

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Инженерная графика»

ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА. НАЧЕРТАТЕЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА. НАЧЕРТАТЕЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов всех специальностей и направления подготовки
23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы»
очной и заочной форм обучения*

АКСОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ



Могилев 2019

УДК 744
ББК 38.2
И 62

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Инженерная графика» «22» января 2019 г., протокол № 6

Составитель ст. преподаватель И. В. Войцехович

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. П. Прудников

Методические рекомендации предназначены для студентов, обучающихся по белорусским и российским образовательным программам. В них рассматриваются особенности и последовательность выполнения построения стандартных видов аксонометрических проекций.

Учебно-методическое издание

**ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА. НАЧЕРТАТЕЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ
И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА. НАЧЕРТАТЕЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ
И ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА**

Ответственный за выпуск	А. Ю. Поляков
Технический редактор	А. Т. Червинская
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84 /8. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 115 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2019



Содержание

1 Общие сведения и определения.....	4
2 Прямоугольная изометрия.....	6
3 Прямоугольная диметрия.....	10
4 Косоугольная фронтальная диметрия.....	15
5 Последовательность выполнения аксонометрической проекции технической формы.....	18
Список литературы.....	22



1 Общие сведения и определения

Прямоугольные проекции предмета на взаимно перпендикулярные плоскости проекций по методу Г. Монжа позволяют точно передать на чертеже форму предмета и его размеры, они просты в построении, но не обладают наглядностью. Создание в уме по комплексному чертежу пространственного образа изображенного предмета требует навыков аналитического мышления, наличия пространственного воображения, т. е. достаточно развитого пространственного мышления. Для наглядного изображения предмета существуют проекции, которые называют аксонометрическими (в переводе с древнегреческого – осеизмерение).

Аксонометрическая проекция – это параллельная проекция предмета вместе с системой прямоугольных координат, к которым этот предмет отнесен в пространстве, на некоторую плоскость аксонометрических проекций. Любому чертежу в аксонометрической проекции предшествует чертеж, выполненный в ортогональных проекциях. Аксонометрические проекции имеют следующие свойства.

1 Ось Z всегда проецируется вертикально.

2 Все измерения выполняются только по осям или параллельно им.

3 Аксонометрическая проекция отрезка прямой является прямой.

4 Если отрезки прямых линий параллельны между собой на ортогональном чертеже, они остаются параллельными и на аксонометрической проекции.

5 Проекцией окружности на аксонометрическом изображении в общем случае является эллипс.

Чтобы обеспечить наглядность предмета по изображению на одной аксонометрической плоскости, направление проецирующих лучей не должно быть параллельным координатным плоскостям проекций xOy , xOz , zOy , относительно которых выполняются ортогональные проекции.

Систему прямоугольных координат, к которой предмет относят в пространстве для построения его аксонометрии, выбирают обычно так, чтобы оси этой системы совпадали с натуральной системой координатных осей чертежа. На взятой произвольно плоскости аксонометрических проекций три прямые X , Y и Z , выходящие из одной точки « O », называются аксонометрическими осями. Углы между аксонометрическими осями зависят от положения аксонометрической плоскости и угла проецирования к этой плоскости. Поскольку направление проецирования не параллельно ни одной из осей системы прямоугольных пространственных координат, истинные размеры отрезков на аксонометрической проекции искажаются и, следовательно, искажаются размеры любого предмета на его аксонометрическом изображении.

Для определения степени искажения размеров предмета на аксонометрических проекциях введено понятие коэффициентов искажения по аксонометрическим осям. Отношения аксонометрических проекций масштабных отрезков к натуральным величинам масштабных отрезков называются коэффициентами искажения по аксонометрическим осям:

$$K_X = \frac{e_{X\alpha}}{e_X}; \quad K_Y = \frac{e_{Y\alpha}}{e_Y}; \quad K_Z = \frac{e_{Z\alpha}}{e_Z}.$$

Расчетные коэффициенты искажения имеют дробные значения, неудобные для выполнения построений (0,82; 0,47 и т. д.). Поэтому на чертежах аксонометрических проекций используются приведенные коэффициенты искажения, округленные до 1 или 0,5.

В зависимости от соотношения коэффициентов искажения аксонометрические проекции разделяются на:

- изометрические, у которых все коэффициенты искажения равны, т. е. $KX = KY = KZ$ (izos – равный);
- диметрические, у которых два коэффициента равны, т. е. $KX = KZ$, а KY им не равен (di – двойной);
- триметрические, у которых все коэффициенты разные, т. е. $KX \neq KY \neq KZ$ (treis – три).

В зависимости от угла проецирования аксонометрические проекции разделяются на прямоугольные, когда проецирующие лучи перпендикулярны аксонометрической плоскости проекций, и косоугольные, когда проецирующие лучи не перпендикулярны аксонометрической плоскости проекций.

Аксонометрических проекций можно получить бесконечное множество. Основная теорема аксонометрических проекций сформулирована немецким геометром К. Польке: «Любые три отрезка на плоскости, выходящие из одной точки, могут быть приняты за параллельные проекции (то есть аксонометрические проекции) трех равных и взаимно перпендикулярных отрезков (аксонометрических осей) в пространстве».

Г. Шварц, немецкий математик, обобщил теорему К. Польке, доказав, что «любой полный четырехугольник на плоскости всегда является параллельной проекцией некоторого масштабного тетраэдра, имеющего равные и взаимно перпендикулярные ребра» (диагонали четырехугольника можно рассматривать как аксонометрические оси). Эту обобщенную теорему и называют теоремой К. Польке – Г. Шварца.

Стандартные аксонометрии определяет ГОСТ 2.317–2011 *Аксонометрические проекции*. В стандарте даны пять видов аксонометрических проекций:

- 1) прямоугольная изометрия;
- 2) прямоугольная диметрия;
- 3) косоугольная фронтальная диметрия;
- 4) косоугольная фронтальная изометрия;
- 5) косоугольная горизонтальная изометрия.

В курсе начертательной геометрии рассматриваются первые три вида аксонометрических проекций.



2 Прямоугольная изометрия

Для прямоугольных аксонометрий получена расчетная формула $K_X^2 + K_Y^2 + K_Z^2 = 2$, т. е. сумма квадратов коэффициентов искажения равна двум.

В прямоугольной изометрии коэффициенты искажения равны, по приведенной выше формуле получается, что $K_X = K_Y = K_Z = 0,82$. Для построения прямоугольной изометрии используют приведенные коэффициенты искажения, округленные до единицы, т. е. $K_X = K_Y = K_Z = 1$.

Аксонометрическая плоскость прямоугольной изометрии равнонаклонена ко всем трем плоскостям проекций H , V , и W и пересекает эти плоскости по равностороннему треугольнику, который называют треугольником следов. Аксонометрические оси прямоугольной изометрии являются высотами, биссектрисами и медианами этого треугольника. Из геометрии известно, что углы между высотами равностороннего треугольника равны 120° , следовательно, и углы между аксонометрическими осями также равны 120° (рисунок 1).

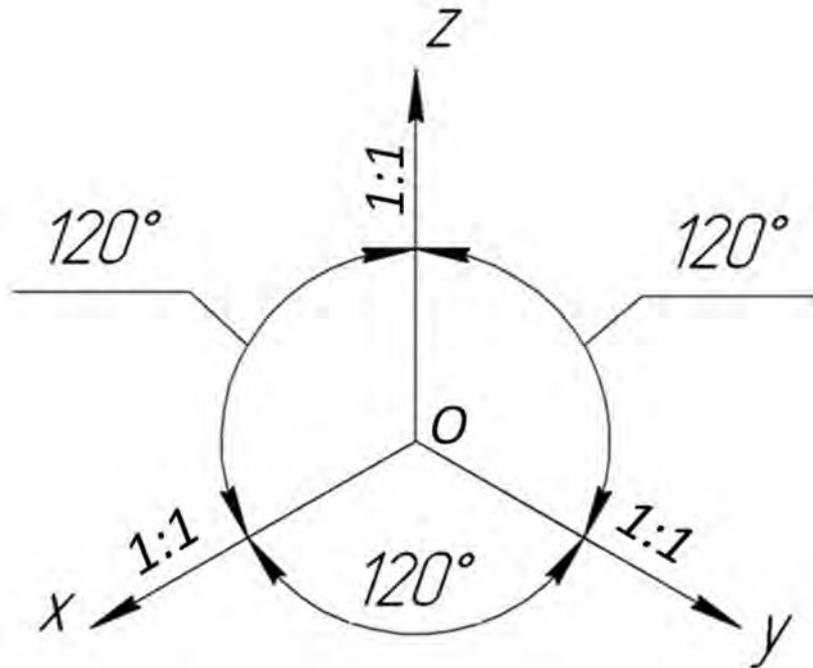


Рисунок 1 – Расположение аксонометрических осей в прямоугольной изометрии

Окружности на проекциях предметов проецируются на аксонометрическое изображение в виде эллипсов. На рисунке 2 показан один из основных способов построения четырехцентровых овалов, которыми на чертежах заменяют эллипсы в прямоугольной изометрии. Графические действия для построения овала следующие.

