

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана.

Г.А.Пугин, А.Б.Минеев

**Исследование поверхностей и межлопаточного канала  
газотурбинной установки с выполнением аксонометрического  
чертежа канала.**

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В данном пособии рассмотрены способы практического построения лопатки газовой турбины на основе знаний, полученных в курсе начертательной геометрии и правил построения аксонометрических проекций.

На примере построения трех плоских сечений лопатки проанализирован тип полученной поверхности по пространственной модели, описано выполнение аксонометрической проекции пространственного канала.

Плоские сечения лопатки выполняют на миллиметровой бумаге в масштабе 4:1. Определяют центр тяжести (ЦТ) каждого сечения. После совмещения центров тяжести сечений, с учетом углов установки профилей, получают горизонтальную проекцию исследуемой лопатки. Аксонометрическую проекцию пространственного канала выполняют на листе ватмана формата А4.

## ЛИНЕЙЧАТЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

Практическое знакомство с линейчатыми поверхностями осуществляется на характерной детали газотурбинной установки – лопатке.

Линейчатая поверхность в общем случае однозначно определяется тремя направляющими линиями. Произвольно можно задать только две направляющие. Форму и положение третьей направляющей выбирают так, что бы она находилась внутри конгруэнции двух уже имеющихся направляющих, т.е., задав две направляющие линейчатой поверхности, определяют область, из которой выбирают нужную третью направляющую.

В зависимости от формы направляющих и их расположения в пространстве получают поверхности, которые могут быть отнесены к четырем видам:

1. Поверхность общего вида (косой цилиндр с тремя направляющими ) образуется при движении прямолинейной образующей по трем криволинейным направляющим (рис.1).
2. Поверхность дважды косоугольного цилиндрикоиды образуется при движении двух направляющих кривых и третьей – прямой линии (рис.2).

3. Поверхность дважды косоугольного коноида образуется при движении двух направляющих прямых линий и кривой (рис.3).
4. Поверхность однополостного гиперболоида получается при движении прямолинейной образующей вокруг скрещивающейся прямой, но не перпендикулярной к ней (рис.4).

