

## Лабораторная работа №4 «Низко-полигональное моделирование»

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить методы и инструменты полигонального моделирования. По референсу создать низко-полигональную модель с правильной топологией.

### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Топология модели.
2. Модификаторы Shell (Оболочка), Spherify (Сферичность), Quadify Mesh (Преобразование в четырехугольную сетку), Chamfer (Фаска).
3. Основные инструменты полигонального моделирования.
4. Булевы операции с геометрическими объектами.
5. Топология крышек цилиндров. Быстрый способ проверки на наличие нечетырехугольных полигонов.

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

#### Горячие клавиши

Сокращение «ЛКМ» – левая клавиша мыши.

1,2,3,4,5 – в модификаторе редактирования полигонов (Edit Poly) – переключение в режимы: вершин (Vertex)/ рёбер (Edge)/ граней (Border)/ полигонов (Polygon)/ элемента (Element).



(Alt+Ctrl+Shift+X) – переключатель переопределения сочетания клавиш (на панели инструментов). В отключенном состоянии работают горячие клавиши только для основного интерфейса, во включенном состоянии работают горячие клавиши для подобъектов полигонального моделирования, режимов работы с поверхностями и т.д.

F2 – переключение затенения выделенных полигонов (затенять полигон/затенять рёбра полигона)

Shift+Z – вернуть предыдущий ракурс в видовом окне

Зажатие Ctrl + щелчок ЛКМ или контур выделения – прибавить доп. объект к выделенным

Зажатие Alt + щелчок ЛКМ или контур выделения – исключить объект из выделенных

Зажатие Ctrl+Shift+ перемещение ЛКМ – клонирование подобъекта (рёбер/полигонов/элемента)

Alt+C – вкл./выкл. функцию нарезки (Cut)

Ctrl+Shift+W – вкл./выкл. функцию спайки по цели (Target weld mode)

Ctrl+Shift+E – выполнить соединение (Connect)

Shift+перемещение ЛКМ – выдавливание (Extrude) выделенных полигонов

Shift+E – вкл./выкл. функцию выдавливания (Extrude)

Shift+Ctrl+B – вкл./выкл. функцию выдавливания со скосом (Bevel)

Shift+Ctrl+C – вкл/выкл функцию фаски (Chamfer)

Alt+R – выделение по кольцу (Ring)

Alt+L – выделение по петле (Loop)

Клавиша «ж» на клавиатуре (раскладка не имеет значения) – повторить последнее действие

#### Топология модели

Создание модели для современной компьютерной графики состоит из множества этапов. Это создание геометрической модели, разверток текстур, скелета, риггинга скелета и т.п. Первый этап для разработчика трехмерной модели – это создание поверхностной сетки, которая представляет собой трехмерную модель. Сетка строится из элементарных объектов – *вершин* (Vertex), вершины соединяются между собой *рёбрами* (Edge). Три точки, соединенные рёбрами, образуют плоскость в виде *треугольника* (Tris). Плоскости также могут быть образованы четырьмя точками и будут называться *четырёхугольниками* (Quad), ещё их называют *полигонами* (Poly). Плоскости, образованные больше чем четырьмя точками называются *многоугольными плоскостями* (NGon или N-poly).

При работе по созданию полигональных моделей со временем появился набор правил по формированию определенной структуры сетки, которую называют топологией. Т.е. не всякая

поверхностная сетка представляет собой топологию, а только та, что подчиняется определенному набору правил.

В компьютерной графике в зависимости от количества полигонов все модели разделяют на два больших класса: низко-полигональные модели (low-poly) и высоко-полигональные модели (high-poly). Low-poly (от английского low – низко и polygon – полигон) – трехмерная модель с относительно небольшим количеством полигонов. High-poly (от английского high – высоко и polygon – полигон) – модель, содержащая такое количество полигонов, которое способнее не только предать общие формы объекта, но и повторить множество мелких деталей (в виде шероховатостей, но визуально они не имеют ребристости на поверхности объекта).

Главная задача при создании низко-полигональной модели (low-poly) – это минимум полигонов при максимуме детализации. Мелкая детализация у таких моделей создается за счёт текстурных карт.

Главная задача при создании высоко-полигональной модели (high-poly) – это оптимальное число полигонов, необходимых для максимально необходимой либо полной детализации. На основе таких моделей создаются карты нормалей (normal), карты выпуклости (displacement) и карты шероховатостей (bump).

Процесс, направленный на уменьшение плотности сетки или создание новой сетки на основе модели, не имеющей топологии, называется *ретопологией*.

При работе по созданию полигональных моделей со временем появился набор правил по формированию определенной структуры сетки, которую называют топологией. Т.е. не всякая поверхностная сетка представляет собой топологию, а только та, что подчиняется определенному набору правил. Также при создании сетки модели топологией часто называют непрерывность этой сетки, образующей элементы модели, указывающие их предназначение. Например: при моделировании персонажа учитывается структура мышц, и она повторяется в сетке.

#### Топология подчиняется следующим правилам.

1. В любой точке сходятся четыре и только четыре рёбра. Звезда (или полюс) – это точка, в которой сходятся не четыре рёбра, а три или больше пяти (рисунок 1). Именно в местах звезд будет происходить деформация геометрии, следовательно, при создании сетки модели следует избегать появления звезд на изгибах модели. А в идеале – свести количество всех звезд в модели к минимуму. Нежелательно, чтобы ребро соединяло две звезды.

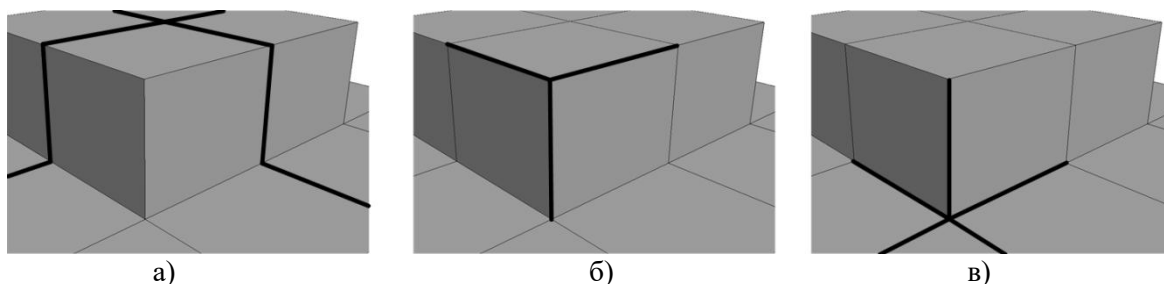


Рисунок 1 – а) точка, в которой сходятся четыре рёбра; б) звезда, в которой сходятся три рёбра; в) звезда, в которой сходятся пять рёбер

2. Предпочтительна равномерная сетка модели, состоящая из четырехугольников (Quad), чаще их называют полигонами (Poly). Следует избегать вытянутых («длинных») полигонов. Идеальная сетка – это сетка, созданная из квадратных четырехугольников, образующих замкнутые контуры. Такая сетка смотрится эстетично и хорошо подходит для создания UV-разверток, но не всегда подходит для объектов, подверженных деформациям, для которых уместна адаптация сетки в местах искажения. Идеальная сетка не будет являться оптимальной для моделей под сглаживание, т.к. таким моделям в угловатых местах свойственна более плотная сетка, а для прямых участков она разряжена. Для анимированных моделей также важно иметь в местах сгибов более плотную сетку. Пример равномерной и адаптированной сеток приведен на рисунке 2.

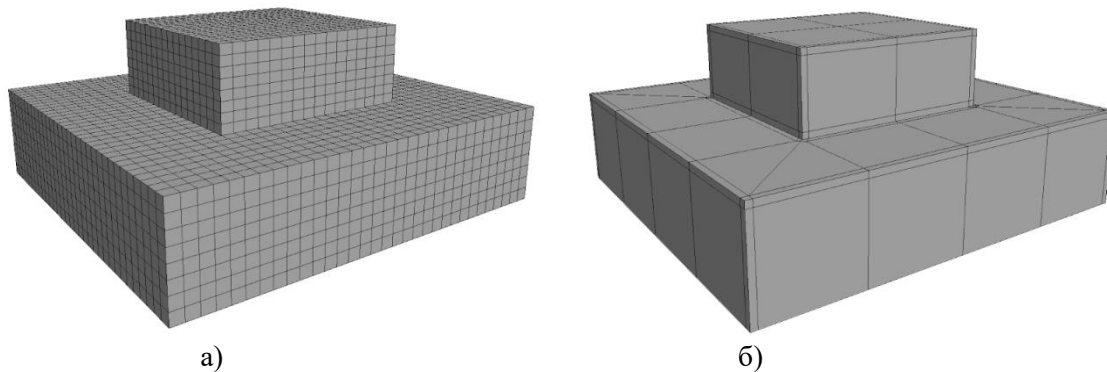


Рисунок 2 – Сетки моделей: а) равномерная; б) адаптированная под сглаживание

3. Топология образована петлями рёбер (Edge Loop), представляющими собой замкнутые контуры. Желательно, чтобы петли рёбер не имели спиралевидной формы.
4. Следует минимизировать (или совсем избежать) количество треугольников. Иногда треугольные полигоны служат способом разряжения плотной сетки. Если допустимое количество полигонов в модели позволяет создать сетку без треугольников, лучше избежать треугольников. Если треугольные полигоны неизбежны, следует располагать их на ровных участках или в тех местах, которые будут наименее видны при дальнейшем применении модели (например, дно тарелки, ступня персонажа и т.п.).
5. Сетка (с учетом её плотности) должна максимально точно повторять форму оригинального объекта или части объекта. Т.е. при минимальном количестве полигонов следует наилучшим образом повторить форму оригинального объекта.
6. Для моделей под сглаживание сетка должна точно повторять форму оригинального объекта при количестве итераций сглаживания равном 1 итерации (максимум – 2 итерации сглаживания, но не более). Пример приведен на рисунке 3.

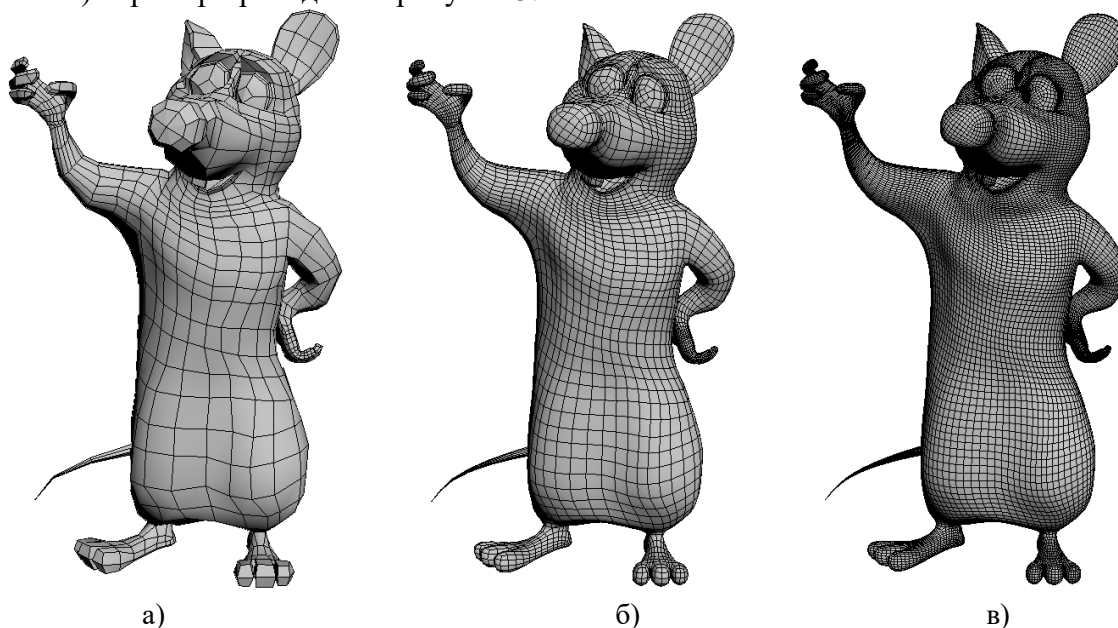


Рисунок 3 – Сглаживание модели: а) без сглаживания; б) 1 итерация сглаживания; в) 2 итерации сглаживания

7. Сетка должна повторять направление основных частей модели. Например, повторять направление основных групп мышц персонажа, создавать индивидуальную форму выпуклости ушей животного, показывать направление течения реки и т.д.
8. Физический размер самоподобных объектов влияет на количество полигонов (плотность сетки). Например, для двух цилиндров, один из которых по радиусу в два раза больше другого, следует использовать разное число сегментов, образующих окружность цилиндра. В этом случае оба цилиндра будут казаться одинаково сглаженными. В противном случае цилиндр, радиус

которого больше, будет казаться угловатым, а второй цилиндр, радиус которого меньше, будет иметь избыточное число полигонов. Пример приведен на рисунке 4.

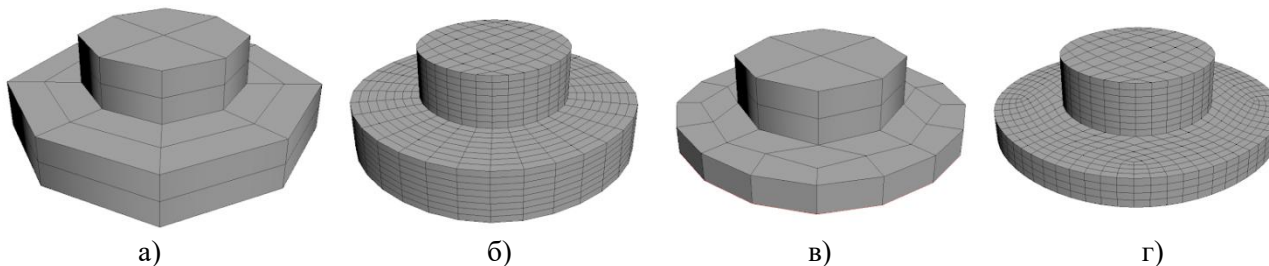


Рисунок 4 – Модель под сглаживание, состоящая из цилиндров разного радиуса: а) стека не адаптирована (одинаковое число сегментов обоих цилиндров); б) сетка не адаптирована и сглажена; в) сетка адаптирована под сглаживание (у цилиндров разное число сегментов); г) сетка адаптирована и сглажена

У модели, которая не адаптирована (рисунок 4,а), при сглаживании видно, что количества итераций сглаживания (в данном примере 2 итерации) недостаточно, чтобы форма была округлой (рисунок 4,б). У адаптированной модели (рисунок 4,в) сглаживание обоих цилиндров выглядит одинаково (рисунок 4,г).

### Модификатор Shell (Оболочка)

Модификатор *Shell (Оболочка)* придает объекту толщину, добавляя дополнительный набор граней, обращенных к противоположному направлению существующих граней, плюс кромки, соединяющие внутреннюю и внешнюю поверхности. Можно указать расстояния смещения для внутренней и внешней поверхностей, характеристики для рёбер и типы сопоставления для рёбер.

Модификатор применяется к объекту с удаленной частью поверхности, например, к такому как сфера с несколькими удаленными вершинами или гранями. Также его можно применять к сплайнам.

Поскольку модификатор *Shell (Оболочка)* не имеет подобъектов, то можно использовать параметры выделения (Select), чтобы указать выбор граней для передачи стека другим модификаторам.

Параметры модификатора *Shell (Оболочка)* приведены на рисунке 5:

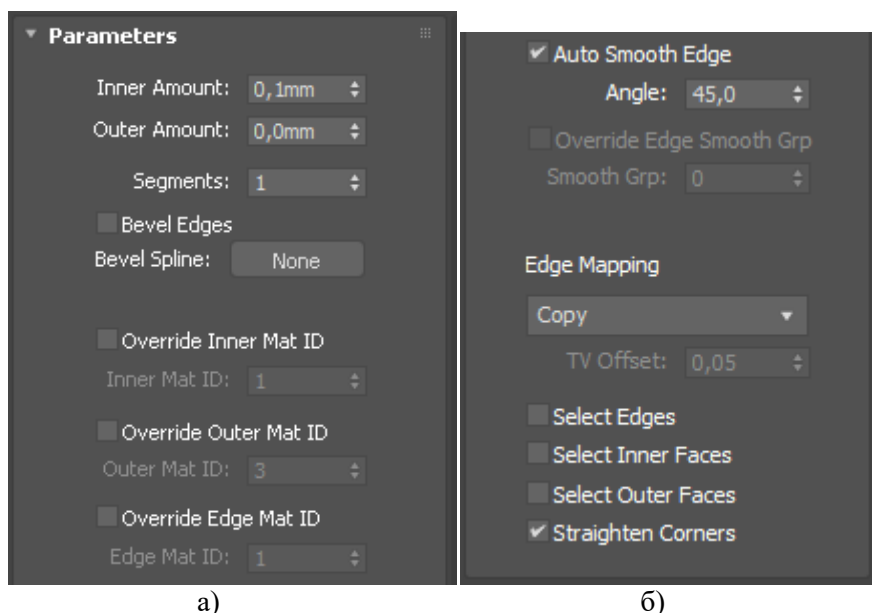


Рисунок 5 – Список параметров модификатора оболочка (Shell): а) начало свитка; б) продолжение свитка

#### Параметры модификатора Shell (Оболочка):

*Inner/Outer Amount (Внутренняя/наружная величина)* – расстояние в установленных единицах измерения, на которое внутренняя поверхность перемещается внутрь, а внешняя поверхность перемещается наружу из их первоначальных положений.

Сумма двух настроек *Amount (Величины)* определяет толщину оболочки объекта, а также ширину краев по умолчанию. Если установить оба счётчика в значение 0 (нежелательно), результирующая оболочка не будет иметь толщины, а будет напоминать двусторонний объект.

*Segments (Сегменты)* – количество разделений по каждому ребру. Применяется, если нужно большее полигонов по краю для использования последующего моделирования или для использования с другими модификаторами.

*Bevel Edges (Скос кромки)* использует сплайн для определения профиля краев.

*Bevel Spline (Сплайн скоса)* – выбор сплайна, чтобы определить форму края. Замкнутые фигуры, такие как *Circle (Окружность)* или *Star (Звезда)*, не будут работать. Если тип вершин для заданного сплайна не угловой (*Corner*), то можно изменить сглаженность кромки с помощью параметров интерполяции сплайна (*Interpolation*).

*Select Edges (Выделение рёбер)* выбирает рёбра полигонов, составляющих толщину оболочки. Этот выбор передается по стеку другим модификаторам.

*Select Inner Faces (Выделение внутренних полигонов)* и *Select Outer Faces (Выделение внешних полигонов)*. Этот выбор передается по стеку другим модификаторам.

*Straighten Corners (Выпрямление углов)* корректирует угловые вершины, чтобы сохранять прямые линии. Для создания точных форм этот параметр как правило включен.

На рисунке 6 приведён пример применения *Shell* к Сфере (*Sphere: Radius=15, Segments=18*) и Плоскости (*Plane: Length=100, Width=200, Width Segs=3*), у которых удалены некоторые полигоны. На рисунке 7 – пример применения этого модификатора к объекту размерами 200x200x300 мм. Во всех случаях параметр выпрямления углов включен (*Straighten Corners = on*).