1 Провести две концентрические окружности, диаметры которых равны размерам большой и малой осей эллипса с центром в точке O . Большая ось AB эллипса равна $1,22d$, где d – диаметр окружности, малая ось CD эллипса равна $0,71d$.

2 Из двух центров в точках O_3, O_4 , лежащих на окружности большой оси, провести прямые через точки O_1, O_2 на окружности малой оси.

3 Из двух центров в точках O_1, O_2 , лежащих на окружности малой оси, провести две малые дуги радиусами R_1 , в пересечении с прямыми получить точки 1, 4 и 2, 3.

4 Из двух центров в точках O_3, O_4 на окружности большой оси провести две большие дуги радиусами R_2 через точки 1, 2 и 3, 4.

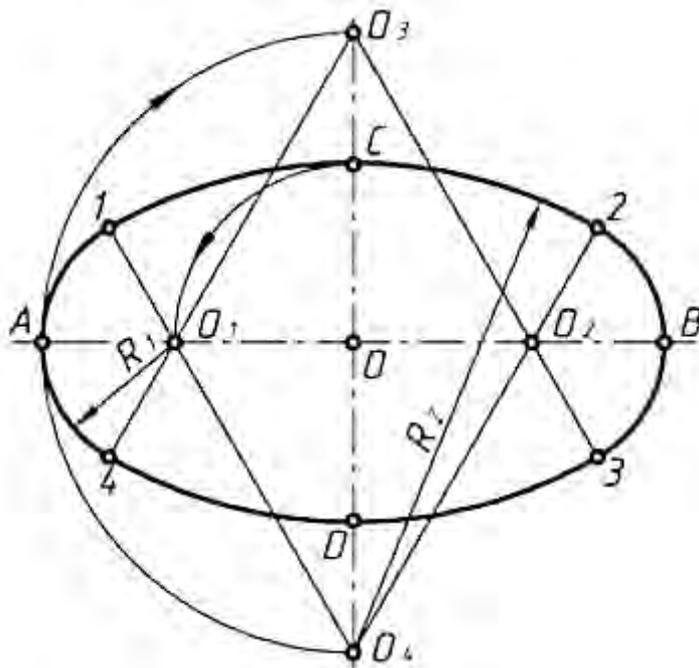


Рисунок 2 – Построение четырехцентрового овала, заменяющего эллипс в прямоугольной изометрии

На рисунке 3 показано построение окружностей в прямоугольной изометрии вышеприведенным способом. Большие оси AB всех трех эллипсов – $1,22d$, где d – диаметр окружности, малые оси CD – $0,71d$.

Ориентация больших и малых осей эллипсов относительно аксонометрических осей.

Эллипс 1 – аксонометрическая проекция окружности, лежащей на проекциях предмета в плоскости, параллельной плоскости проекций V . Большая ось эллипса перпендикулярна аксонометрической оси Y , а малая совпадает с осью Y .

Эллипс 2 – аксонометрическая проекция окружности, лежащей на проекциях предмета в плоскости, параллельной плоскости проекций H . Большая ось эллипса перпендикулярна аксонометрической оси Z , а малая совпадает с осью Z .

Эллипс 3 – аксонометрическая проекция окружности, лежащей на проекциях предмета в плоскости, параллельной плоскости проекций W . Большая ось эллипса перпендикулярна аксонометрической оси X , а малая совпадает с осью X .

На рисунке 4 изображена изометрическая проекция куба, в грани которого вписаны окружности, касательные к ребрам. Грани куба представляют собой ромбы, середины сторон ромбов являются точками касания вписанных в ромбы эллипсов.

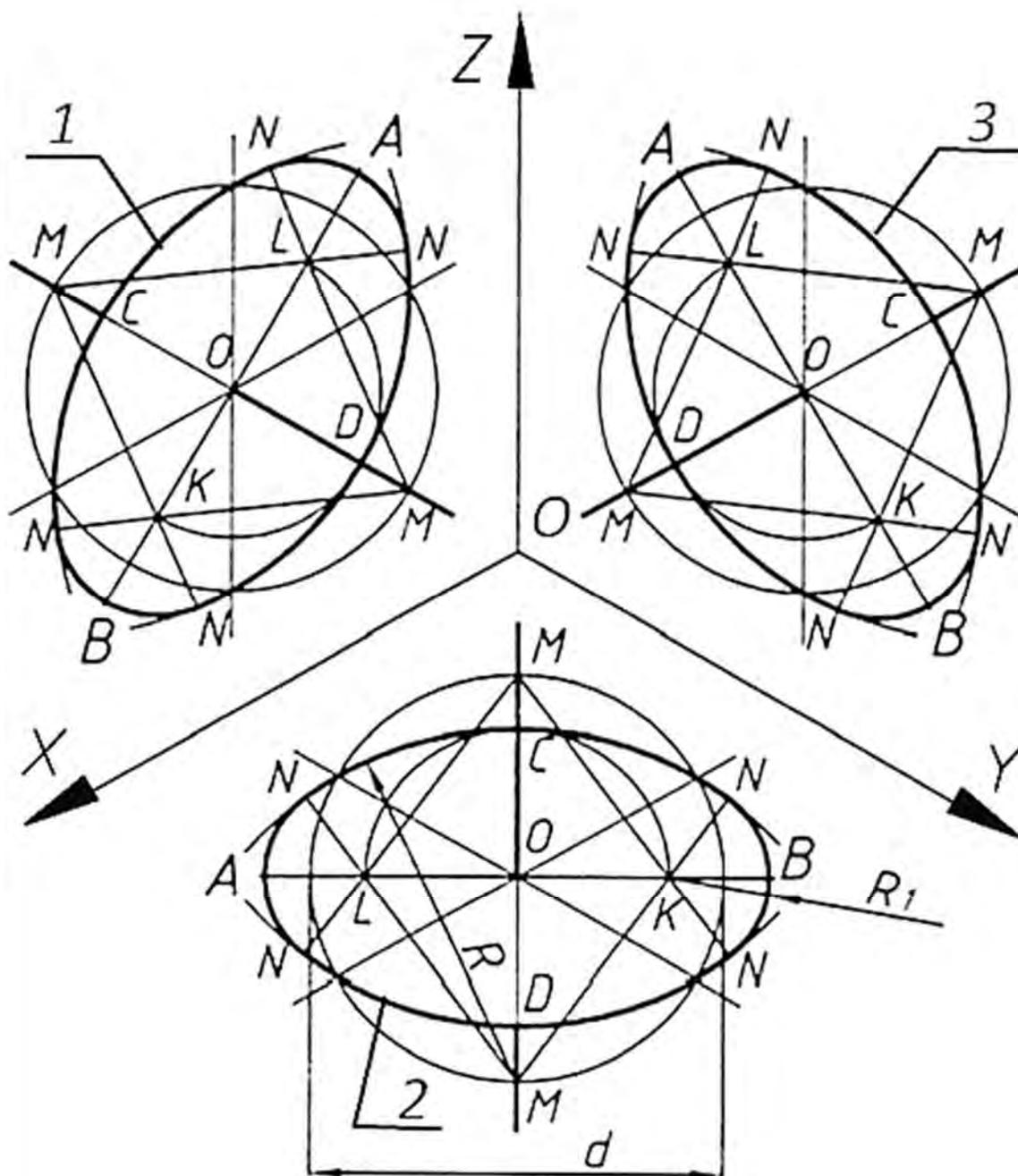


Рисунок 3 – Построение окружностей в прямоугольной изометрии

Построение аксонометрических изображений технических форм в прямоугольной изометрии широко распространено благодаря их хорошей наглядности и простоте построений (рисунок 5). Для лучшего выявления внутреннего устройства деталей применяют четвертные вырезы, нанесение штриховки в них показано на рисунке 6.