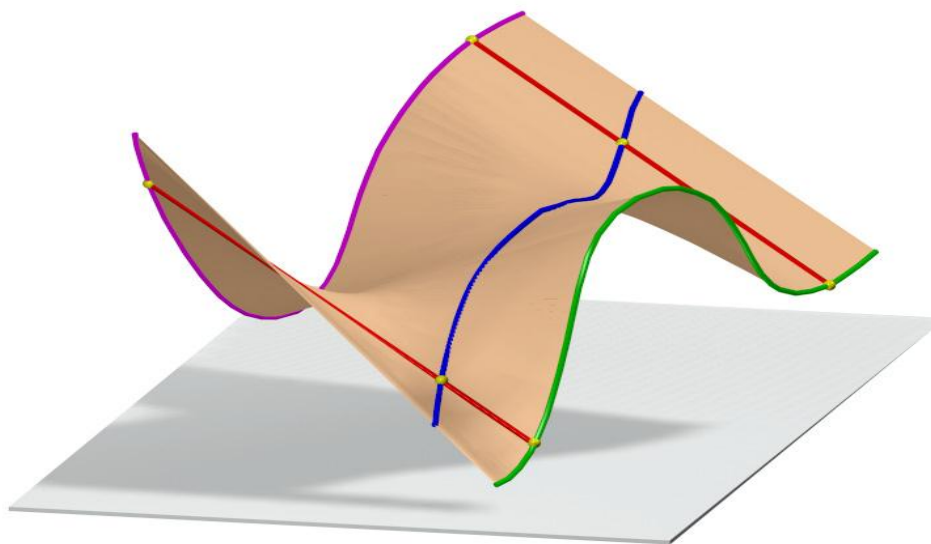


Рис.1

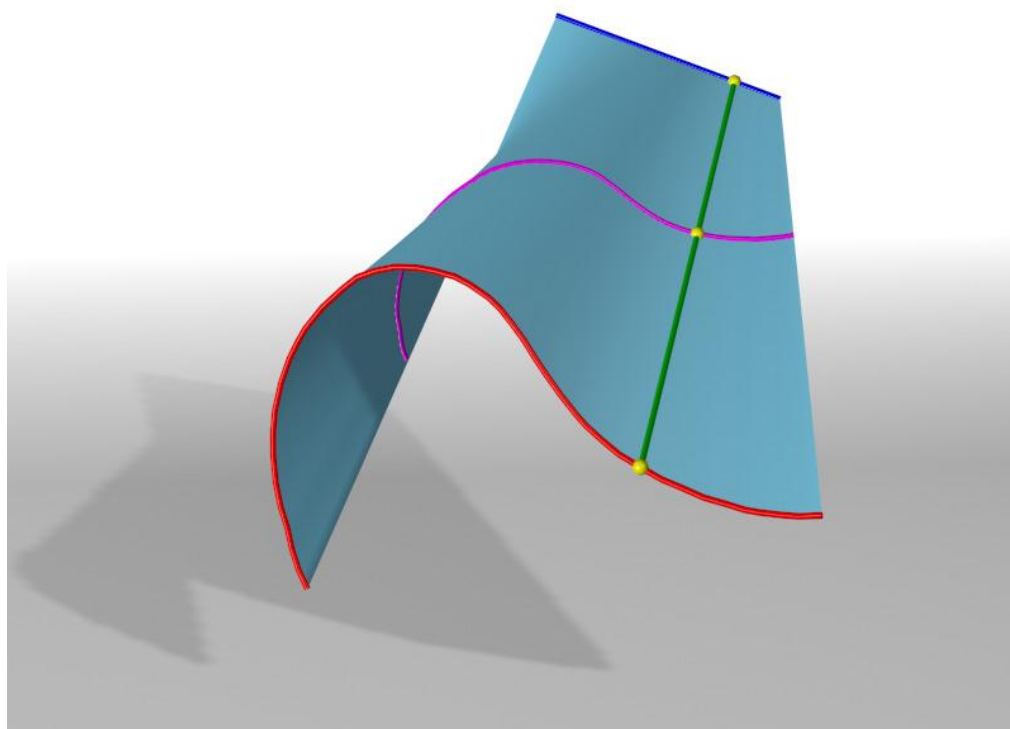


Рис.2

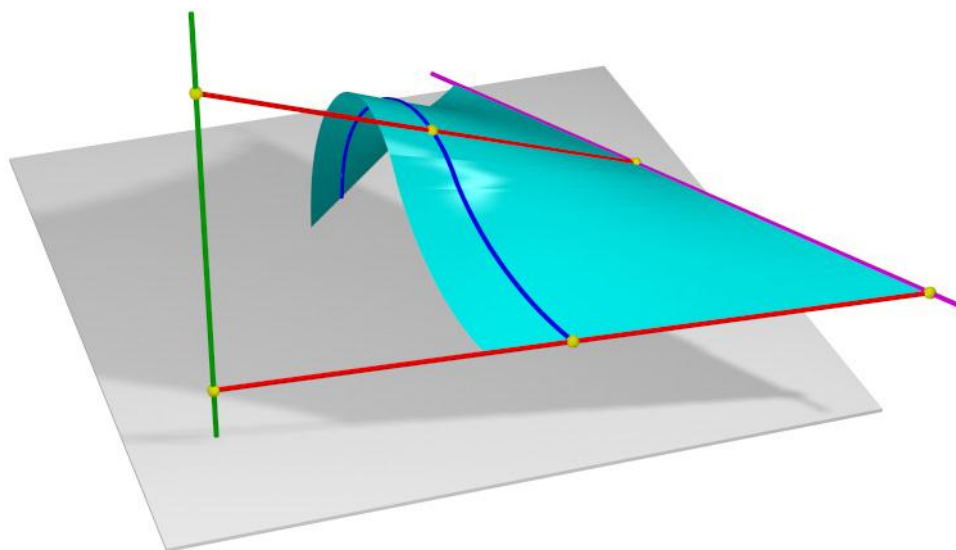


Рис.3

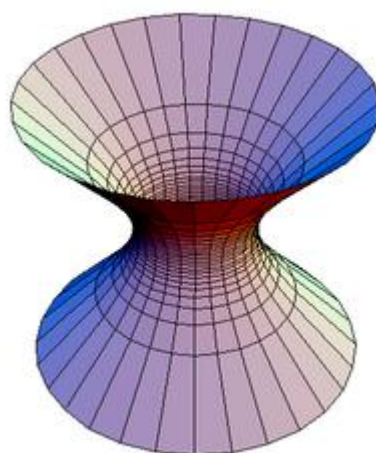


Рис.4

Поверхности лопаток газотурбинных установок представляют собой сочетание описанных выше поверхностей. На рис.5 изображена лопатка, ограниченная поверхностью общего вида.

В основу формообразования лопатки положена методика проектирования межлопаточного канала, используемая при курсовом проектировании, но акцент сделан на графических аспектах методики без подробного анализа причин, влияющих на выбор геометрических параметров.