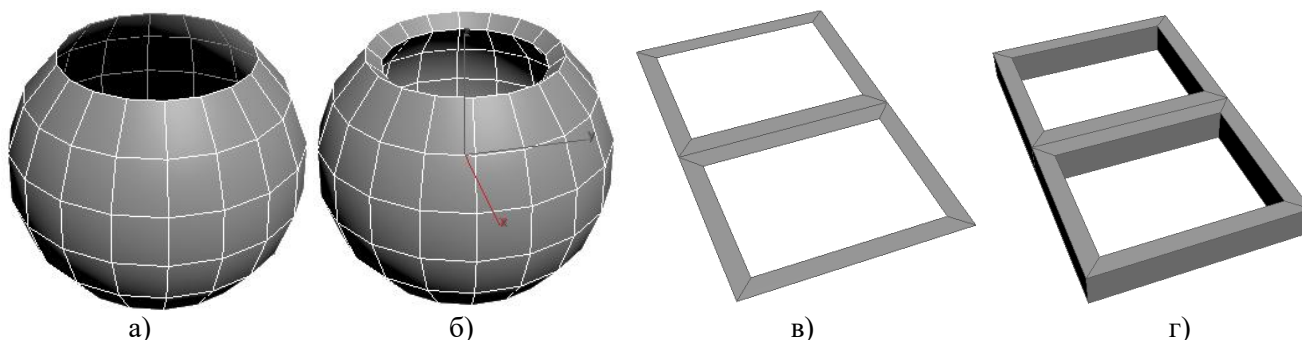


Рисунок 6 – Применение модификатора Shell (Оболочка) к сфере и к плоскости, у которых отсутствуют некоторые полигоны: а) исходный объект – сфера; б) модификатор Оболочка (*Shell: Inner Amount=2 мм, Segments=1*); в) исходный объект – плоскость; г) модификатор Оболочка (*Shell: Outer Amount=15мм, Segments=1*)

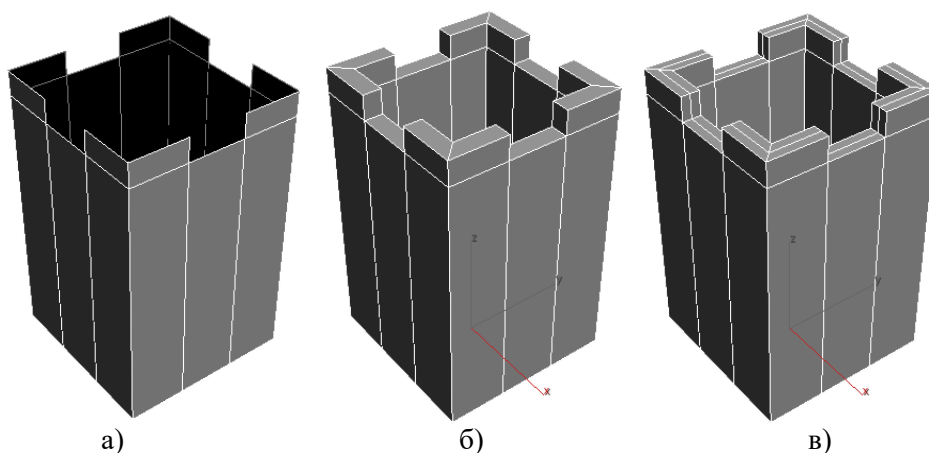


Рисунок 7 – Применение модификатора Shell (Оболочка) к объекту размерами 200x200x300 мм: а) исходный объект; б) модификатор Оболочка (*Shell: Inner Amount=20мм, Segments=1*); в) число сегментов (*Segments*) = 2

Для достижения наилучших результатов полигоны объекта должны быть направлены наружу. Если у объекта нет граней хотя бы с одним свободным ребром, модификатор не будет создавать рёбер.



### Модификатор Spherify (Сферичность)

Данный модификатор искажает объект в сферическую форму. У этого модификатора есть только один параметр *Percent (Проценты)*, который максимально деформирует объект в сферическую форму. Полученный результат операции зависит от топологии геометрии, к которой она применяется: чем правильнее топология, тем ровнее поверхность сферы. На рисунке 8 приведён пример применения модификатора *Spherify (Сферичность)* к объекту Цилиндр (Cylinder: Radius = 28 мм, Height = 135 мм, Sides =18) с разными значениями числа сегментов, создающих топологию цилиндра.

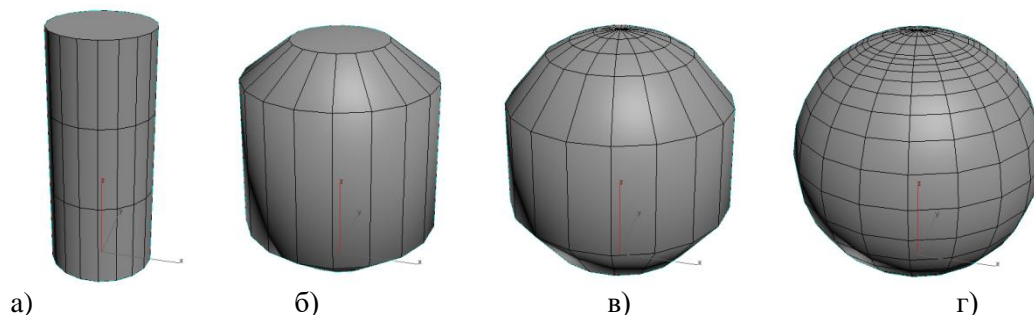


Рисунок 8 – Применение модификатора Spherify (Сферичность) к цилиндру с различными параметрами:

а) исходная форма объекта; б) к Цилиндру (Cylinder: Height Segments = 3, Cap Segments = 1); в) к Цилиндру (Cylinder: Height Segments = 5, Cap Segments = 2); г) к Цилиндру (Cylinder: Height Segments=18, Cap Segments=3)

Данный модификатор бывает необходим для создания определенной топологии объекта с целью дальнейших его преобразований.

### Модификатор Quadify Mesh (Преобразование в четырехугольную сетку)

Данный модификатор преобразует структуру объекта в четырехугольные многоугольники, относительный размер которых задается настройками. Это помогает создавать закругленные края в сочетании с модификатором TurboSmooth (Сглаживание). У него всего один параметр:

*Quad Size % (размер четырехугольника в процентах)* – примерный размер каждого четырехугольника относительно размера объекта. Чем меньше это значение, тем больше будет четырехугольников на объекте. На рисунке 9 приведён пример применения данного модификатора к объекту размерами 500x500 мм.

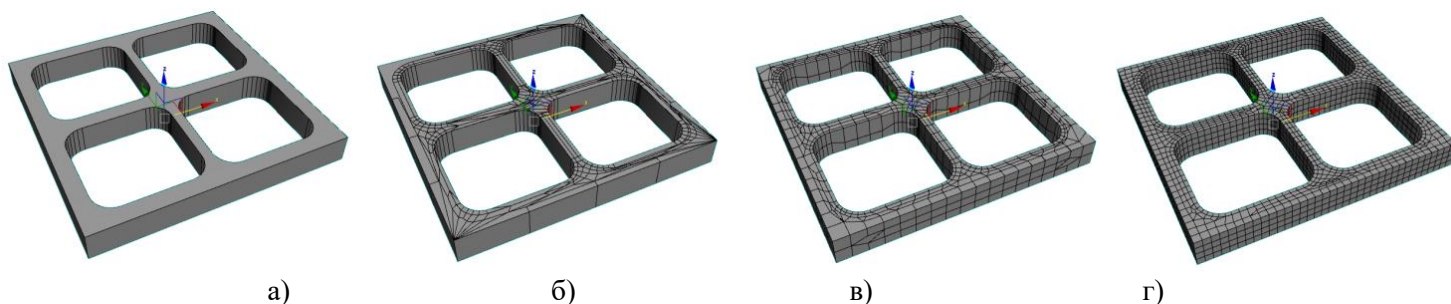


Рисунок 9 – Применение модификатора *Quadify Mesh*: а) исходный объект; б) размер (Quad Size %) =20; в) размер (Quad Size %) = 4; г) размер (Quad Size %) = 2

В зависимости от топологии и формы исходного объекта, действие данного модификатора не всегда может оказаться подходящим.

### Модификатор Chamfer (Фаска)

Модификатор *Chamfer (Фаска)* позволяет процедурно добавлять рёбра к определенным частям объекта. Обычно используется для округления острых краёв объекта, но может применяться и в других ситуациях, где требуется дополнительное создание полигональной сетки.

Для демонстрации принципов настройки модификатора *Chamfer* создан объект Параллелепипед (Box: Length=60 mm, Width=100 mm, Height=2 mm, Length Segs=3, Width Segs=3, Height Segs=1). Далее

в модификаторе *Edit Poly* с помощью инструмента масштабирования (Select and Scale) внутренние петли рёбер перемещены к краям объекта (используя центр выделения), а центральный полигон выдавлен вовнутрь (Extrude: Amount=-10 мм), этот алгоритм показан на рисунке 10.

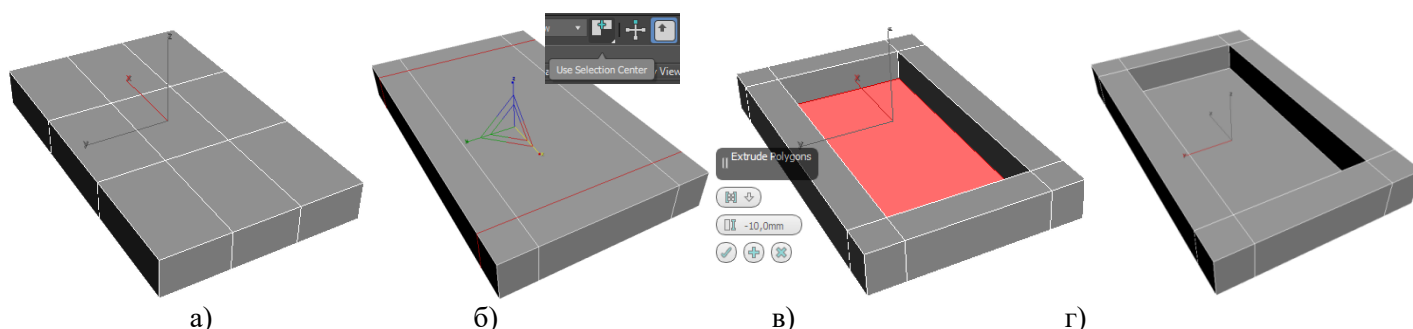


Рисунок 10 – Создание объекта: а) исходный Параллелепипед (Box); б) перемещение петель рёбер ближе к краям объекта (Select and Scale, Use Selection Center); в) выдавливание вовнутрь центрального полигона (Extrude); г) полученная форма объекта

Свиток параметров модификатора *Chamfer* (Фаска) указан на рисунке 11:

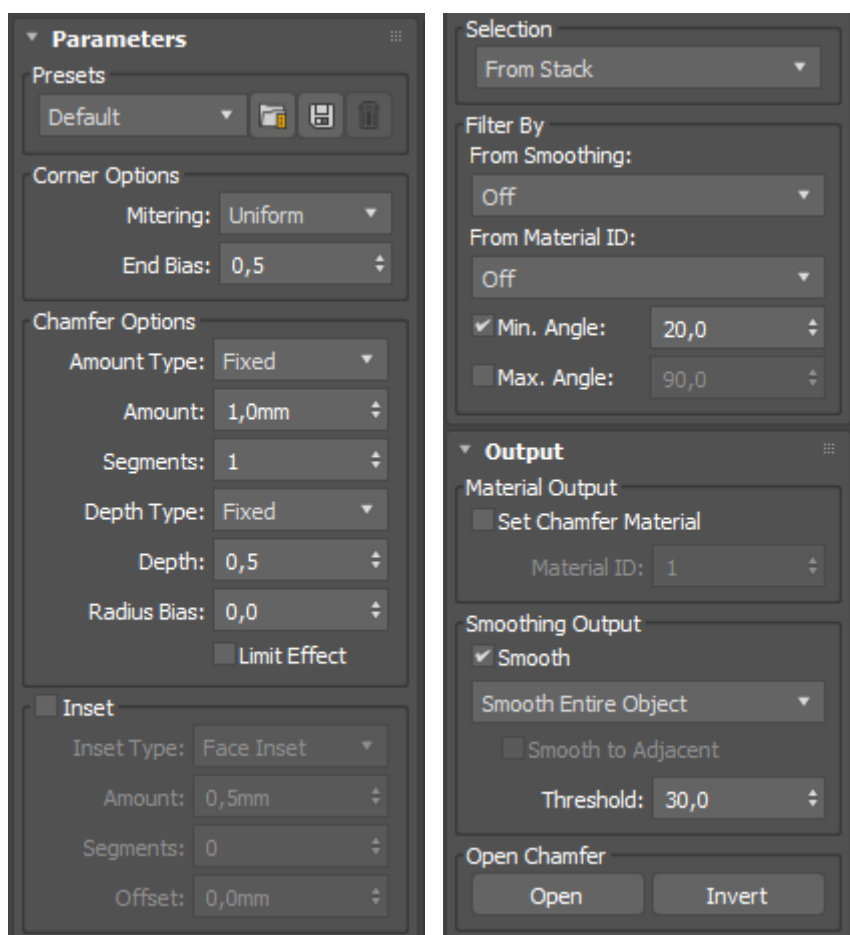


Рисунок 11 – Свиток параметров модификатора Chamfer (Фаска)

*Presets* (Предустановки) – наборы настроек, которые можно сохранить под своим именем и применять в один клик (вместо того, чтобы каждый раз настраивать параметры заново). Например, одна предустановка может быть создана для фаски скругления, другая – для создания защитных контуров при подготовке модели для сглаживания и т.д. Кнопки управления предустановками:



– загрузить выбранную предустановку;



– сохранить текущие настройки как предустановку (необходимо задать ей имя);



– удалить предустановку.

Какой бы ни был выбран тип фаски, следующие две настройки присутствуют в каждом из них, т.к. управляют размером фаски и числом её сегментов:

*Amount (Величина)* – размер фаски в текущих единицах измерения.

*Segments (Сегменты)* – число сегментов фаски. Результат зависит от типа фаски.

#### Corner Options (Опции для настройки углов):

*Mitering (Тип фаски)* определяет метод соединения углов, когда несколько рёбер соединяются в одной и той же вершине. Типы фасок:

*Quad (Четырёхугольная)* создает новые четырехугольные полигоны вокруг каждого рёбра, к которому применена фаска. В вершине, где соединяются рёбра, у скоса также формируется четырехугольные полигоны.

*Tri (Треугольная)* создает новые четырехугольные полигоны вокруг каждого рёбра, к которому применена фаска.

*Uniform (Равномерная)* создает равномерный скос с четырехугольными пересечениями. Такой скос может быть скругленным или прямым в зависимости от настроек глубины (Depth). Именно этот параметр чаще всего бывает необходим при создании основных форм.

На рисунке 12 продемонстрированы разные типы фасок при применении модификатора Фаска (Chamfer: Amount=2 mm, Segments=1) к выделенным рёбрам созданного объекта. В данном примере в вершине сходятся два рёбра, к которым применена фаска.

На рисунке 13 продемонстрированы разные типы фасок при применении модификатора Фаска (Chamfer: Amount=2 mm, Segments=2) к выделенным рёбрам созданного объекта. В данном примере в вершине сходятся три рёбра, к которым применена фаска.

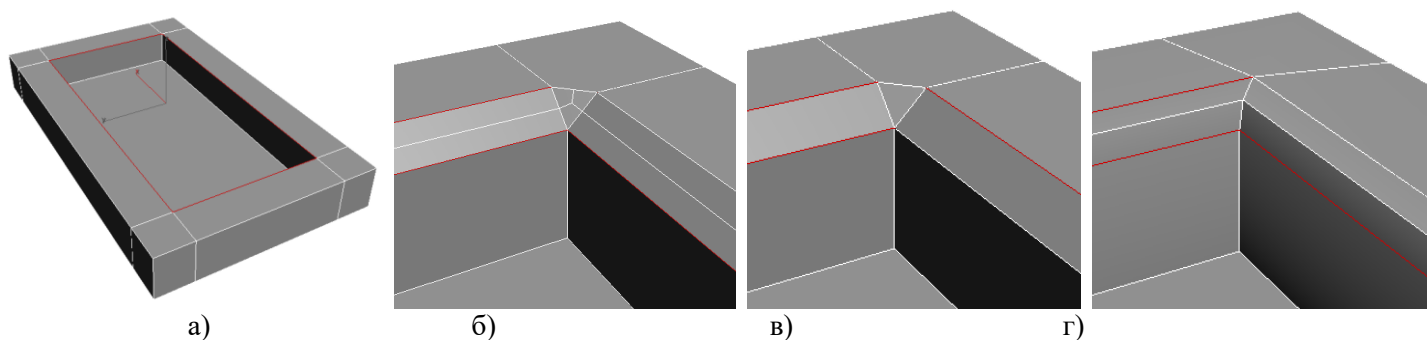


Рисунок 12 – Настройки модификатора Фаска (Chamfer: Segments=1) для созданного объекта, у которого в вершине сходятся два рёбра: а) объект с выделенными рёбрами; б) четырехугольный тип фаски (Mitering = Quad); в) треугольный тип фаски (Mitering = Tri); г) равномерный тип фаски (Mitering = Uniform)

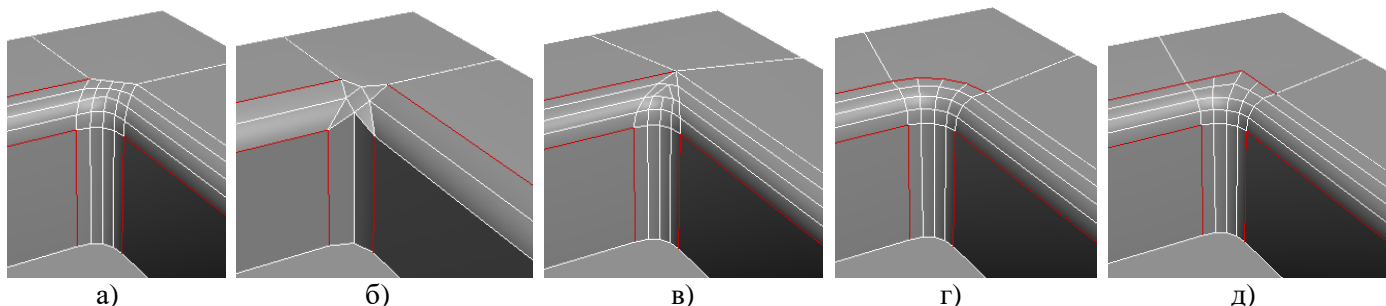


Рисунок 13 – Настройки модификатора Фаска (Chamfer: Segments=2) для созданного объекта, у которого в вершине сходятся три рёбра: а) четырехугольный тип фаски (Mitering = Quad); б) треугольный тип фаски (Mitering = Tri); в) равномерный тип фаски (Mitering = Uniform); г) радиусный тип фаски (Mitering = Radial); д) лоскутный тип фаски (Mitering = Patch)



*End Bias (Торцевое смещение)*, не поддерживается для углов с тройным скосом. Этот параметр управляет концами углов, не связанных с фаской, с возможностью перемещения конечной точки к следующему краю. Значение может изменяться от 0 до 1, где 0,0 не перемещает конец фаски, а 1,0 перемещает конец фаски к первой вершине следующего рёбра (пример на рисунке 14).

