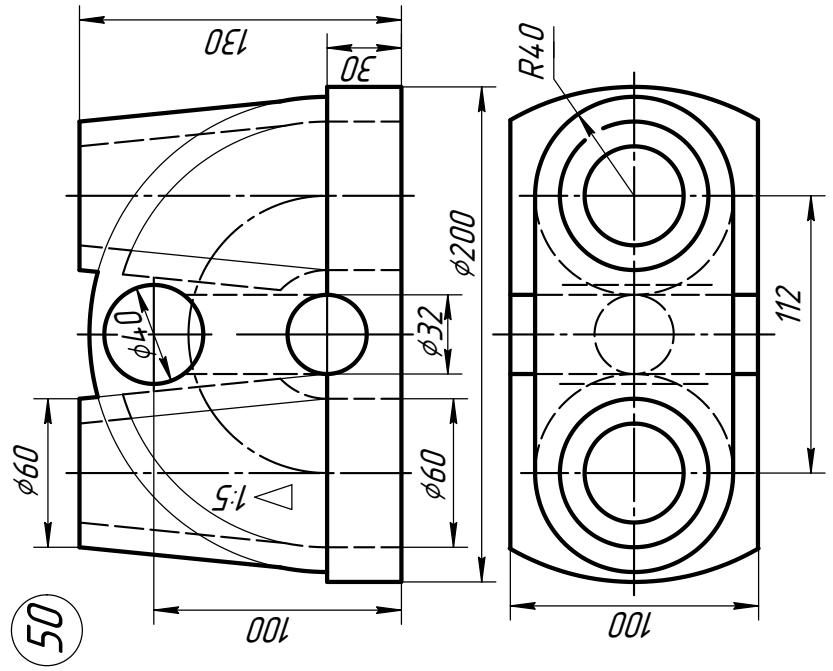
47


150
126
86
ø172
ø80
R172
120
ø100
□56
ø40
172

48


114
2 отв.
ϕ54
72
R40
ϕ32
30°
ϕ32
R30
1:3
ϕ80
108
ϕ20
4 отв
75°
ϕ80
1:2

49


130
30
R40
ϕ200
ϕ40
ϕ32
112
ϕ60
1:5
ϕ60
100
100

50

Список литературы

1. *Иванов Г. С.* Начертательная геометрия: Учеб. для вузов / Г. С. Иванов. — М.: Машиностроение, 1995. — 224 с.
2. *Иванов Г. С.* Начертательная геометрия: Учеб. / Г. С. Иванов; ГОУ ВПО МГУЛ. — М., 2008. — 338 с.
3. *Королёв Ю. И.* Инженерная графика: Учеб. пособие / Ю. И. Королёв. — Ч. 1. Начертательная геометрия. — Уфа: Изд-во УГНТУ, 2002. — 240 с.
4. *Королёв Ю. И.* Начертательная геометрия: Учеб. для вузов / Ю. И. Королёв. — СПб.: Питер, 2006. — 252 с.: ил.
5. *Королёв Ю. И.* Начертательная геометрия: Учеб. для вузов / Ю. И. Королёв. — СПб.: Питер, 2007. — 252 с.: ил.
6. *Королёв Ю. И.* Начертательная геометрия: Учеб. для вузов / Ю. И. Королёв. — СПб.: Питер, 2008. — 252 с.: ил.
7. *Королёв Ю. И.* Начертательная геометрия: Учеб. для вузов / Ю. И. Королёв. — 2-е изд. — СПб.: Питер, 2009. — 252 с.: ил.
8. *Королёв Ю. И.* Начертательная геометрия: Учеб. для вузов / Ю. И. Королёв. — 2-е изд. — СПб.: Питер, 2010. — 252 с.: ил.
9. *Королёв Ю. И.* Начертательная геометрия: Сборник заданий для самостоятельной работы / Ю. И. Королёв, С. Ю. Устюжанина. — Уфа: Нефтегазовое дело, 2009. — 181 с.
10. *Королёв Ю. И.* Сборник задач по начертательной геометрии: Учеб. пособие / Ю. И. Королёв, С. Ю. Устюжанина. — СПб.: Питер, 2008. — 320 с.: ил.
11. *Нартова Л. Г.* Начертательная геометрия: Учеб. для вузов / Л. Г. Нартова, В. И. Якунин. — М.: Дрофа, 2003. — 208 с.: ил.
12. *Нартова Л. Г.* Начертательная геометрия: Учеб. пособие / Л. Г. Нартова, В. И. Якунин. — 2-е изд., стер. — М.: ИЦ «Академия», 2010. — 288 с.
13. *Полозов В. С.* Автоматизированное проектирование. Геометрические и графические задачи / В. С. Полозов, О. А. Будеков, С. И. Ротков, Л. В. Широкова. — М.: Машиностроение, 1983. — 280 с., ил.
14. *Фролов С. А.* Начертательная геометрия: Учеб. для втузов / С. А. Фролов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1983. — 240 с.

Юрий Иванович Королёв, Светлана Юрьевна Устюжанина

Начертательная геометрия и графика: Учебное пособие. Стандарт третьего поколения