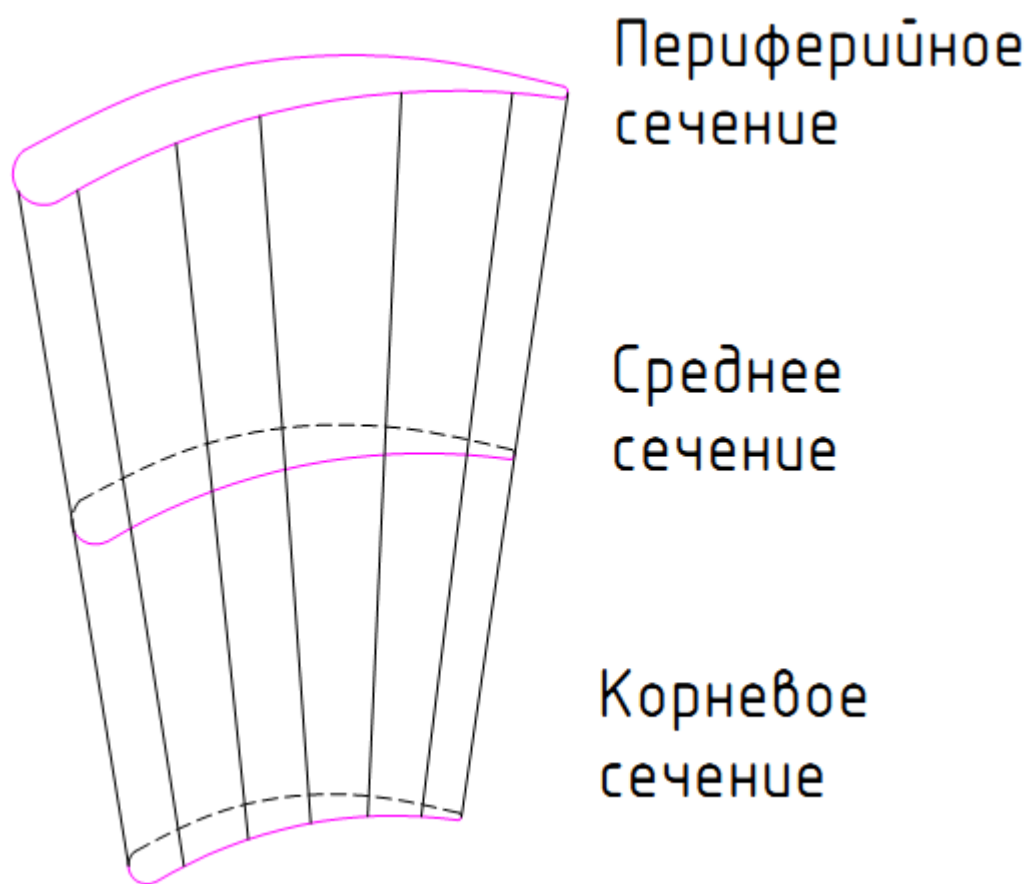


Рис.5

Основные величины, определяющие параметры решетки и плоского сечения лопатки, приведены в таблице, где  $b$  – хода лопатки, мм;  $r_1$  – радиус входной кромки, мм;  $r_2$  – радиус выходной кромки, мм;  $S$  – ширина решетки, мм;  $\beta_1, \beta_2$  – углы входа и выхода потока, град.;  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$  – углы прямых, касательных к спинке и корытцу при входе и выходе с лопатки, град;  $Z$  – уровень сечения профиля лопатки, мм. В качестве примера приведены три варианта реальных профилей по трем сечениям  $Z$ : корневое  $Z=0$ ; среднее  $Z=35$  мм; периферийное  $Z=70$  мм.

На рис. 6, 7 показана последовательность выполнения плоского контура в  $Z$ -м сечении:

первая операция (рис.6) включает вычерчивание заданных графических параметров с определением центров входной и выходной кромок лопатки и точек касания направляющих корытца и спинки с соответствующими радиусами скруглений; вторая операция (рис.7) включает определение точек

пересечения касательных на спинке и корытце (M, N). После этого строят сетки для двух квадратичных парабол, разделив расстояния от точки M(N) до входной кромки и расстояние от точки M(N) до выходной кромки на равное число отрезков и соединив одноименные точки.

