

Лекция 4

Поверхности.

**Классификация, образование,
задание на чертеже.**

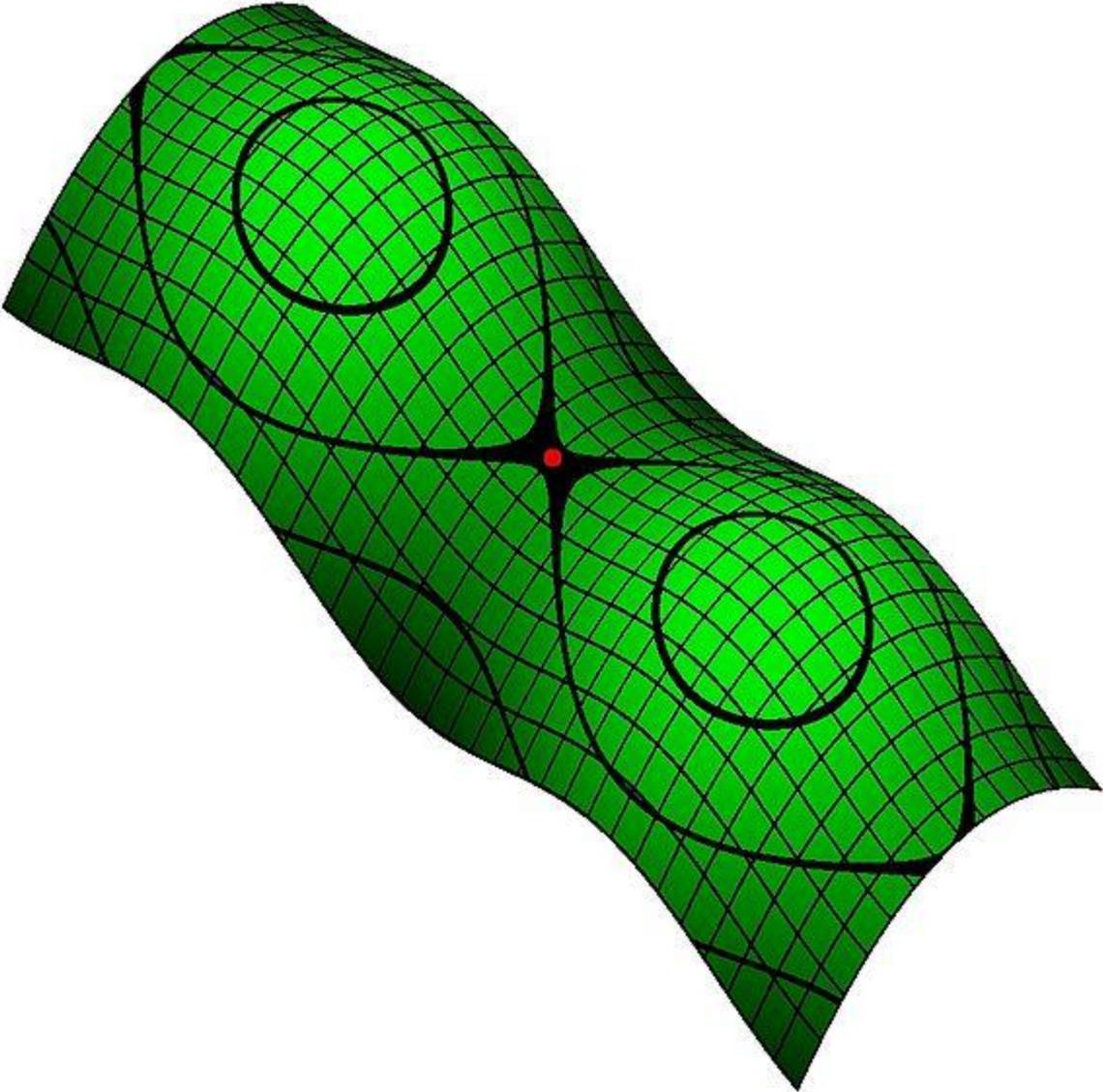
Каркас.

Определитель поверхности.



Простая поверхность

- - поверхность, которую можно представить как кусок плоскости, подвергнутый непрерывным деформациям (растяжениям, сжатиям и изгибаниям). Более точно, *простой поверхностью* называется образ гомеоморфного называется образ гомеоморфного отображения (то есть взаимно однозначного и взаимно непрерывного отображения) внутренности единичного квадрата. Этому определению можно дать аналитическое выражение.



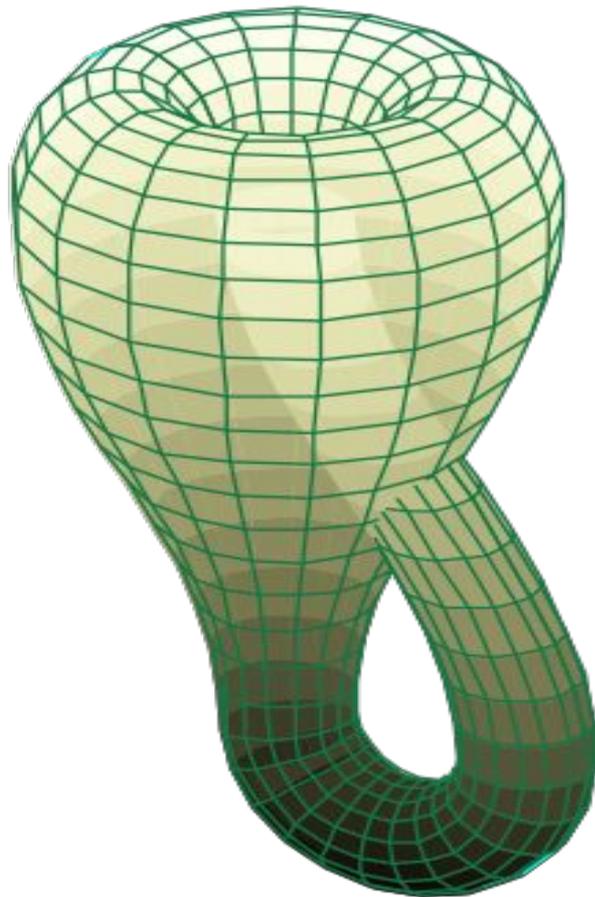
Лента Мёбиуса

□ Ориентация

- Важной характеристикой поверхности является её *ориентация*.
- Поверхность называется **двусторонней**, если на всей её протяжённости она обладает непрерывным вектором нормали. В противном случае поверхность называют **односторонней**.
- **Ориентированной** называется двусторонняя поверхность с выбранным направлением нормали.
- Примерами односторонних, а следовательно и неориентируемых поверхностей являются бутылка Клейна или Лист Мёбиуса.



Бутылка Клейна



Пример двусторонних поверхностей

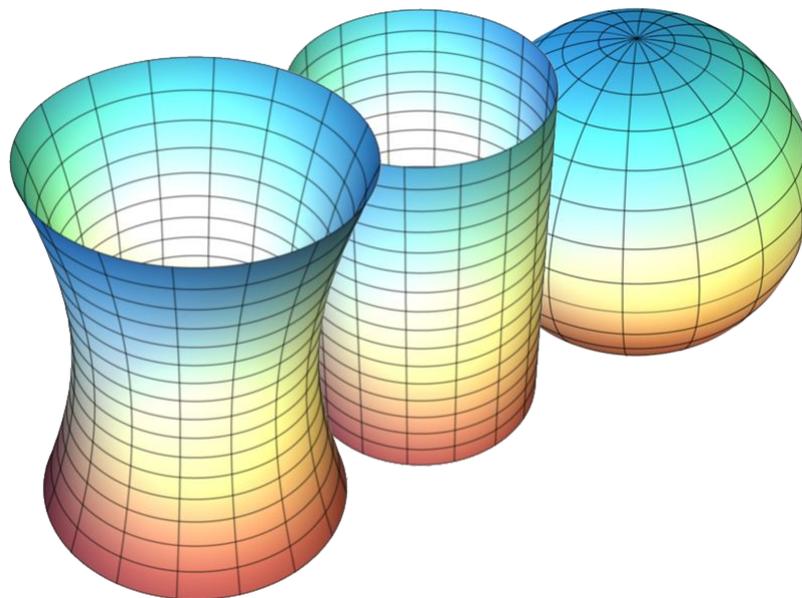


Поверхности с кривизной.

Поверхности с кривизной.

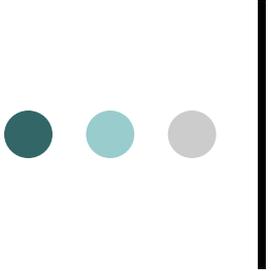
Отрицательной (слева),
Нулевой (в центре) и
Положительной (справа)

- **Нормальные** кривизны в главных направлениях называются **главными кривизнами**;



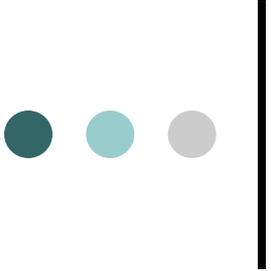
Аналитическое выражение

- Пусть на плоскости с прямоугольной системой координат u и v задан квадрат, координаты внутренних точек которого удовлетворяют неравенствам $0 < u < 1$, $0 < v < 1$. **Гомеоморфный** образ квадрата в пространстве с прямоугольной системой координат x , y , z задаётся при помощи формул $x = x(u, v)$, $y = y(u, v)$, $z = z(u, v)$ (параметрическое задание поверхности). При этом от функций $x(u, v)$, $y(u, v)$ и $z(u, v)$ требуется, чтобы они были непрерывными и чтобы для различных точек (u, v) и (u', v') были различными соответствующие точки (x, y, z) и (x', y', z') .
- **Примером простой поверхности** является **полусфера**. Вся же сфера не является *простой поверхностью*. Это вызывает необходимость дальнейшего обобщения понятия поверхности.



ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

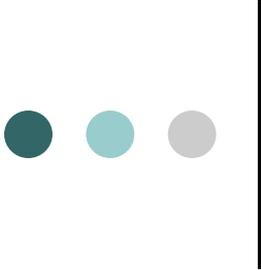
- В начертательной геометрии фигуры задаются графически, поэтому целесообразно рассматривать поверхность как **совокупность всех последовательных положений некоторой перемещающейся в пространстве линии**. Образование поверхности с помощью линии позволяет дать иное определение поверхности, базирующейся на таких основных элементарных геометрических понятиях, как точка и множество. В свою очередь, линия определяется как непрерывное однопараметрическое множество точек, поэтому можно дать следующее определение поверхности:



Определения поверхности

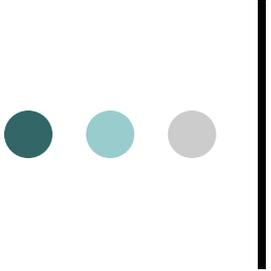
Поверхностью называется:

- ▣ **совокупность всех последовательных положений линий, непрерывно перемещающихся в пространстве.**
- ▣ **непрерывное двупараметрическое множество точек.**

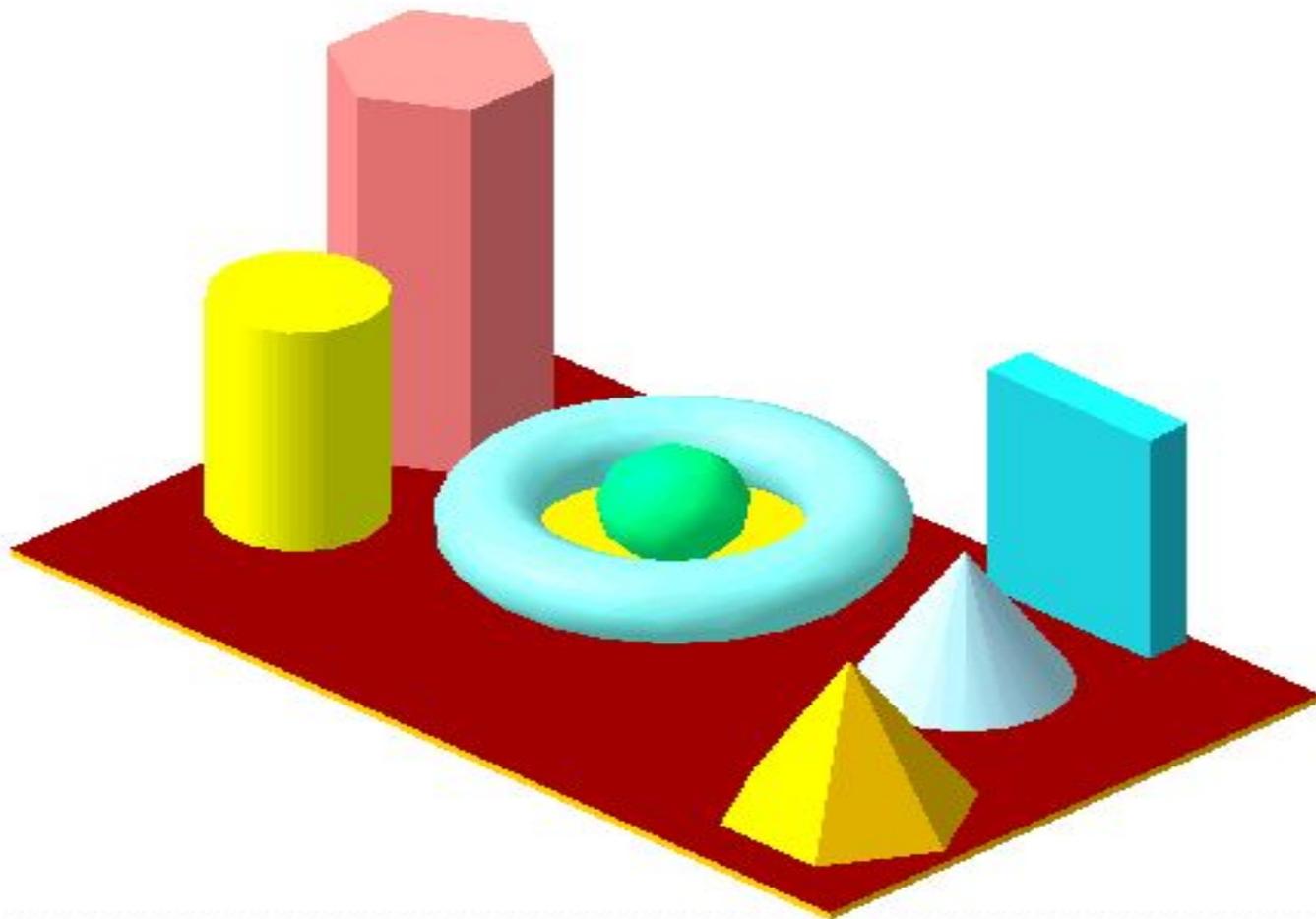


Задание поверхности

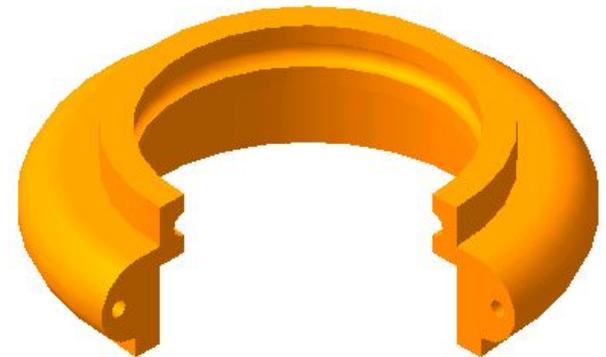
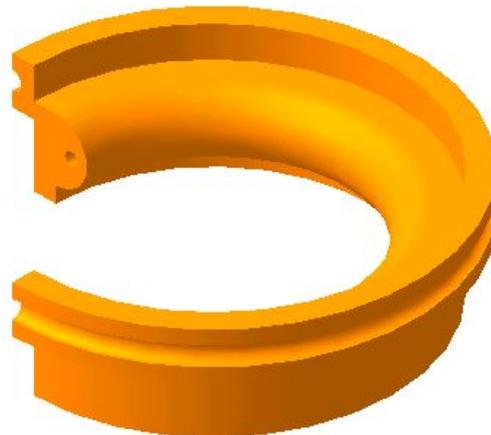
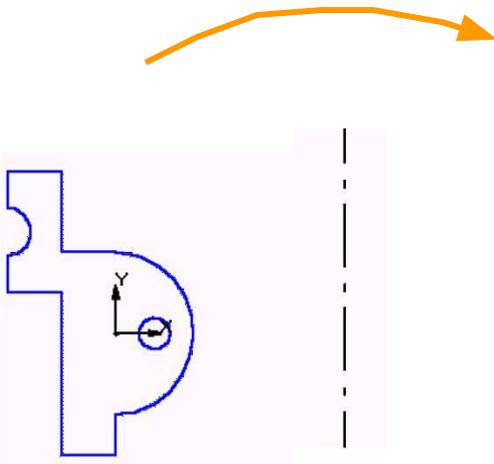
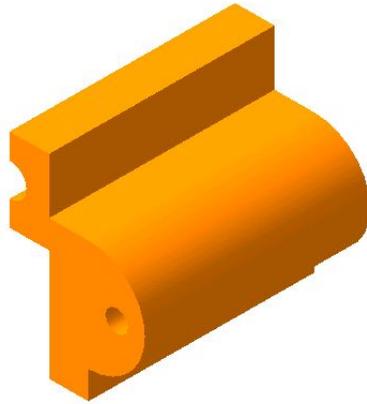
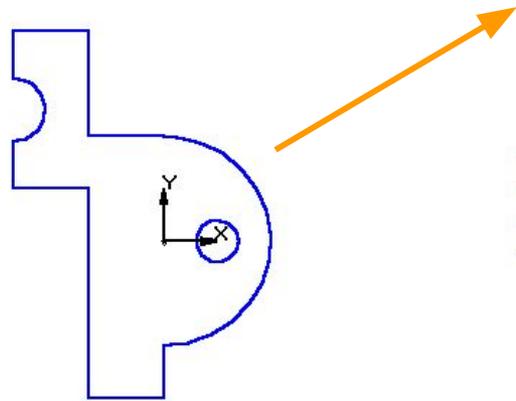
- Для получения наглядного изображения поверхности Для получения наглядного изображения поверхности на чертеже закон перемещения линии целесообразно задавать графически в виде совокупности линий и указаний о характере перемещения линии. Эти указания могут быть заданы графически, в частности с помощью направляющей поверхности.