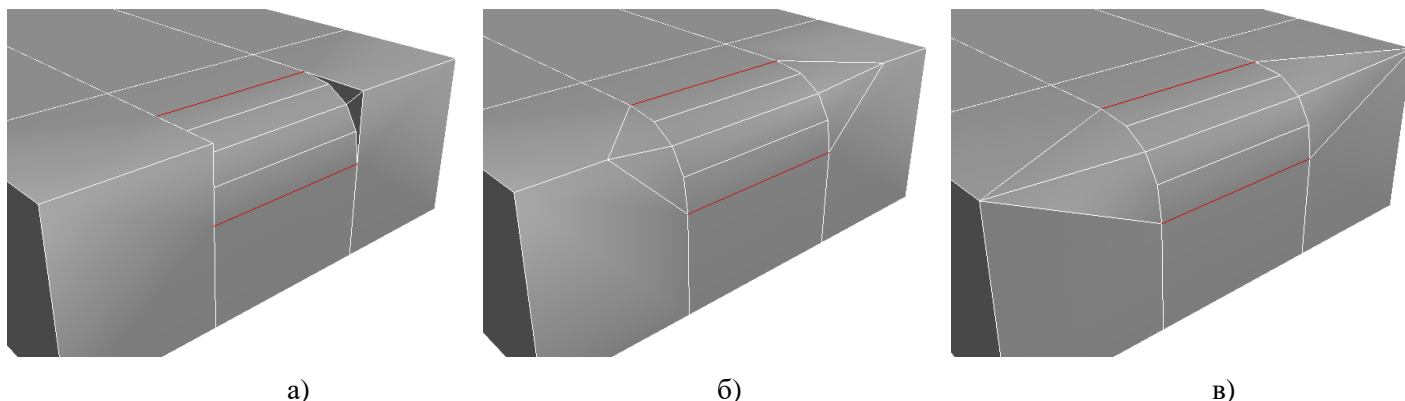


Рисунок 14 – Пример настройки торцевого смещения (End Bias) модификатора Фаска (Chamfer: Mitering = Quad, Amount = 5 mm, Segments=2) для одного выделенного рёбра объекта: а) торцевое смещение (End Bias) = 0,0; б) торцевое смещение (End Bias) = 0,5; в) торцевое смещение (End Bias) = 1,0

*Chamfer Options (Параметры фаски)*, доступные для равномерного, радиусного и лоскутного типов (Mitering: Uniform, Radial, Patch):

*Amount Type (Тип величины)* – метод, по которому контролируется фаска:

*Fixed (Фиксированный)* – величина фаски (Amount) не увеличивается и не уменьшается в зависимости от количества рёбер, соединяющихся в вершине.

*By Weight (По весу)* – управление величиной фаски (Amount) с помощью канала веса (Wight). Вес можно настроить в группе свойств ребра (Edge Properties) в модификаторе редактирования полигонов (Edit Poly).

Чаще всего используется равномерный тип фаски (Uniform) с фиксированным типом величины фаски (Fixed). Если необходимо не исказить геометрию объекта (например, при создании защитных контуров для сглаживания), параметр глубины (Depth) ставят равным 1,0.

Если установлен тип величины Наследование (Amount Type=Legacy), для него доступен параметр *Tension (Растяжение)*, который определяет угол между новыми полигонами, созданными путем снятия фасок рёбер между некомпланарными полигонами. При значении 1.0 все новые многоугольники будут находиться в одной плоскости и образовывать скос. При значении 0.0 образование многоугольников происходит без изменения геометрии объекта. Промежуточные значения образуют разную степень скругления. Для компланарных полигонов данный параметр не работает.

Можно ограничить применение модификатора *Chamfer* ко всему объекту значениями минимального и максимального угла между рёбрами:

*Min. Angle (Минимальный угол)*. Если угол между рёбрами меньше указанного, фаска к ним не применяется.

*Max. Angle (Максимальный угол)*. Если угол между рёбрами больше указанного, фаска к ним не применяется.

На рисунке 15 приведен пример применения ограничений угла для модификатора Фаска (Chamfer: Amount = 3mm, Segments = 2) для объекта цилиндрической формы высотой 100 мм.

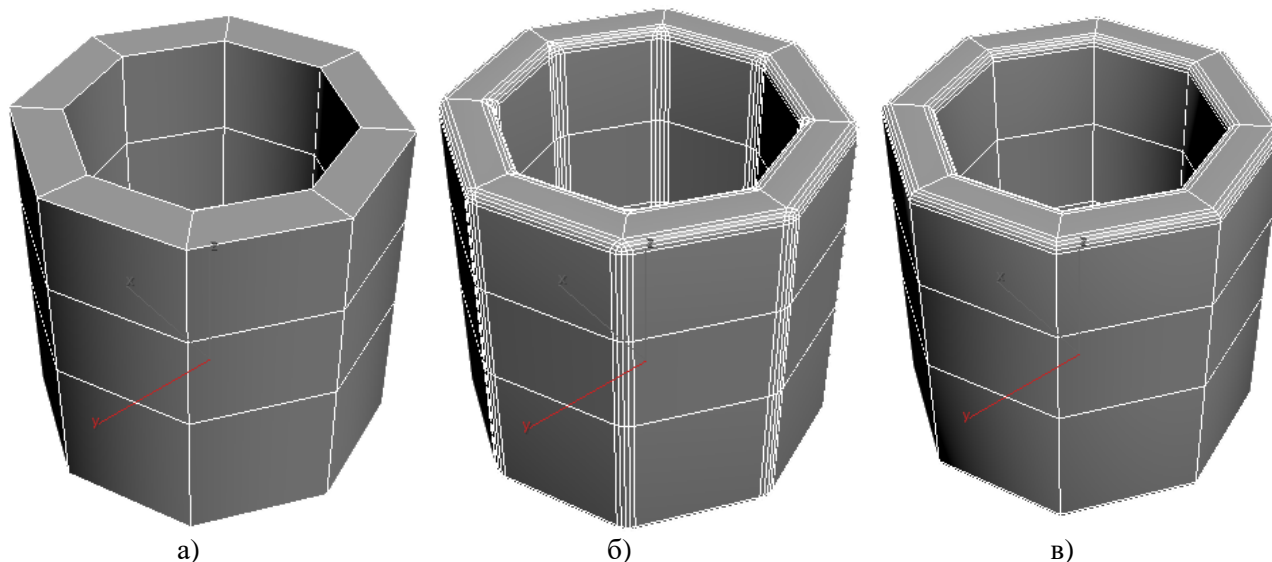


Рисунок 15 – Пример ограничения минимального угла (Min.Angle) модификатора Фаска (Chamfer) для объекта цилиндрической формы: а) исходный объект; б) минимальный угол (Min. Angle) = 20; в) минимальный угол (Min. Angle) = 60

Как видно из примеров, данный модификатор можно применять как к объекту в целом, так и только к выделенным подобъектам. В зависимости от того, какой конечный результат нужно получить. Иногда для получения объекта сложной формы модификатор *Chamfer* используют несколько раз в стеке модификаторов, как и модификатор *Edit Poly*.

### Основные инструменты полигонального моделирования

Редактирование полигональной сетки следует выполнять в модификаторе *Edit Poly* (*Редактировать полигоны*). Для создания низко-полигональных моделей зачастую бывает необходимо сохранять в стеке модификаторов весь путь создания детали от примитива до конечного вида детали. Не следует переводить объект в режим *Editable Poly* (*Редактируемая сетка*), т.к. в этом случае отсутствует возможность вернуться на предыдущий этап алгоритма моделирования (не путать с отменой последних действий через комбинацию клавиш Ctrl+Z). Наоборот, значительно упрощает работу и помогает избежать ошибок следующая практика. Для каждого принципиально нового шага в работе над заготовкой (несколько действий) рекомендуется добавлять новый модификатор *Edit Poly*, таким образом, их будет несколько в стеке модификаторов, каждый для своего шага. Это облегчит исправление каких-то неудачных изменений (последний модификатор можно просто удалить) и позволит сохранить поэтапное преобразование объекта на случай, если понадобится вернуться на какой-то из более ранних этапов работы над заготовкой. Обычно в режим *Editable Poly* переводят копию готовой модели для того, чтобы в дальнейшем разместить её в базе моделей или выставить на продажу.

При создании сцены важно, чтобы в ней было не слишком много отдельных объектов. Потому лучше проработать геометрию модели на уровне полигональной сетки, т.е. чтобы модель состояла из небольшого количества объектов сложной формы, чем составить эту модель из множества отдельных объектов простых форм.

Также зачастую есть требование к минимальному числу полигонов модели, особенно при создании низко-полигональных моделей. Для удобства можно включить отображение статистики в текущем видовом окне: зайти в настройки видового окна (комбинация клавиш <Alt+B>) и на вкладке *Statistics* (*Статистика*) в поле *Setup* (*Установки*) включить следующие параметры, указанные на рисунке 16, затем нажать кнопку ОК.

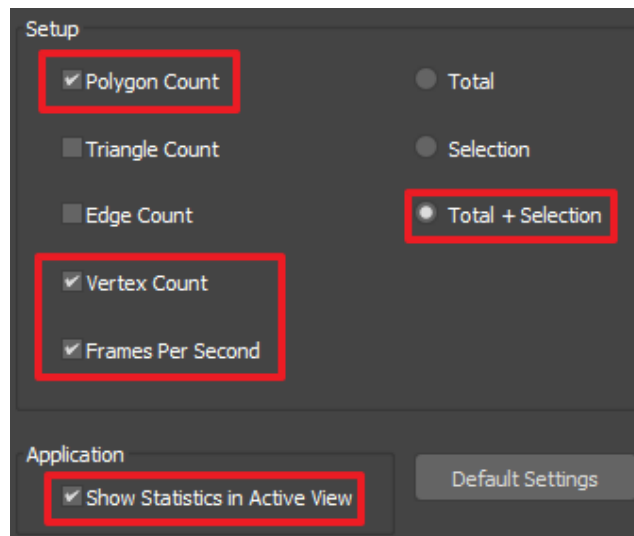


Рисунок 16 – Параметры для включения отображения статистики в текущем видовом окне

Для того, чтобы работать на одном из уровней подобъектов в модификаторе *Edit Poly*, нужно нажать на клавиатуре одну из цифр 1/2/3/4/5, либо выбрать нужный уровень в свитке *Selection* (Выделение), показанном на рисунке 17.

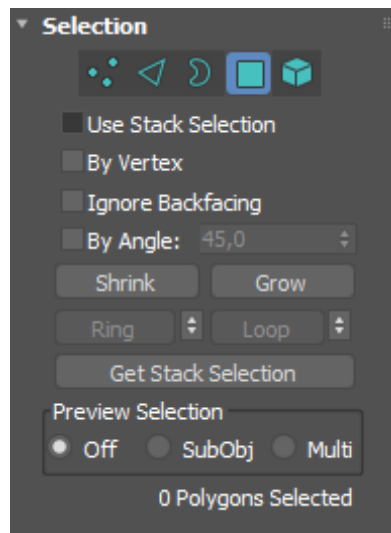


Рисунок 17 – Свиток Selection (Выделение) и его инструменты

*Use Stack Selection* (Использовать выделение стека) – при включении этой функции модификатор *Edit Poly* автоматически использует выделение, которое выполнено в модификаторе, расположенном ниже в стеке модификаторов. При этом все другие выделения будут игнорироваться. Для простой работы в полигональном моделировании эта функция обычно не используется.

*By Vertex* (По вершине) – если при включении этой функции щелкнуть по вершине, будут выделены все подобъекты, которые связаны с этой вершиной (рёбра/границы/полигоны/элемент – в зависимости от того, в каком режиме подобъектов происходит выделение). Эта функция недоступна в режиме подобъектов вершин.

*Ignore Backfacing* (Игнорировать обратную сторону) – при включении этой функции выделение будет работать только с видимыми подобъектами (вершинами/рёбрами/полигонами/элементами), т.е. с теми, нормали которых направлены в сторону наблюдателя. Включение этой функции удобно, когда необходимо сделать выделение только «лицевой части», избегая выделения «заодно» и обратной стороны. При отключении этой функции (по умолчанию), если выполнить выделение областью, то в эту область попадут и видимые подобъекты, и те, которые находятся на обратной стороне.

*By Angle (По углу)* – при включении этого параметра будут выделены все соседние полигоны, угол между которыми не превышает значение, указанное в счётчике рядом. Эта функция ускоряет выделение смежных областей, она доступна только в режиме полигонов (Polygon).

Например, у объекта, изображенного на рисунке 18, необходимо выделить все полигоны, составляющие одну из его сторон. При выключенном параметре *By Angle (По углу)* каждый полигон будет выделяться по щелчку (рисунок 18,а). При включенном параметре *По углу (By Angle=45)* по щелчку на одном полигоне стороны будут выделены все полигоны этой стороны (рисунок 18,б).

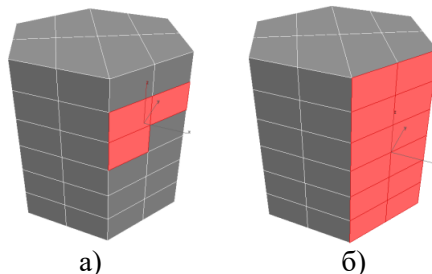


Рисунок 18 – Пример быстрого выделения всех полигонов стороны объекта с помощью включения выделения по углу (Selection, By Angle = On)

*Grow (Нарастить выделение, <Ctrl+PageUp>)* – расширение области выделения во всех доступных направлениях.

*Shrink (Сократить выделение, <Ctrl+PageDown>)* – уменьшение области выбора подобъектов, отменяя выбор самых удаленных подобъектов. Если размер выделения больше нельзя уменьшить, выделение снимается.

*Ring (Выделение по кольцу, <Alt+R>)* – выделение рёбер, параллельных выбранному.

*Loop (Выделение по петле, <Alt+L>)* – выделение рёбер по цепочке. Пример применения инструментов *Ring (Выделение по кольцу)* и *Loop (Выделение по петле)* – на рисунках 19 и 20.

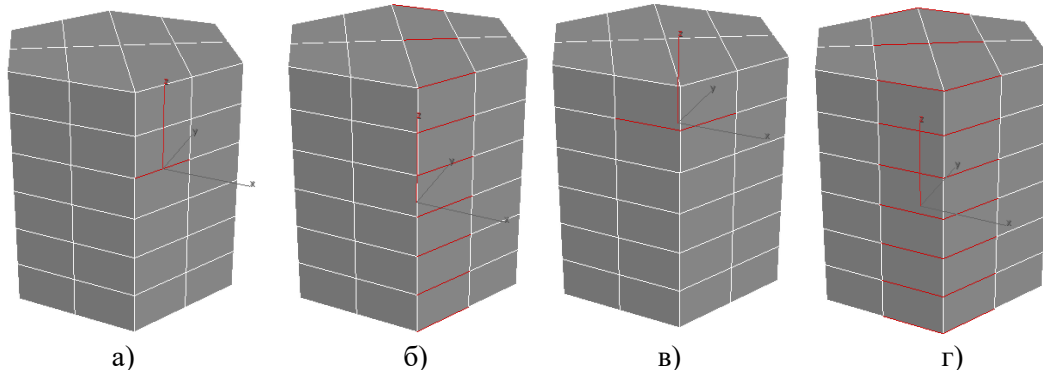


Рисунок 19 – Применение выделения по кольцу (Ring): а) выделено одно ребро; б) результат применения функции; в) выделены два рёбра; г) результат применения функции

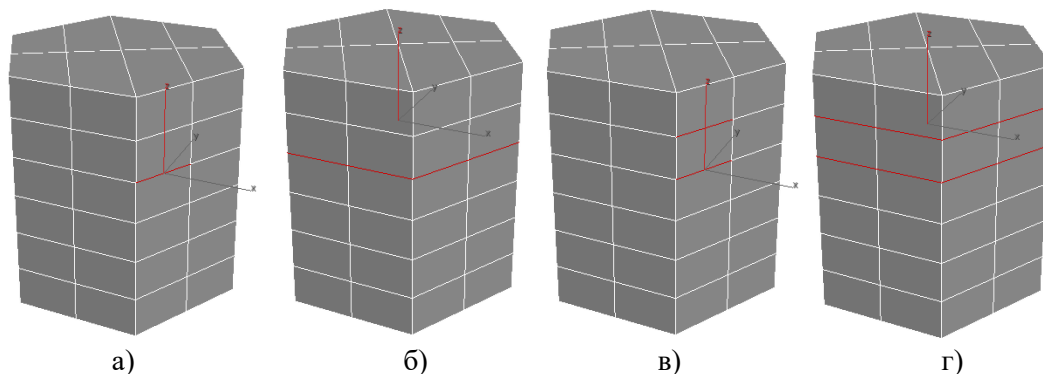


Рисунок 20 – Применение выделения по петле (Loop): а) выделено одно ребро; б) результат применения функции; в) выделены два рёбра; г) результат применения функции

Далее будут рассмотрены инструменты полигонального моделирования для каждого из уровней подобъектов: вершин/ рёбер/ граней/ полигонов/ элементов (Vertex/ Edge/ Border/ Polygon/ Element).

### Редактирование полигональной сетки. Уровень подобъектов – вершины (Vertex)

Vertex (Вершины) – это точки в пространстве: они определяют структуру других подобъектов – *edges* (рёбер) и *polygons* (полигонов), которые составляют полигональный объект. Перемещение или редактирование вершин влияет и на связанную геометрию. Вершины могут существовать независимо от объекта и называются *Isolated Vertices* (*Изолированные вершины*), которые могут использоваться для построения другой геометрии, но в этом случае они невидимы при визуализации.

На уровне подобъектов вершин (Vertex) можно выбрать как одну, так и несколько вершин, перемещая их стандартными методами инструментом перемещения (Select and Move). Свиток *Edit Vertices* (*Редактировать вершины*) включает в себя команды, характерные для редактирования вершин (свиток указан на рисунке 21). Действие этих команд рассмотрено на примерах ниже.

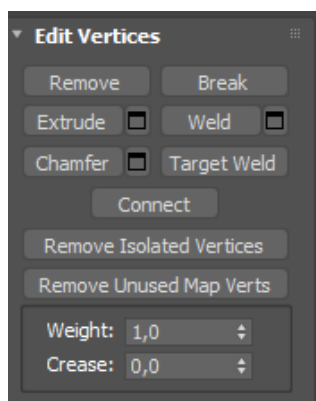


Рисунок 21 – Свиток Edit Vertices (Редактирование вершин)

*Remove* (*Удалить*) удаляет выбранные вершины и объединяет полигоны, которые их используют (для данной команды есть быстрая клавиша – <Backspace>). Если удалить вершины, нажав клавишу <Delete>, это создаст отверстия в сетке. Использование *Remove* (*Удалить*) может привести к изменению формы сетки и созданию неплоскостных полигонов. На рисунке 22 приведены примеры удалений вершины с помощью перечисленных инструментов.

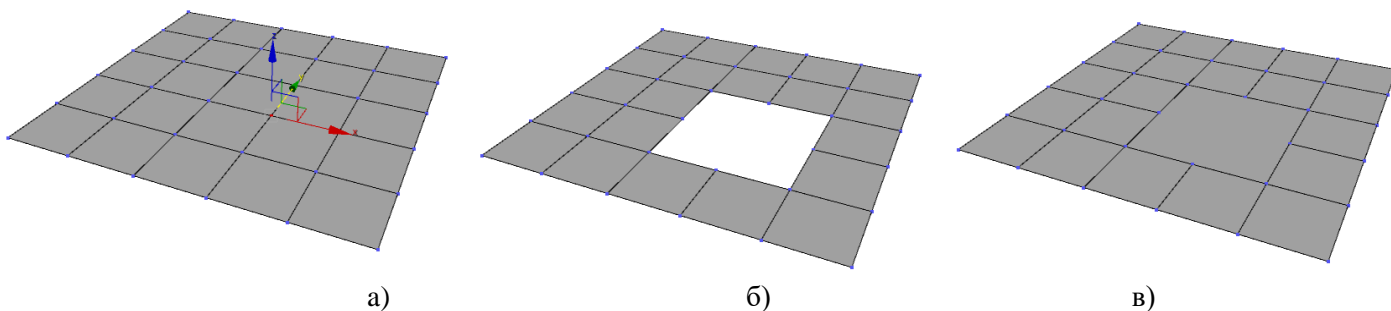


Рисунок 22 – Инструмент Remove (Удалить) для вершин: а) исходный объект; б) удаление через клавишу <Delete>; в) удаление через клавишу <Backspace> или кнопку Remove

*Break* (*Разрыв*) создает новую вершину для каждого полигона, присоединенного к выбранным вершинам, позволяя углам многоугольника перемещаться друг от друга, где они когда-то были соединены в каждой исходной вершине. Если вершина изолирована или используется только одним полигоном, она не изменяется. Пример приведён на рисунке 23.