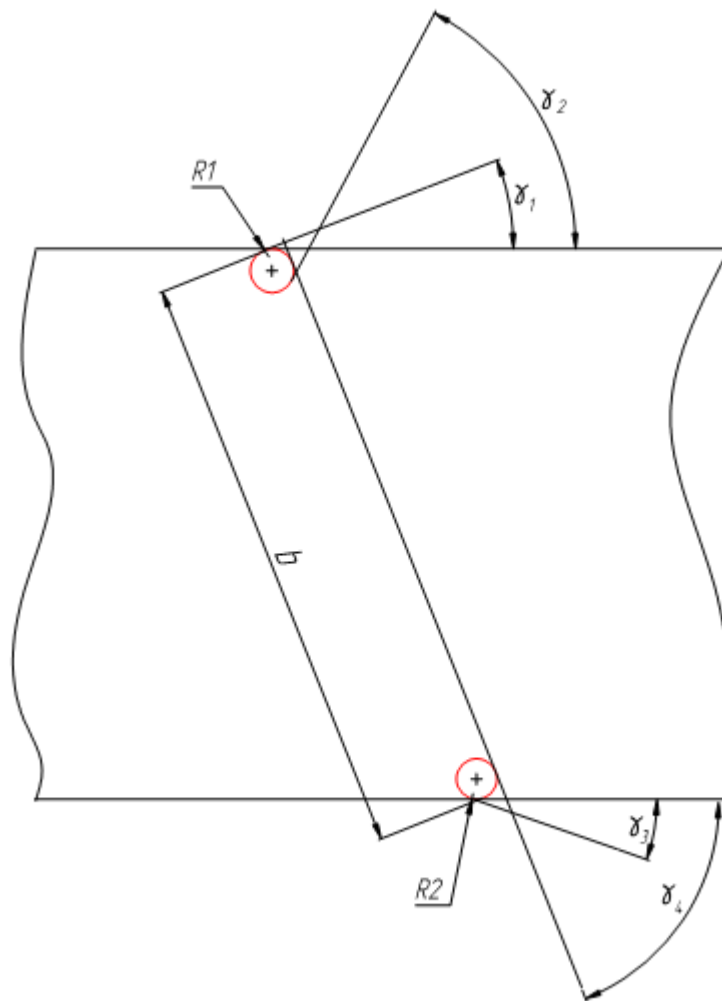


Рис.6

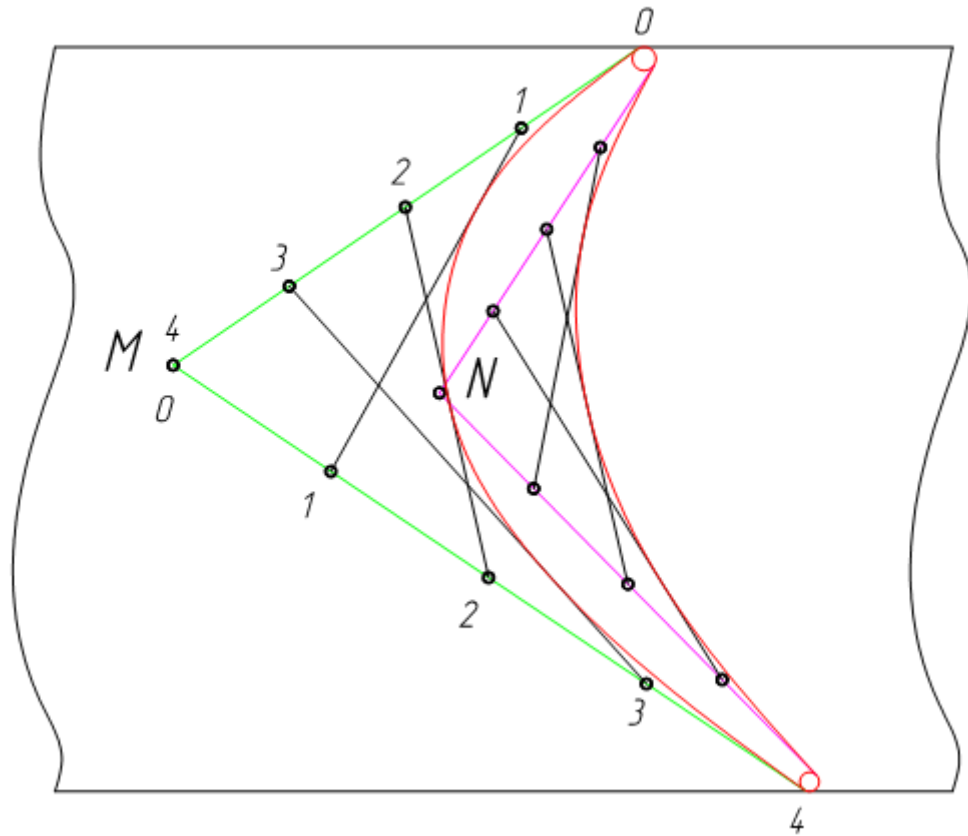


Рис.7

В основу конструирования профиля должно быть положено стремление к значительному сужению канала к выходу, благодаря чему зона больших скоростей сосредотачивается на небольшой длине канала. Чтобы проверить канал на сужение, вычерчивают часть второго профиля на расстоянии шага решетки  $t$  (расстояние между одноименными точками в заданном сечении  $t=0,8b$ ). После этого в канал вписывают окружности, центры которых находятся на средней линии канала (рис.8). Затем среднюю линию распрямляют и анализируют характер линии, огибающей окружности (рис.9).

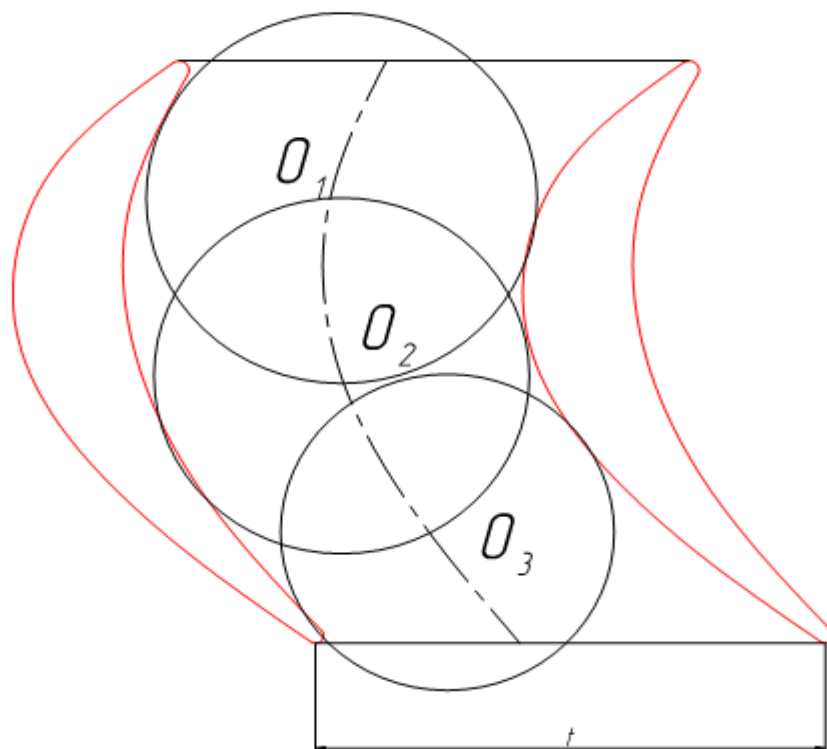


Рис.8

Плавная огибающая, сужающаяся к выходу, свидетельствует о правильно подобранных сечениях.



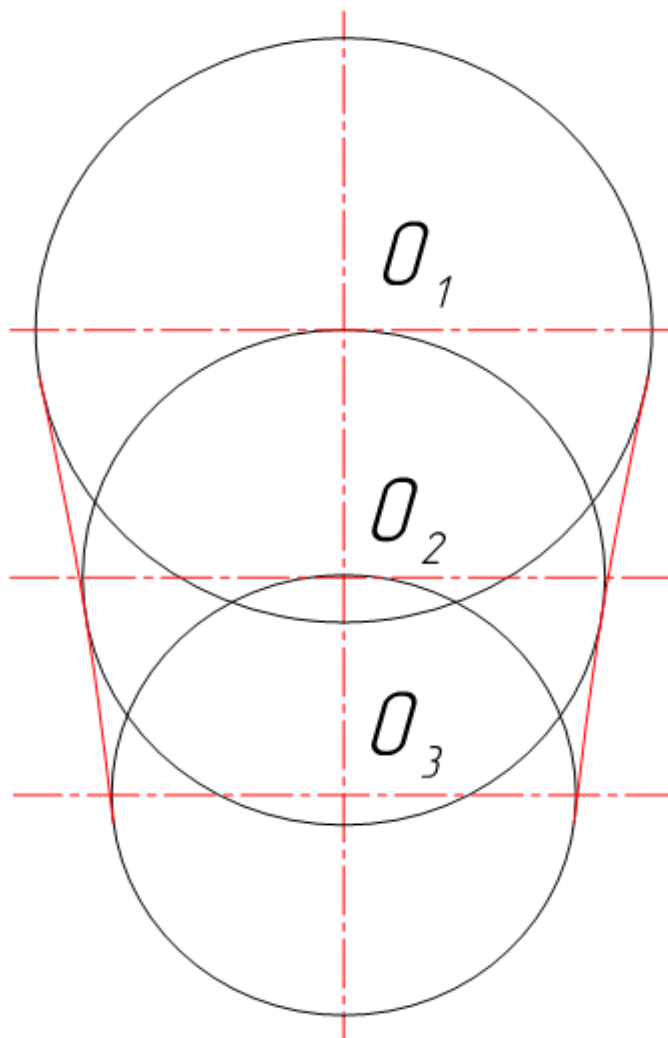


Рис.9

Аналогично по трем плоским сечениям (корневому, среднему, периферийному - см. рис.5) анализируют поверхности на различных участках канала. Для каждого сечения определяют центр тяжести. После совмещения центров тяжести сечений и учета углов установки профиля получают вид на рабочую (сопловую) лопатку сверху (рис.10)