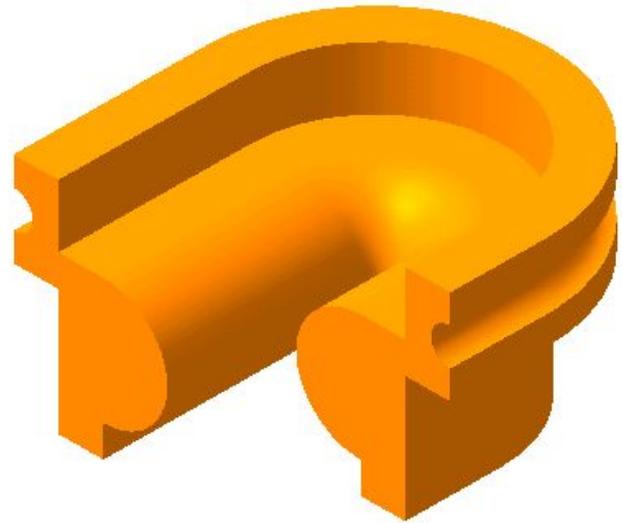
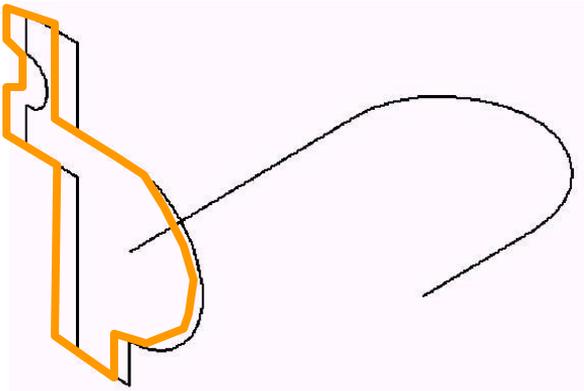
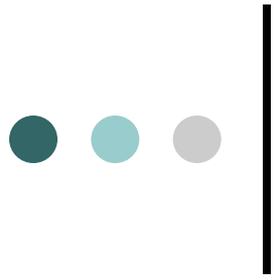
- 
- В процессе образования поверхностей линия может оставаться неизменной или менять свою форму. Такой способ образования поверхности называется **кинематическим**, а сама поверхность - **кинематической**.
 - Закон перемещения образующей линии, как правило, задается при помощи направляющих линий и алгоритма перемещения образующей по направляющим.

Поверхности

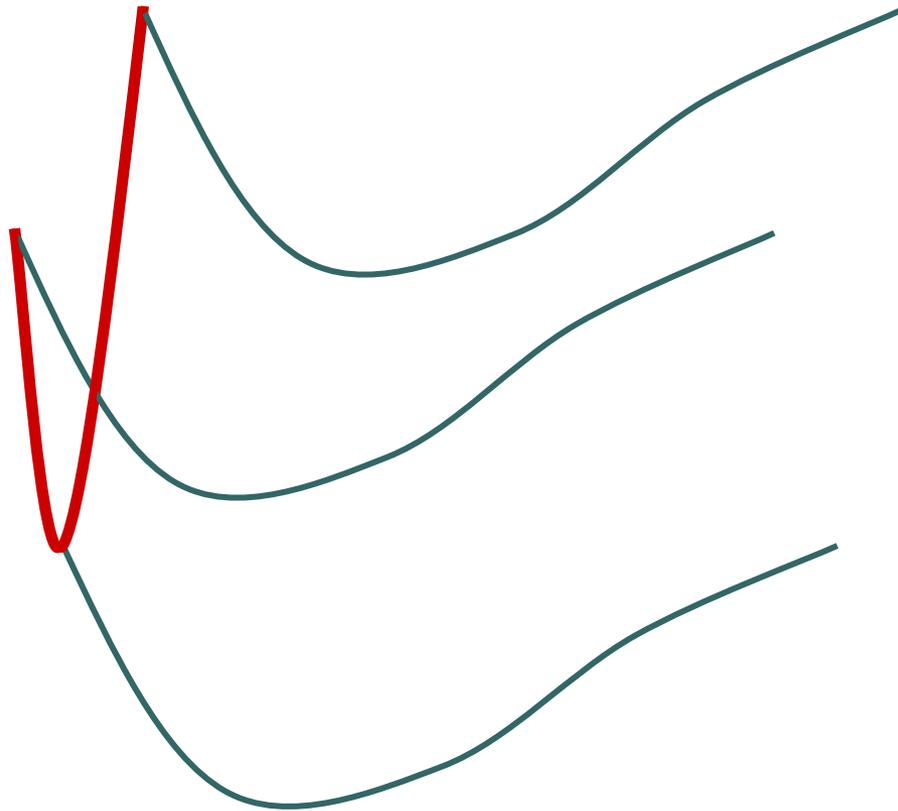


Примеры построения поверхностей перемещением

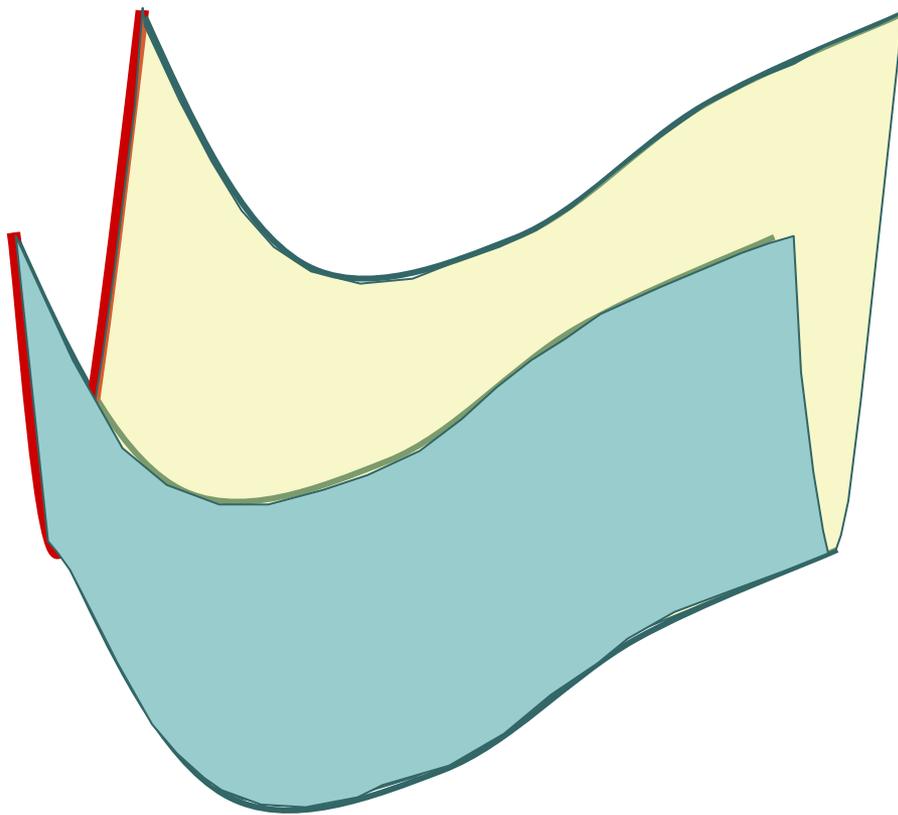


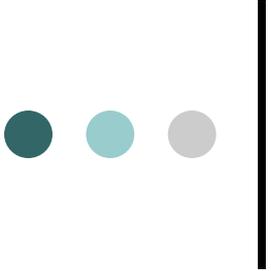


Пример построения поверхности



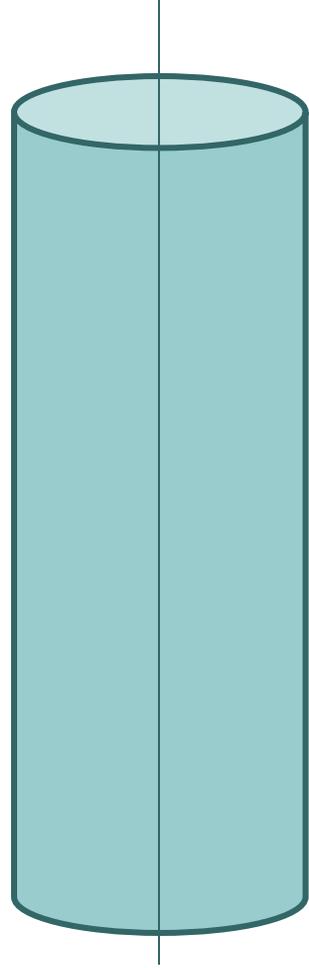
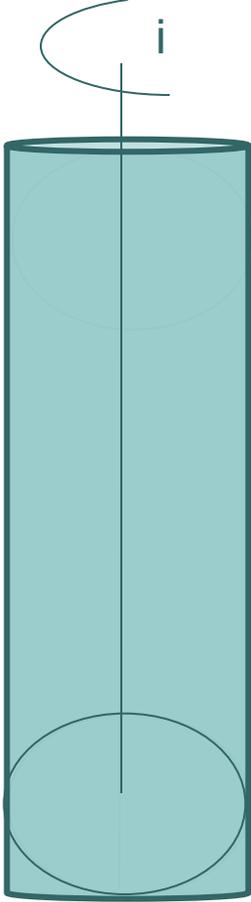
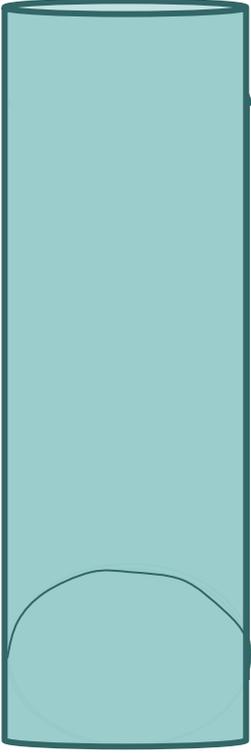
Пример построения поверхности

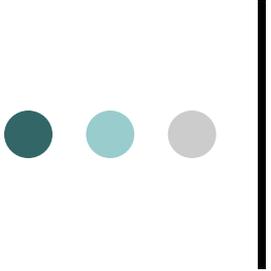




Задание кинематической кривой поверхности

- На чертеже **кинематическая кривая поверхность задается** при помощи ее определителя. **Определителем поверхности** называют совокупность условий, необходимых и достаточных для задания поверхности в пространстве. Подвижная линия называется образующей Подвижная линия называется образующей, неподвижные линии и поверхность – направляющими.



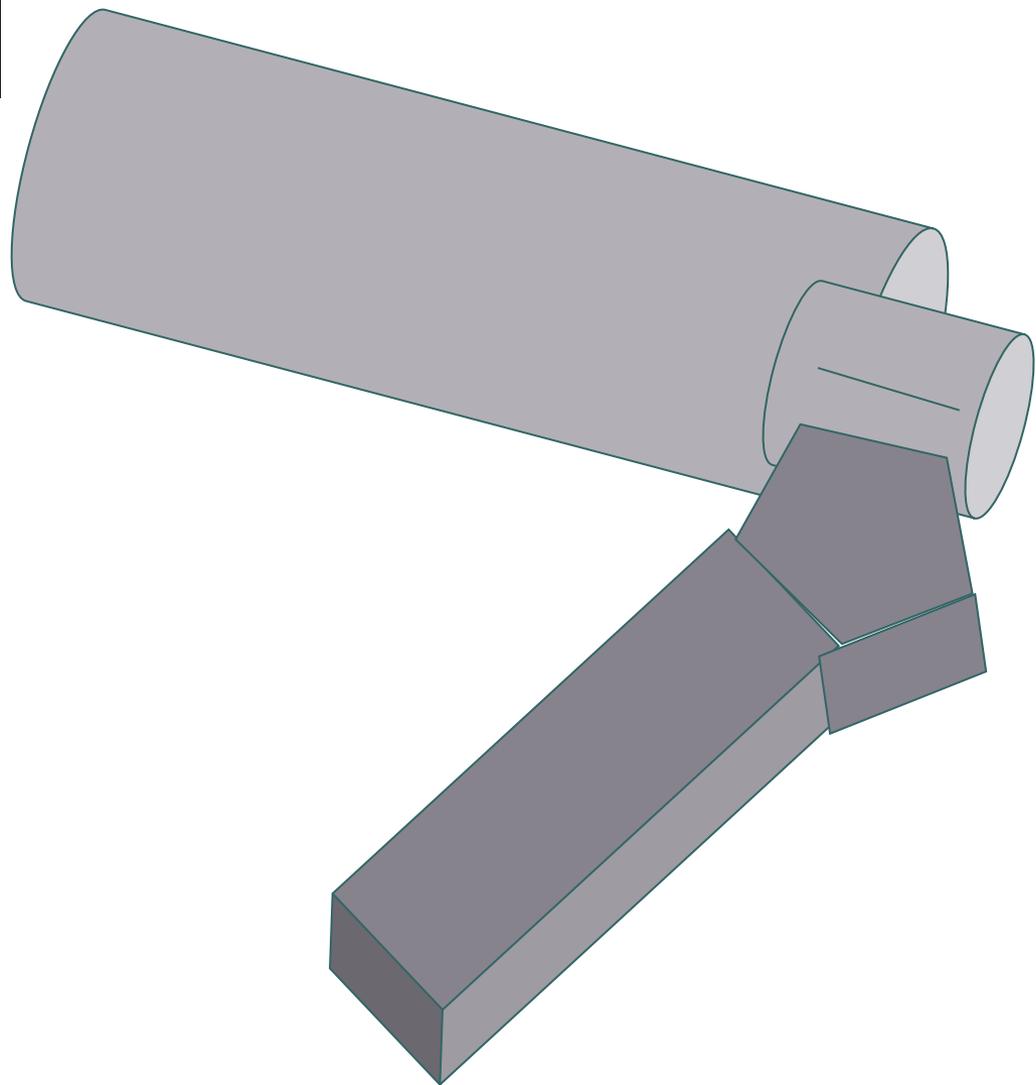


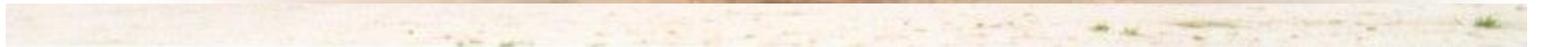
Примеры образования поверхностей

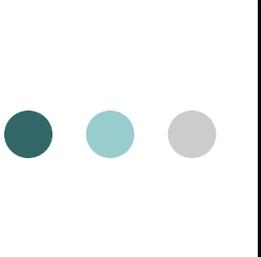
- Примером такого способа образования могут служить все технологические процессы обработки металлов режущей кромкой, когда поверхность изделия несет на себе «отпечаток» профиля резца. Режущие кромки являются неотъемлемой частью исполнительных механизмов многих строительных и дорожных машин, применяемых не только для разработки и перемещения грунта (бульдозеры, грейдеры и т. п.), но и рытье траншей, котлованов, проходка траншей, профилирование откосов и многое другое.