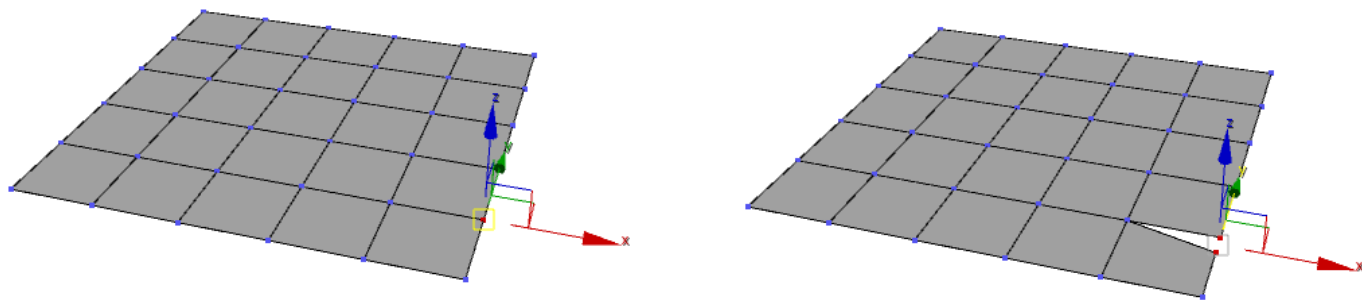


Рисунок 23 – Применение разрыва (Break) для вершин (Vertex)

*Extrude* (Выдавить, <Shift+E>) позволяет выдавливать вершины. Выдавливание вершины перемещает её вдоль нормали и создает новые полигоны, которые формируют стороны выдавливания, соединяя вершину с объектом. При выдавливании образуется такое же количество сторон, что и количество полигонов, которые изначально использовали выдавливаемую вершину. Пример приведён на рисунке 24.

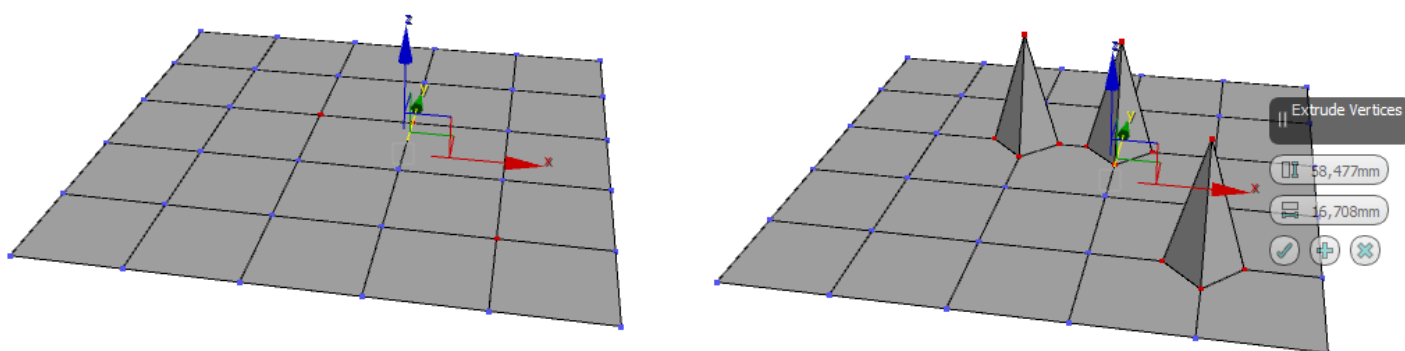


Рисунок 24 – Применение выдавливания (Extrude) для вершин (Vertex)

*Weld* (Снять/сварить) спаивает смежные, выбранные вершины, которые находятся в пределах допуска, указанного в настройках *Weld Threshold* (Порог соединения). Все рёбра становятся связанными с полученной единственной вершиной. Пример приведён на рисунке 25.

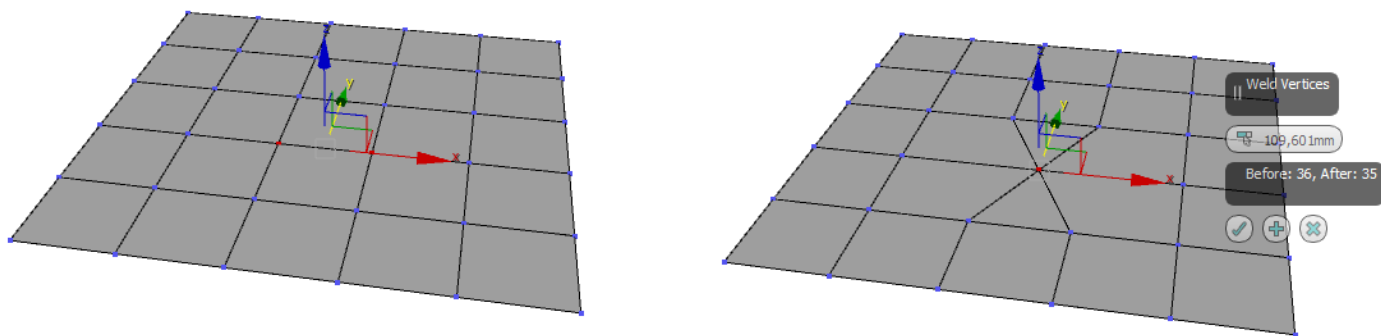


Рисунок 25 – Применение сварки вершин (Weld)

Функция *Chamfer* (Фаска) – создание фаски для вершины. Каждая скошенная вершина эффективно заменяется новым полигоном (Face), который соединяет новые вершины на всех рёбрах (Edges), ведущих к исходной вершине. Если закруглять несколько выбранных вершин, все они будут закруглены одинаково. Пример приведён на рисунке 26.

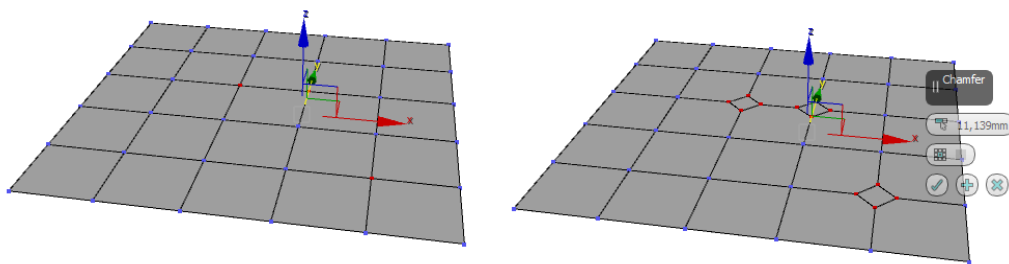


Рисунок 26 – Применение функции Chamfer (Фаска) для вершин (Vertex)

*Target Weld* (Снять по цели, <Ctrl+Shift+W>) позволяет выбрать вершину и приварить её к соседней целевой вершине. Целевая спайка работает только с парами смежных вершин, т.е. если вершины связаны одним ребром. Выбранная вершина перемещается в положение той, по которой произведен щелчок кнопкой мыши. Пример приведен на рисунке 27.

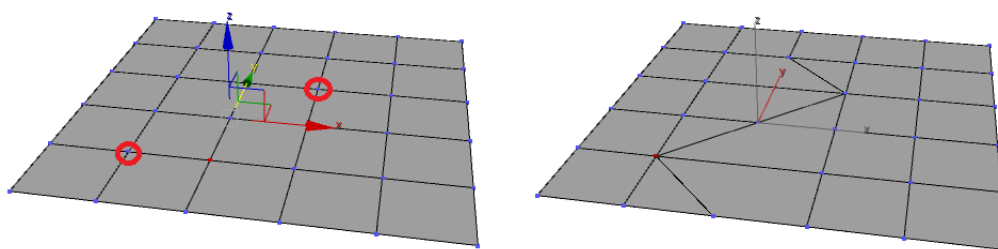


Рисунок 27 – Применение спайки по цели (Target Weld) для вершин (Vertex)

*Connect* (Соединить, <Ctrl+Shift+E>) создает новые рёбра между парами выбранных вершин. Если между выбранными вершинами находится ребро, то соединение не произойдет. Пример приведен на рисунке 28.

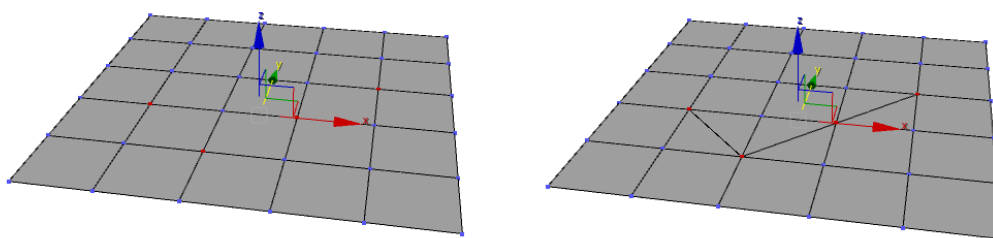


Рисунок 28 – Применение функции Connect (Соединить) для вершин (Vertex)

*Remove Isolated Vertices* (Удалить изолированные вершины) удаляет все вершины, которые не принадлежат ни одному из полигонов. Пример приведен на рисунке 29.

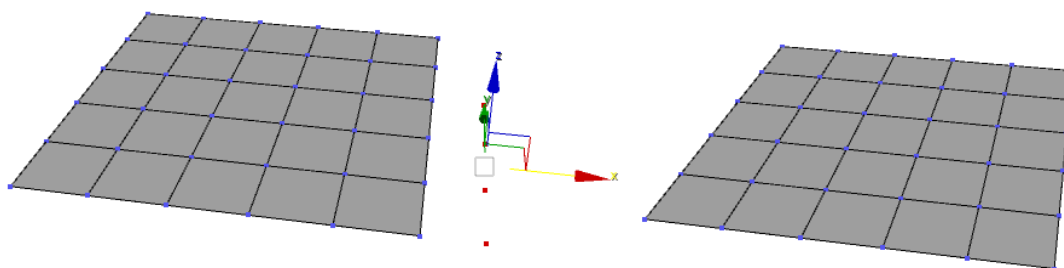


Рисунок 29 – Remove Isolated Vertices (Удаление изолированных вершин)

*Weight* (Вес) устанавливает вес выбранных вершин. Используется опцией подразделения NURMS и модификатором *Mesh Smooth* (Сглаживание сетки). Увеличение веса вершины имеет тенденцию натягивать сглаженный результат к вершине. Пример приведен на рисунке 30.

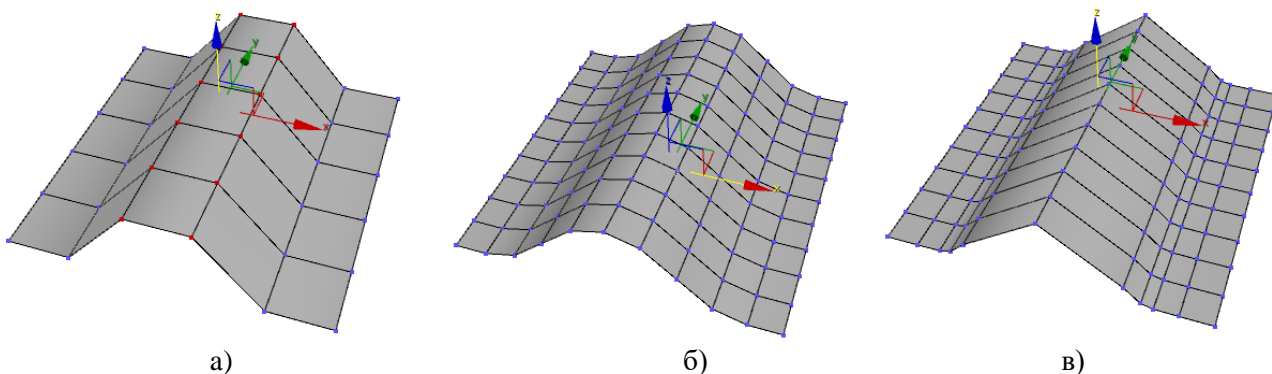


Рисунок 30 – Применение инструмента Weight (Вес) для вершин: а) исходный объект без сглаживания; б) сглаживание с весом (Weight = 1); в) сглаживание с весом (Weight = 0,05)

*Crease (Сгиб)* устанавливает значение сгиба выбранных вершин. Используется с модификатором *Open Subdiv (Настраиваемое разбиение)*. Увеличение сгиба вершины имеет тенденцию тянуть сглаженный результат к вершине и заострять её. Пример приведён на рисунке 31.

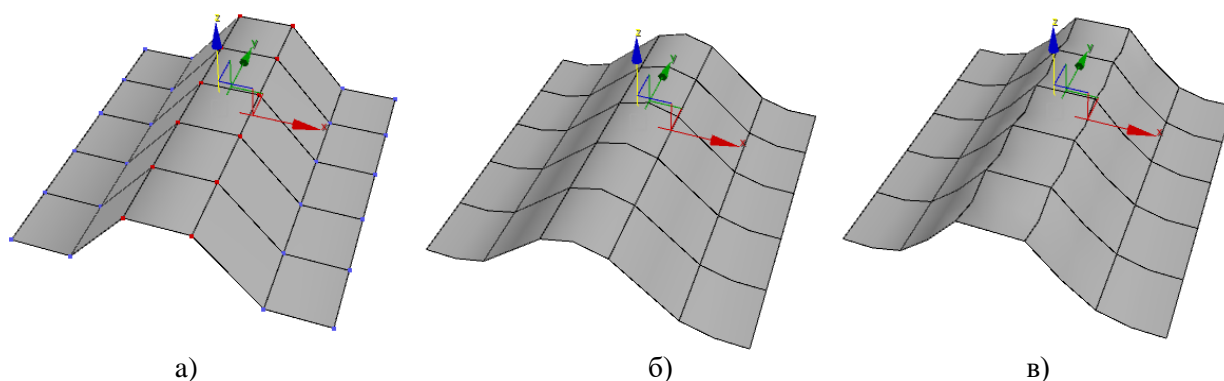


Рисунок 31 – Применение Сгиба (Crease) для вершин: а) исходный объект без сглаживания; б) сглаживание со сгибом (Crease = 1); в) сглаживание со сгибом (Crease = 0,05)

Далее будут рассмотрены инструменты, доступные на уровне подобъектов рёбер.

### **Редактирование полигональной сетки. Уровень подобъектов – рёбра (Edge)**

*Edge (Рёбро)* – это линия, соединяющая две вершины, которые образуют сторону полигона. Рёбро не может быть разделено более чем двумя полигонами. Кроме того, нормали двух полигонов должны быть смежными. Если это не так, то получатся два рёбра с общими вершинами. Помимо рёбер, у каждого полигона с количеством вершин больше четырех есть одна или несколько внутренних диагоналей, которые определяют как полигон триангуляции. С диагоналями нельзя работать напрямую, но можно использовать функции *Turn (Поворачивать)* и *Edit Triangulation (Редактирование триангуляции)*, чтобы изменить их положение. Параметры свитка *Edit Edges (Редактирование рёбер)* приведены на рисунке 32.

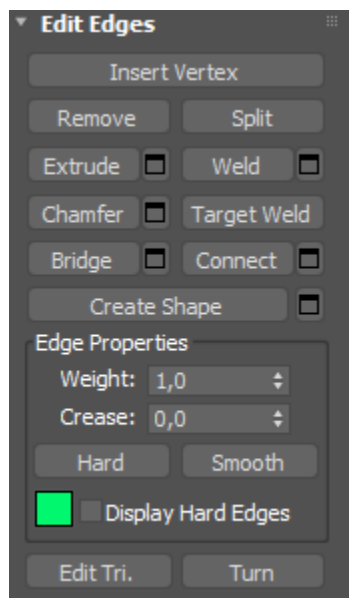


Рисунок 32 – Свиток Edit Edges (Редактирование рёбер)

*Insert Vertex (Вставить вершину)* позволяет разделить видимые рёбра вручную. Пример приведён на рисунке 33.

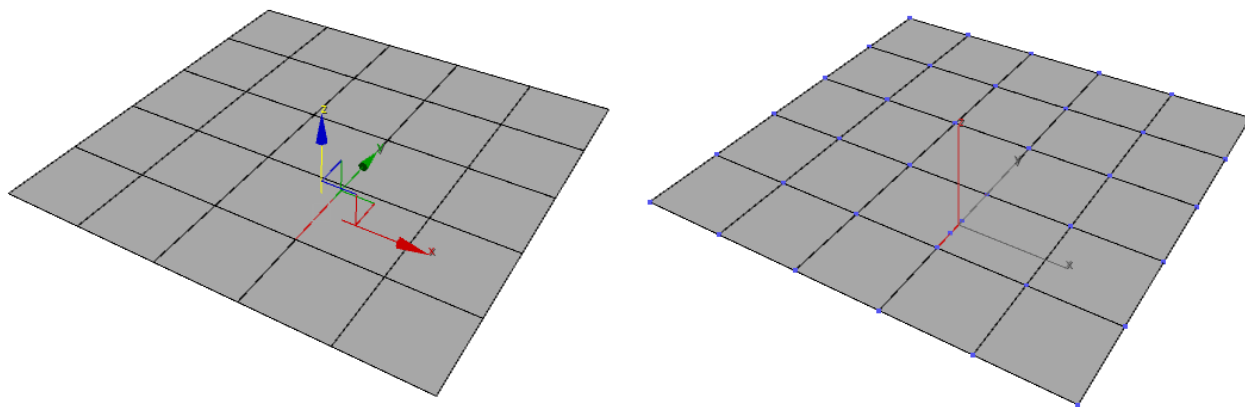


Рисунок 33 – Применение инструмента Insert Vertex (Вставить вершину) для ребра (Edge)

*Remove (Удаление)* удаляет выбранные рёбра и объединяет полигоны, которые их используют. Быстрая клавиша клавиатуры – <Backspace>. Пример приведён на рисунке 34.

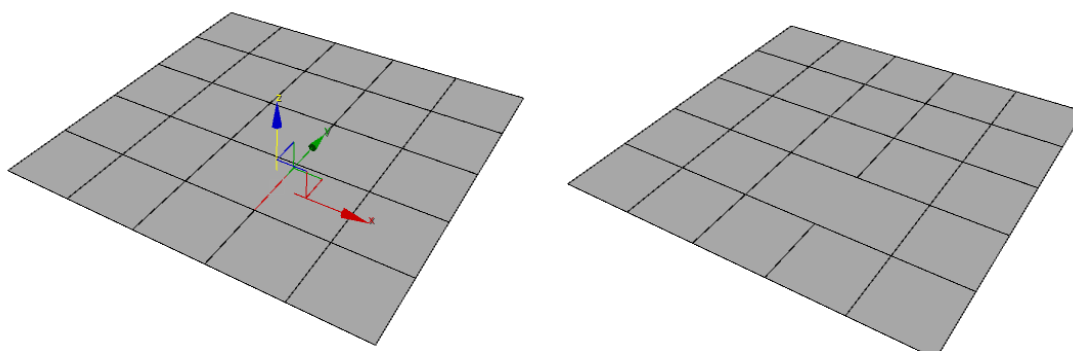


Рисунок 34 – Применение инструмента удаления (Remove) для ребра (Edge)

При применении инструмента удаления (Remove) не удаляются вершины. Чтобы удалить связанные вершины при удалении рёбер, надо нажать и удерживать клавишу Ctrl во время выполнения операции удаления.