П С К

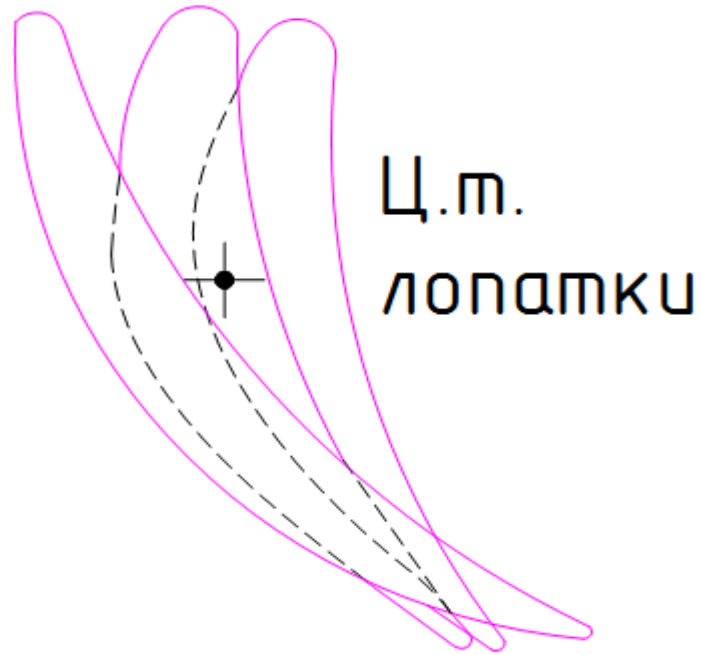


Рис.10

Таблица исходных данных.

Номер варианта	$b$	$r_1$	$r_2$	$s$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_3$	$\gamma_4$	$Z$
I	26	0,37	0,23	25	35	27	22	57	22	35	0
	26	0,46	0,23	22	49	18	41	67	12	21	35
	26	0,53	0,23	19	71	23	66	76	22	25	70
II	25	0,76	0,25	24,6	31	40	28	43	32	45	0
	23	0,75	0,25	20,7	36	29	27	58	26	31	35
	26	0,55	0,25	21,6	46	21	41	59	21	21	70
III	33	0,51	0,41	31,8	47	42	34	57	34	45	0
	23	0,60	0,35	21,8	55	29	50	73	27	33	35
	34	0,37	0,27	19,9	90	27	100	96	25	29	70

## АКСОНОМЕТРИЧЕСКИЙ ЧЕРТЕЖ КАНАЛА

Известно, что к изображениям предметов предъявляют три основных требования: обратимость, наглядность и простота выполнения.

Если по комплексному чертежу довольно сложно представить форму изображенного предмета, то аксонометрический чертеж обладает большой наглядностью, хотя порой и достаточно трудоемок.

Аксонометрический (от греч. ахон-ось и ...метрия) чертеж-это трехмерное изображение предмета на одной плоскости проекций. На эту же плоскость проецируются и координатные оси, к которым отнесен предмет, вместе с действующими масштабными отрезками на этих осях.

Как же образуется аксонометрический чертеж? Пусть в пространстве находится некоторая точка  $P$  (рис.11а), принадлежащая пространственному трехграннику  $X,Y,Z$  с единичными отрезками  $i, j, k$ . Проекция точки  $P$  на плоскость  $XOY - P'$ . Точка  $P$  связана с координатными осями ломаной  $OP_X P'$   $P$ , называемой координатной (метрической) ломаной. Проекцию  $P'$  называют первичной проекцией точки  $P$ .

Возьмем плоскость  $\pi^A$  так, чтобы она пересекала все координатные оси, и выберем направление проецирования  $S$ . Теперь на плоскость  $\pi^A$  по направлению  $S$  спроецируем: координатные оси  $XYZ$ ; единичные масштабные отрезки  $i, j, k$ ; точку  $P$  (ее первичную проекцию и координатную ломаную). Тогда в плоскости  $\pi^A$  - плоскости аксонометрических проекций получим:

- аксонометрические проекции координатных осей  
аксонометрические оси  $X^A Y^A Z^A$ ;
- единичные аксонометрическую проекцию точки  $P - P^A$ ;
- аксонометрическую проекцию первичной проекции точки  $P' - P'^A$ ;
- аксонометрическую проекцию координатной ломаной точки
- $P-O^A P^A_X P'^A P^A$ .

Совокупность всех этих операций на плоскости  $\pi^A$  и образуют аксонометрический чертеж.