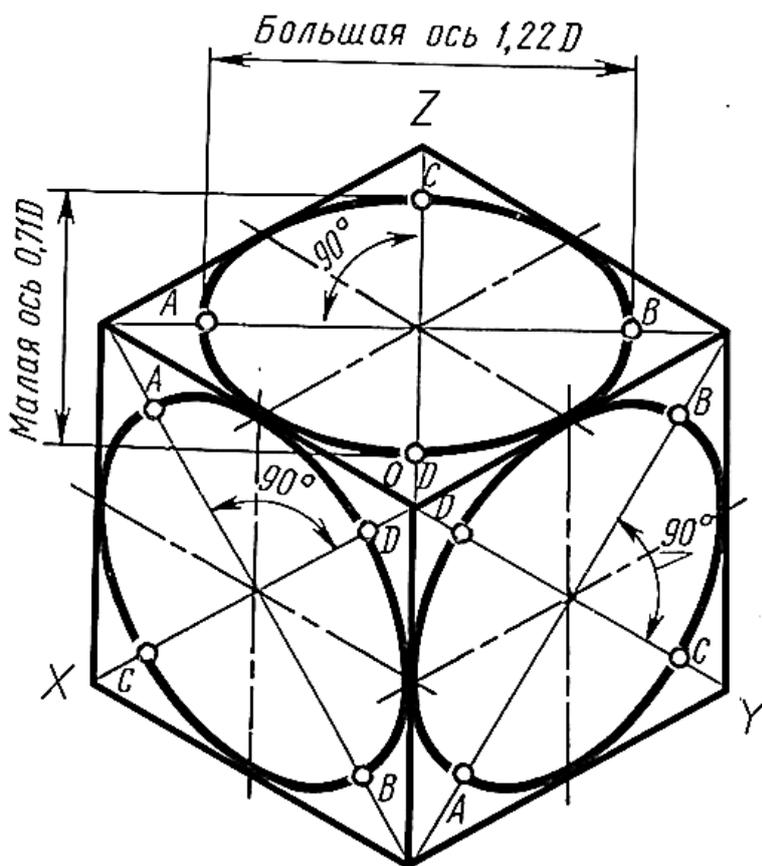


Рисунок 4 – Построение изометрической проекции куба, в грани которого вписаны окружности в прямоугольной изометрии

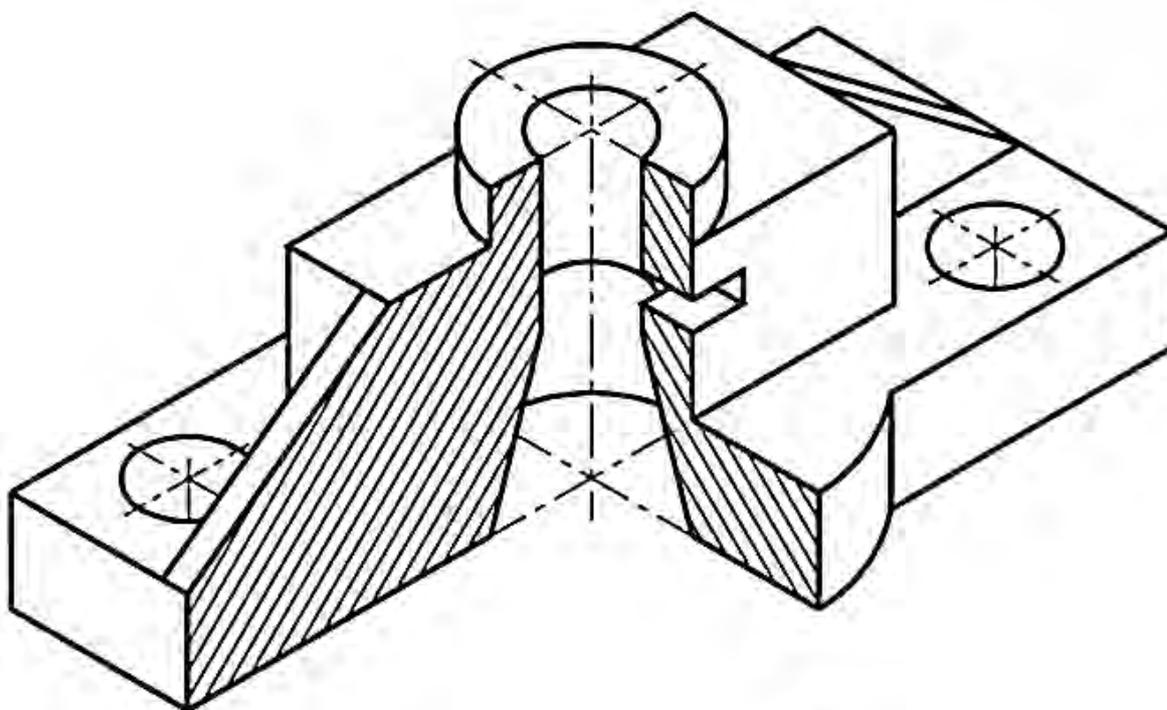


Рисунок 5 – Пример построения изометрической проекции технической формы с четвертным вырезом

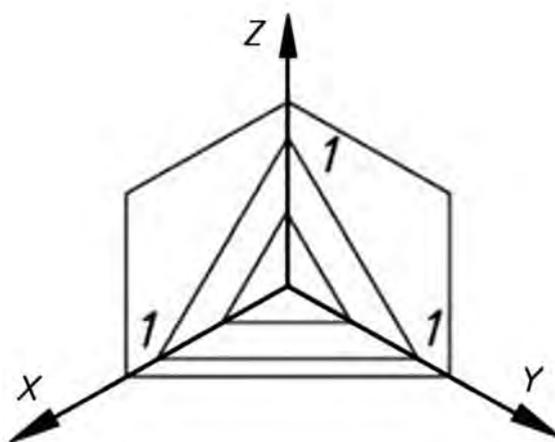


Рисунок 6 – Нанесение штриховки в четвертном вырезе в прямоугольной изометрии

3 Прямоугольная диметрия

В прямоугольной диметрии коэффициенты искажения по аксонометрическим осям X и Z равны между собой, а коэффициент искажения по оси Y принят равным их половине. Отсюда по приведенной выше формуле получены следующие величины коэффициентов искажения по аксонометрическим осям: $K_X = K_Z = 0,94$, а $K_Y = 0,47$. Для построения прямоугольной диметрии пользуются приведенными коэффициентами искажения: $K_X = K_Z = 1$, а $K_Y = 0,5$.

Аксонометрические оси (рисунок 7) располагаются относительно горизонтальной линии следующим образом: ось Z – вертикально, ось X – под углом $7^\circ 10'$, ось Y – под углом $41^\circ 25'$.

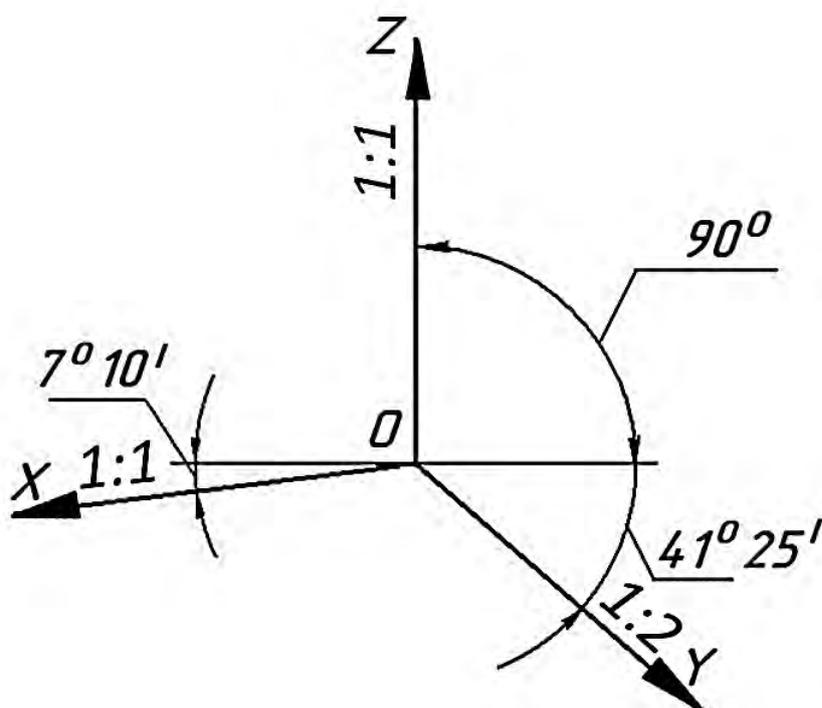


Рисунок 7 – Расположение аксонометрических осей в прямоугольной диметрии

Графический способ построения аксонометрических осей на чертеже показан на рисунке 8.

1 Провести горизонтальную линию и вертикальную ось Z , отметить на их пересечении точку « O » начала координат.

2 Отложить на горизонтальной линии от точки « O » влево и вправо по 8 размерных единиц (8 раз по 10 мм).