*Split (Разрыв)* делит сетку по выбранным краям. Ничего не делает, когда применяется к одному ребру в середине сетки. Вершины в конце затронутых рёбер будут разделенными. Корректно работает с двумя и более рёбрами. Пример приведён на рисунке 35.

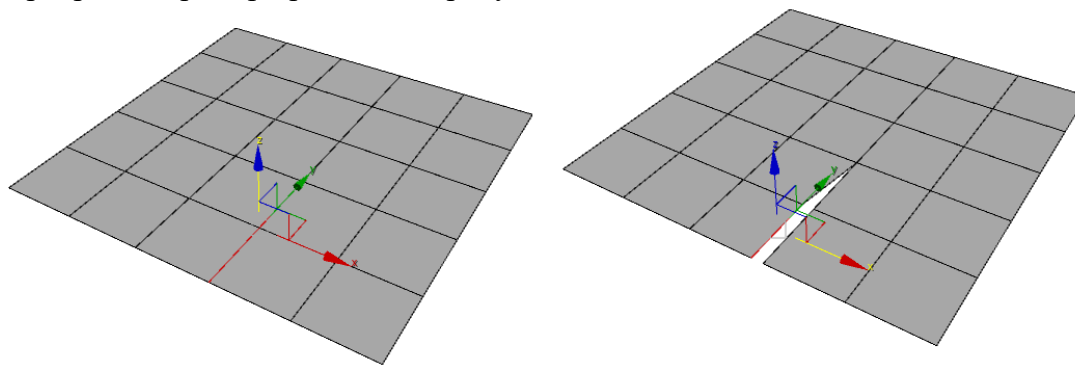


Рисунок 35 – Применение функции Split (Разрыв) для ребра (Edge)

*Extrude (Выдавить, <Shift+E>)* позволяет выдавливать ребро. При выдавливании ребра необходимо установить высоту выдавливания и основную ширину. Выдавливание ребра перемещает его вдоль нормали и создает новые полигоны, которые формируют стороны выдавливания, соединяя край с объектом. Выдавливание имеет три или четыре стороны: три – если ребро было на границе, или четыре – если оно было разделено двумя полигонами. При увеличении длины выдавливания основание увеличивается в размере до степени вершин, смежных с конечными точками выдавливаемого края. Пример приведен на рисунке 36.

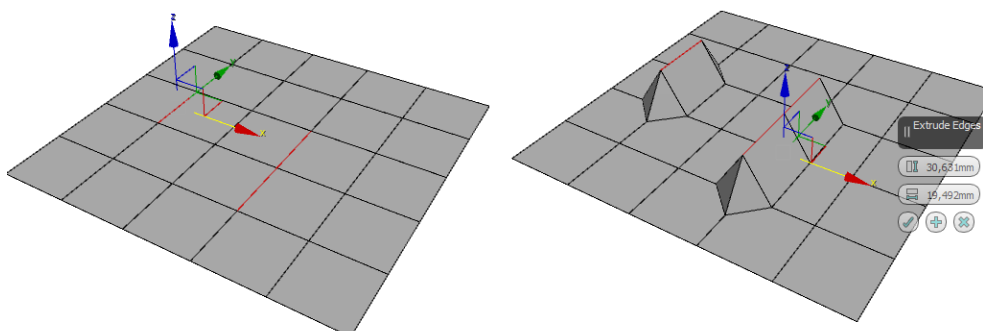


Рисунок 36 – Применение инструмента выдавливания (Extrude) для ребра (Edge)

*Weld (Спаять/сварить)* спаивает выбранные рёбра, которые находятся в пределах порога, указанного в настройках *Weld Threshold (Порог соединения)*. Пример приведен на рисунке 37.

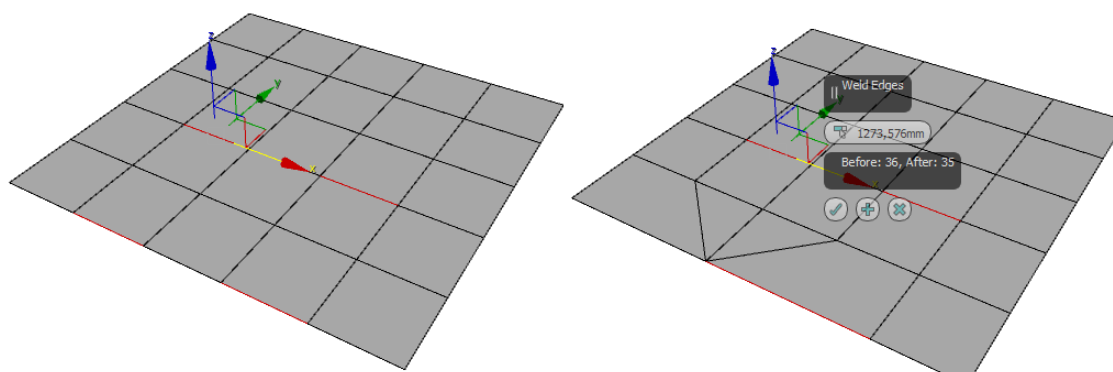


Рисунок 37 – Применение инструмента спайки (Weld) для ребра (Edge)

Можно объединять только рёбра, к которым прикреплен только один полигон. Кроме того, нельзя выполнить операцию объединения для ребра, которая привела бы к неправильной геометрии (например, к общему ребру для более чем двух полигонов).



Функция *Chamfer* (Фаска). Фаска обрезает выбранные рёбра, создавая два или более новых рёбер для каждого скошенного рёбра. Создает один или несколько полигонов, соединяющих новые рёбра. Новые рёбра находятся точно на расстоянии *Chamfer Amount* (Величина фаски) от исходного рёбра. Кроме того, можно создать открытое пространство между скошенными краями. Пример приведён на рисунке 38.

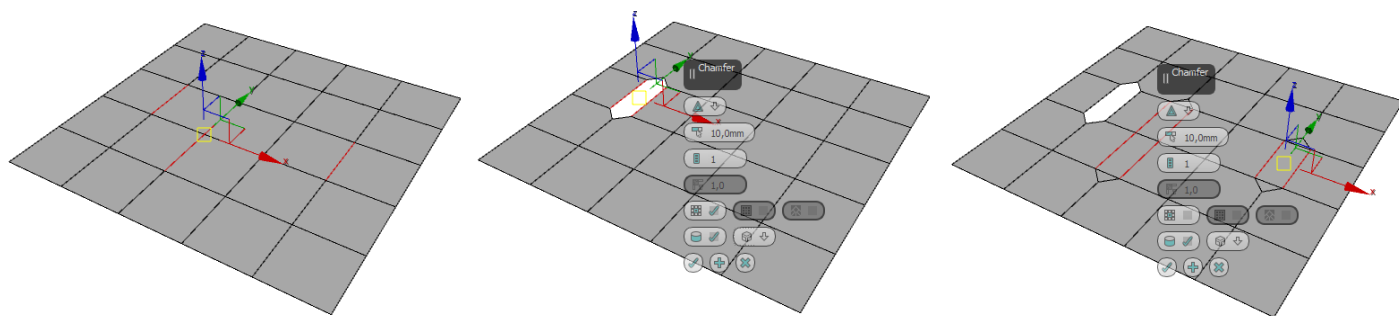


Рисунок 38 – Применение функции Chamfer (Фаска) для ребра (Edge)

*Target Weld* (Снять по цели, <Ctrl+Shift+W>) позволяет выбрать ребро и припаять его к другому выбранному ребру. Можно соединять только рёбра, к которым прикреплен один многоугольник, то есть грань (Border). Кроме того, нельзя выполнить объединение, которое привело бы к неправильной геометрии (например, к общему ребру для более чем двух полигонов). Пример работы функции приведён на рисунке 39.

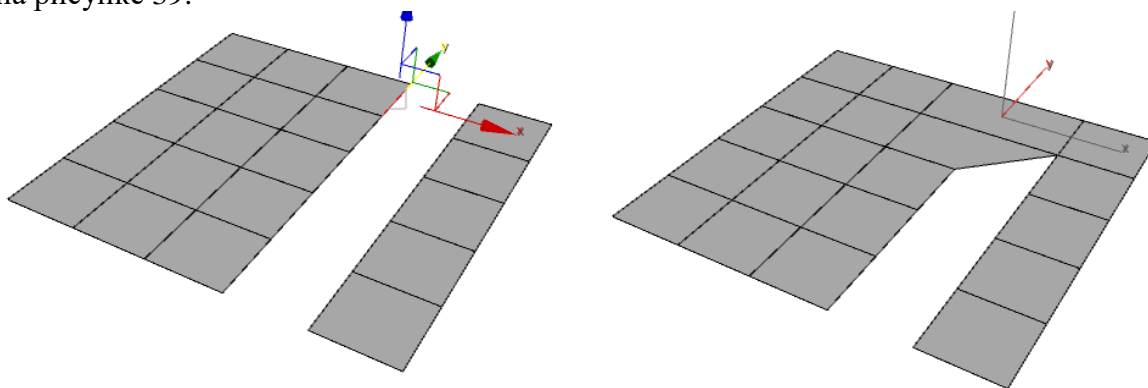


Рисунок 39 – Применение спайки по цели (Target Weld) для рёбер (Edge)

*Bridge* (Мост) соединяет граничные рёбра объекта. Мост соединяет только граничные рёбра, то есть рёбра, которые имеют многоугольник только на одной стороне. Пример приведён на рисунке 40.

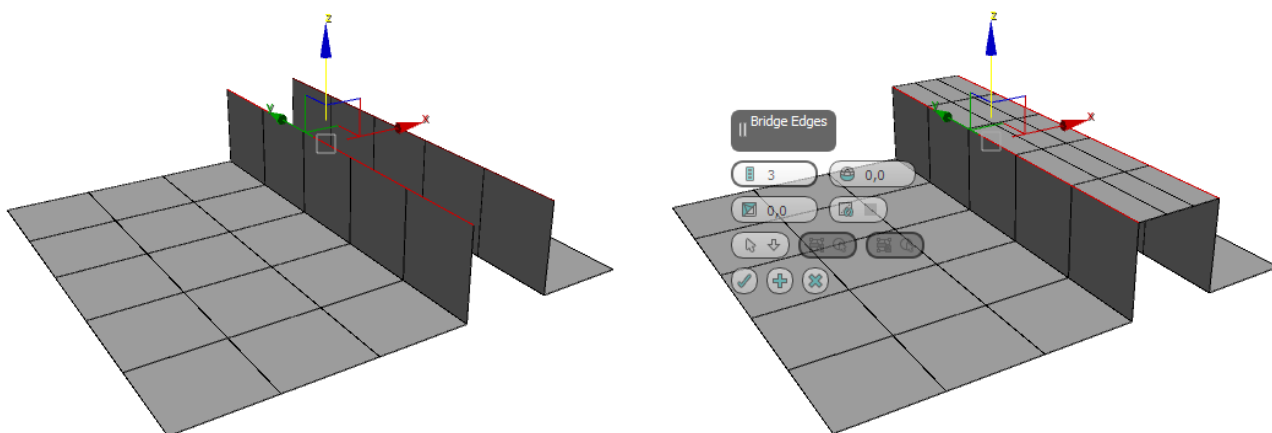


Рисунок 40 – Применение функции Bridge (Мост) для рёбер (Edge)

Функция *Bridge* всегда создает прямолинейное соединение между рёбрами. Чтобы мостовое соединение соответствовало контуру, сначала делается мостовое соединение, затем применяются модификаторы, содержащие деформации объекта.

*Connect* (Соединить, <Ctrl+Shift+E>) создает новые рёбра между парами выбранных рёбер. Особенно полезен для создания контуров. Если выбрать все четыре ребра полигона и затем применить *Connect*, то будут соединены только соседние рёбра, что приведет к ромбовому узору. Пример приведен на рисунке 41.

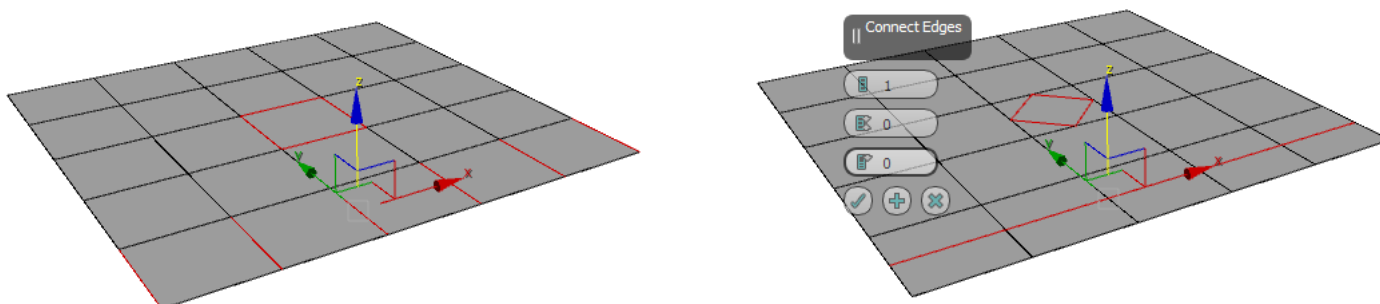


Рисунок 41 – Применение функции Connect (Соединить) для рёбер (Edge)

*Create Shape* (Создать форму) после выбора одного или нескольких рёбер создает форму сплайна из выбранных рёбер. Форма новой фигуры находится в центре полигонального объекта. При создании формы появляется диалоговое окно *Create Shape*, в котором можно указать имя фигуры и установить тип вершин для сплайна – *Smooth* (Сглаженные) или *Linear* (Линейные). Диалоговое окно *Create Shape* отражено на рисунке 42. Пример работы функции *Create Shape* приведен на рисунке 43.

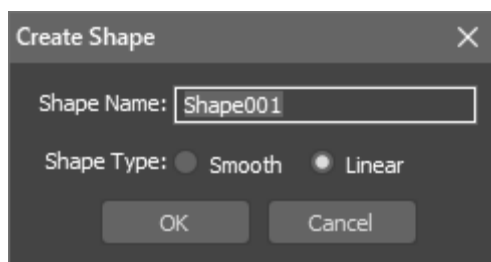


Рисунок 42 – Окно Create Shape (Создание фигуры) из выбранных рёбер

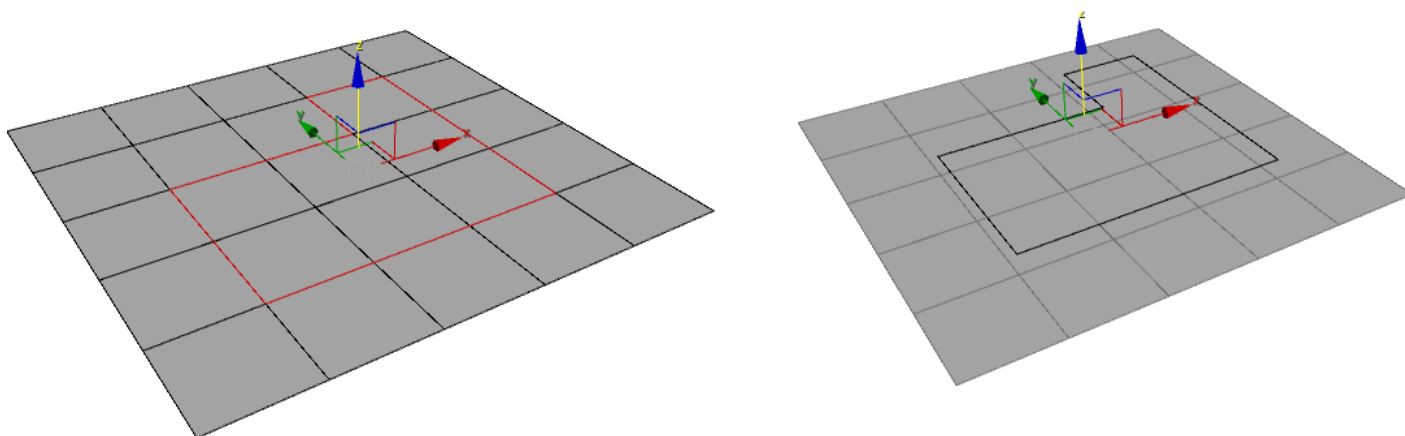


Рисунок 43 – Применение инструмента Create Shape (Создание формы) из выбранных рёбер (Edge)

*Weight* (Вес) устанавливает вес выбранных рёбер. Используется опцией подразделения NURMS и модификатором *MeshSmooth* (Сглаживание сетки). Увеличение веса ребра приводит к менее сглаженному результату. Пример приведен на рисунке 44.

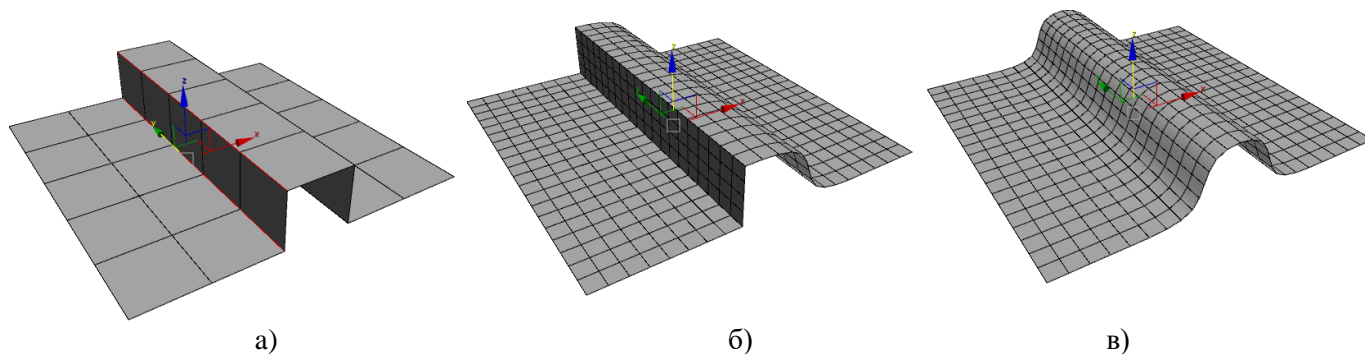


Рисунок 44 – Применение инструмента вес (Weight) для ребра (Edge): а) исходный объект без сглаживания; б) сглаживание с весом (Weight = 1); в) сглаживание с весом (Weight = 0)

*Crease (Сгиб)* устанавливает значение сгиба выбранных рёбер. Используется с модификатором *Open Subdiv (Настраиваемое разбиение)*. Увеличение сгиба вершины имеет тенденцию тянуть сглаженный результат к ребру и заострять его.

*Hard (Жесткий)*. Выбранные рёбра будут отображаться как несглаженные. Это делается путем установки групп сглаживания таким образом, чтобы никакие две грани, примыкающие к жесткому краю, не имели общих групп сглаживания.

*Smooth (Сглаженный)*. Устанавливает отображение выбранных рёбер как сглаженных, автоматически разделяя группы сглаживания между смежными полигонами. Пример действия данных параметров приведён на рисунке 45.