Пример образования поверхности

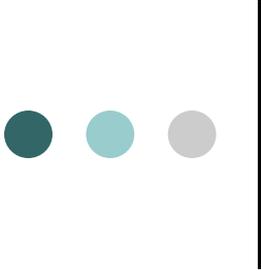






Способы задания кривых поверхностей

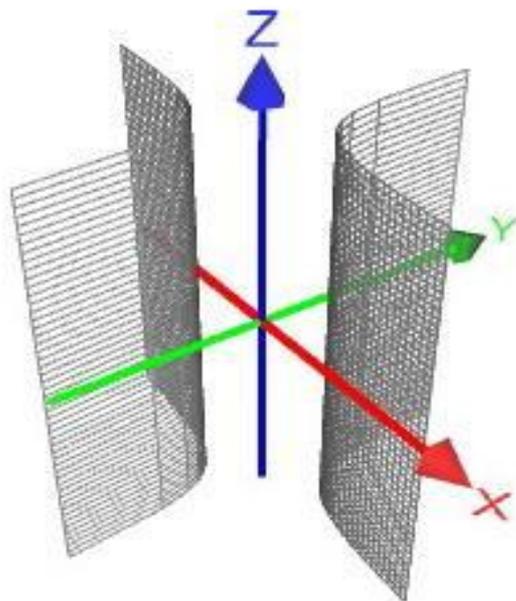
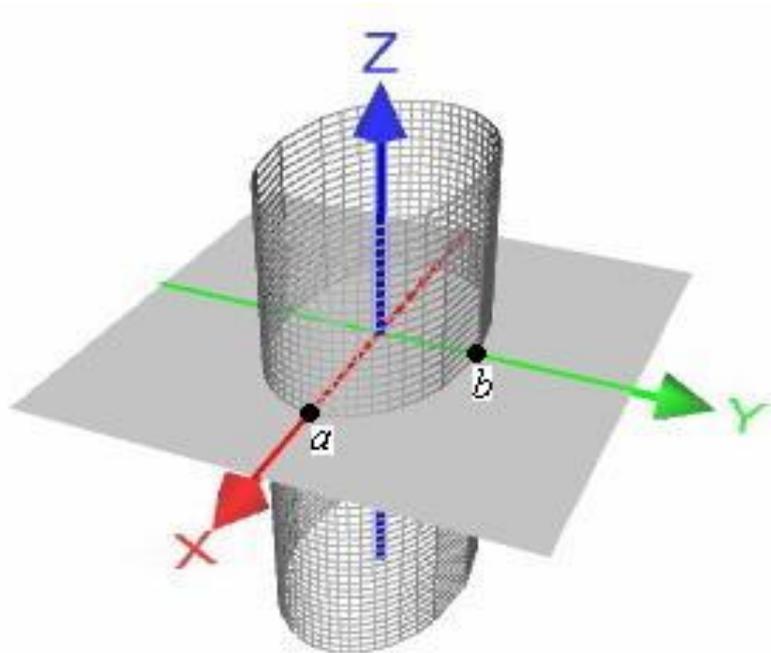
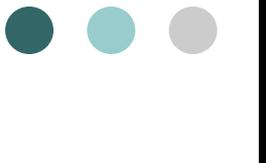
- Кривые поверхности широко применяются в различных областях науки и техники при создании очертаний различных технических форм или как объекты инженерных исследований. Существуют **три способа** задания кривых поверхностей:
 - 1. Аналитический - при помощи уравнений;**
 - 2. При помощи каркаса;**
 - 3. Кинематический, т. е. перемещением линий в пространстве.**

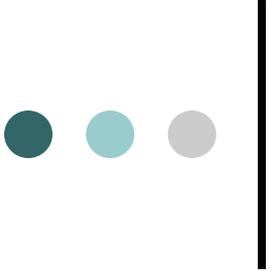


Аналитический способ задания поверхности

- Составлением уравнений поверхностей занимается аналитическая геометрия; она рассматривает кривую поверхность как множество точек, координаты которых удовлетворяют некоторому уравнению.

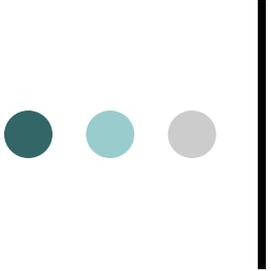




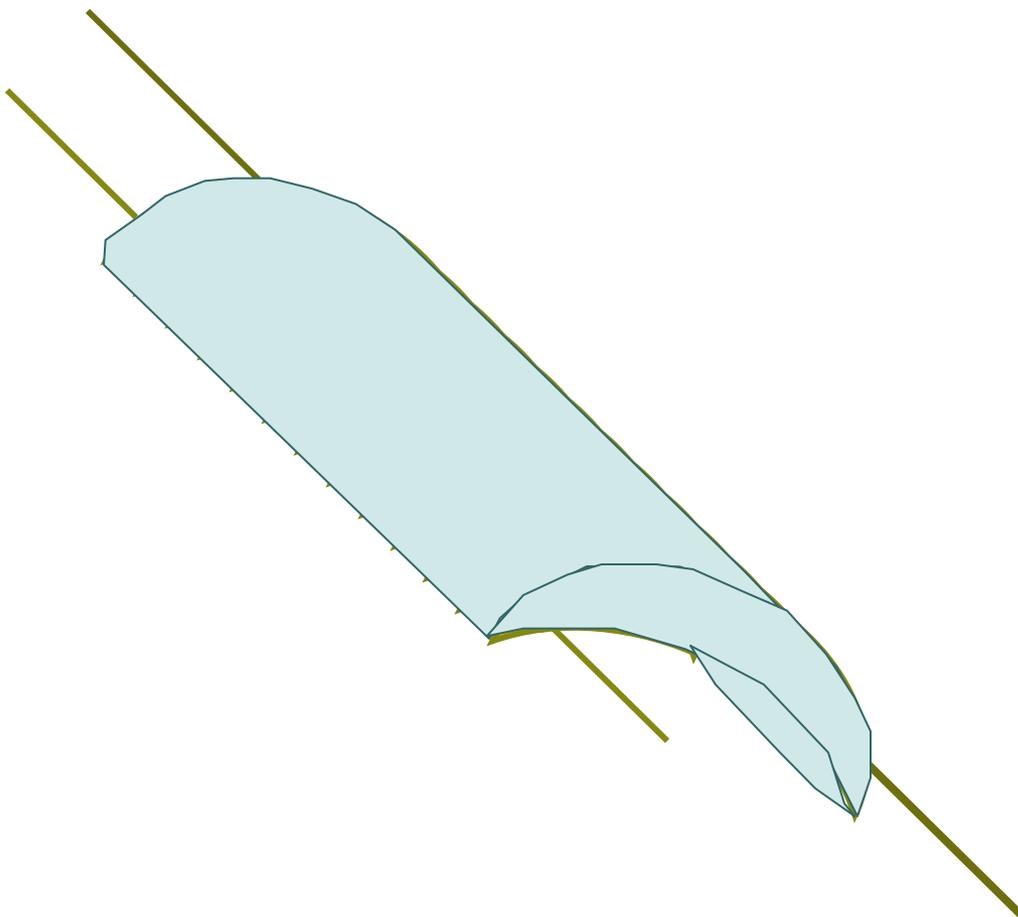


Каркас поверхности

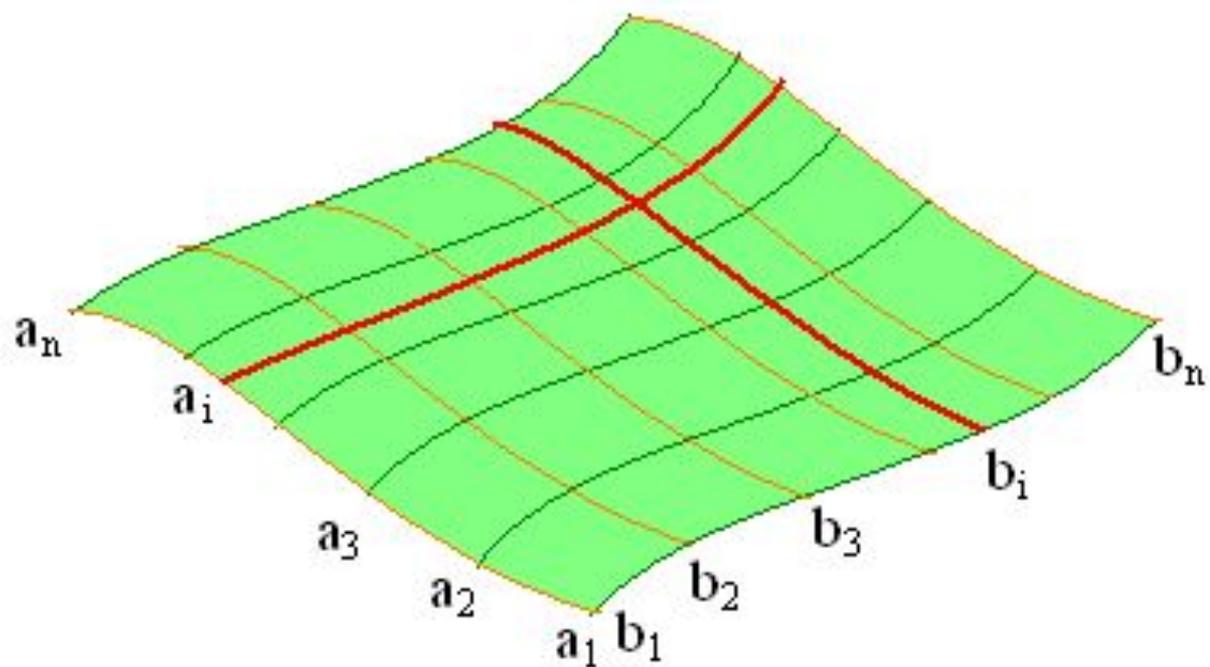
- ▣ **Каркасом** поверхности принято называть упорядоченное множество точек или линий, принадлежащих поверхности. В зависимости от того, чем задается каркас поверхности, точками или линиями, каркасы называют точечными или линейными.
- ▣ **Линейным каркасом** называется множество таких линий, которые имеют единый закон образования и связаны между собой определенной зависимостью. Условия связи между линиями каркаса называются зависимостью каркаса.

- 
- Эта зависимость характеризуется некоторой изменяющейся величиной, которая называется параметром каркаса.
 - Если параметр линейного каркаса является непрерывной функцией, то **каркас называется непрерывным**, а если параметр – прерывная функция, то каркас называется **дискретным**.

Пример дискретного каркаса



Пример линейного каркаса поверхности

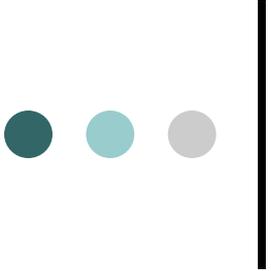


Каркас

Упорядоченное множество точек или линий, принадлежащих поверхности, называется ***каркасом***.

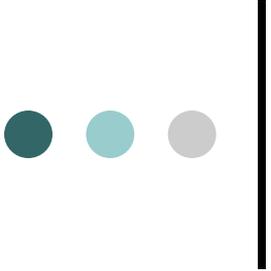
В зависимости от того, чем задаётся каркас поверхности, ***каркасы подразделяют на точечные и линейные.***





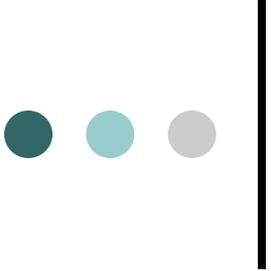
Определитель поверхности

- **Кинематический способ** образования поверхности можно представить как множество положений движущейся линии или поверхности. Этот способ дает возможность сформулировать **понятие определителя** поверхности. Под этим понятием обычно подразумевают **необходимую и достаточную совокупность геометрических фигур и кинематических связей между ними, которые однозначно определяют поверхность.**



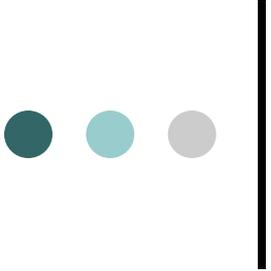
Состав определителя

- 1. Геометрическая часть - совокупность геометрических фигур, с помощью которых можно образовать поверхность.
- 2. Алгоритмическая часть - алгоритм формирования поверхности при помощи фигур, входящих в геометрическую часть определителя.
- Чтобы найти определитель поверхности, следует исходить из кинематического способа образования поверхности.



Выбор определителя поверхности

- Определитель поверхности выявляется путем анализа способов образования поверхности или ее основных свойств. В общем случае поверхность может быть образована несколькими способами и поэтому может иметь несколько определителей. Обычно из всех способов образования поверхности **выбирают простейший.**



Определитель поверхности

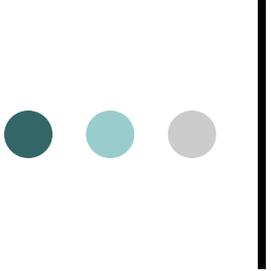
Совокупность параметров, однозначно определяющих данную поверхность, называют **определителем**.

Алгоритмическая часть определителя задаёт закон движения и изменения формы образующей в процессе движения.

Алгоритмическая часть определителя задаётся в виде описания, например словом «сфера» или «вращение».

Геометрическая часть определителя содержит форму образующих и направляющих.

Геометрическая часть определителя может задаваться в виде числа, например R50.



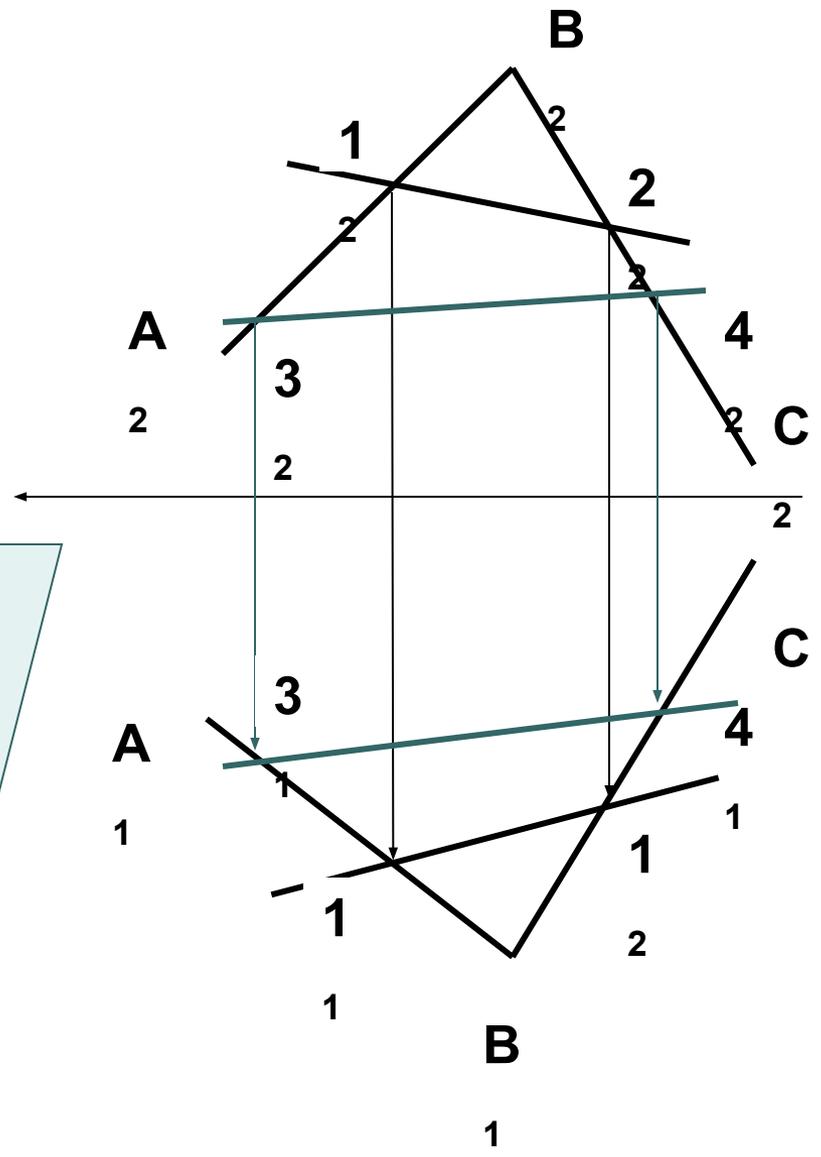
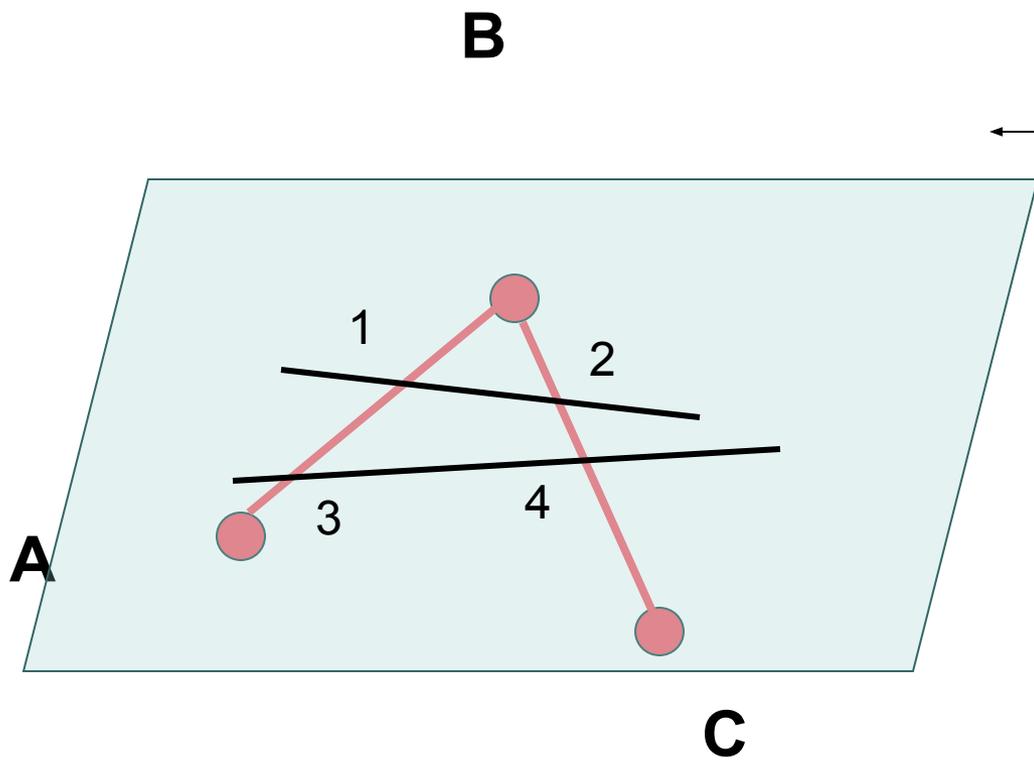
Поверхность на комплексном чертеже