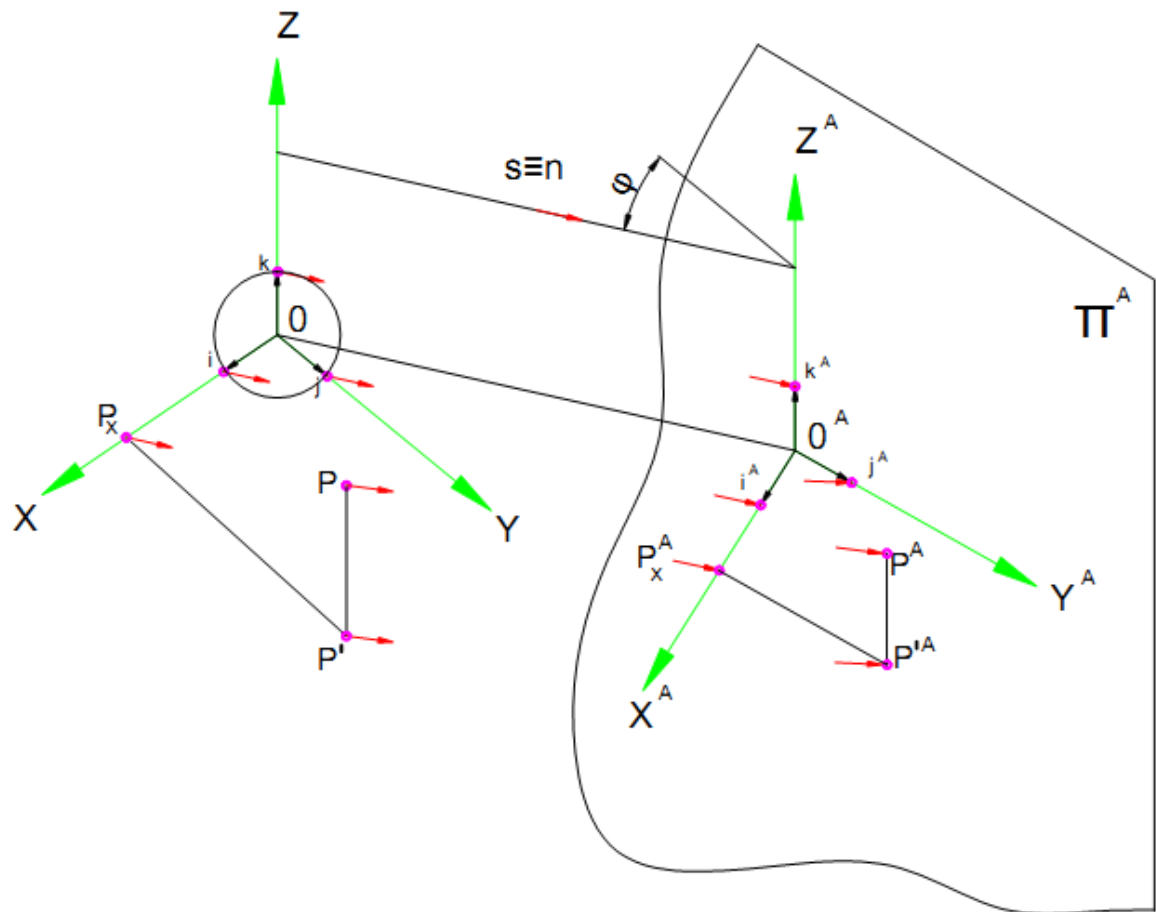


Рис.11а

Отношение единичных аксонометрических масштабных отрезков к их действительной величине называют коэффициентами искажения и обозначают:

$$u = i^A / i, \quad v = j^A / j, \quad w = k^A / k.$$

Коэффициентные искажения зависят от направления проецирования. Если за угол  $\varphi$  принять угол между направлением проецирования и плоскостью аксонометрических проекций, то получим зависимость (рис.11б.)