3 Провести вертикальные линии от конечных точек, отложить вниз слева 1 размерную единицу, вниз справа 7 размерных единиц.

4 Через конечные точки вертикальных отрезков и точку « O » провести аксонометрические оси X и Y .

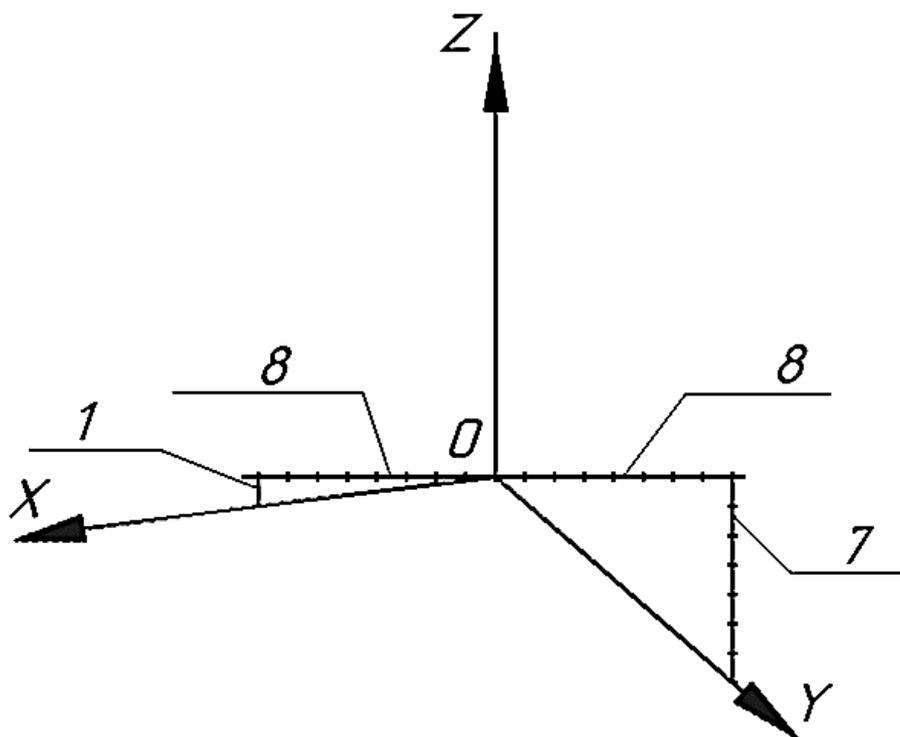


Рисунок 8 – Графический способ построения аксонометрических осей в прямоугольной диметрии

На рисунке 9 показано построение окружностей в прямоугольной диметрии и способы построения четырехцентровых овалов, заменяющих эллипсы на чертеже. Большие оси AB всех трех эллипсов равны $1,06d$. Величины малых осей CD эллипсов следующие:

- малая ось эллипса 1 равна $0,95d$;
- малые оси эллипсов 2 и 3 равны $0,35d$.

Эллипс 1 – аксонометрическая проекция окружности, лежащей на проекциях предмета в плоскости, параллельной плоскости проекций V .

Эллипс 2 – проекция окружности, лежащей в плоскости, параллельной плоскости проекций H .

Эллипс 3 – проекция окружности, лежащей в плоскости, параллельной плоскости проекций W .

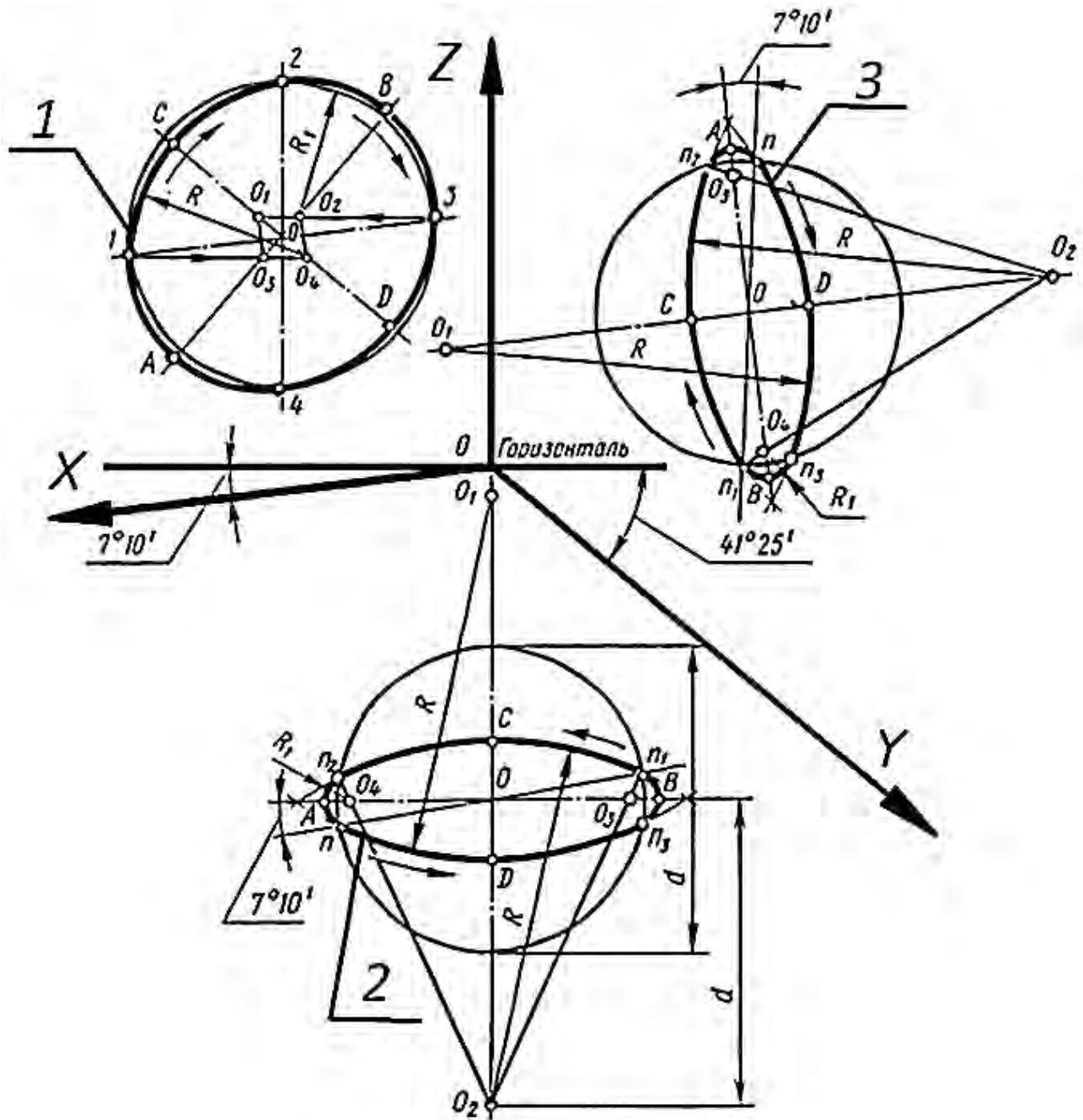


Рисунок 9 – Построение окружностей в прямоугольной диметрии

Графические действия для построения овала 1.

1 Отложить на прямой, перпендикулярной оси Y , отрезок AB , равный размеру большой оси эллипса $1,06d$.

2 Отложить на оси Y отрезок CD , равный размеру малой оси эллипса $0,95d$.

3 Из точки « O » провести окружность $d_1 = 0,2d$, которая пересечет малую ось эллипса в точках O_1 и O_4 , а большую ось – в точках O_2 и O_3 .

4 Из полученных точек O_1 и O_4 провести дуги радиусами R от точки O_1 до точки D и от точки O_4 до точки C .

5 Из точек O_2 и O_3 провести дуги радиусами R_1 от точки O_2 до B и от точки O_3 до A ; дуги проводить до точек сопряжения 1, 2, 3, 4.

Графические действия для построения овала 2.

1 Отложить на горизонтальной прямой, перпендикулярной оси Z , отрезок AB , равный размеру большой оси эллипса $1,06d$.

2 Отложить на продолжении оси Z отрезок CD , равный размеру малой оси $0,35d$.

3 Построить точки O_1 и O_2 , отложив от центра эллипса вверх и вниз по оси Z отрезки, равные большой оси эллипса $1,06d$.

4 Построить точки O_3 и O_4 на большой оси, отложив от точек A и B отрезки $A - O_4$ и $B - O_3$, равные $1/4$ малой оси эллипса, т. е. $1/4$ от $0,35d$.