- **Поверхность считается заданной** на комплексном чертеже, если относительно любой точки пространства, заданной на чертеже, можно однозначно решить вопрос о принадлежности ее данной поверхности. Построение проекций любых точек и линий, принадлежащих поверхности, а также второй их проекции, если одна задана, выполняется на основании ее определителя.
- **Точка принадлежит поверхности, если она принадлежит линии, принадлежащей поверхности.**

Примеры определителя поверхностей

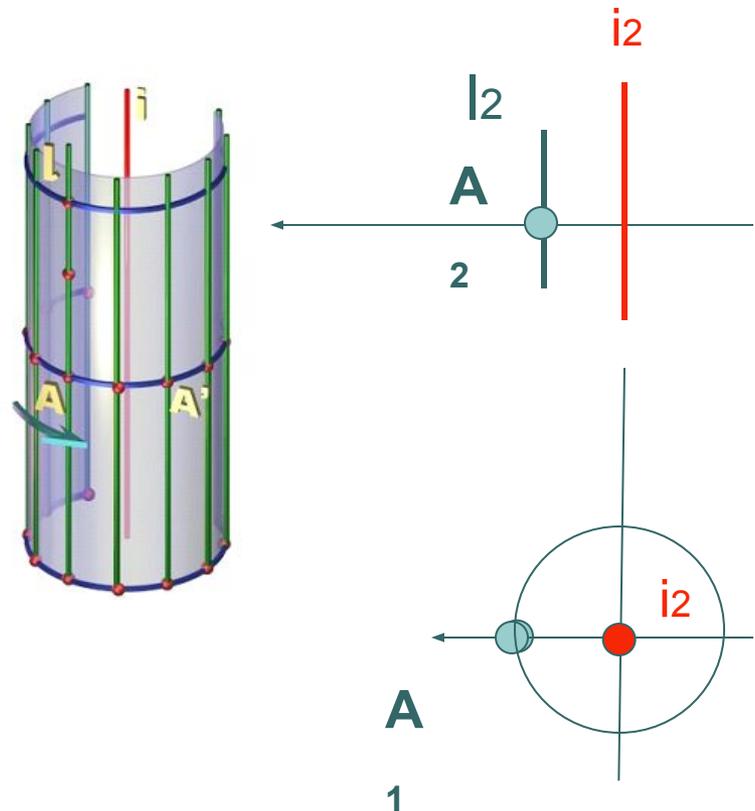
- Через три точки A, B, C , не принадлежащие одной прямой, можно провести одну и только одну плоскость. Точки A, B и C составляют геометрическую часть определителя плоскости. Вторая часть определителя, т. е. алгоритм построения в плоскости (A, B, C) любых линий и точек, выражается рассмотренными ранее условиями принадлежности прямой и точки плоскости. На чертеже плоскость задана проекциями геометрической части своего определителя: $A(A_1A_2), B(B_1B_2), C(C_1C_2)$.

Пример определителя плоскости



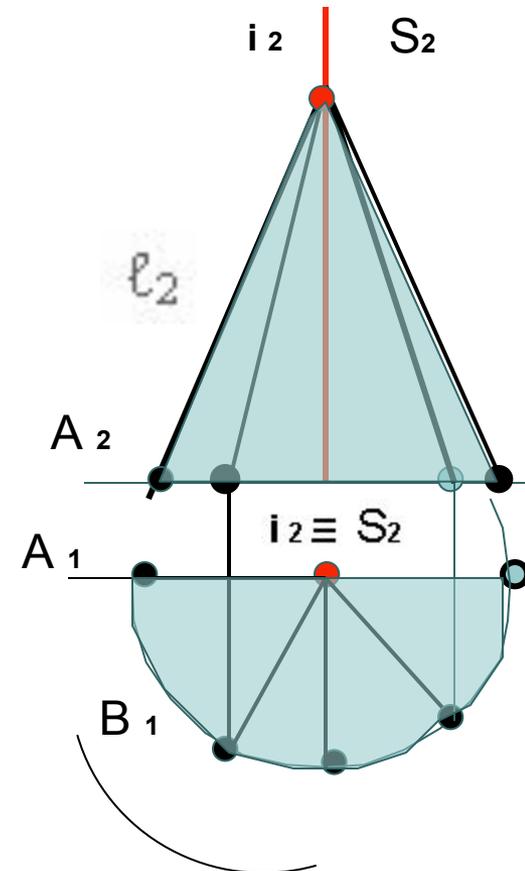
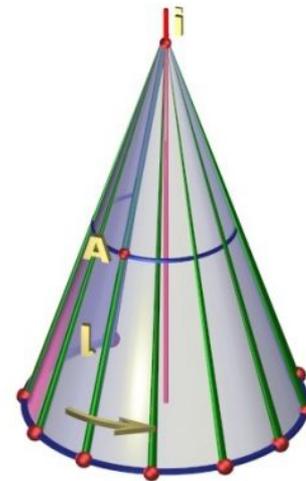
Определитель цилиндрической поверхности

- Цилиндрическая поверхность вращения может быть образована вращением прямой l вокруг оси i
Геометрическая часть определителя поверхности состоит из образующей l и оси i . **Алгоритмическая часть** определителя состоит из операции вращения образующей линии l вокруг оси i .



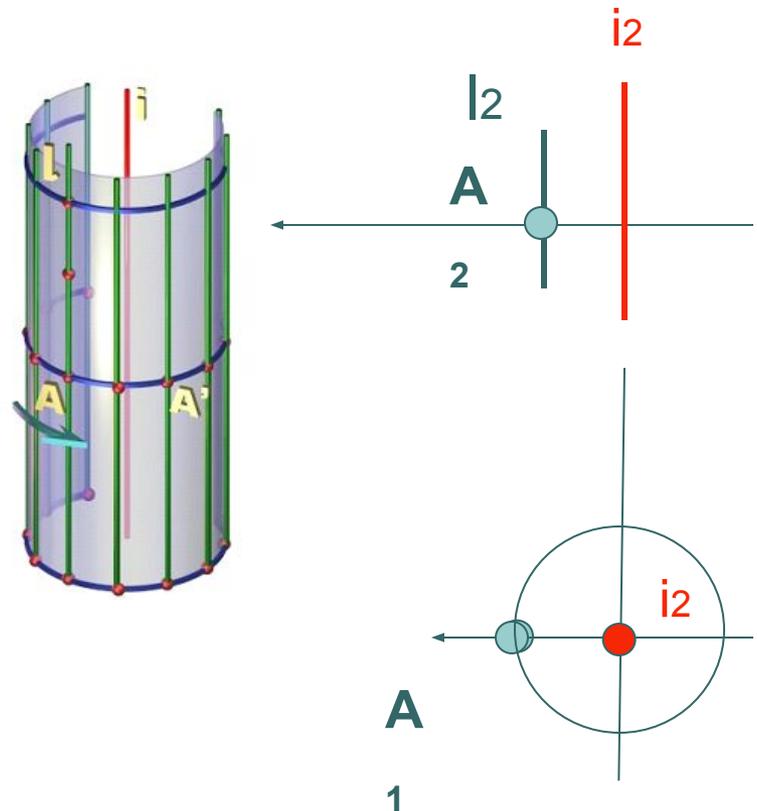
Изображение определителя конической поверхности

- **Коническая** поверхность вращения может быть образована вращением прямой l , пересекающей ось вращения i под некоторым углом. **Алгоритмическая** часть определителя состоит из словесного указания о том, что поверхность образуется вращением образующей l вокруг оси i . Определитель конической поверхности вращения имеет вид $\Phi(l, i)[A]$.

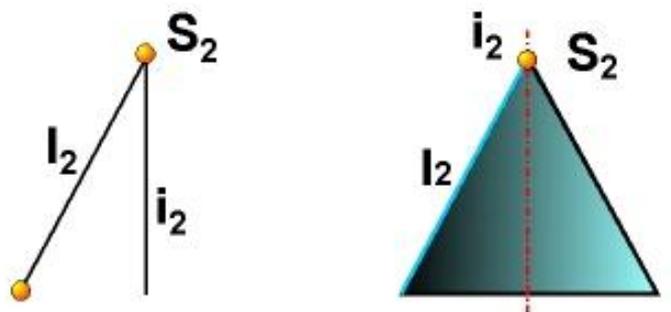


Определитель цилиндрической поверхности

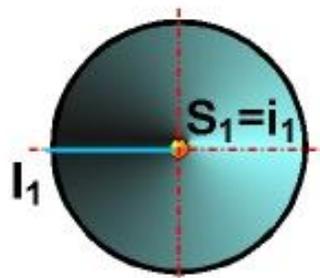
- Цилиндрическая поверхность вращения может быть образована вращением прямой l вокруг оси i
Геометрическая часть определителя поверхности состоит из образующей l и оси i . **Алгоритмическая часть** определителя состоит из операции вращения образующей линии l вокруг оси i .



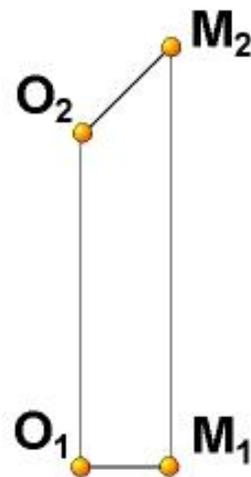
Проекции геометрической части определителей и очерки проекций конуса и сферы



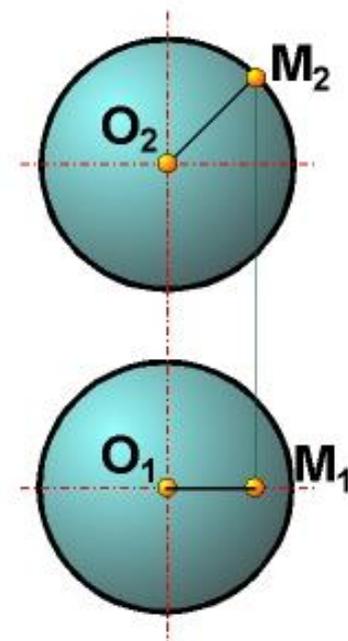
а



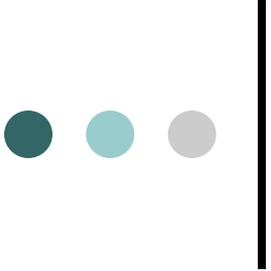
б

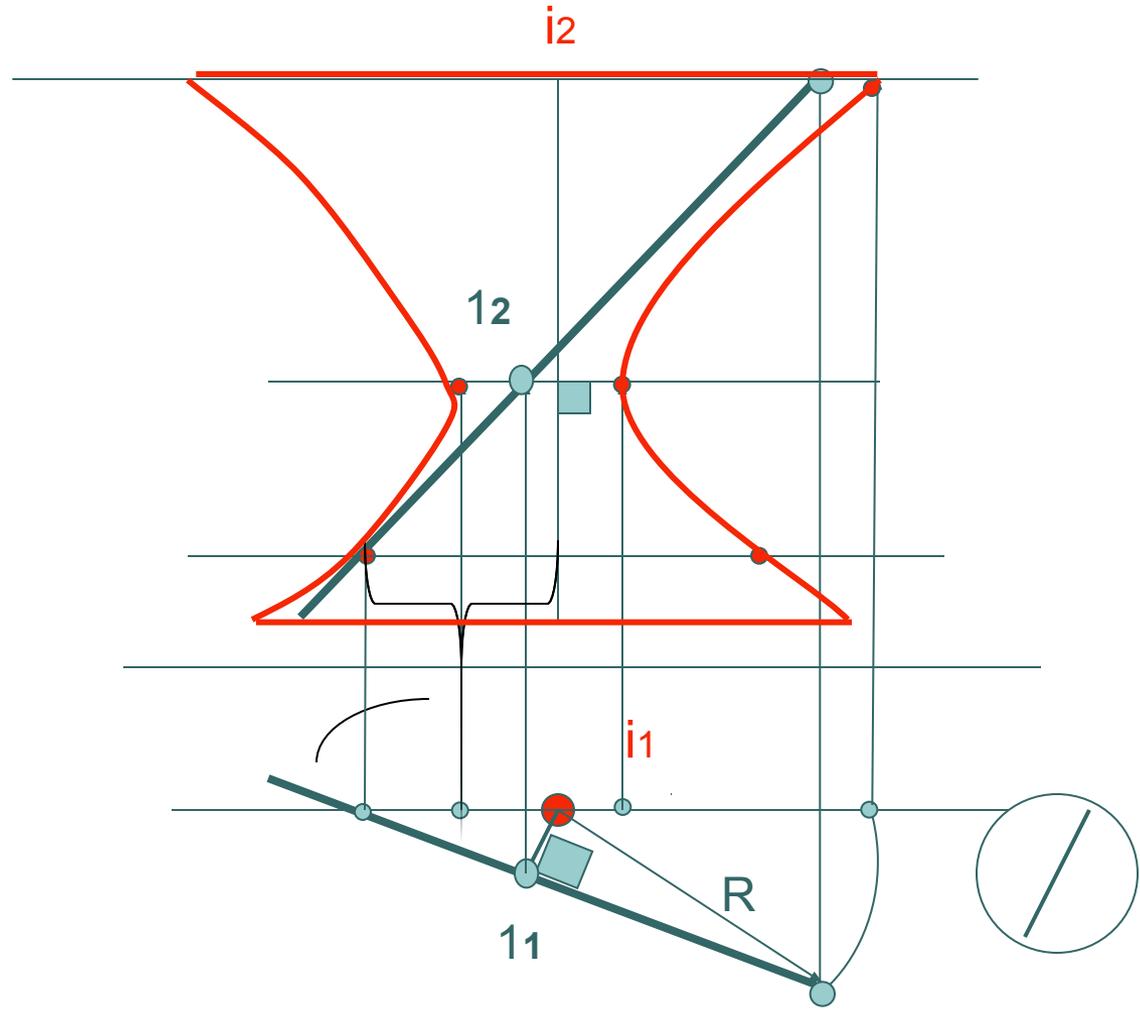


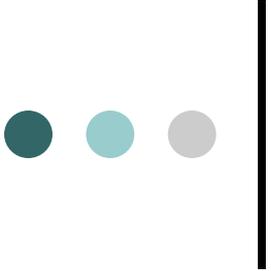
в



г

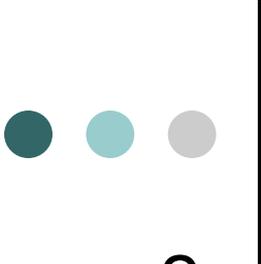
- 
- Поверхности на комплексном чертеже **могут быть заданы:**
 - Проекциями направляющих и способом перемещения по ним образующих.
 - Семейством линий, принадлежащих поверхности - каркасный способ задания поверхности.
 - Очерком поверхности, т.е. линиями, ограничивающими на комплексном чертеже область существования проекций.





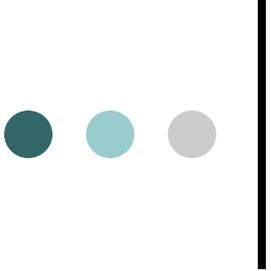
Виды кривых поверхностей

- Кривые поверхности разделяются на **линейчатые** и **нелинейчатые**, **закономерные** и **незакономерные**. Поверхность называется линейчатой, если она может быть образована перемещением прямой линии, в противном случае – нелинейчатой.
- Если поверхность может быть задана каким-либо уравнением, она называется **закономерной**, в противном случае – **незакономерной**, или графической (задается только чертежом).