$$u^2 + v^2 + w^2 = 2 + \text{ctg}^2 \varphi.$$

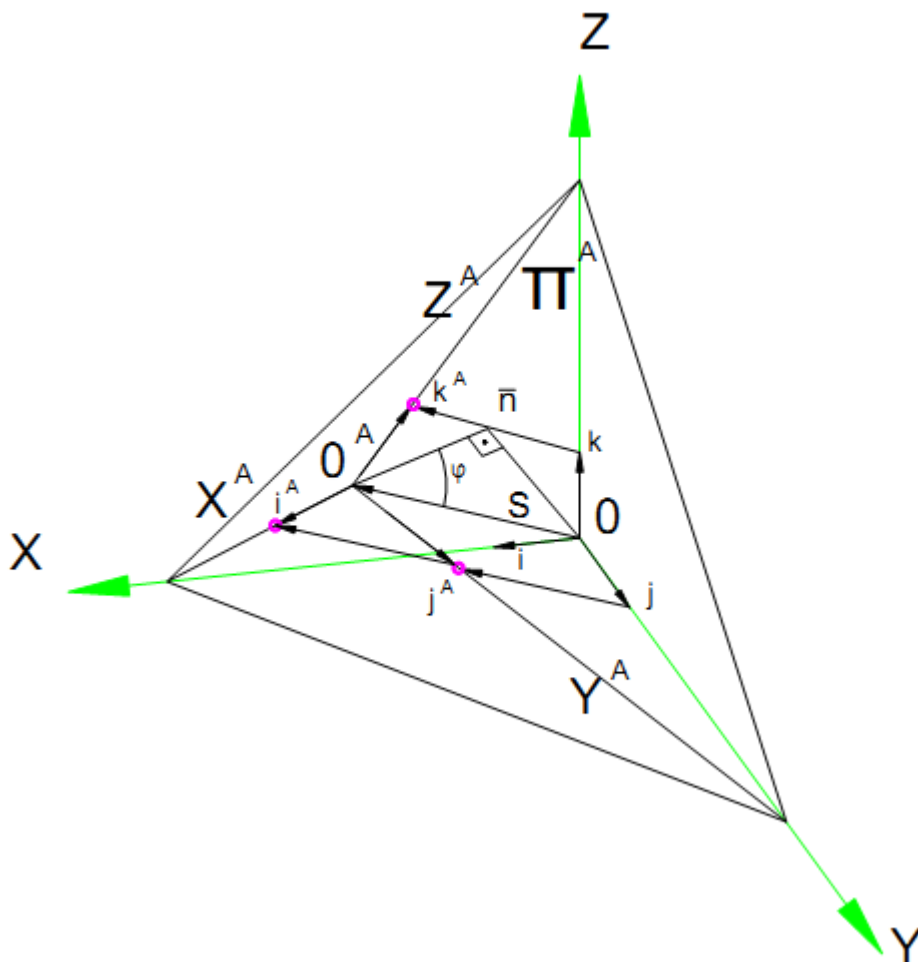


Рис.11б

Если центр проецирования находится на конечном расстоянии от плоскости аксонометрических проекций (в собственной точке), то такое проецирование называют центральным; если же центр проецирования находится в бесконечности (в несобственной точке), - параллельным.

В зависимости от направления проецирования параллельные аксонометрические проекции разделяют на косоугольные (направление проецирования не перпендикулярно плоскости аксонометрических проекций) и прямоугольные (направление проецирования перпендикулярно плоскости аксонометрических проекций  $\varphi = \pi/2$ ).

Если все три коэффициента искажения не равны между собой, то проекцию называют триметрической; если равны два коэффициента искажения (например  $u=v$ ) и они отличны от третьего, то проекцию называют диметрической; если же все три коэффициента искажения равны, то проекцию называют изометрической.

Для прямоугольных аксонометрических проекций

$$\text{угол } \varphi = \pi/2 \text{ и } \text{ctg } \varphi = 0,$$

следовательно,

$$u^2 + v^2 + w^2 = 2.$$

Очевидно, что в прямоугольной аксонометрической проекции ни один из коэффициентов искажения не может быть больше единицы.

Из всех возможных прямоугольных аксонометрических проекций в инженерной практике применяют две:

прямоугольную изометрическую проекцию;

прямоугольную диметрическую проекцию.

Прямоугольная изометрическая проекция. При таком проецировании ( $u=v=w$ ) равны углы наклона координатных осей к плоскости  $\pi^A$ , и углы между аксонометрическими осями будут равны  $2/3\pi$  (рис.12). При этом коэффициенты искажения  $u=v=w=0,82$ , так как  $u^2 + v^2 + w^2 = 2$ ,  $u=(2/3)^{0,5}=0,82$ .

Следовательно, при образовании прямоугольной изометрической проекции действительные размеры вдоль координатных осей сокращаются в 0,82 раза.

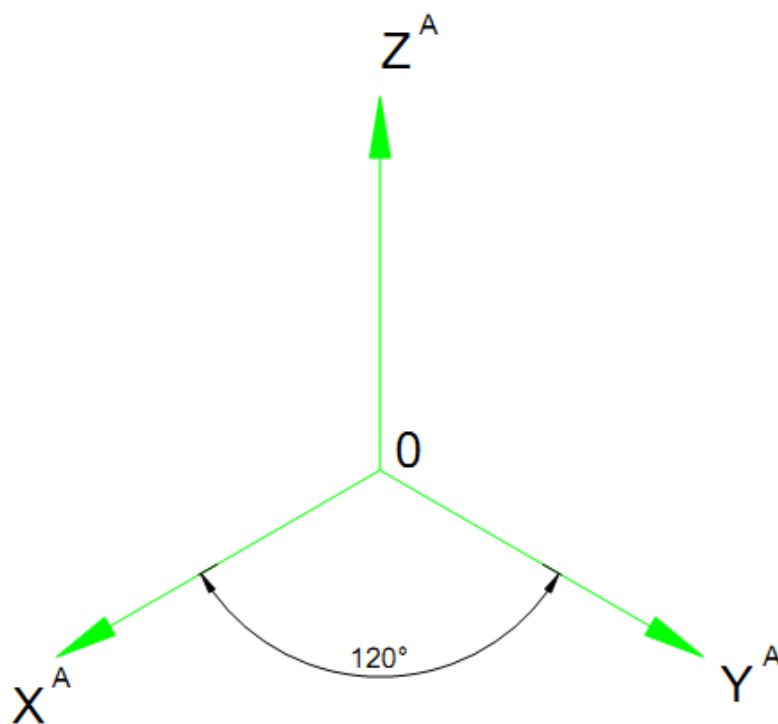


Рис.12

На практике по осям координат откладывают действительные размеры. При этом изображение предмета получается увеличенным в  $1/0,82=1,22$  раза.

Прямоугольная диметрическая проекция. При таком проецировании ( $u=2v=w$ ) ось  $X^A$  составляет с горизонтальной осью угол  $7^\circ 10'$  (слева от вертикальной оси), ось  $Y^A$  составляет с горизонтальной осью угол  $41^\circ 25'$  (рис.13)