5 Из полученных точек O_1 и O_2 провести две большие дуги радиусом R ; от точки O_1 до D и от точки O_2 до C .

6 Из точек O_3 и O_4 провести две малые дуги радиусом R_1 до точек сопряжения n, n_1, n_2, n_3 .

Построение овала 3 выполняется аналогично построению овала 2.

На рисунке 10 изображен куб в прямоугольной диметрии. Грани куба проецируются в виде параллелограммов, из которых верхний и левый равны между собой. В прямоугольной диметрии оси верхнего и левого эллипсов не совпадают с диагоналями параллелограммов. Такое совпадение имеет место только для переднего эллипса.

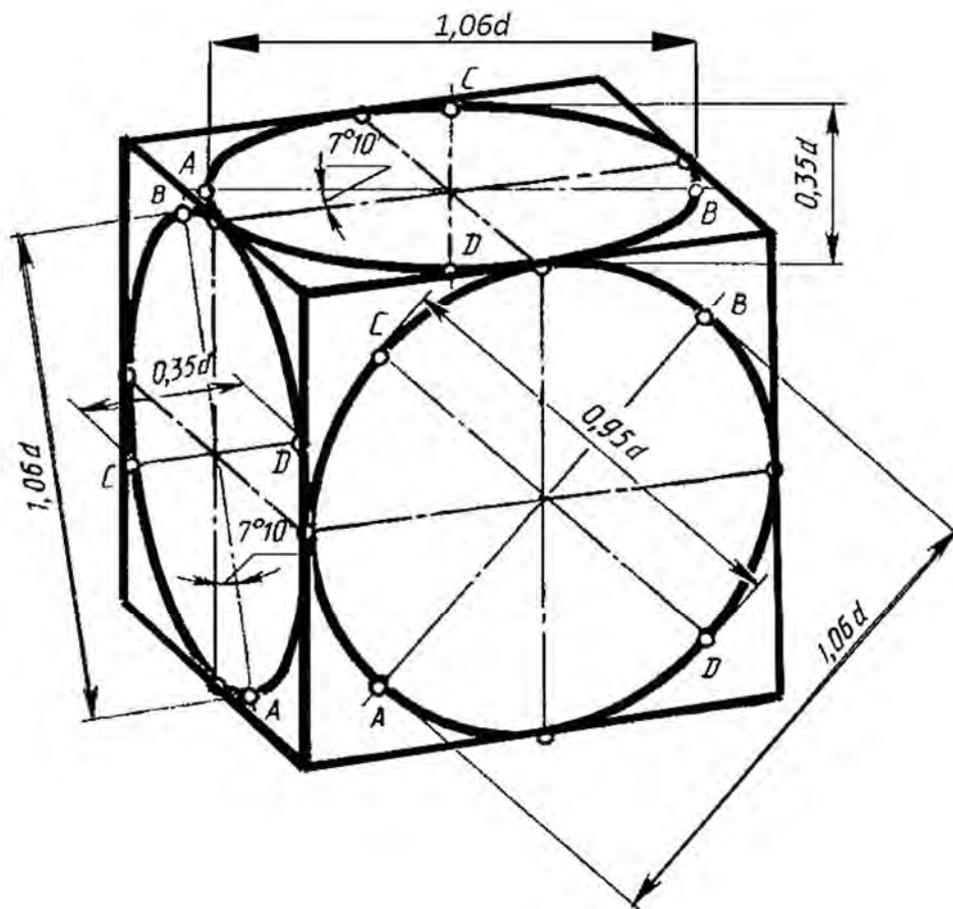


Рисунок 10 – Построение диметрической проекции куба, в грани которого вписаны окружности в прямоугольной диметрии

АксонOMETрические проекции, построенные в прямоугольной диметрии, обладают наилучшей наглядностью, однако построение изображений, особенно при большом количестве окружностей, значительно сложнее, чем в прямоугольной изометрии (рисунки 11 и 12).

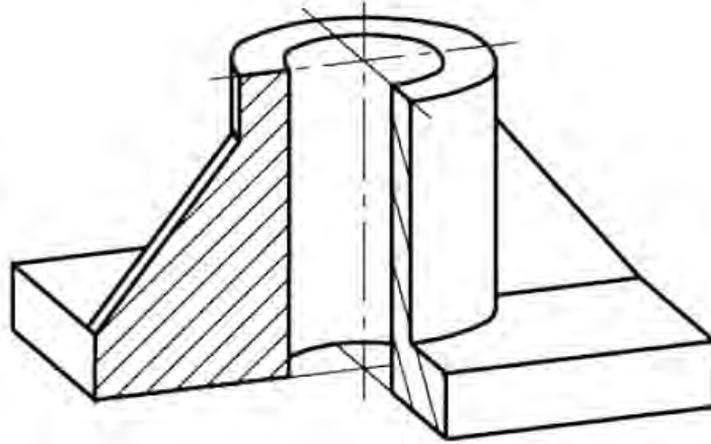


Рисунок 11 – Пример построения аксонометрической проекции технической формы с четвертным вырезом в прямоугольной диметрии

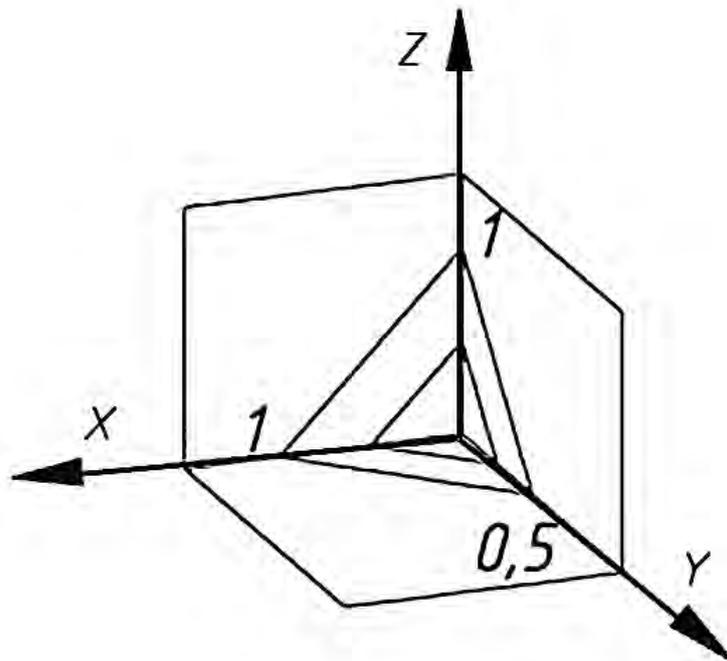


Рисунок 12 – Нанесение штриховки в четвертном вырезе в прямоугольной диметрии

4 Косоугольная фронтальная диметрия

В качестве аксонометрической плоскости проекций выбрана плоскость, параллельная плоскости проекций V . Поэтому на аксонометрии сохраняется угол 90° между аксонометрическими осями X и Z , а ось Y располагают под углом 45° к горизонтальной прямой.

Приведенные коэффициенты искажения по аксонометрическим осям X и Z : $K_X = K_Z = 1$, по оси Y : $K_Y = 0,5$ (рисунок 13).

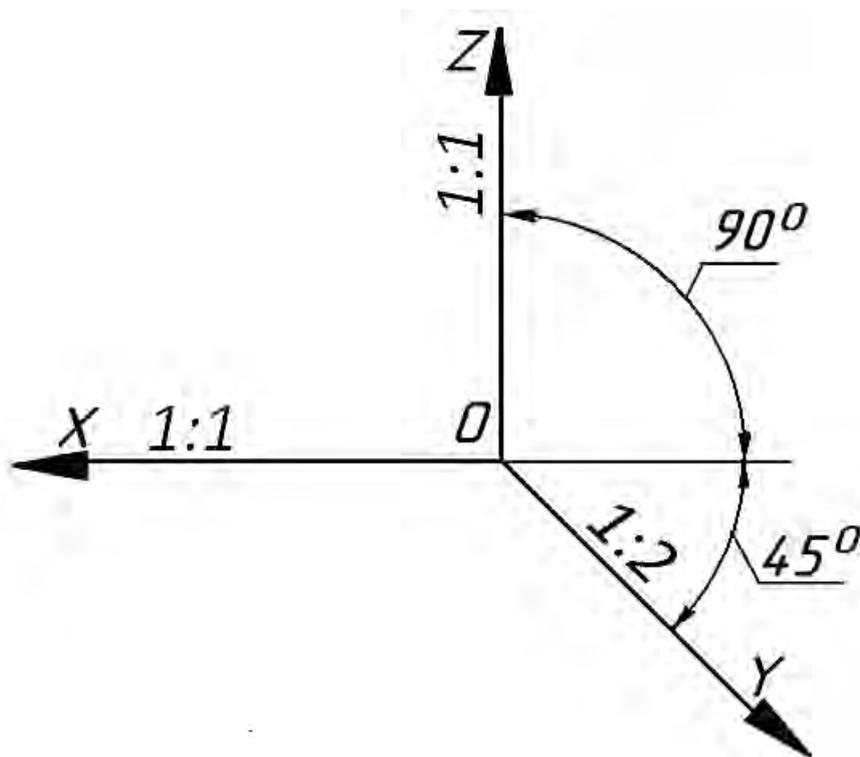


Рисунок 13 – Расположение аксонометрических осей в косоугольной фронтальной диметрии

На рисунке 14 показано построение окружностей в косоугольной фронтальной диметрии и графический способ построения четырехцентровых овалов, заменяющих эллипсы на чертеже.