Закономерные поверхности

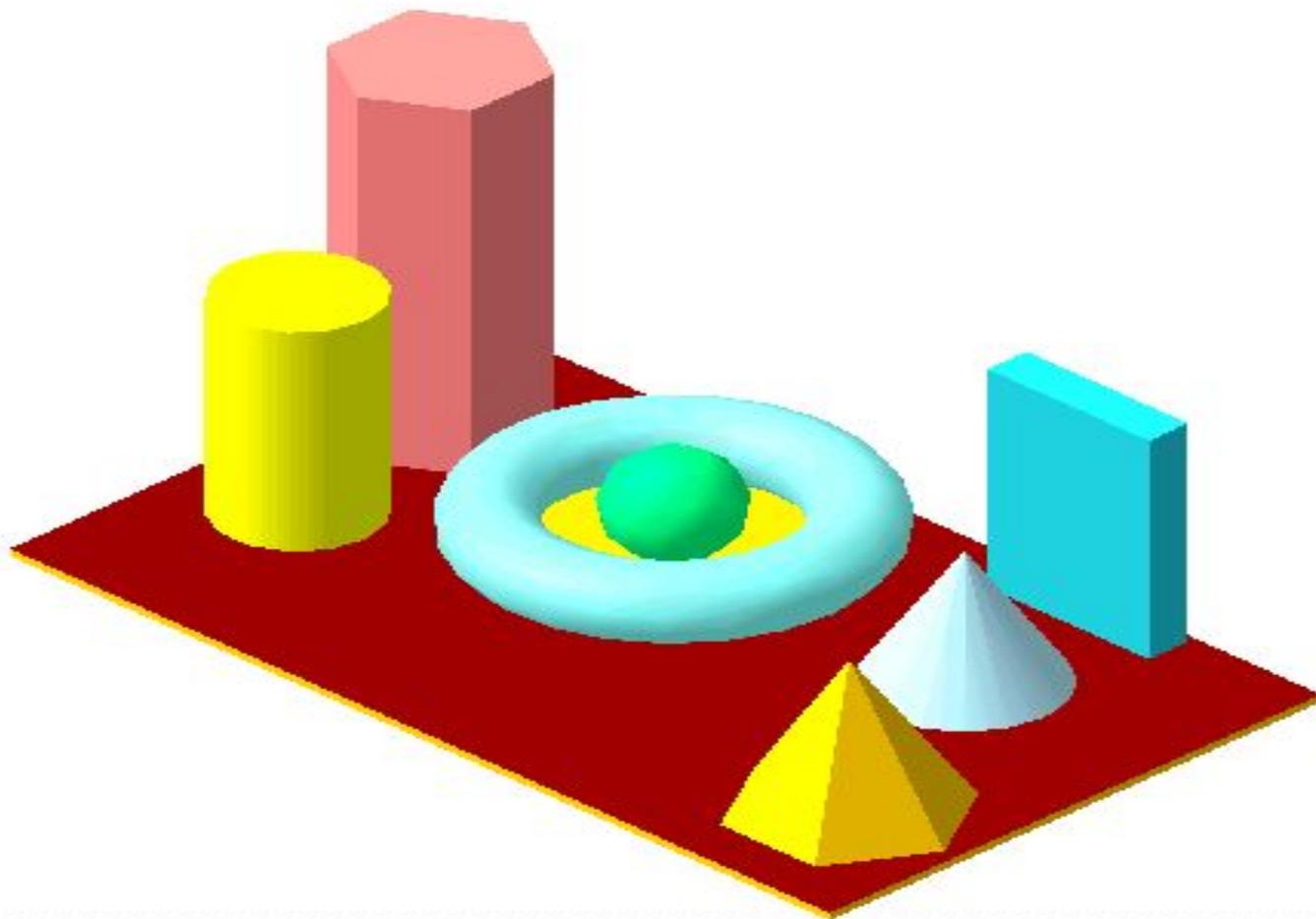
- Закономерные поверхности, в зависимости от вида уравнения, разделяются на **алгебраические** и **трансцендентные**. Алгебраическое уравнение n -й степени (в декартовых координатах) задает алгебраическую поверхность n -го порядка (трансцендентные поверхности порядка не имеют). **Алгебраическая** поверхность n -го порядка пересекается плоскостью по кривой n -го порядка, а с прямой линией – в n точках. Плоскость, имеющую уравнение первой степени (с произвольной плоскостью пересекается по прямой линии, а с прямой – в одной точке), можно рассматривать как поверхность первого порядка



Примеры кривых поверхностей

- ▣ **Примерами кривых** поверхностей второго порядка могут служить поверхности, образованные **вращением кривых второго порядка** вокруг одной из своих осей. Поверхности второго порядка пересекаются с произвольной плоскостью по кривым второго порядка, а с прямой – в двух точках. Примером поверхности четвертого порядка может служить тор. Определитель может быть положен в основу классификации поверхностей. К одному и тому же классу относятся поверхности, имеющие одинаковую структуру определителя.

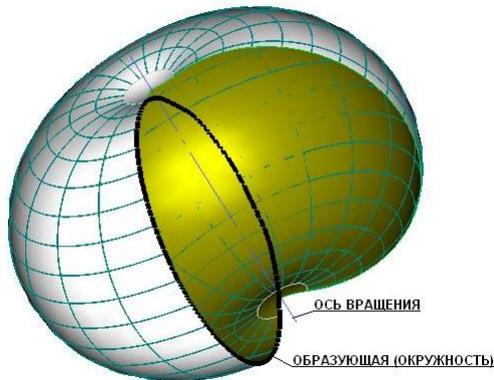
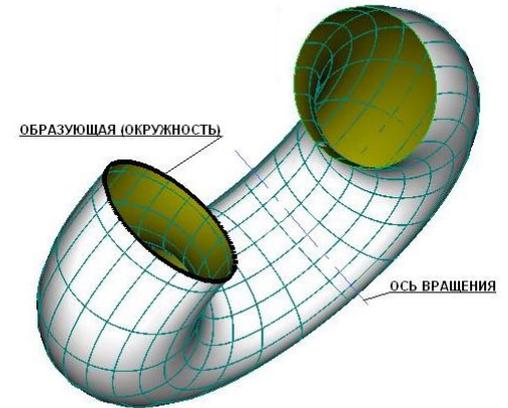
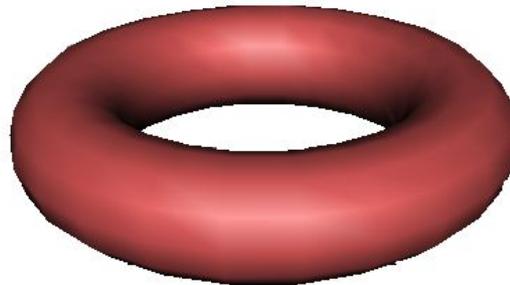
Поверхности



Тор

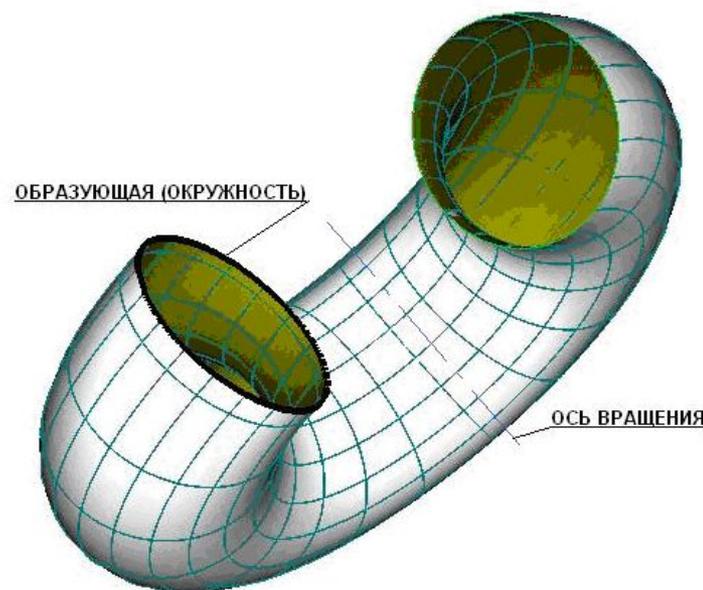
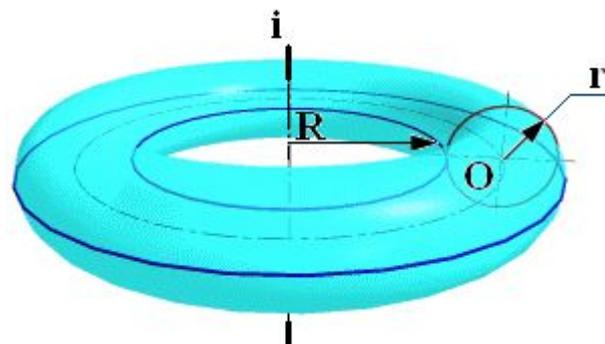
Различают два вида торов:

1. Открытый;
2. Закрытый



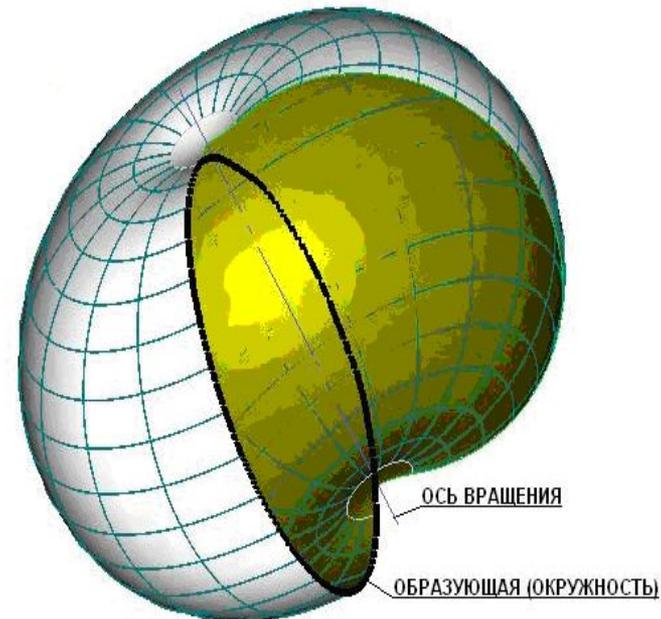
Тор открытый

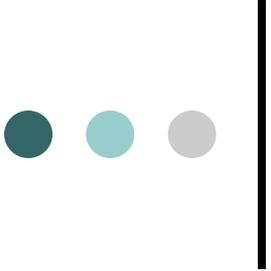
Если окружность радиусом r с центром O вращать вокруг оси i , то при $R > r$ образуется поверхность *открытого тора*.



Тор закрытый

Если $R < r$,
образуется
поверхность
закрытого тора.



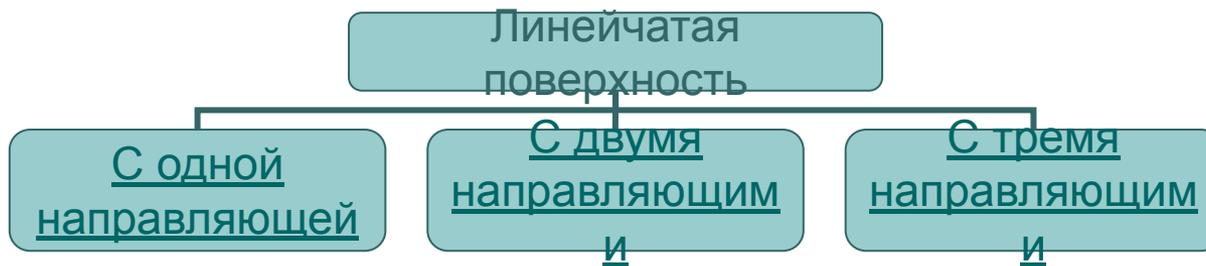


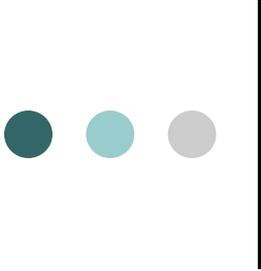
Кинематические кривые поверхности

- Наибольшее применение в технике получили кинематические кривые поверхности с образующими постоянной формы:
 - - 1. Линейчатые поверхности:**
 - а) развертывающиеся;
 - б) неразвертывающиеся;
 - в) винтовые.
 - 2. Поверхности вращения.**

Поверхность линейчатая

Поверхности, образованные движением прямолинейной образующей, называют ***линейчатыми***.

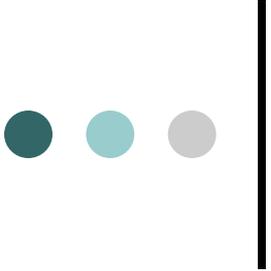




Поверхность линейчатая с одной направляющей

Примерами линейчатых поверхностей с одной направляющей могут быть:

- цилиндрическая поверхность;
- коническая поверхность;
- различные виды торсов и т.д.



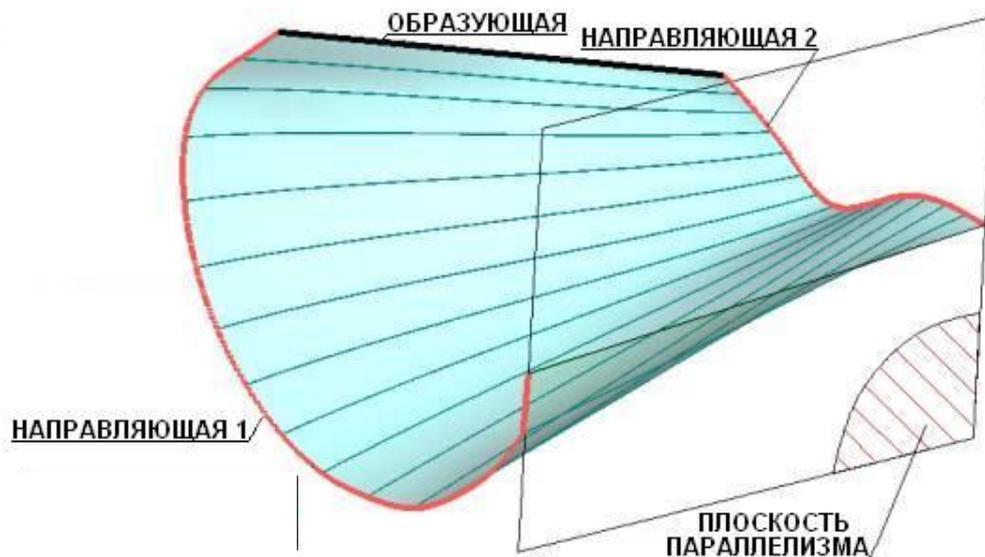
Поверхность линейчатая с двумя направляющими

Примерами **линейчатых** поверхностей с двумя направляющими могут быть:

- поверхность **цилиндроида**;
- поверхность **коноида**;
- **гиперболический параболоид** и пр.

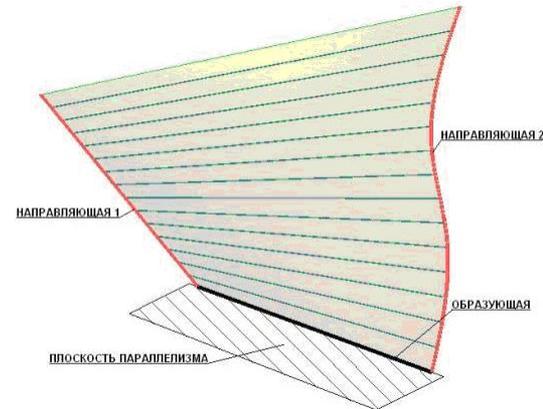
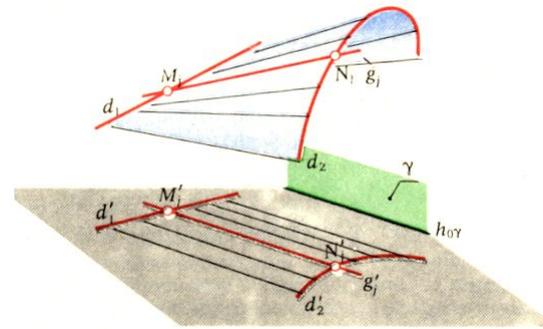
Цилиндроид

Линейчатая поверхность с двумя криволинейными направляющими и плоскостью параллелизма называется *цилиндроидом*.