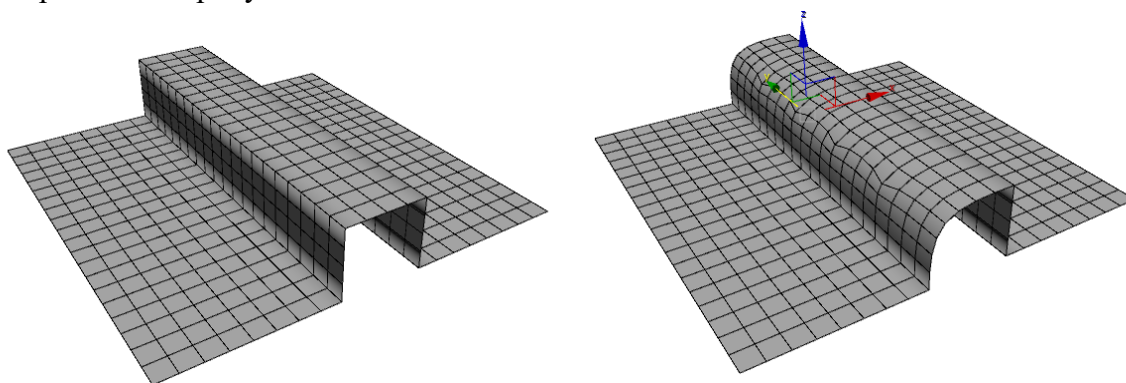


Рисунок 45 – Работа инструментов Жесткость (Hard) и Сглаживание (Smooth) для выделенного ребра (Edge)

*Display Hard Edges (Показать жесткие края)*. Если этот параметр включен, то все жесткие края отображаются в окнах просмотра с использованием выбранного цвета жесткого края, определенного с помощью образца цвета, расположенным слева. Пример приведен на рисунке 46.

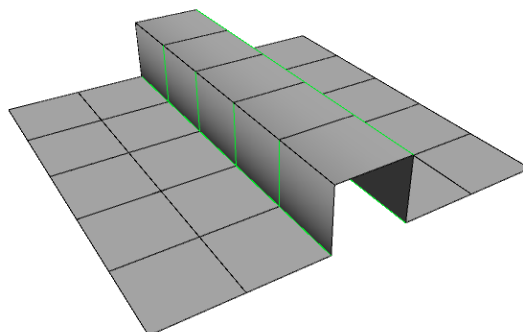


Рисунок 46 – Отображения жесткого края при включенном флажке Display Hard Edges (Показать жесткие края)

*Edit Triangulation (Редактирование триангуляции)*. Позволяет изменить способ разделения полигонов на треугольники путем рисования внутренних рёбер или диагоналей. В режиме *Edit*

*Triangulation* можно увидеть текущую триангуляцию в окне просмотра и изменить ее, щелкнув по начальной и конечной вершине в одном полигоне.

Пример режима редактирования триангуляции, а также режима поворота приведён на рисунке 47.

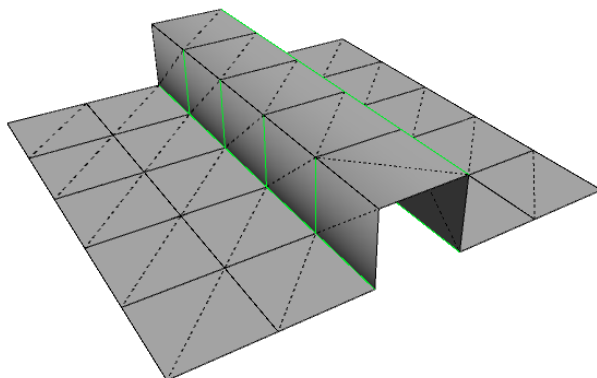


Рисунок 47 – Режим редактирования триангуляции для инструментов Edit Triangulation (Редактирование триангуляции) или Turn (Поворачивать)

*Turn (Поворачивать)*. Позволяет изменить разделение полигонов на треугольники, щелкнув по диагонали. В режиме поворачивания (Turn) достаточно нажать на диагональ, чтобы изменить ее положение.

### **Редактирование полигональной сетки. Уровень подобъектов – грани (Border)**

*Border (грань)* – это линейный участок сетки, который обычно можно описать как край отверстия. Если создать замкнутый объект, а затем удалить один или несколько полигонов, образуется граница отверстия, которая и будет являться объектом *Border (Грань)*. Свиток Edit Borders (Параметры редактирования граней) приведён на рисунке 48.

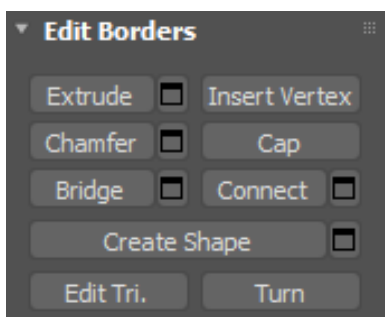


Рисунок 48 – Свиток Edit Borders (Редактировать грани)

Большинство инструментов для граней (Border) полностью повторяют функционал для рёбер (Edge), т.к. являются его частным случаем. Помимо них, для граней доступна функция Крышка (Cap).

*Cap (Крышка)* ограничивает всю петлю грани (Border) одним полигоном. Пример приведён на рисунке 49.

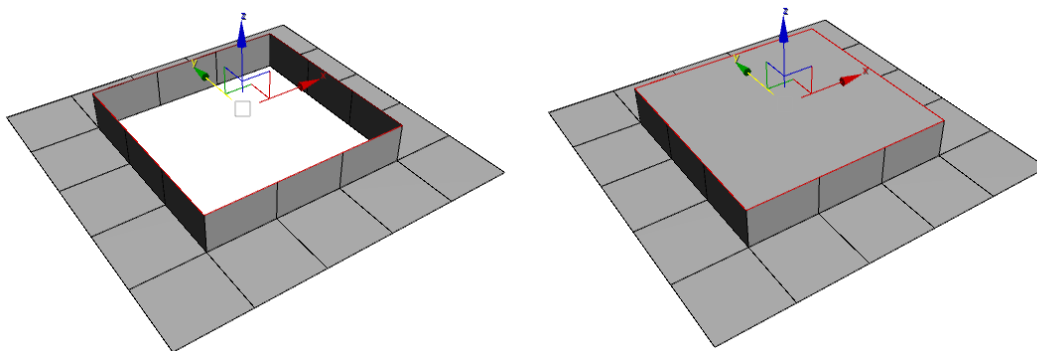


Рисунок 49 – Закрывание грани (Border) крышкой (Cap)

### Редактирование полигональной сетки. Уровень подобъектов – полигоны (Polygon)

*Polygon/Element (полигон / элемент)* – это замкнутая последовательность из трех или более рёбер, соединенных поверхностью. Полигоны обеспечивают визуализируемую поверхность редактируемых полигональных объектов. На уровне подобъектов полигонов (Poly) можно выбрать один или несколько полигонов и преобразовать их стандартными методами. Объект может состоять из одного или нескольких элементов, переключение между ними возможно на уровне подобъектов элементов (Element). Т.е. в режиме элемента можно выбирать и редактировать группы смежных полигонов.

Свиток параметров *Edit Polygon (Редактировать полигон)* приведён на рисунке 50.

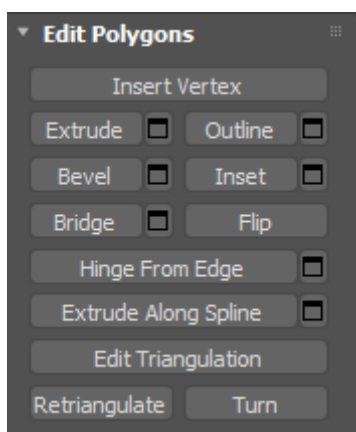


Рисунок 50 – Свиток Edit Polygon (Редактировать полигоны)

*Insert Vertex (Вставить вершину)* позволяет разделять полигон вручную, разбивая его на треугольники. Применяется к полигонам даже на уровне Element (Элемента). Пример приведён на рисунке 51.

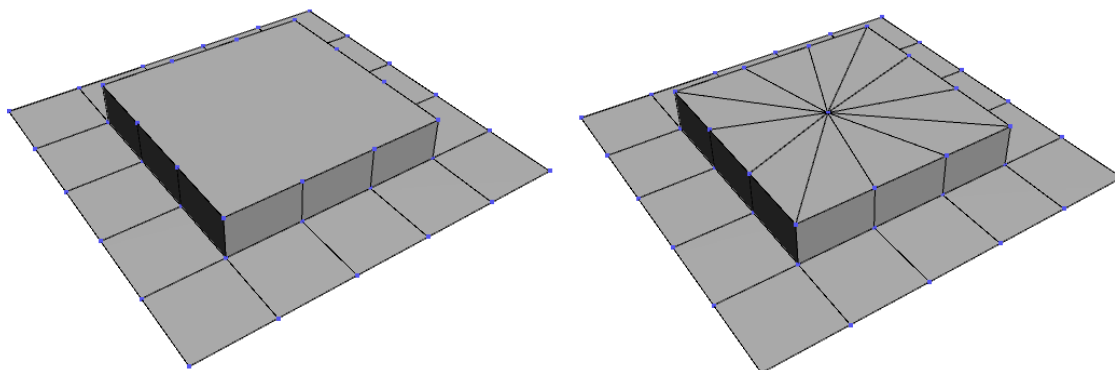
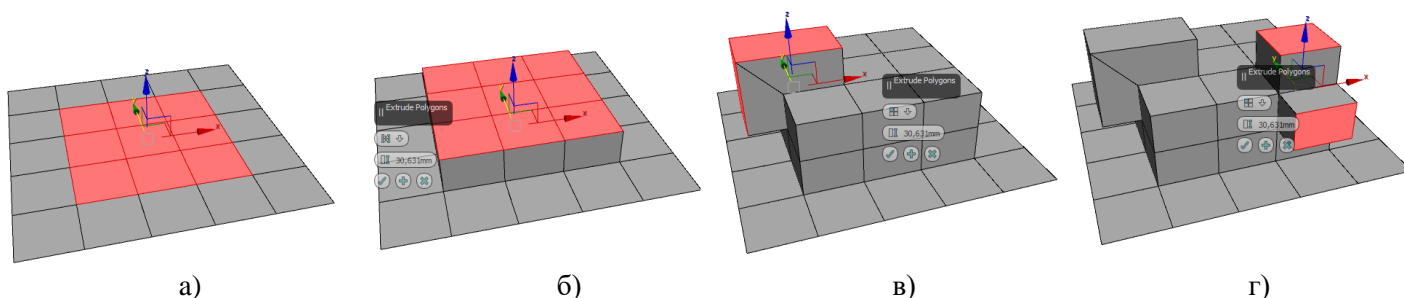


Рисунок 51 – Вставка вершины (Insert Vertex) для полигона/элемента (Polygon/Element)



*Extrude* (*Выдавить*, <Shift+E>) позволяет выполнять выдавливание выделенных полигонов. Выдавливание полигонов перемещает их вдоль нормали и создает новые полигоны, которые формируют стороны выдавливания, соединяя выделение с объектом. Пример приведен на рисунке 52.



а) б) в) г)  
Рисунок 52 – Выдавливание (Extrude) для полигона/элемента (Polygon/Element): а) исходный объект с выделенными полигонами; б) групповое выдавливание; в) выдавливание по нормали группы; г) выдавливание по нормальям для каждого выделенного полигона

*Outline* (*Контур*) позволяет увеличивать или уменьшать внешний край каждой смежной группы выбранных полигонов. Пример приведен на рисунке 53.

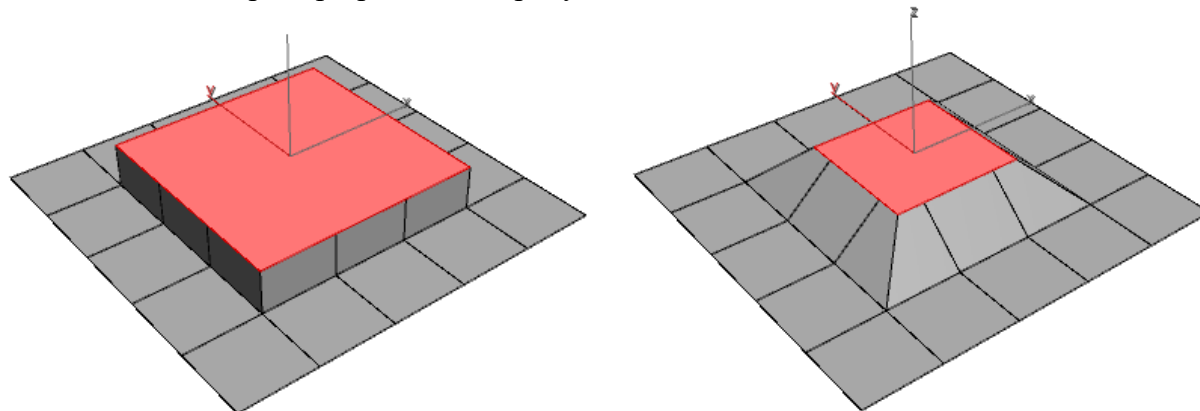


Рисунок 53 – Применение инструмента Контур (Outline) для полигона/элемента (Polygon/Element)

*Bevel* (*Скос*) позволяет выполнять создание скоса для выдавленного полигона или группы полигонов. Пример приведен на рисунке 54.

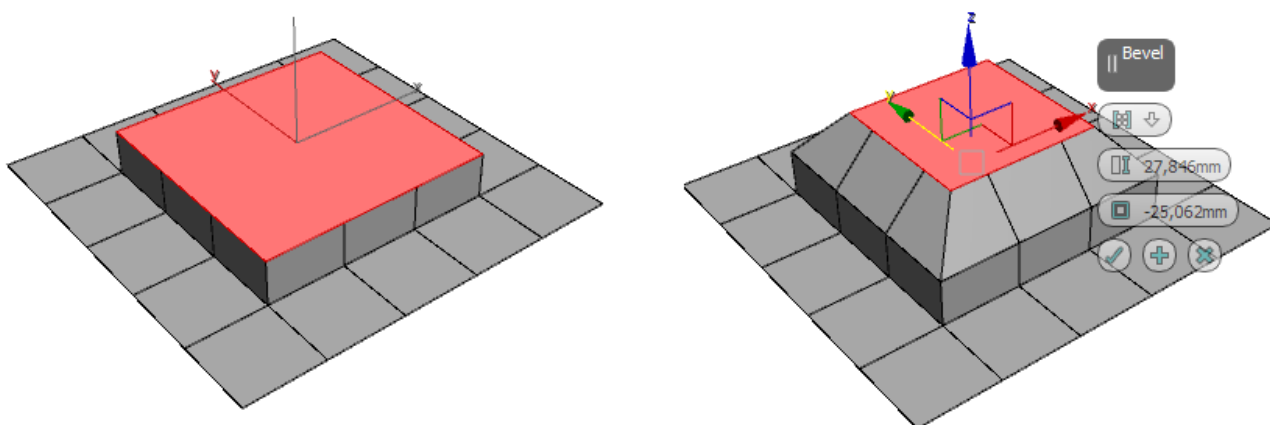


Рисунок 54 – Применение Скоса (Bevel) для полигона/ элемента (Polygon/Element)

*Inset* (*Врезка*) выполняет скос без высоты, т.е. в плоскости полигона. *Inset* (*Врезка*) работает на выделении одного или нескольких полигонов. Как и для контура (Outline), затрагиваются только внешние края. Пример приведен на рисунке 55.

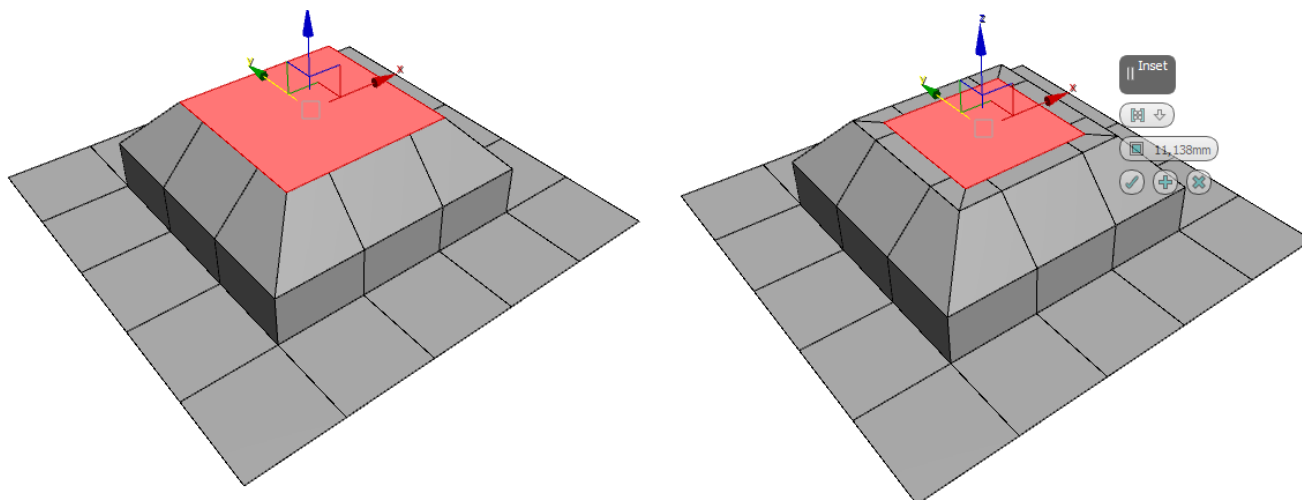


Рисунок 55 – Применение Врезки (Inset) для полигона/ элемента (Polygon/Element)

*Bridge (Мост)* соединяет два полигона или выделенные полигоны на объекте. Инструмент *Bridge* всегда создает прямолинейное соединение между парами полигонов. Пример приведен на рисунке 56.

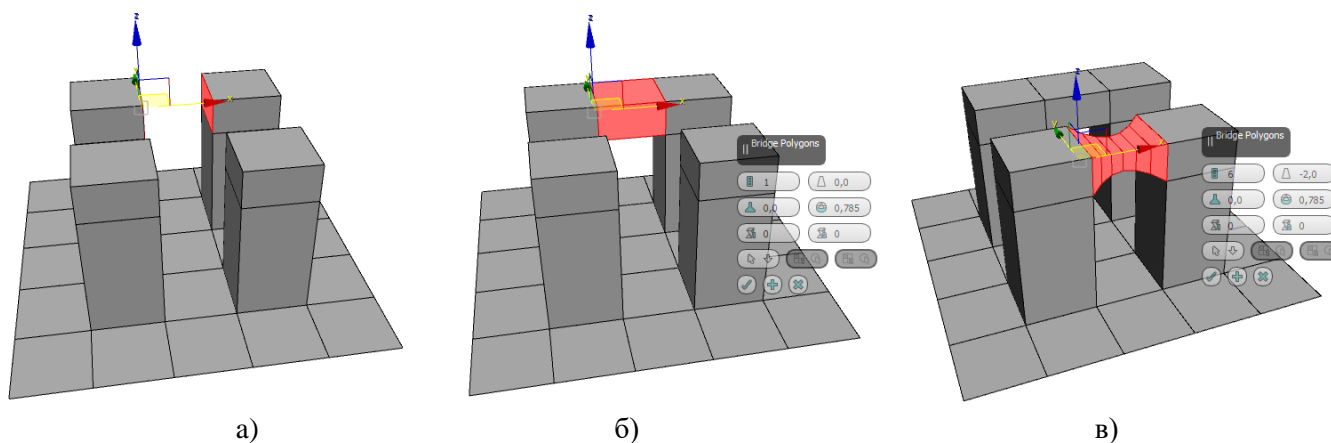


Рисунок 56 – Применение инструмента Bridge (Мост) для полигонов (Polygon):  
а) исходный объект с выделенными полигонами; б) простое соединение выделенных полигонов;  
в) соединение выделенных полигонов с разбиением на сегменты и сужением в центре

*Flip (Вывернуть)* меняет направление нормали выбранных полигонов, т.е. и их ориентацию.