Окружности на проекциях предмета, лежащие в плоскостях, параллельных плоскости проекций V , проецируются на аксонометрическое изображение в виде окружностей, т. е. не искажаются, т. к. параллельны плоскости аксонометрических проекций.

Окружности, лежащие в плоскостях, параллельных плоскостям проекций H и W , проецируются на аксонометрическое изображение в виде эллипсов, большие оси AB которых $1,07d$, а малые оси CD $0,33d$.

Эллипс 2 – большая ось AB расположена под углом $7^\circ 14'$ к горизонтальной линии и наклонена в сторону аксонометрической оси Y ; малая ось CD перпендикулярна большой оси эллипса;

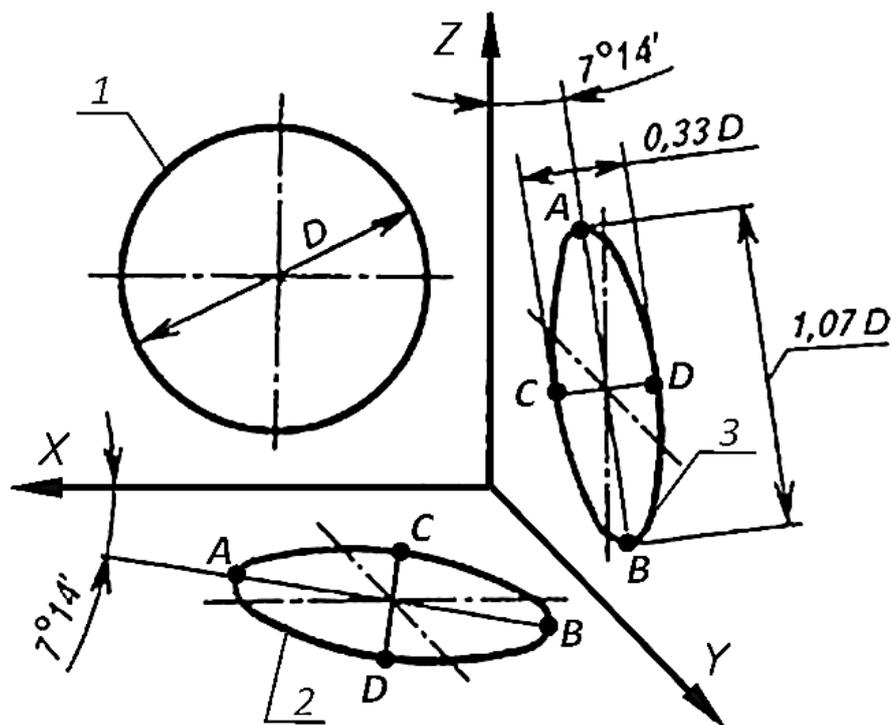


Рисунок 14 – Построение окружностей в косоугольной фронтальной диметрии

Эллипс 3 – большая ось AB расположена под углом $7^\circ 14'$ к вертикальной линии и наклонена в сторону аксонометрической оси Y ; малая ось CD перпендикулярна большой оси эллипса.

Графическое построение двух одинаковых овалов 2 и 3, заменяющих эллипсы на чертежах, аналогично построениям овалов для прямоугольной диметрии.

На рисунке 15 изображен куб в косоугольной фронтальной диметрии. Передняя грань куба и вписанная в нее окружность не искажаются. Боковые грани куба проецируются в виде параллелограммов. Вписанные окружности имеют форму, аналогичную эллипсам, получающимся в прямоугольной диметрии.

Косоугольная фронтальная диметрия является простым и удобным способом изображения технических форм в тех случаях, когда имеется большое количество окружностей, расположенных в плоскостях, параллельных фронтальной плоскости проекций, т. к. эти окружности не искажаются (рисунки 16 и 17).

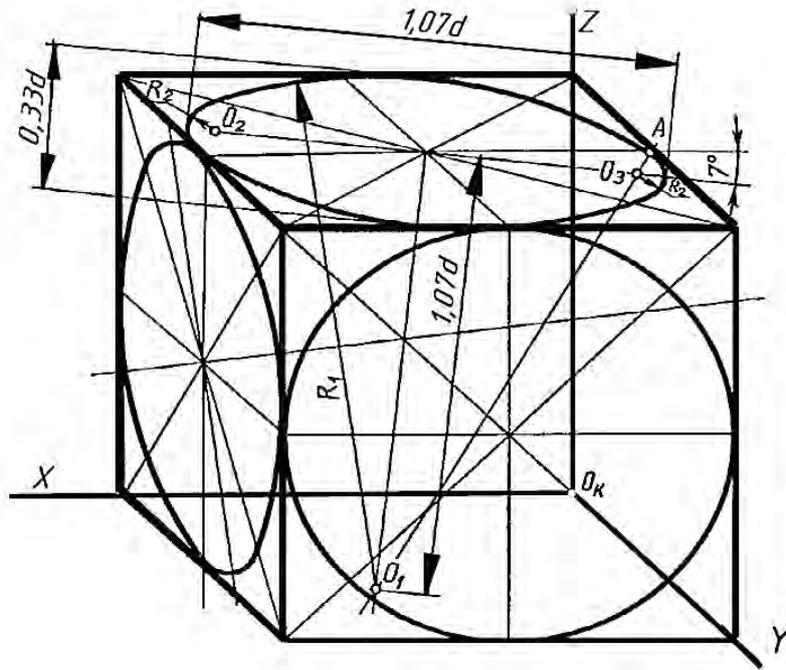


Рисунок 15 – Построение диметрической проекции куба, в грани которого вписаны окружности в косоугольной фронтальной диметрии

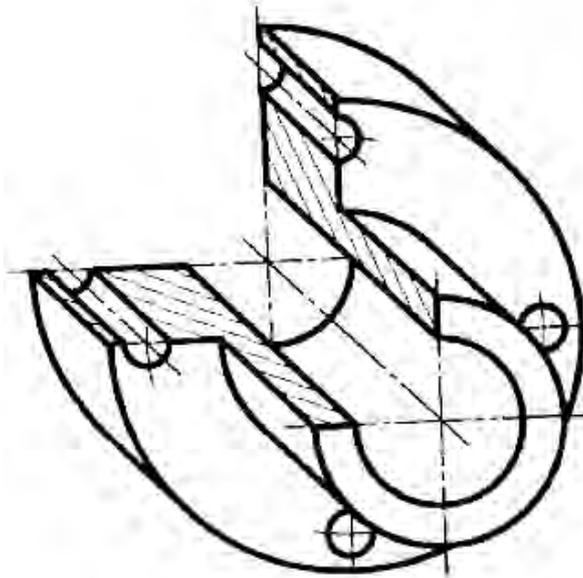


Рисунок 16 – Пример построения аксонометрической проекции технической формы с четвертным вырезом в косоугольной фронтальной диметрии