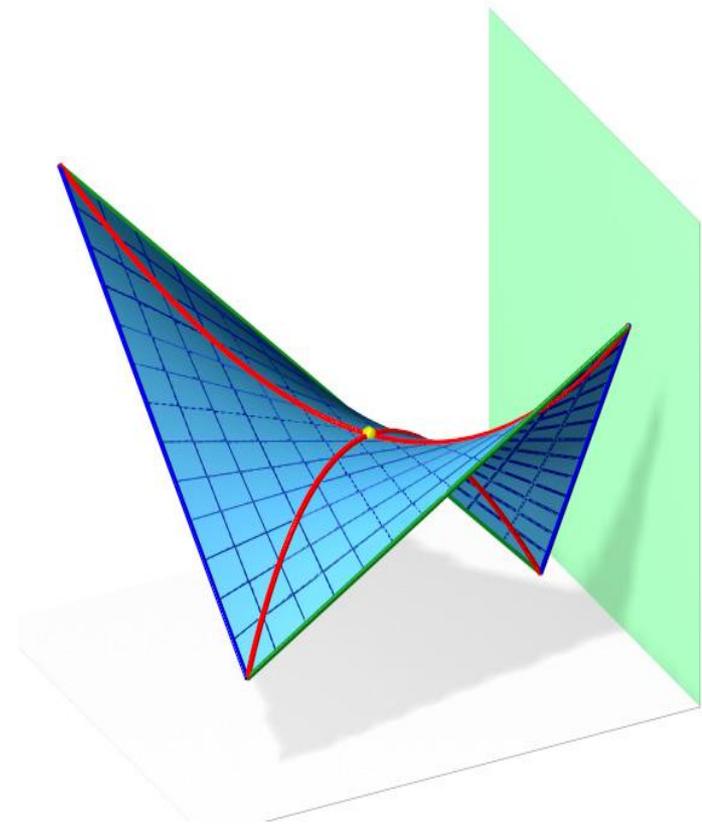
Коноид

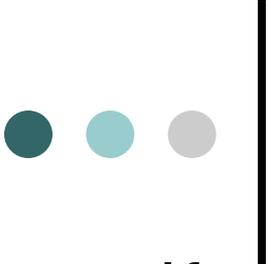
Поверхность с плоскостью параллелизма, у которой одна из направляющих является прямой линией, называется коноидом.



Параболоид гиперболический

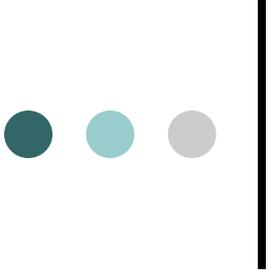
Поверхность с
плоскостью
параллелизма и двумя
скрещивающимися
прямолинейными
направляющими
называется
гиперболическим
параболоидом или кривой
седла.





ЛИНЕЙЧАТЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

- Как уже отмечалось, поверхность называется **линейчатой**, если она может быть образована перемещением прямой линии. Поверхность, которая не может быть образована движением прямой линии, называется **нелинейчатой**. Например, **конус вращения** – **линейчатая** поверхность, а **сфера** – **нелинейчатая**. Через любую точку линейчатой поверхности можно провести, по крайней мере, одну прямую, целиком принадлежащую поверхности. Множество таких прямых представляет собой непрерывный каркас линейчатой поверхности.

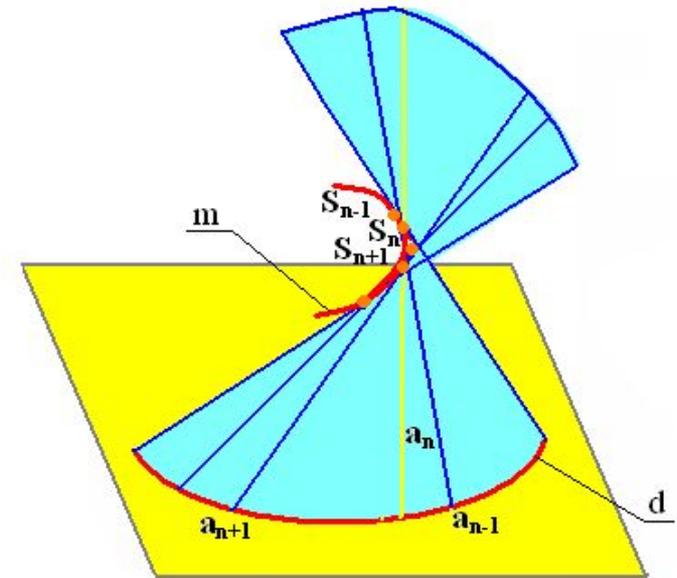


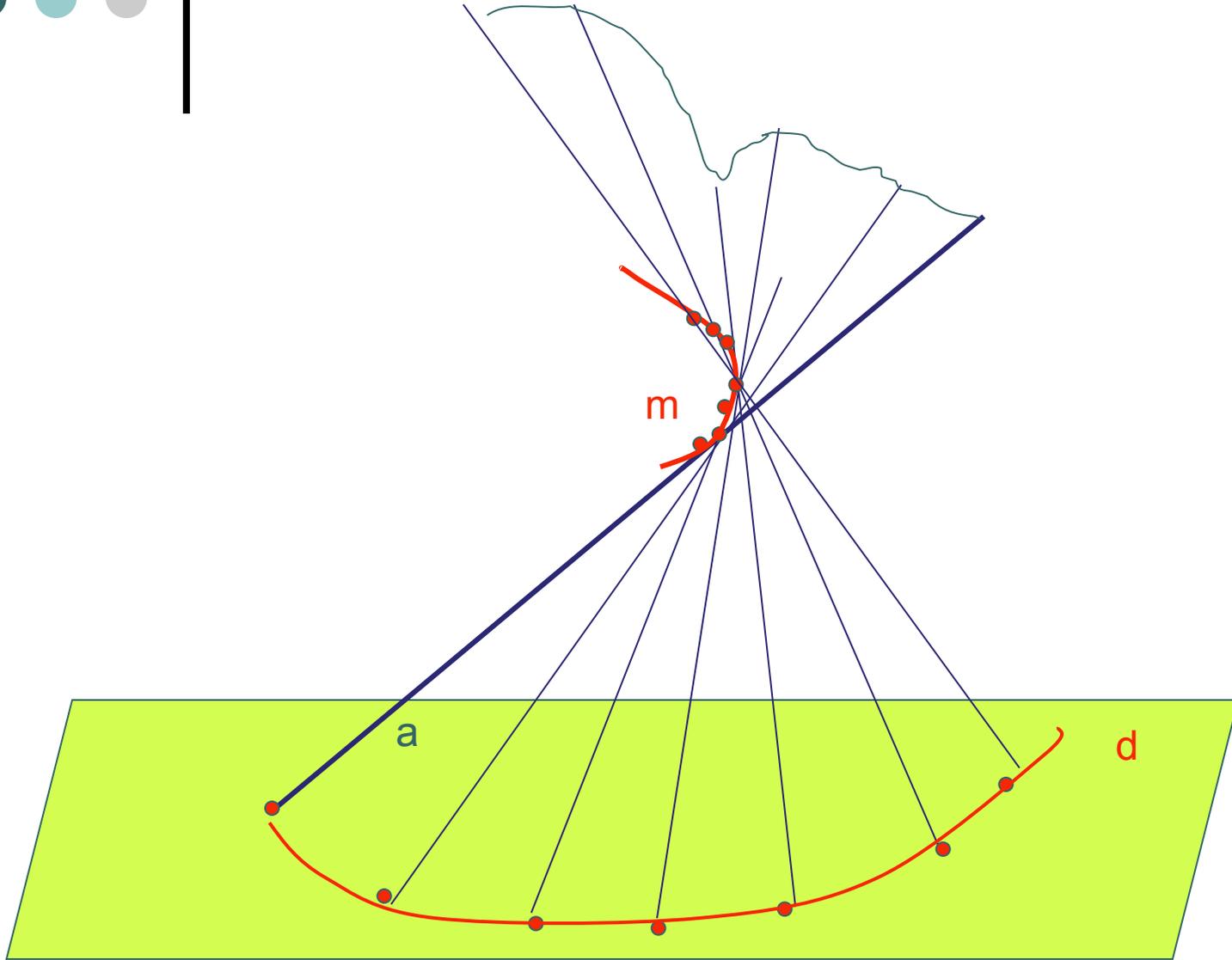
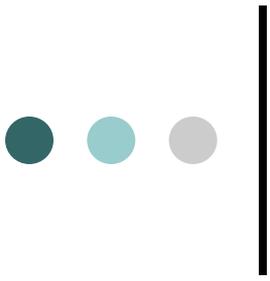
Виды линейчатых поверхностей

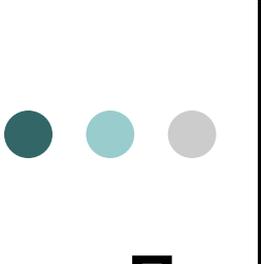
- Линейчатые поверхности разделяются на два вида:
- **1) разворачивающиеся поверхности;**
- **2) неразворачивающиеся, или косые поверхности.**

Поверхности с ребром возврата (торсы)

- Все нелинейчатые поверхности являются неразвертывающимися. Рассмотрим несколько наиболее характерных разновидностей тех и других линейчатых поверхностей.
- Линейчатые поверхности с **одной криволинейной направляющей** называются **торсами**, а криволинейная направляющая таких поверхностей – ребром возврата.





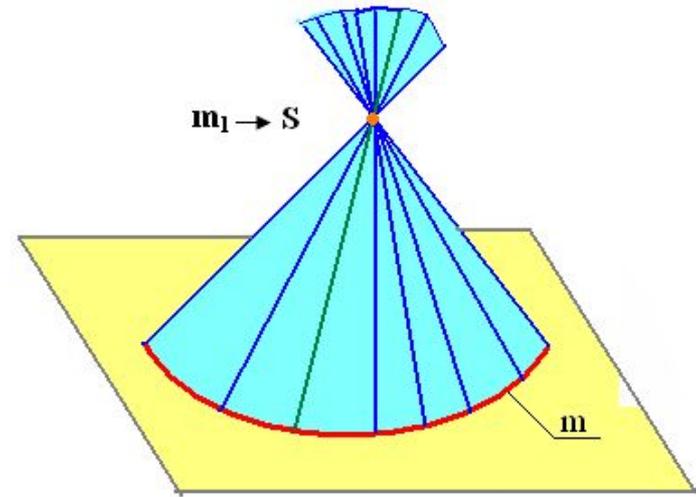


Поверхности развертывающиеся

- **Поверхностью с ребром возврата** (торсом) называют поверхность, описываемую движением прямой – образующей, касающейся некоторой пространственной кривой – направляющей. Торсы являются поверхностями развертывающимися.
- Поверхность называется **развертывающейся**, если она путем изгибания может быть совмещена с плоскостью без образования складок и разрывов. Очевидно, что все многогранные поверхности являются развертывающимися. Из кривых поверхностей этим свойством обладают только те линейчатые поверхности, которые имеют ребро возврата.

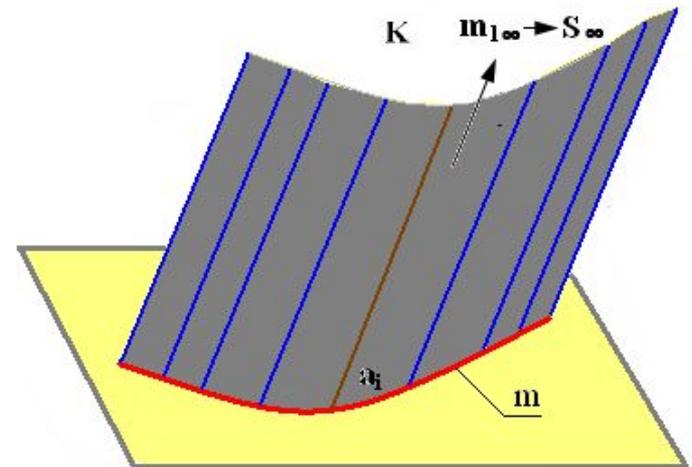
Пример конической поверхности

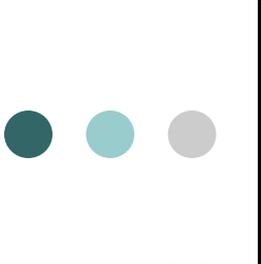
- Существует только **три вида** линейчатых поверхностей, имеющих ребро возврата: **торсы**, **конические** и **цилиндрические**



Пример цилиндрической поверхности

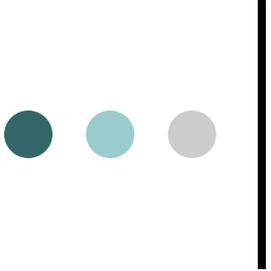
- Необходимо отметить, что у всех развертывающихся линейчатых поверхностей две смежные образующие **либо пересекаются** (торс, коническая поверхность), **либо параллельны** (цилиндрическая поверхность).





НЕРАЗВЕРТЫВАЮЩИЕСЯ (КОСЫЕ) ЛИНЕЙЧАТЫЕ ПОВЕРХНОСТИ.

- ▣ **Неразвертывающиеся** линейчатые поверхности в общем случае образуются **движением прямолинейной** образующей по трем направляющим линиям, которые однозначно задают закон ее перемещения. Направляющие линии могут быть кривыми и прямыми. Общий случай линейчатой поверхности, как множества образующих прямых, пересекающих три заданные пространственные кривые показан на рис.

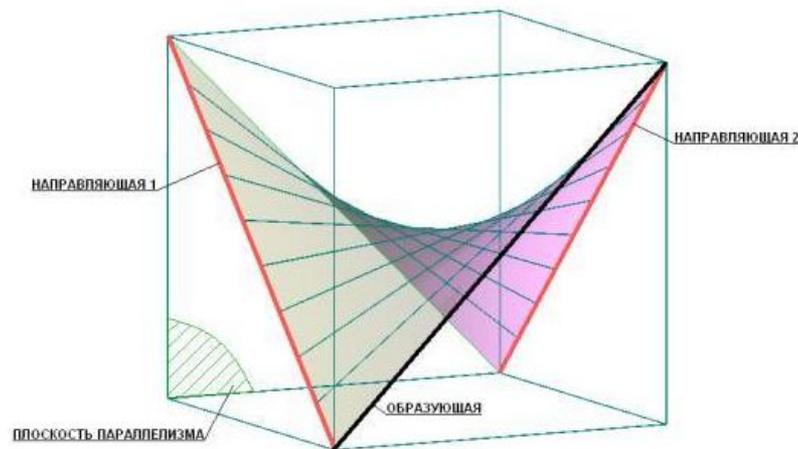


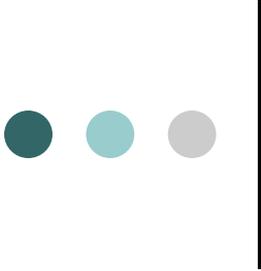
Косые поверхности

- Разновидностями косых поверхностей являются линейчатые поверхности с направляющей плоскостью и частные их виды – линейчатые поверхности с плоскостью параллелизма (поверхности Каталана).
В первом случае поверхность однозначно задается двумя направляющими линиями и направляющей плоскостью, которая заменяет третью направляющую линию. Образующая прямая скользит по двум направляющим и сохраняет постоянный угол α с некоторой плоскостью, которая называется направляющей. В частном случае, если угол равен нулю, образующая прямая будет параллельна направляющей плоскости, которая в этом случае называется плоскостью параллелизма

Поверхность Каталана

Поверхности с двумя направляющими и плоскостью параллелизма называют *поверхностями Каталана* (по имени бельгийского математика Каталана, исследовавшего свойства этих поверхностей).

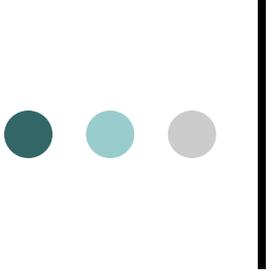




Поверхность линейчатая с тремя направляющими

Примерами линейчатых
поверхностей с тремя
направляющими могут быть:

- косо́й цилиндр;
- дважды косо́й цилиндроид;
- дважды косо́й коноид и т. д.

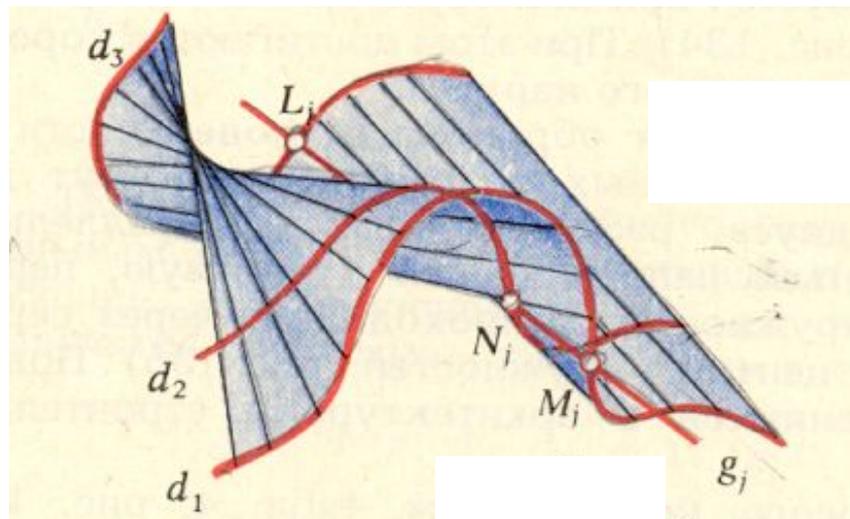


Цилиндр косо́й

Линейчатая поверхность с тремя криволинейными направляющими называется *поверхностью общего вида*, или *косым цилиндром*.