*Hinge From Edge (Вращение от рёбра)* позволяет выполнить операцию вращения с созданием выдавленных полигонов вокруг указанного рёбра. Пример данных функций приведен на рисунке 57.

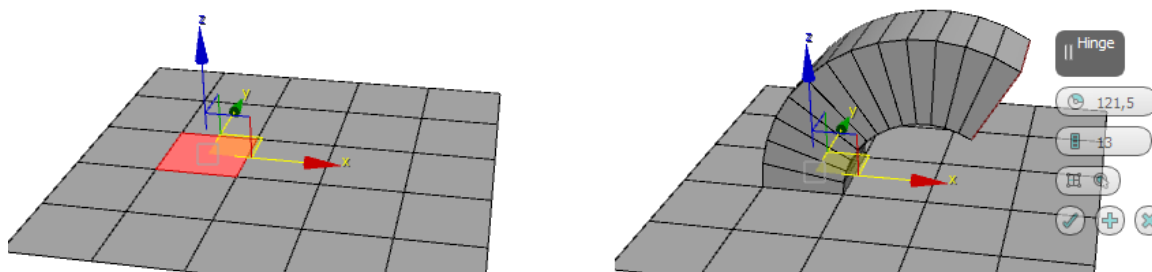


Рисунок 57 – Вращение выделенного полигона (Polygon) вокруг выбранного рёбра (Hinge From Edge)

*Extrude Along Spline (Выдавить вдоль сплайна)*. Выдавливает выбранный полигон вдоль выбранного сплайна. Пример приведен на рисунке 58.

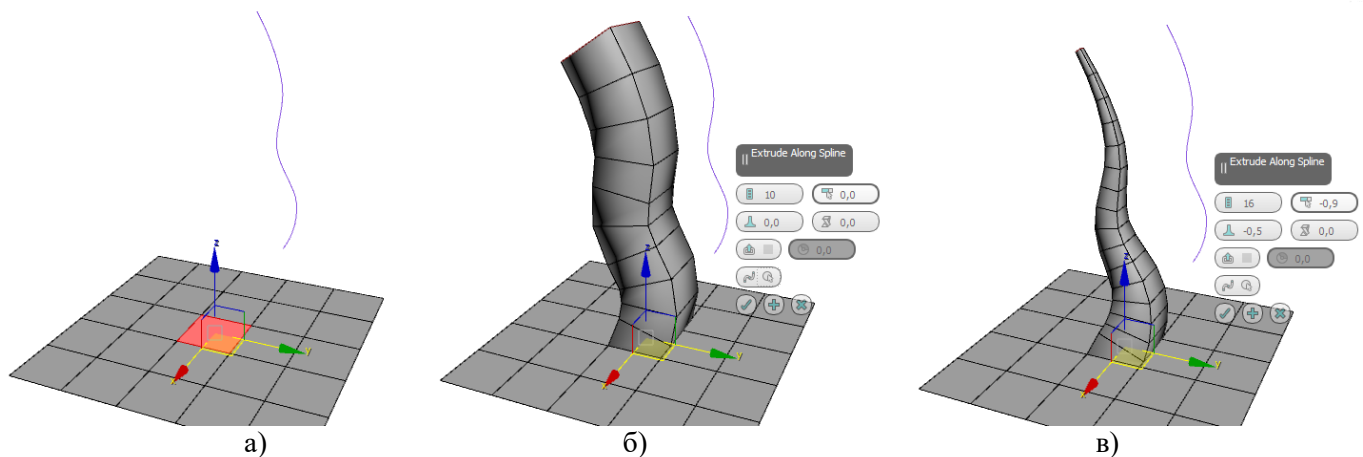


Рисунок 58 – Применение Выдавливания вдоль сплайна (Extrude Along Spline) для полигона (Polygon):  
 а) исходный объект с выделенным полигоном и созданным сплайном; б) выдавливание по сплайну с количеством сегментов 10 и без масштабирования вдоль сечений-сегментов; в) выдавливание по сплайну с количеством сегментов 10 и масштабированием вдоль сечений-сегментов с уменьшением с коэффициентом 0,1

Все рассмотренные инструменты можно применять последовательно в разных модификаторах *Edit Poly*, таким образом создавая нужную форму объекта.

### Изменение геометрии в зависимости от уровня подобъектов (Edit Geometry)

*Edit Geometry (Изменение геометрии)* – глобальные элементы управления для изменения геометрии полигонального объекта как на верхнем уровне объекта, так и на уровне подобъектов. Элементы управления одинаковы на всех уровнях, за исключением случаев, рассмотренных ниже. Свиток *Edit Geometry (Изменение геометрии)* приведён на рисунке 59.

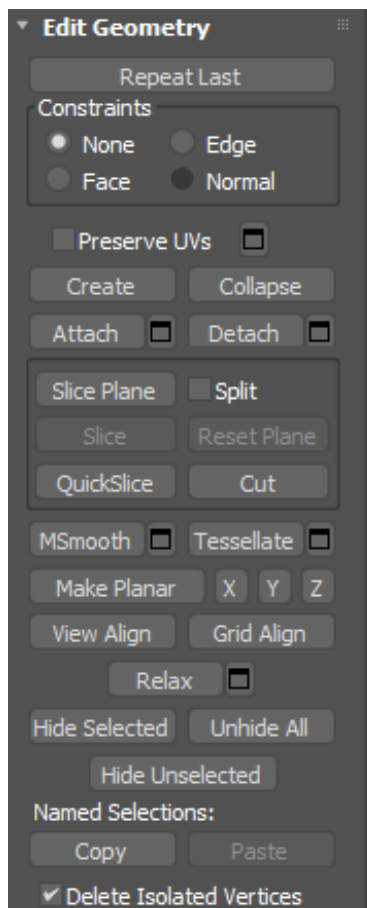


Рисунок 59 – Свиток Edit Geometry (Изменение геометрии)

*Repeat Last (Повторить последнее)* повторяет последнюю использованную команду (клавиша <Ж> на любой раскладке клавиатуры). Например, если был выдавлен полигон и нужно применить это выдавливание к другим полигонам, нужно их выделить и затем нажать повтор (Repeat Last).

*Constraints (Ограничения): None (Нет)* – нет ограничений; *Edge (Рёбро)* – ограничивает преобразования подобъектов в границах граней; *Face (Полигон)* – ограничивает преобразования подобъектов на поверхности полигона; *Normal (Нормаль)* – ограничивает преобразования каждого подобъекта нормалью или средним значением нормалей.

*Collapse (Схлопнуть)* работает только для вершин/ рёбер/ граней/ полигонов (Vertex/ Edge/ Border/ Polygon). Эта функция сворачивает группы смежных выбранных подобъектов, соединяя их вершины с вершиной в центре выбора. Пример приведён на рисунках 60 и 61.

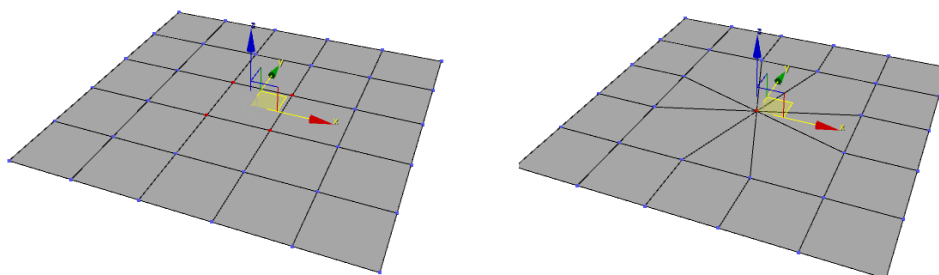


Рисунок 60 - Применение инструмента Collapse (Схлопнуть) в режиме вершин (Vertex)

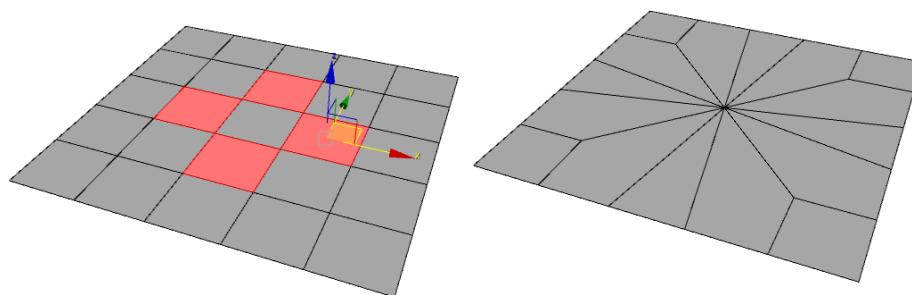


Рисунок 61 - Применение инструмента Collapse (Схлопнуть) в режиме полигонов (Polygon)

*Attach (Скрепить)* делает другие объекты в сцене частью текущего объекта. Можно прикрепить любой тип объекта, включая сплайны, Patch objects (Патч-объекты) и NURBS-поверхности. Прикрепление объекта без сетки преобразует его в формат полигональной модели. Если у прикрепляемых объектов нет назначенного материала или другой цвет объекта, они наследуют цвет объекта, к которому они прикреплены.

*Detach (Открепить)* работает только на уровне подобъектов. Разделяет выбранные подобъекты и связанные полигоны как новый объект или элементы.

*Cut and Slice group (Группа нарезки и срезов)*. Эти ножевидные инструменты позволяют разделить полигональную сетку вдоль плоскости (Slice – срез) или в определенной области (Cut – нарезка).

*Slice Plane (Плоскость среза)* создает контейнер gizmo для плоскости среза, которую можно расположить и повернуть, чтобы указать, каким образом выполнить срез. Эта группа также включает кнопки *Slice (Срез)* и *Reset Plane (Сброс плоскости)*. Для создания новых рёбер, где плоскость пересекает геометрию необходимо нажатие *Slice (Срез)*. На уровне подобъектов полигонов или элементов (Polygon/Element) плоскость среза влияет только на выделенные полигоны. Чтобы разрезать весь объект, необходимо использовать плоскость среза на любом другом уровне подобъекта или на уровне объекта. Пример приведён на рисунке 62.

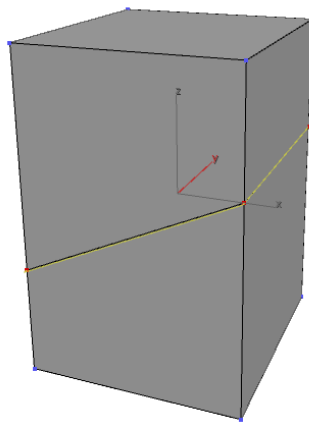


Рисунок 62 – Плоскость среза (Slice Plane) применена к параллелепипеду (Box) для подobjектов вершин (Vertex)

При включении флажка *Split (Расколоть)* операции *Quick Slice (Быстрая нарезка)* и *Cut (нарезка)* создают двойные наборы вершин в точках, где края разделены. Это позволяет легко удалять полученные полигоны, чтобы создать отверстия, то есть разделяет объект на два подobjекта, т.е. на два элемента (Element). Пример приведен на рисунке 63.

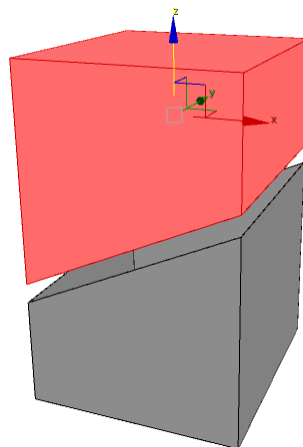


Рисунок 63 - Объект, разделенный на два подobjекта элемента (Element) с помощью инструмента Split (Раскол)

*Reset Plane (Сбросить плоскость)*. Возвращает плоскость среза в ее положение и ориентацию по умолчанию.

*Quick Slice (Быстрая нарезка)*. Позволяет быстро нарезать объект, не манипулируя контейнером gizmo. Срез определяется двумя произвольно выбранными точками.

На уровне объекта инструмент *Quick Slice* влияет на весь объект. Чтобы нарезать только определенные полигоны, необходимо выделить эти полигоны (пример на рисунке 64).

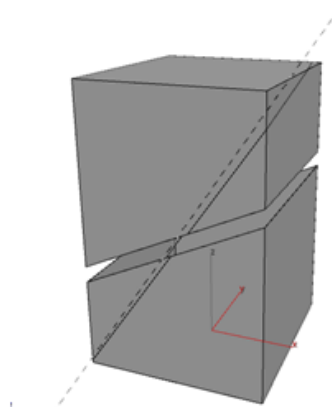


Рисунок 64 – Применение инструмента быстрой нарезки (Quick Slice) на уровне объекта



*Cut* (Нарезка, <Alt+C>) позволяет создавать рёбра внутри полигонов. Во время обрезки значок курсора мыши изменится, чтобы показать тип подобъекта, над которым он находится. Чтобы вращаться вокруг окна просмотра, необходимо удерживать нажатой клавишу Alt, прокручивая колесико мыши или перетаскивая его средней кнопкой мыши. Пример приведён на рисунке 65.

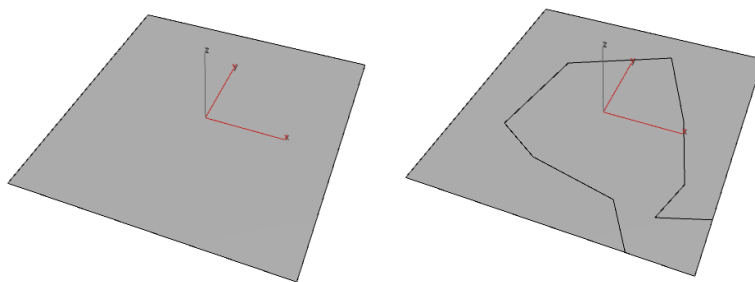


Рисунок 65 – Инструмент Нарезка (Cut) на полигоне для подобъектов вершин (Vertex)

*MSmooth* (Сглаживание сетки) сглаживает объект, используя текущие настройки. Эта команда использует функциональность, аналогичную функциональности модификатора *Mesh Smooth* (Сглаживание сетки) с подразделением NURMS, но в отличие от подразделения NURMS, она применяет сглаживание мгновенно к выбранной области сетки. Пример приведён на рисунке 66.

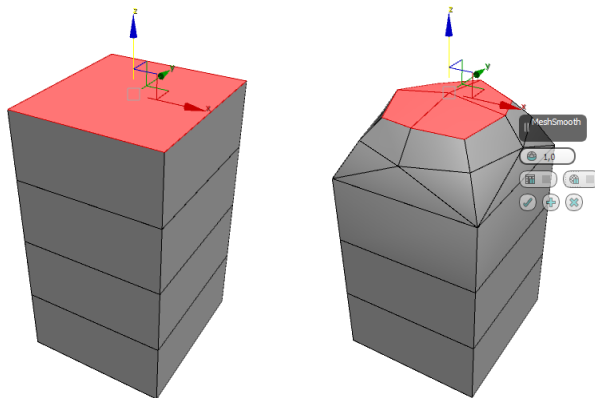


Рисунок 66 – Применение сглаживания сетки (MSmooth) на выделенном полигоне

*Tessellate* (Мозаичность). Мозаичность полезна для увеличения локальной плотности сетки при моделировании. Доступны два метода разбиения: *Edge* (для ребра) и *Face* (для полигона). Пример приведён на рисунке 67.

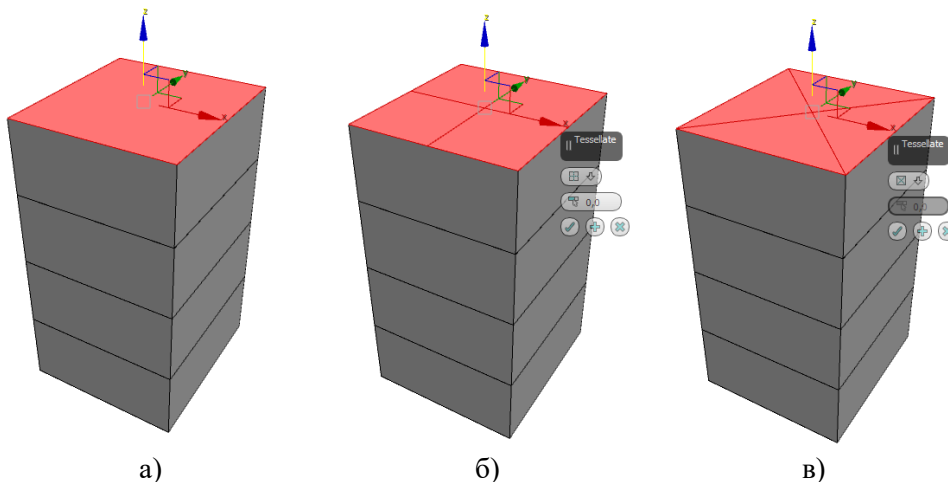


Рисунок 67 – Применение инструмента Tessellate (Мозаичность): а) исходный объект с выделенной областью; б) разбиения Edge (для ребра); в) разбиения Face (для полигона)

*Make Planar (Сделать плоским)*. Заставляет все выбранные подобъекты быть копланарными (т.е. принадлежать одной плоскости). Если выделение включает в себя вершины в различных частях объекта, вершины все делаются плоскими, но с искажающими эффектами для остальной части геометрии.

*X/Y/Z* делает все выбранные подобъекты плоскими и выравнивает плоскость с соответствующей плоскостью в локальной системе координат объекта. На уровне объекта – делает все вершины в объекте плоскими.

*View Align (Выравнивание по направлению вида)* выравнивает все вершины объекта в плоскости активного окна просмотра. На уровнях подобъектов эта функция влияет только на выбранные вершины или те, которые принадлежат выбранным подобъектам.

*Grid Align (Выравнивание относительно сетки)*. Выравнивает все вершины в выбранном объекте с плоскостью построения текущего вида и перемещает их в эту плоскость. На уровне подобъектов влияет только на выбранные подобъекты.

*Relax (Расслабление)* нормализует интервал сетки, перемещая каждую вершину к среднему местоположению ее соседей. Работает так же, как *модификатор Relax* (расслабление).

*Hide Selected (Скрыть выделенное)* скрывает выбранные подобъекты, работает только на уровне подобъектов вершин/ полигонов/ элемента (Vertex/Polygon/Element).

*Unhide All (Показать все)* восстанавливает скрытые подобъекты для видимости, работает только на уровне подобъектов вершин/полигонов/элемента (Vertex/Polygon/Element).

*Hide Unselected (Скрыть невыбранное)* скрывает невыбранные подобъекты, работает только на уровне подобъектов вершин/ полигонов/ элемента (Vertex/Polygon/Element).

*Named Selections (Именованные выделения)* позволяет копировать и вставлять именованные наборы выбора подобъектов между объектами.

*Copy (Копировать)* открывает диалоговое окно, в котором можно указать именованный набор для размещения в буфере копирования.

*Paste (Вставить)* вставляет именованное выделение из буфера копирования.

*Delete Isolated Vertices (Удалить изолированные вершины)* работает только на уровне подобъектов рёбер/граней/полигонов/элемента (Edge/Border/Polygon/Element). При включении удаляет изолированные вершины подобъектов.

### **Булевы операции с геометрическими объектами (ProBoolean)**

*Функция ProBoolean* позволяет совершать булевы операции (объединение/вычитание/пересечение) с геометрическими объектами (с двумя или более). Она находится на вкладке *Create* в категории составных объектов (Compound Objects), основные параметры указаны на рисунке 68.