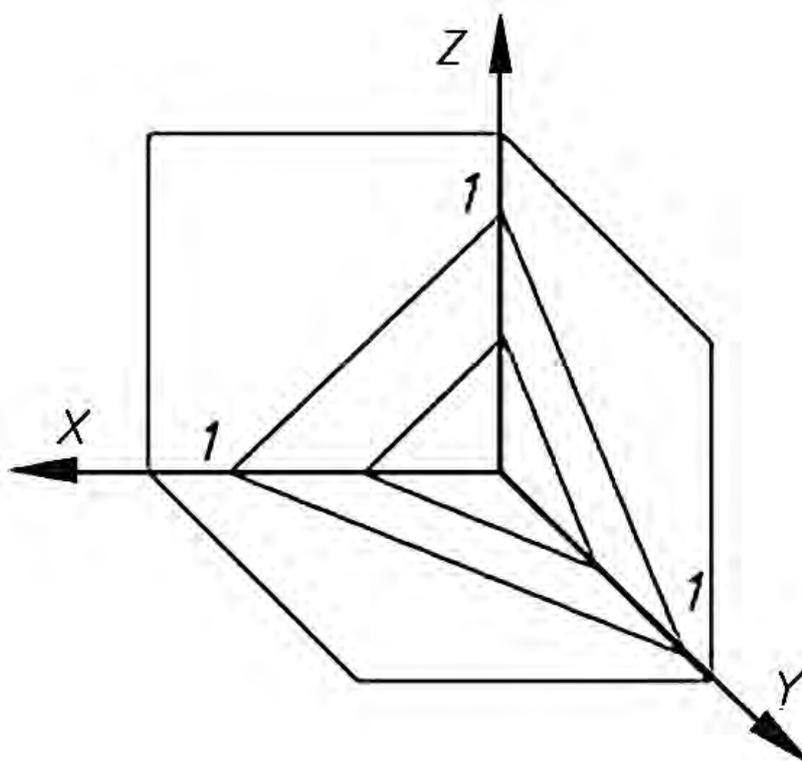


Рисунок 17 – Нанесение штриховки в четвертном вырезе в косоугольной фронтальной диметрии

5 Последовательность выполнения аксонометрической проекции технической формы

Выполнение аксонометрической проекции связано с большим количеством вспомогательных линий построения. Поэтому большое значение имеет правильная последовательность вычерчивания. Рассмотрим на примере, как можно выполнить аксонометрию детали со сложным ступенчатым разрезом, не прибегая к излишним построениям.

Даны две ортогональные проекции детали, вид сверху и главный вид, с нанесенными на них размерами (рисунок 18). Деталь состоит из прямоугольной плиты с закругленными углами и двумя симметричными выемами. На плите установлена поверхность, скомбинированная из четырехгранной призмы и полуцилиндра, соединенная с плитой ребром жесткости. В комбинированной поверхности выполнены пересекающиеся вертикальное четырехгранное и горизонтальное цилиндрическое отверстия. На плите также симметрично расположены четыре бобышки со сквозными цилиндрическими отверстиями.

Выбираем построение в прямоугольной изометрии и выполняем его по предлагаемому графическому алгоритму.

Наносим аксонометрические оси, точку их начала «*O*» совмещаем с центром пересечения осевых линий детали. В тонких линиях, на основе вида сверху, выстраиваем контур нижней плоскости плиты основания с закругленными углами и двумя выемами. Эллипсы отверстий на основании можно не строить,

достаточно определить положение их центровых линий. Для выявления внутреннего устройства детали наносим линию сложного ступенчатого разреза. Часть основания за пределами разреза можно удалить с чертежа (рисунок 19).

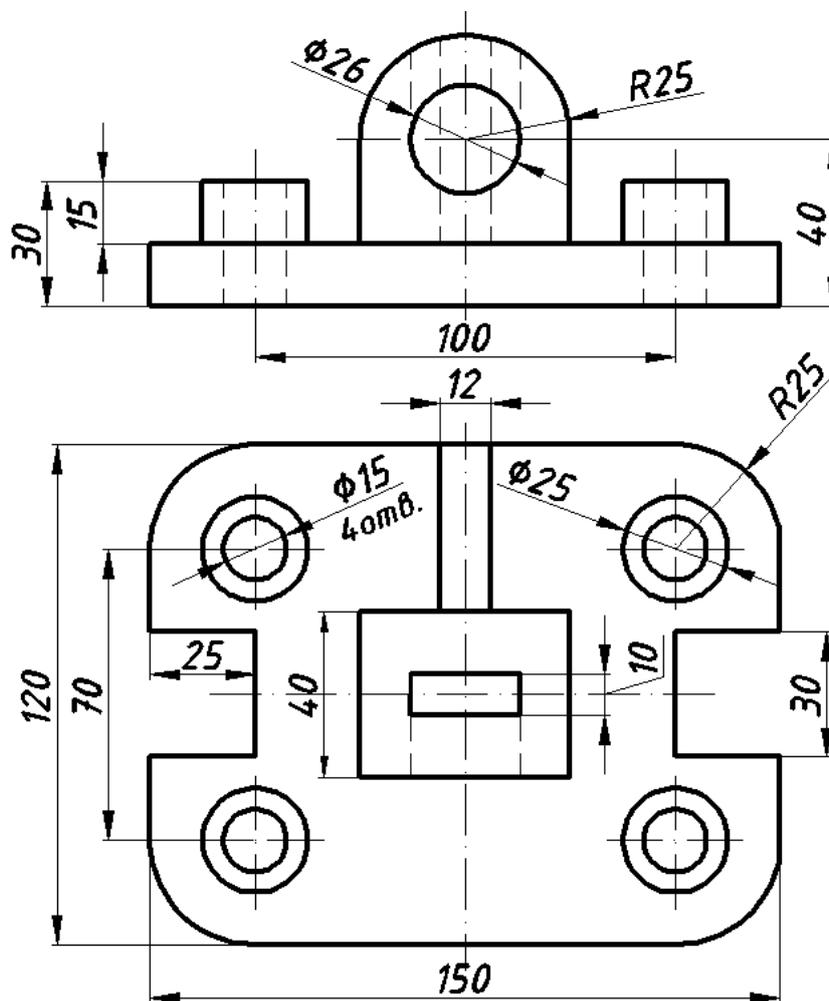


Рисунок 18 – Ортогональные проекции детали, предшествующие построению аксонометрического изображения

Высоту плиты основания замеряем на главном виде, выстраиваем контур ее верхней плоскости сразу с разрезом. Выполняем построение нижних оснований бобышек в виде эллипсов (рисунок 20).

Наносим контуры нижнего основания четырехгранной призмы и ребра жесткости. Замеряем на главном виде высоту бобышек, выполняем построение эллипсов, в которые проецируются их верхние основания (рисунок 21).

Выстраиваем с учетом разреза полуцилиндр комбинированной поверхности, намечаем ширину вертикального четырехгранного отверстия и вход в горизонтальное цилиндрическое отверстие (рисунок 22).

Достраиваем контур сечения по горизонтальному цилиндрическому отверстию, удаляем лишние линии. Заканчиваем построение вертикального четырехгранного отверстия и линии пересечения отверстий (рисунок 23).

Наносим штриховку на плоскости, непосредственно попадающие в следы секущих плоскостей сложного ступенчатого разреза. Выполняем оконча-

тельную обводку аксонометрического изображения линиями основного контура (рисунок 24).