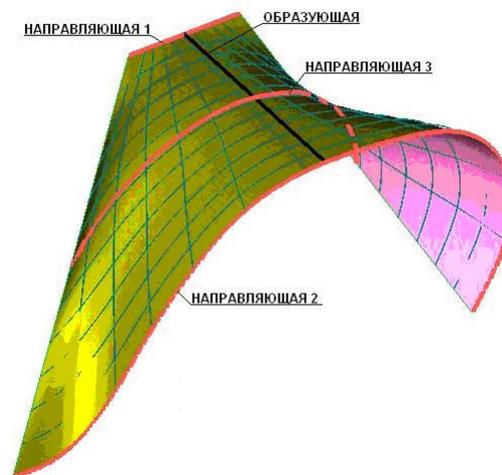
Поверхность общего вида

Линейчатая поверхность с тремя криволинейными направляющими называется *поверхностью общего вида*.



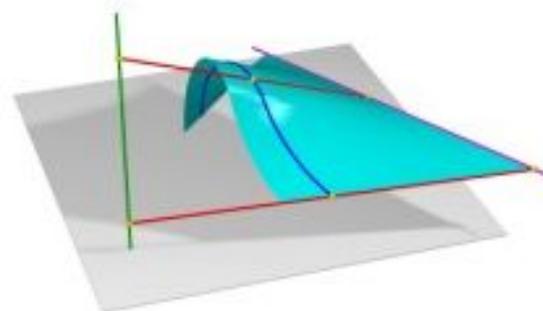
Цилиндроид дважды косой

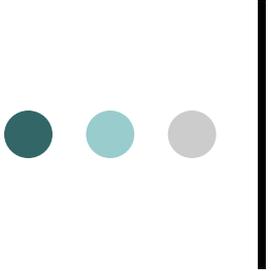
Если одна из направляющих - прямая, поверхность называют дважды косым цилиндроидом.



Коноид дважды косой

Если две направляющие прямые и одна кривая, то поверхность называют дважды косым коноидом.





Поверхность вращения

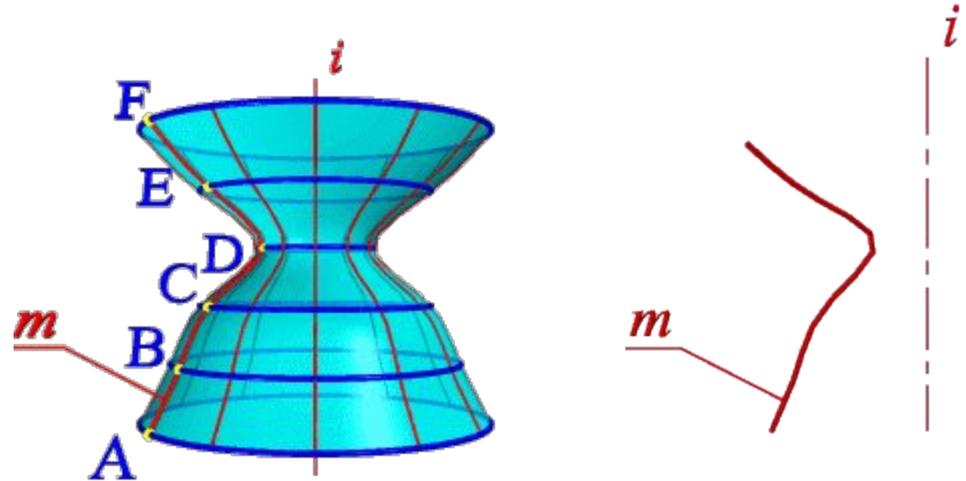
Поверхность вращения образована вращением образующей вокруг неподвижной прямой — оси. Образующая - может быть прямой, кривой, ломаной и составной; замкнутой и незамкнутой; плоской и пространственной. Если начало и конец незамкнутой линии лежат на оси вращения, то поверхность получится замкнутой. Всякая замкнутая поверхность вращения образует тело вращения.

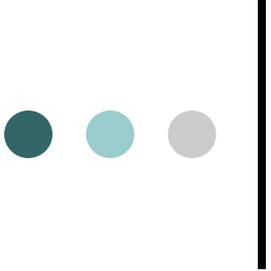
Например, представителями данного класса поверхностей являются геометрические фигуры:

- прямой круговой цилиндр;
- прямой круговой конус;
- однополосный гиперболоид вращения;
- сфера;
- открытый тор и т. д .

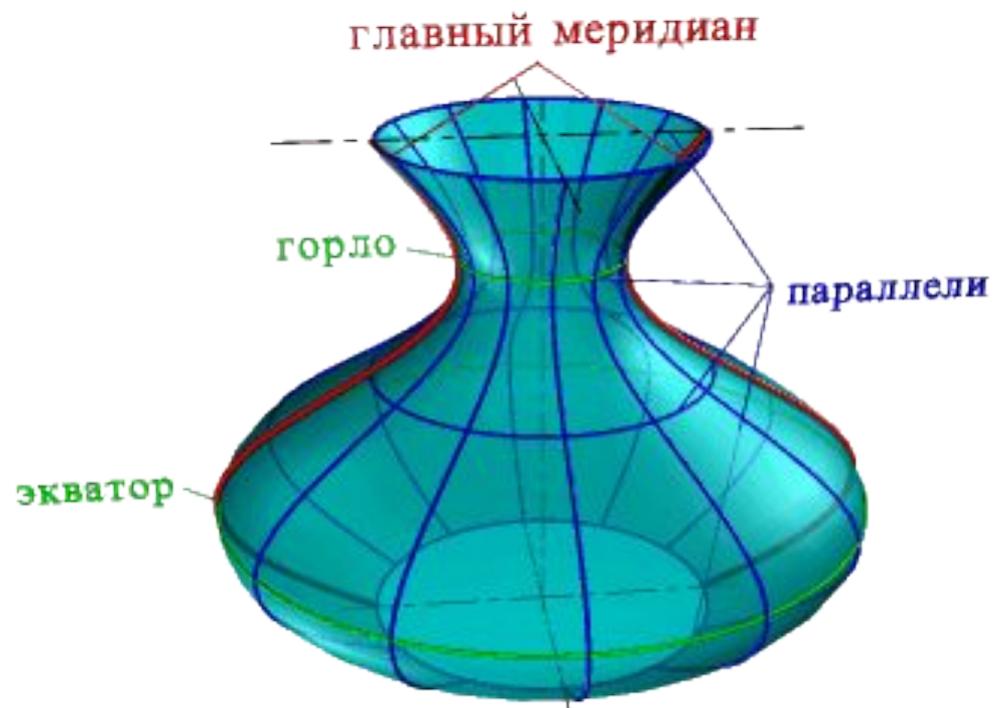
Поверхности вращения

- ▣ **Поверхности вращения** – это поверхности созданные при вращении образующей m вокруг оси i .
- ▣ **Геометрическая часть определителя** состоит из двух линий: образующей m и оси i (рис 96.б).
- ▣ **Алгоритмическая часть** включает две операции:
 - ▣ 1. на образующей m выделяют ряд точек A, B, C, \dots, F ,
 - ▣ 2. каждую точку вращают вокруг оси i .

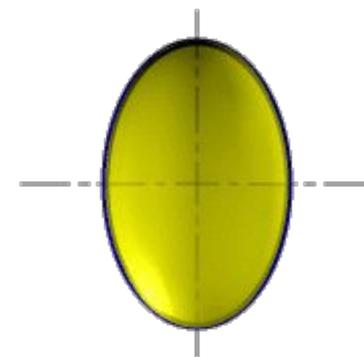
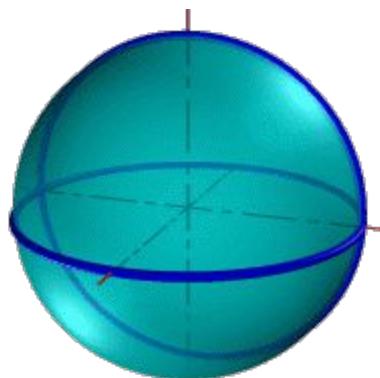
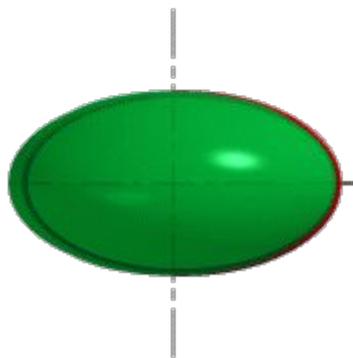


- 
- Так создается каркас поверхности, состоящей из множества окружностей, плоскости которых расположены перпендикулярно оси i . Эти окружности называются **параллелями**; наименьшая параллель называется **горлом**, наибольшая – **экватором**.
 - Из закона образования поверхности вращения вытекают два основных свойства:
 - 1. Плоскость перпендикулярная оси вращения, пересекает поверхность по окружности – **параллели**.
 - 2. Плоскость, проходящая через ось вращения, пересекает поверхность по двум симметричным относительно оси линиям – **меридианам**.
 - Плоскость, проходящая через ось параллельно фронтальной плоскости проекций называется **плоскостью главного меридиана**, а линия, полученная в сечении, – **главным меридианом**.

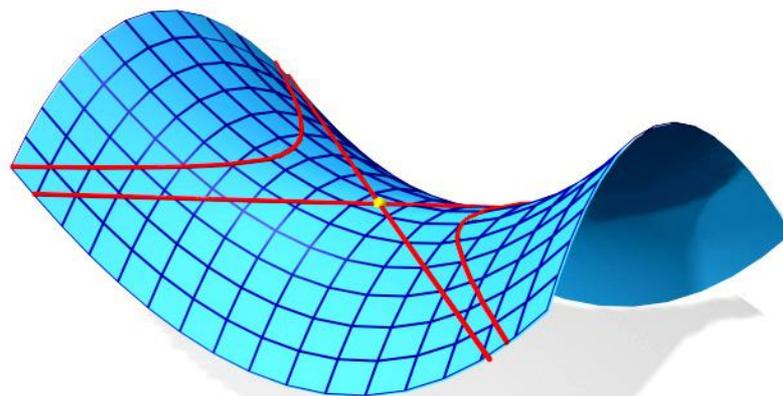
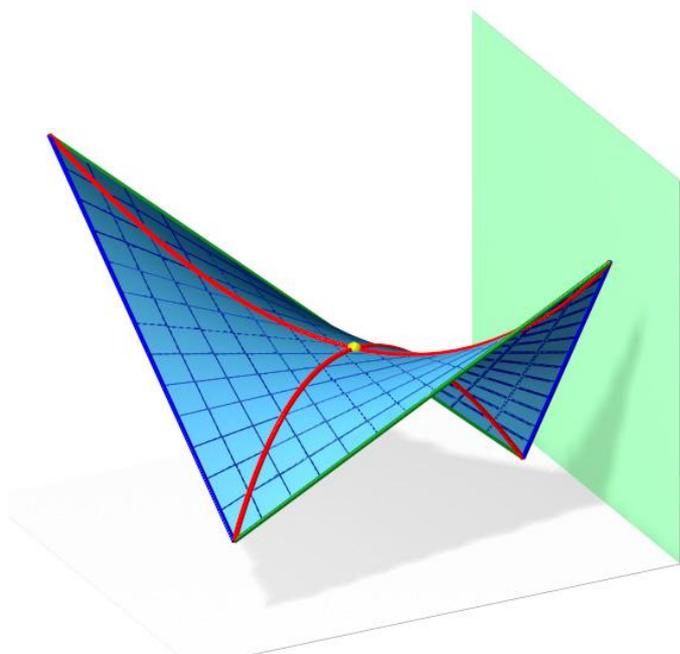
Изображение поверхности вращения
общего вида

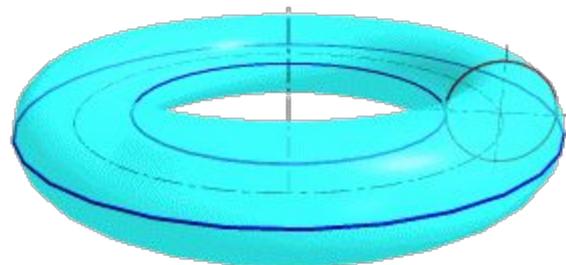
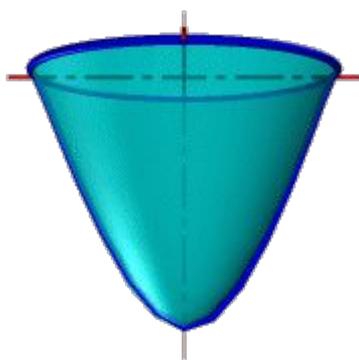
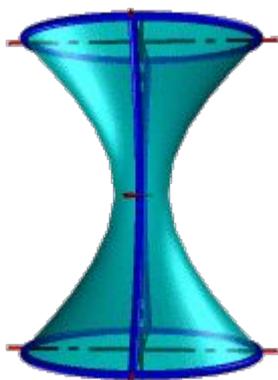
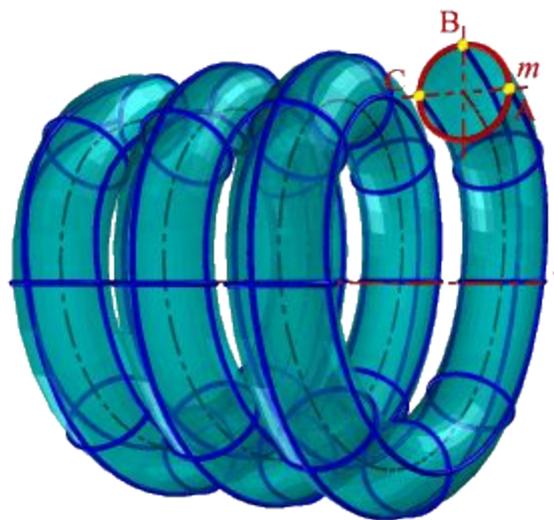
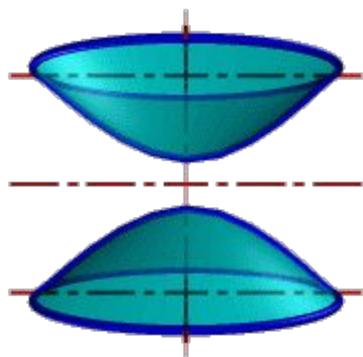


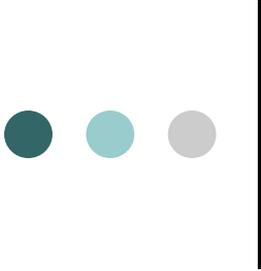
Примеры поверхностей вращения



Примеры кривой плоскости

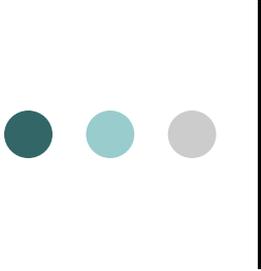






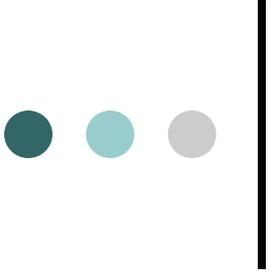
Поверхность

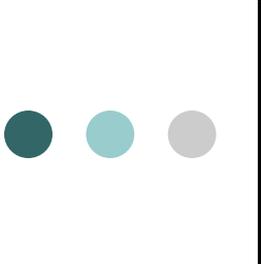
- **Поверхностью** называется совокупность всех последовательных положений линий, непрерывно перемещающихся в пространстве.
- Следовательно, всякую поверхность можно представить как перемещение линии по другим линиям.
- Линия, образующая поверхность, называется **образующей**.
- Линия, по которой перемещается образующая, называется **направляющей**.
- Образующие могут быть постоянными и изменяться.



Поверхности разделяют:

- ▣ **По закону образования** - на закономерные и не закономерные.
Закономерные задаются графически и аналитически, не закономерные - только графически.
- ▣ **По признаку развёртывания в плоскость** - развёртывающиеся и неразвёртывающиеся.
- ▣ **По форме образующей:**
 - с прямолинейными образующими - линейчатые поверхности;
 - с криволинейной образующей - кривые поверхности.
- ▣ **По способу перемещения образующей:**
 - с поступательным движением образующей;
 - с вращательным движением образующей - поверхности вращения;
 - с движением образующей по винтовой линии - винтовые поверхности.

- 
- Поверхности на комплексном чертеже **могут быть заданы:**
 - Проекциями направляющих и способом перемещения по ним образующих.
 - Семейством линий, принадлежащих поверхности - каркасный способ задания поверхности.
 - Очерком поверхности, т.е. линиями, ограничивающими на комплексном чертеже область существования проекций.