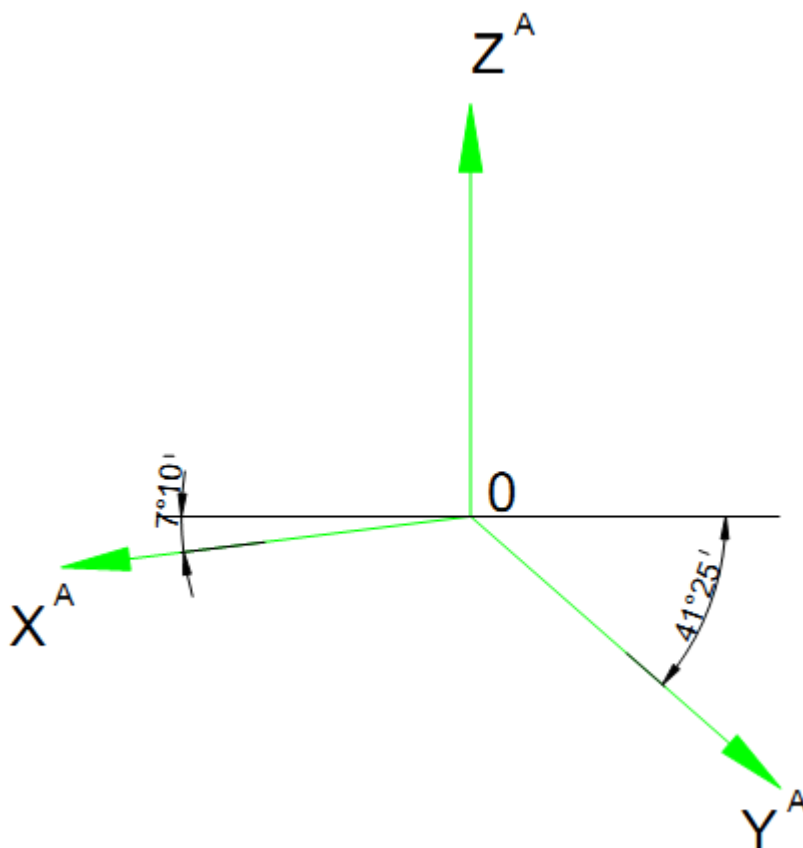


Рис.13

Коэффициент искажения для прямоугольной диметрической проекции

$$u^2 + v^2 + w^2 = 2,$$

$$u = w, \quad 2v = u,$$

$$u = (8/9)^{0,5} = 0,94,$$

$$u = w = 0,94, \quad v = 0,47.$$

На практике не применяют дробные коэффициенты искажения, заменяя их целыми числами ( $u = w = 1, \quad v = 0,5$ ). В этом случае изображение предмета увеличивается в  $1/0,94 = 1,06$  раза.

Таким образом, изображение любой геометрической фигуры в аксонометрических проекциях включает построение аксонометрических проекций некоторого числа точек, определяющих заданную фигуру.



Межлопаточный канал ограничен поверхностями спинки одной лопатки и корытца другой; снизу канал ограничен корневым сечением, а сверху-периферийным. За начальную точку отсчета следует принять входную точку на оси канала при входе потока. Строят плоский корневой канал. Затем по оси  $Z$  откладывают исходную точку среднего сечения и строят плоский канал в этом сечении.

Аналогичную операцию повторяют и для периферийного сечения. На рис.14 показан пример аксонометрического чертежа канала.

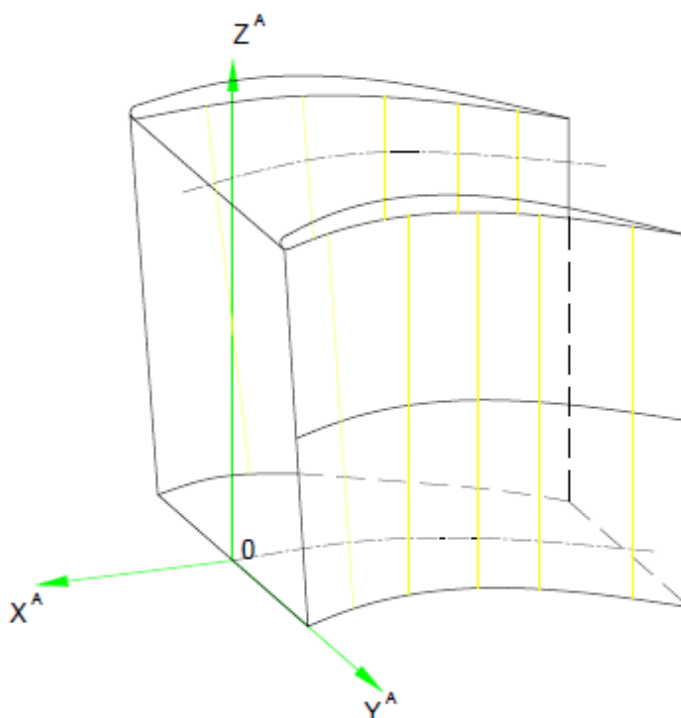


Рис.14

В нашем случае такой фигурой является межлопаточный канал. Он ограничен поверхностью спинки (выпуклая часть профиля) и корытца (вогнутая часть профиля). Снизу канал ограничен корневым сечением, в середине-средним, а сверху-периферийным сечениями профиля.

При пространственном изображении межлопаточного канала за начальную точку отсчета удобно принять точку на оси канала при входе потока: точку пересечения аксонометрических осей  $O^A$  (рис.14).

В каждом из сечений строят среднюю линию профиля и пространственное изображение межлопаточного канала. На рис.10 показана средняя линия в корневом сечении на плоскости, а на рис.14 эта же линия - в пространстве.

При построении пространственного канала задача упрощена, так как рассматривается плоская решетка, т.е. лопатки стоят на плоскости. Однако это не снижает ценности работы, так как приобретенные знания носят универсальный характер.

Таким образом, уже на первом курсе студенты приобщаются к тем задачам, которые им предстоит решать в курсовых проектах и будущей инженерной работе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. — М.; Наука, 1974.
2. Фролов С.А. Начертательная геометрия. — М.; Машиностроение, 1978.
3. Шнез Я.И. Теория газовых турбин. — М.; Машиностроение, 1979.
4. Дейч М. Е. Техническая газодинамика. — М.: Энергия, 1974.
5. Уваров В.В., Чернобровкин А.П., Газовые турбины. М.;Машгиз,1960.