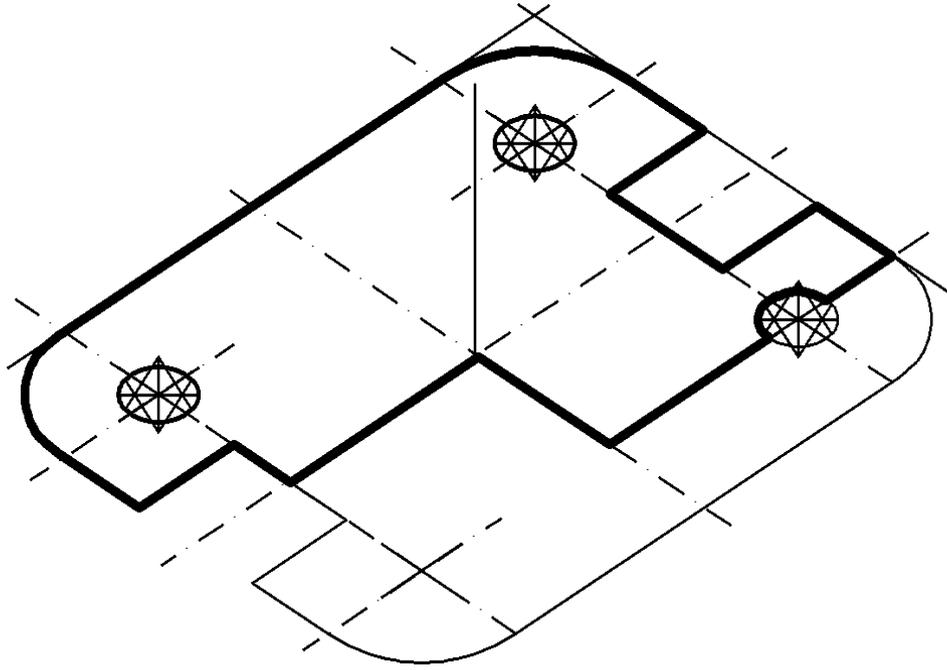


Рисунок 19 – Начальный этап построения аксонометрического изображения

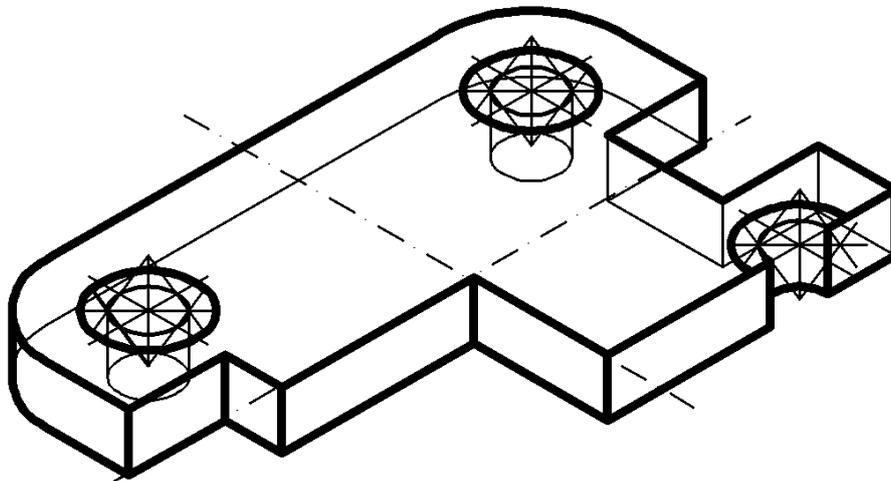


Рисунок 20 – Построение верхней плоскости плиты основания со сложным ступенчатым разрезом на аксонометрическом изображении

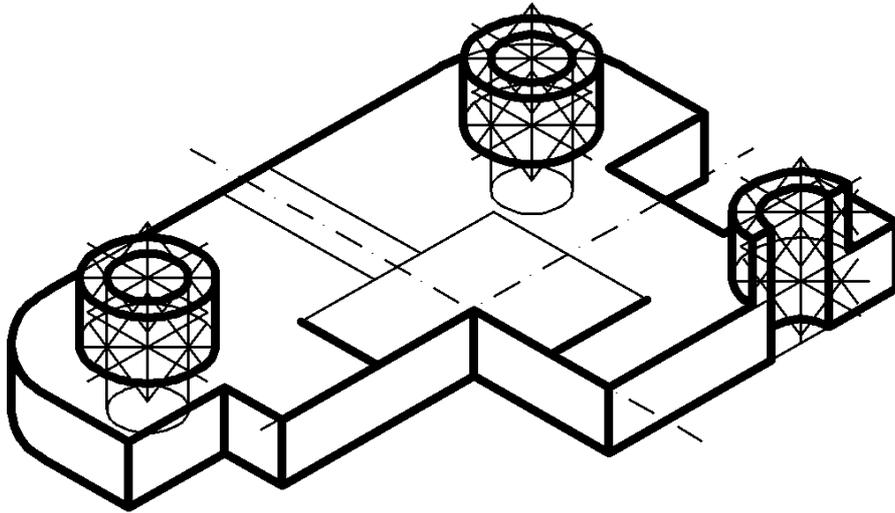


Рисунок 21 – Построение бобышек и основания призмы на аксонометрическом изображении

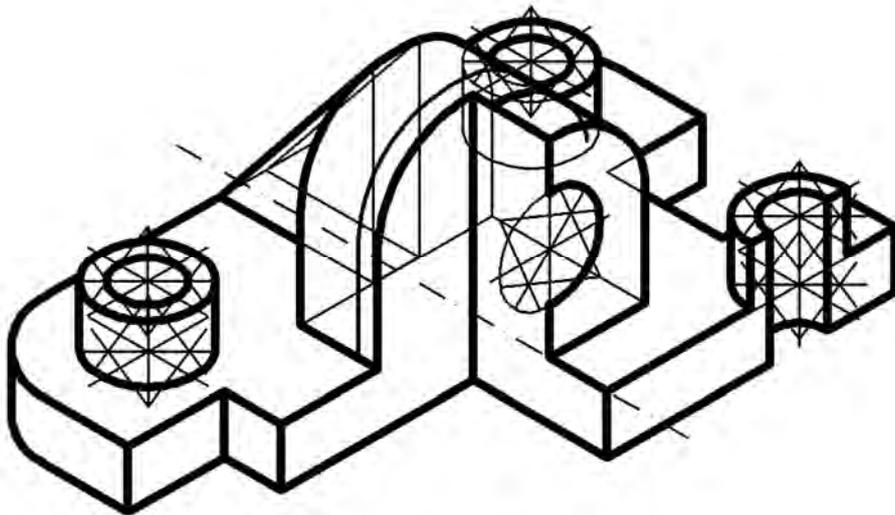


Рисунок 22 – Построение комбинированной поверхности и входов в отверстия на аксонометрическом изображении

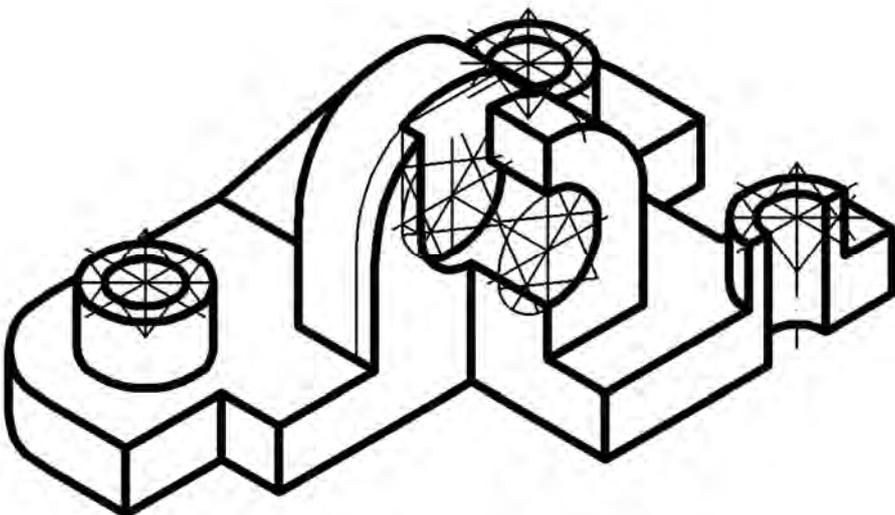


Рисунок 23 – Построение линии пересечения вертикального и горизонтального отверстий за плоскостью разреза на аксонометрическом изображении

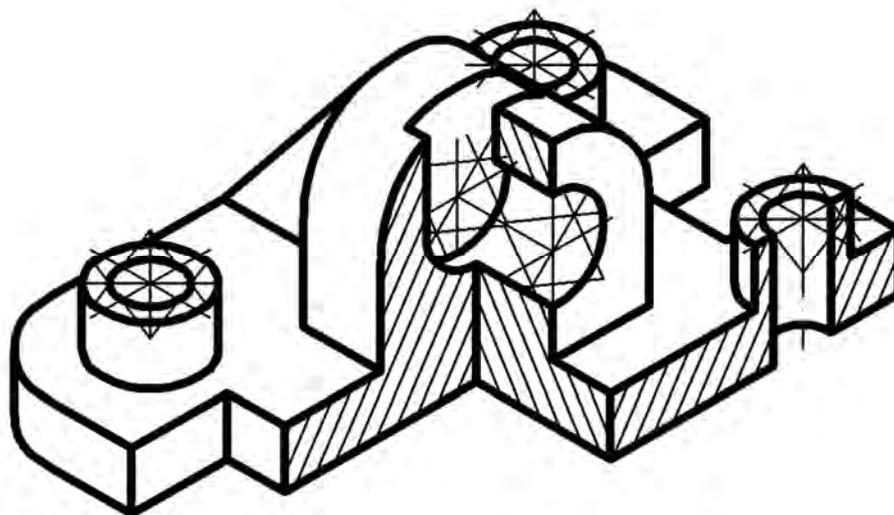


Рисунок 24 – Нанесение штриховки в сложном ступенчатом разрезе на аксонометрическом изображении

Список литературы

1 ГОСТ 2.317–2011. Аксонометрические проекции. – Москва: Стандарт-информ, 2011. – 12 с.

2 Гордон, В. О. Курс начертательной геометрии: учебное пособие для вузов / В. О. Гордон, М. А. Семенцов-Огиевский; под ред. В. О. Гордона. – 27-е изд., стер. – Москва: Высшая школа, 2007 – 272 с.: ил.

3 Инженерная графика: учебник / Н. П. Сорокин [и др.]; под ред. Н. П. Сорокина. – Санкт-Петербург: Лань, 2016. – 392 с.: ил.