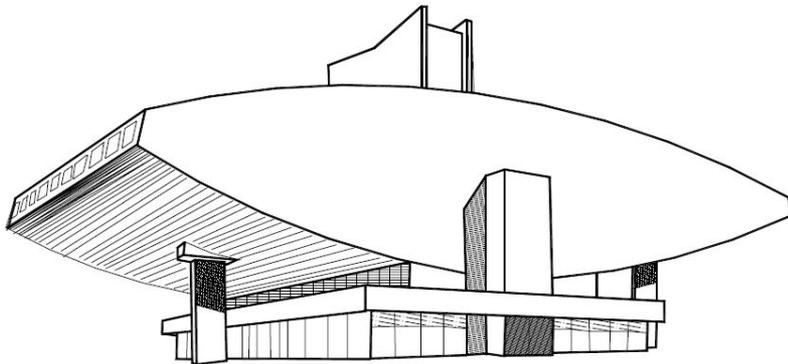


КЛАССИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

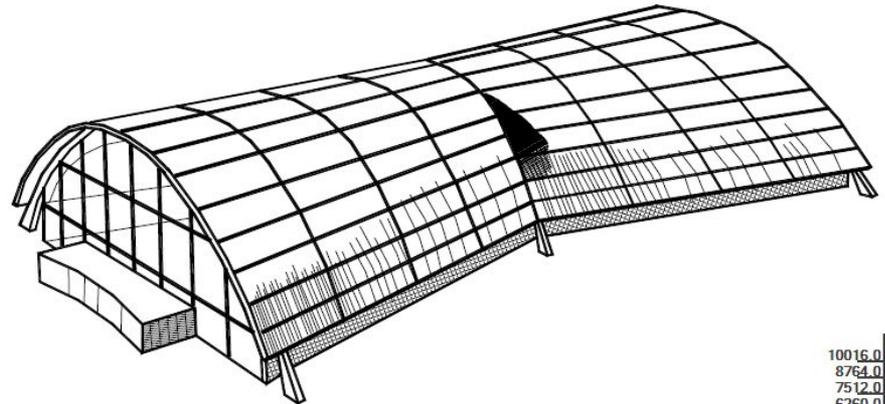
- В зависимости от формы образующей и закона ее перемещения в пространстве поверхности можно разделить на отдельные группы,
- **Линейчатые поверхности** - поверхности, которые могут быть образованы с помощью прямой линии.
- **Нелинейчатые поверхности** - поверхности, которые могут быть образованы только с помощью кривой линии.
- **Развертывающиеся поверхности** - поверхности, которые после разреза их по образующей могут быть совмещены с плоскостью без наличия разрывов и складок.
- **Неразвертывающиеся поверхности** - поверхности, которые не могут быть совмещены с плоскостью без наличия разрывов и складок.
- **Поверхности с постоянной образующей** - поверхности, образующая которых не изменяет своей формы в процессе образования поверхности.
- **Поверхности с переменной образующей** - поверхности, образующая которых изменяется в процессе образования поверхности.

Применение кривых поверхностей в инженерно-строительной практике

Цилиндрическая поверхность



Цилиндроид (плавательный бассейн покрытый поверхностями двух цилиндроидов)

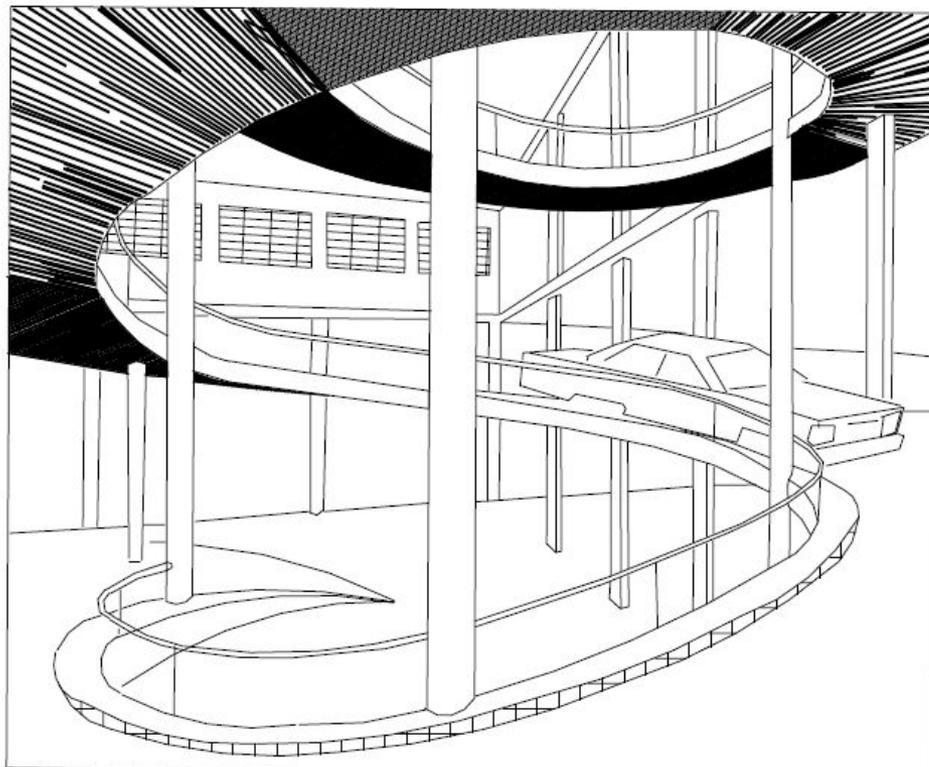
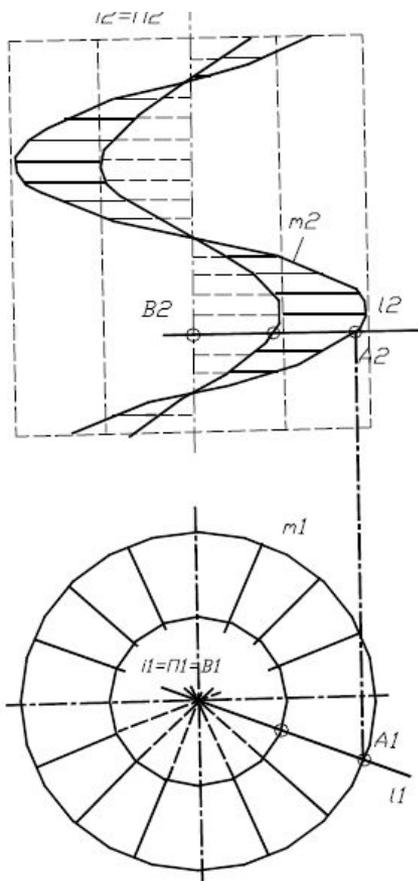


10016.0
8764.0
7512.0
6260.0
5008.0
3756.0

Применение геликоида

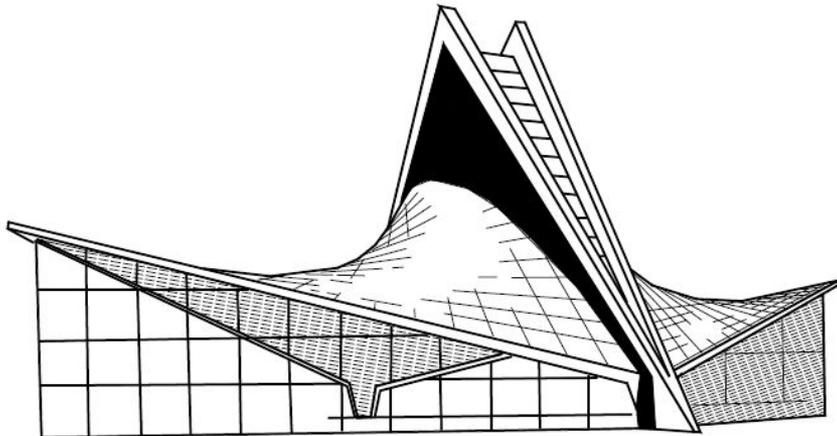
геликоид

Одна пола прямого
кольцевого пандуса
многоэтажного гаража

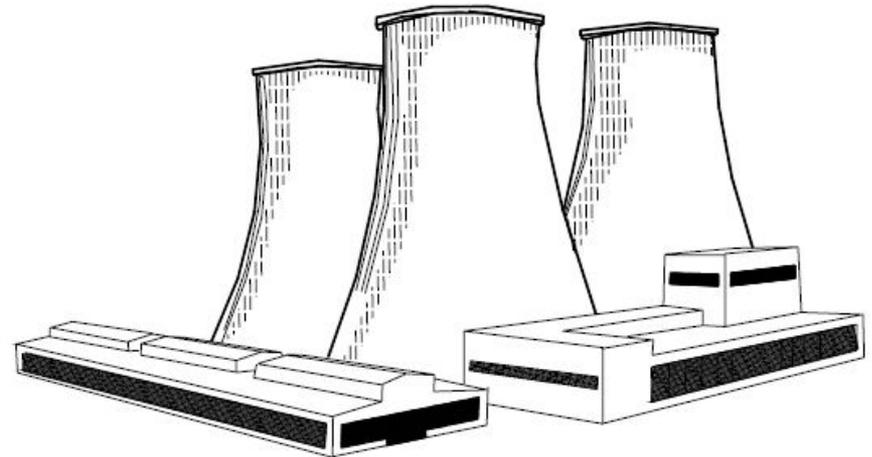


● ● ● | Косая плоскость (гиперболический параболоид)

Косая плоскость

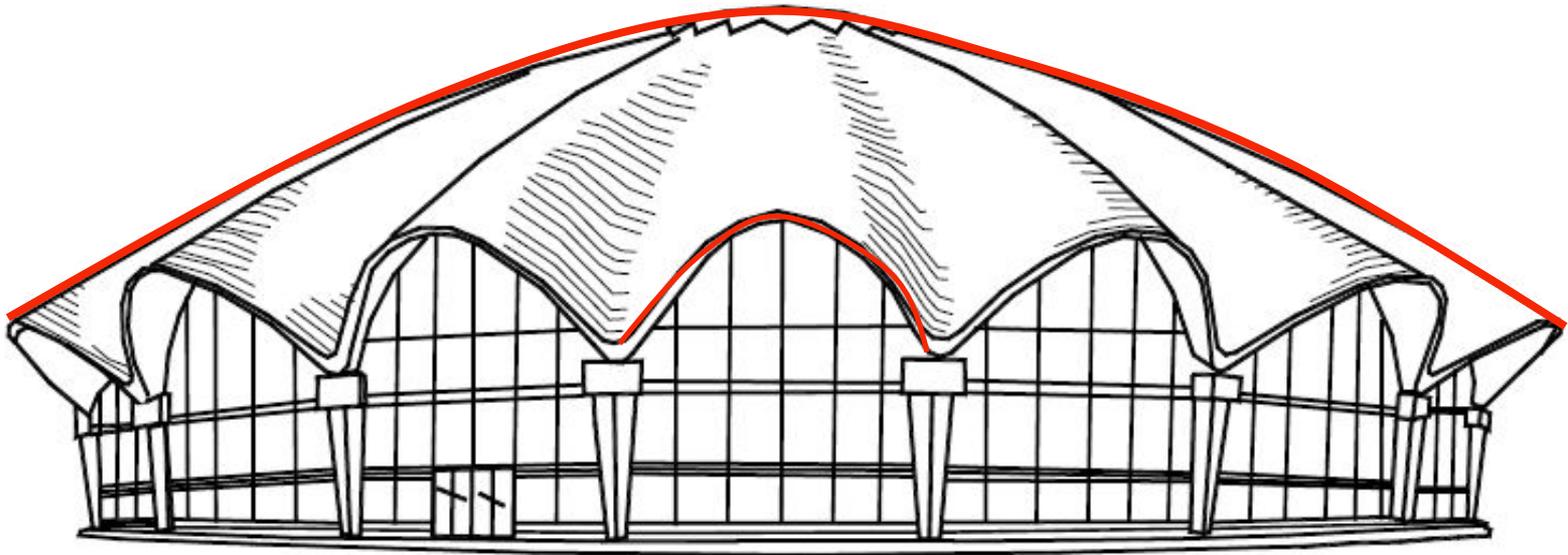


Пример однополого гиперболоида



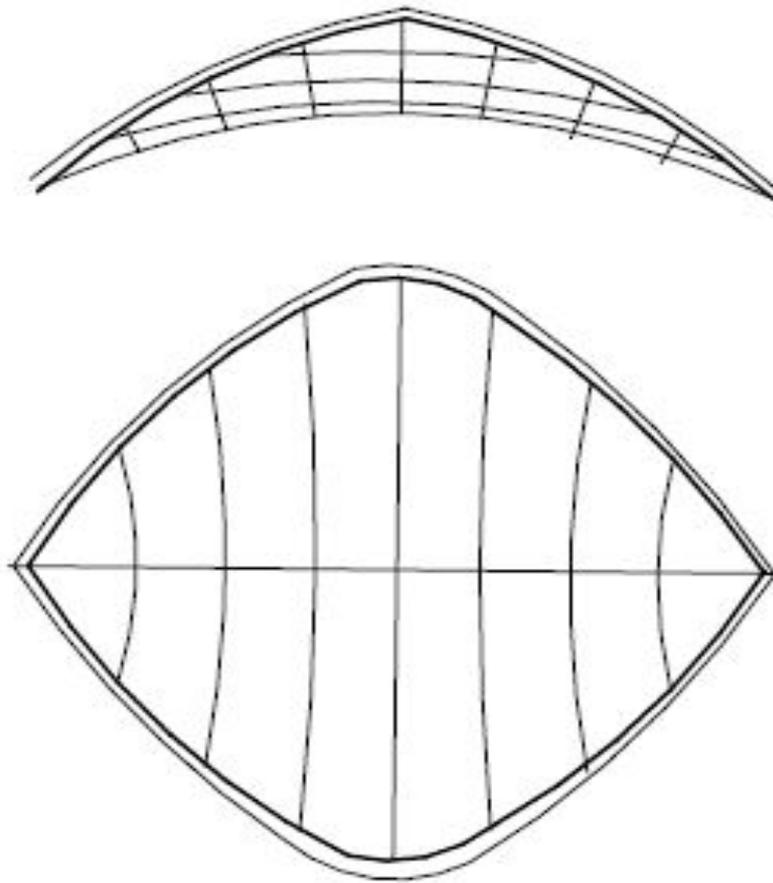
Сложная поверхность вращения

Образующая постоянного
вида - парабола

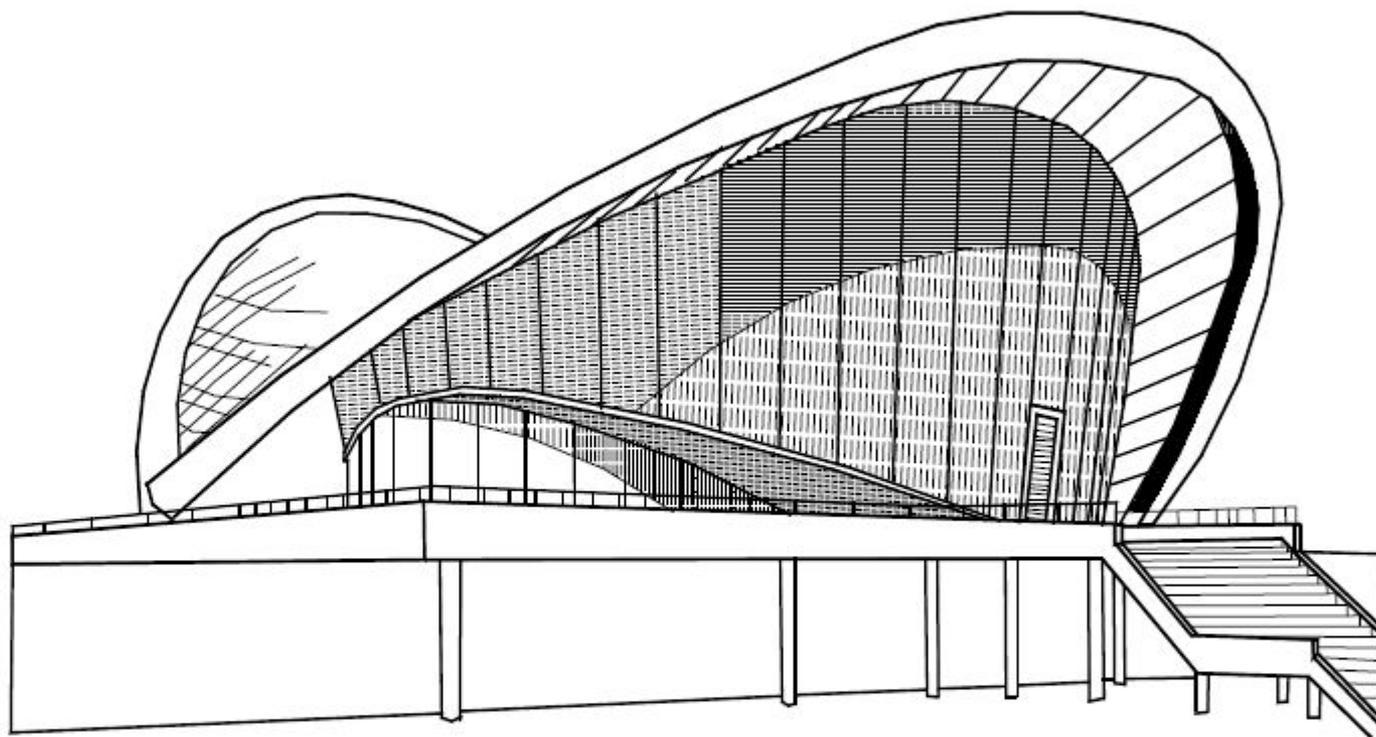


Линия периода – из парабол

Применение линейного каркаса



Пример седловидного висячего
покрытия



Лекцию составил Ведякин Фёдор Филиппович