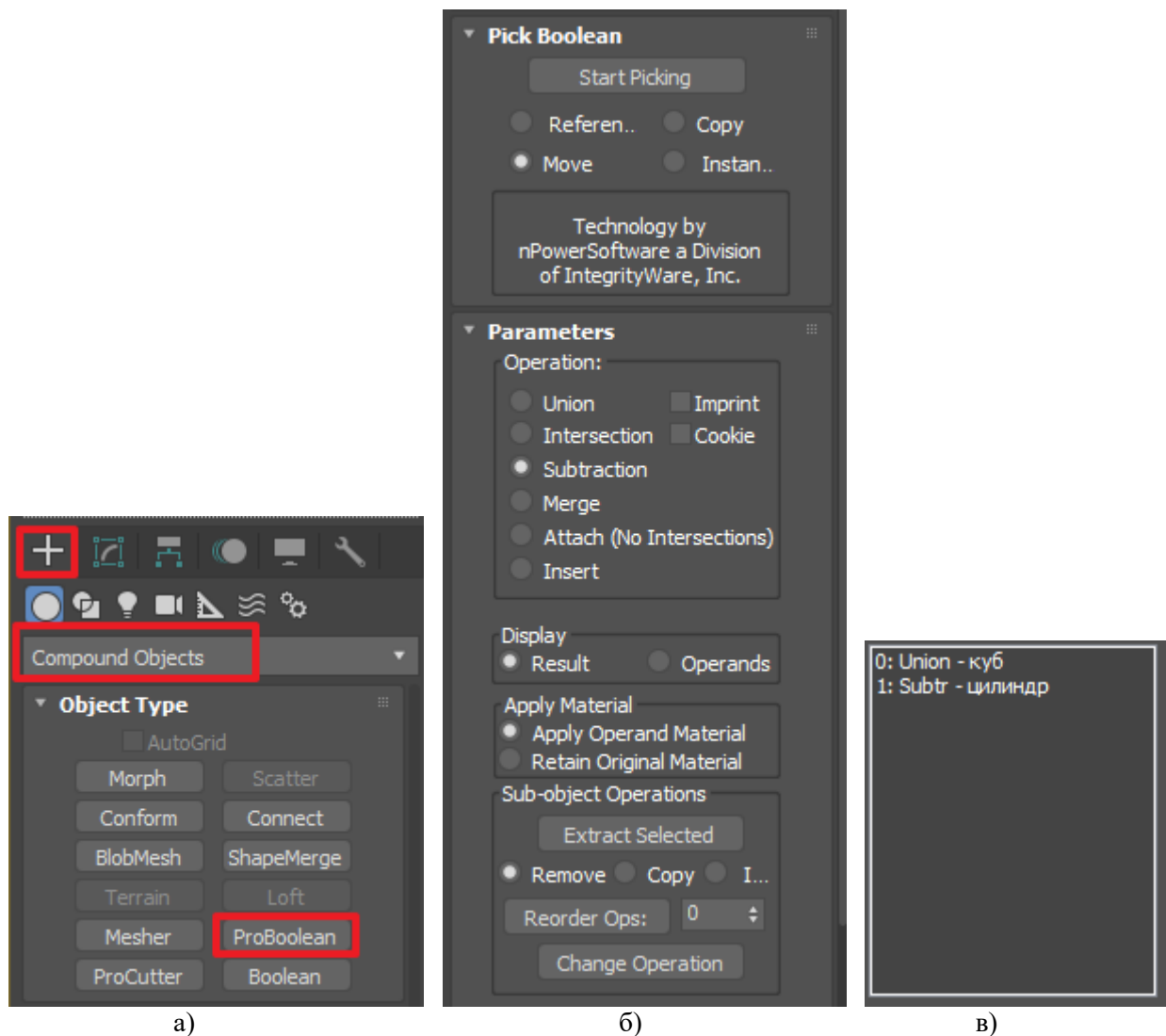


Рисунок 68 – А) расположение кнопки функции ProBoolean; б) параметры данной функции; в) окно просмотра иерархии булевых операций (HierarchyView) появляется в свитке параметров после совершения булевой операции

Операндом называется каждый из объектов, с которым совершается булева операция (их может быть несколько). Операнд А – тот, который выделен (начальный), операнд Б – тот (или те), который щелчком левой кнопкой мыши участвует в операции. Основные булевы операции (результат разных булевых операций представлен на рисунке 69):

- *Union (Объединение,  $A+B$ )*: результатом является объект, включающий в себя все операнды.
- *Intersection (Пересечение,  $A/B$ )*: результатом является объект, представляющий собой только ту область, которая была общей для обоих операндов, т.е. область их пересечения. Остальные области удаляются.
- *Substraction (Вычитание,  $A-B$ )*: из операнда А удаляется объем операнда Б.
- *Merge (слияние)* – объединяет объекты в один объект без удаления какой-либо геометрии. Новые края создаются в местах пересечения объектов.
- *Attach (Прикрепление)* – объединяет два или более отдельных объекта в один логический объект без изменения их топологии. Т.е. операнды остаются отдельными элементами (Element) внутри целого.
- *Insert (Вставка)* – сначала вычитает ограничивающий объем второго операнда из первого, а затем группирует два объекта.

Флажок *Imprint* (Отпечаток) – печатает контур формы (или края пересечения) на исходном сетчатом объекте.

Флажок *Cookie* (Откол) – обрезает грани исходной формы сетки, затрагивая только эти грани. Грани выбранного операнда не добавляются к логическому результату.

Чтобы совершить булеву операцию, нужно выделить объект, который является операндом А, нажать кнопку *Start Picking* (Начать выбирать операнды) и щелкнуть по операнду Б (или нескольким), после этого кнопку *Start Picking* нужно отжать. По умолчанию после выполнения булевой операции операнд Б удаляется. Но в зависимости от положения переключателя в свитке выбора метода (Pick Boolean), после совершения булевой операции с операндом Б может произойти следующее:

- *Move* (Перемещение) – после выполнения булевой операции объект Б удаляется. Это положение стоит по умолчанию.
- *Copy* (Независимая копия объекта) – булева операция выполняется с копией объекта Б, а сам объект остается в сцене в тех же координатах.
- *Instance* (Привязка) – булева операция производится с зависимой копией объекта Б. При этом исходный объект Б остается в сцене, а изменение параметров одного из объектов (исходного или булевого) влечет за собой изменение параметров другого;
- *Reference* (От источника) – создается копия объекта Б, которая зависит от изменений исходного объекта, однако в обратную сторону эти изменения не влияют.

Рисунки 69-70 показывают результат разных булевых операций для исходных объектов: операнд А – Параллелепипед (Box: Length = 100 mm, Width = 100 mm, Height = 100 mm, Length Segs=1, Width Segs=1, Height Segs=1), операнд Б – Цилиндр (Cylinder: Radius = 50 mm, Height = 50 mm, Sides=16).

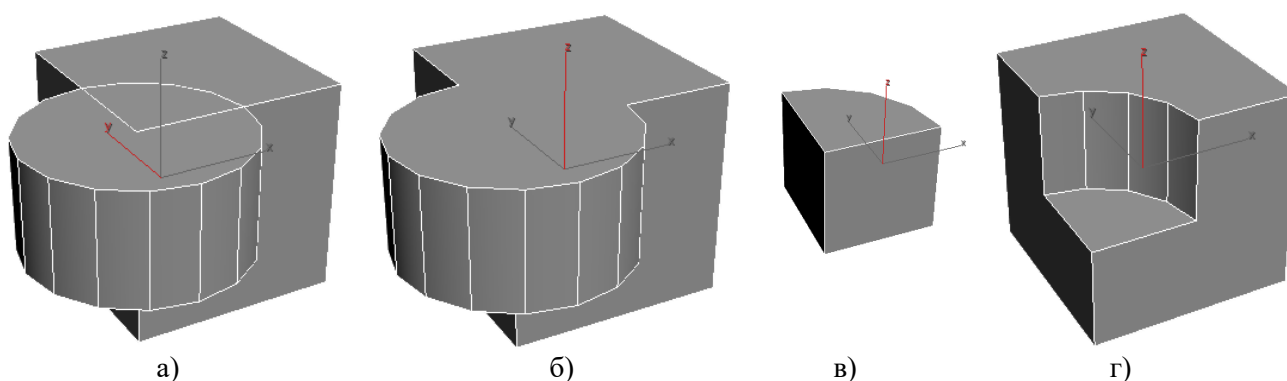


Рисунок 69 – Булевы операции (ProBoolean): а) исходные объекты (операнды А – параллелепипед, Б – цилиндр); б) объединение (Union); в) пересечение (Intersection); г) вычитание (Substraction)

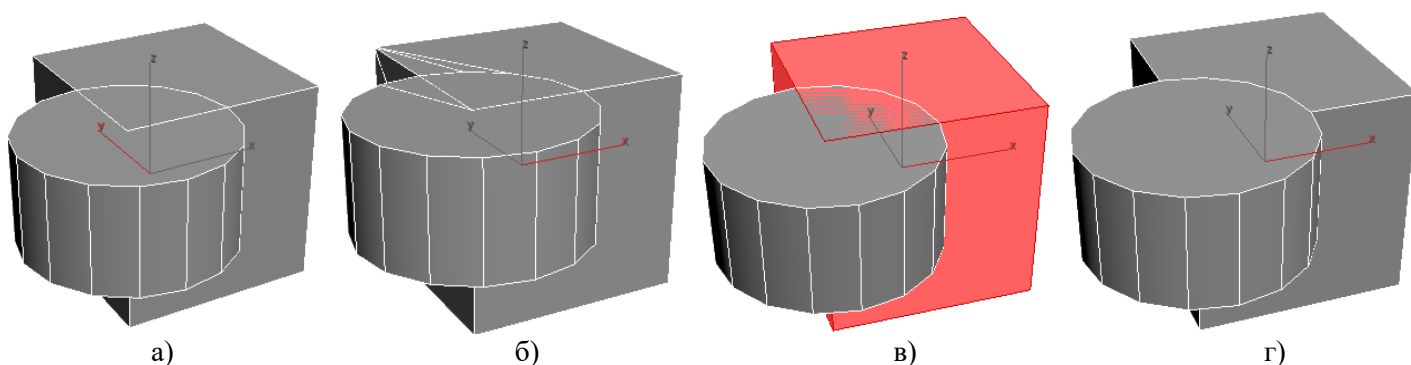


Рисунок 70 – Булевы операции (ProBoolean): а) исходные объекты (операнды А – параллелепипед, Б – цилиндр); б) слияние (Merge); в) прикрепление (Attach); г) вставка (Insert)

После совершения булевых операций важно сформировать правильную топологию полученного объекта. Для этого нужно применить модификатор *Edit Poly* и выполнить ряд действий. Поверхностную сетку можно сформировать по-разному в зависимости от того, какие дальнейшие преобразования с

геометрией объекта нужны. Важно, чтобы все полигоны были четырехугольные. Для булевых операций, выполненных на рисунке 69, примеры дальнейшего формирования поверхностной сетки представлены на рисунке 71.

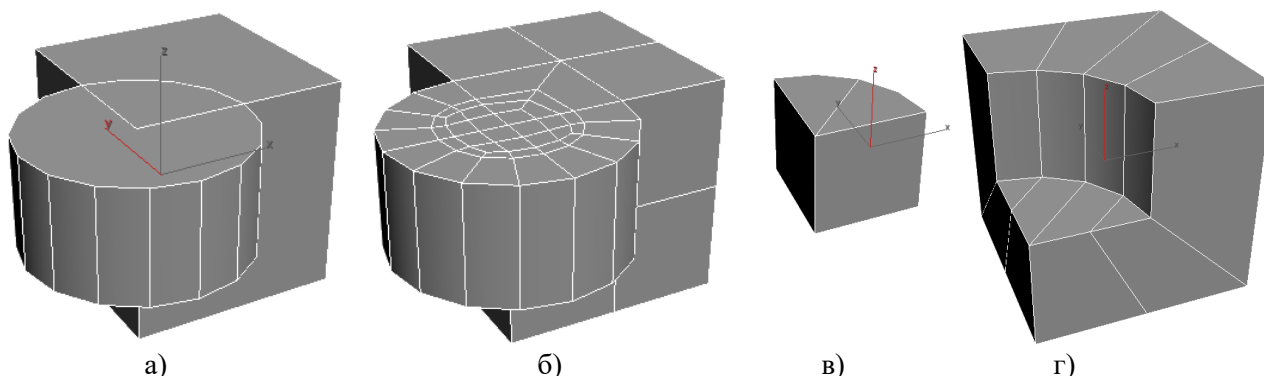


Рисунок 71 – Пример правильной топологии, сформированной в модификаторе редактирования полигонов (Edit Poly) после выполнения булевых операций (ProBoolean): а) исходные объекты (операнды А – параллелепипед, Б – цилиндр); б) после объединения (Union); в) после пересечения (Intersection); г) после вычитания (Substraction)

Группа *Display* (Отображение) позволяет выбрать один из следующих режимов отображения:

*Result* (Результат) – отображает только результат булевых операций, а не участвующие операнды.

Выбор результата также активирует уровень *ProBoolean* (Булевы операции) в стеке модификаторов.

*Operands* (Операнды) – отображает исходные операнды. Этот режим можно использовать для редактирования операндов и изменения результата. Выбор операндов также активирует уровень операндов в стеке модификаторов.

Кроме того, при выборе большого количества операндов можно использовать этот режим, чтобы избежать необходимости каждый раз пересчитывать результат, а затем в конце нужно установить для параметра *Display* (Отображение) значение *Result* (Результат).

Окно *HierarchyView* (Просмотр иерархии), расположенное в нижней части свитка *Parameters* (Параметры), позволяет увидеть все операнды, которые были использованы для булевых операций и при необходимости получить доступ к их параметрам (рисунок 68,в). Каждый раз, когда выполняется новая логическая операция, 3ds Max добавляет запись в список.

Можно выделить операнды для изменения, щелкнув их в списке представления иерархии. Чтобы выделить несколько смежных элементов в списке, необходимо щёлкнуть первый, а затем, удерживая Shift, последний. Чтобы выделить несколько несмежных записей, используется Ctrl + щелчок. Чтобы удалить выделение из записи в списке, нужно, удерживая Alt, выбрать выделенный элемент.

На уровне *ProBoolean* (Булевы операции) в стеке модификаторов можно выполнять только операции над подобъектами с выделенными элементами. На уровне подобъекта операндов можно преобразовывать выделенные операнды, а также выполнять операции над подобъектами.

### Топология крышек цилиндров

Для закрывающей крышки цилиндрического объекта возможны несколько разных вариантов топологии. На рисунке 73 в верхнем ряду показаны эти варианты топологии, а в нижнем ряду показан результат сглаживания. Важно, чтобы все полигоны крышки цилиндра принадлежали одной плоскости. Защитный контур (контур рёбер вблизи края окружности у верхнего ряда цилиндров) для низкополигональной модели не нужен, но он понадобится при сглаживании объекта. Выбор топологии, указанной под цифрами от 1 до 5, зависит от следующих критериев: 1) Если геометрия объекта сложнее обычного цилиндра, и для её создания нужны дополнительные петли рёбер (например, это дно цилиндра, а с обратной стороны он имеет прямоугольный выступ). 2) Оптимальный вариант для колеса или тела вращения (рёбра удалены через одно). Здесь остаётся звезда рёбер, но она должна быть на плоскости, чтобы не нарушать геометрию объекта при сглаживании. 3) Цилиндр с правильной топологией (все полигоны четырёхугольные, нет звёзд). Именно такая топология должна быть у



большинства объектов (!). Варианты 4) и 5) нежелательны (многоугольник и звезда), но бывают допустимы только в тех случаях, когда это дно объекта, и его ни при каких обстоятельствах не будет видно. На рисунке 74 представлены примеры правильной топологии крышек цилиндров для цилиндров с разным числом сторон.

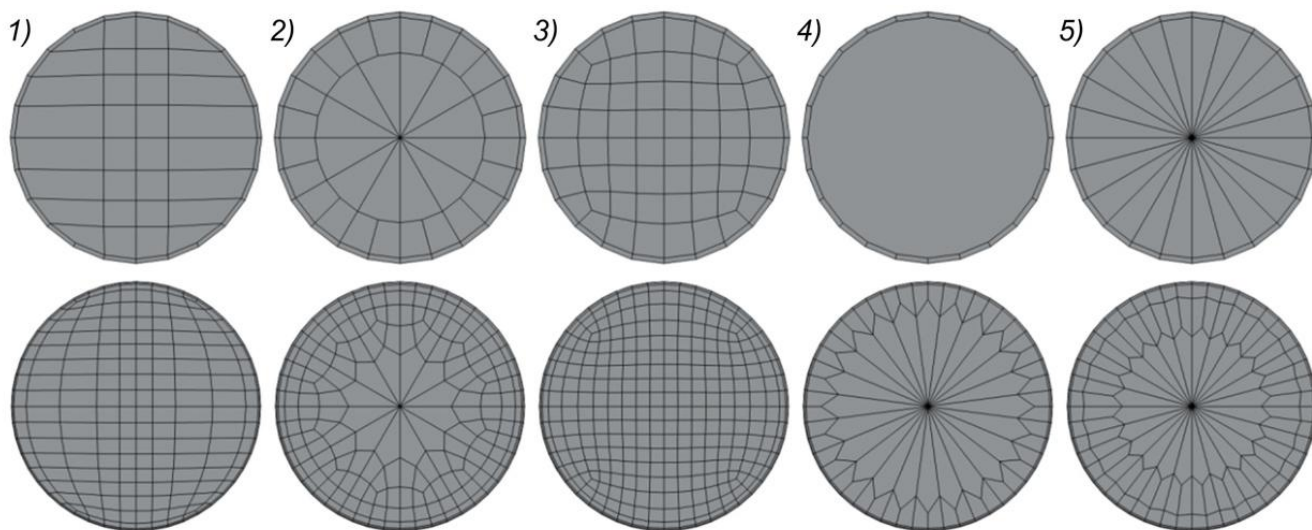


Рисунок 73 – Выбор топологии крышки цилиндра

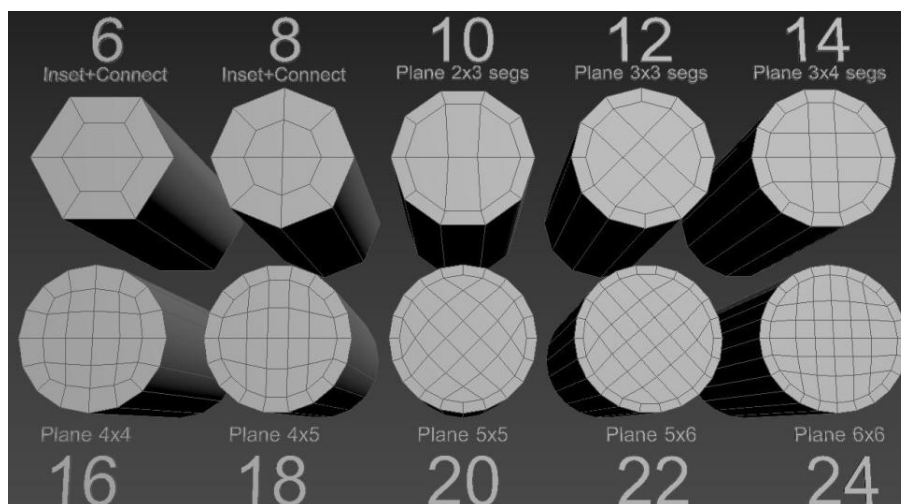


Рисунок 74 – Правильная топология крышки цилиндра для цилиндров с разным числом сторон

Быстрый способ создать правильную топологию у крышки цилиндра приведен на рисунке 75.

- 1) Создать примитив Параллелепипед (Box) с числом сегментов по всем сторонам =1.
- 2) Применить модификатор Сглаживание (TurboSmooth: Iterations = 2), получится низкополигональный шар с правильной топологией.
- 3) Применить модификатор *Edit Poly* и удалить нижнюю половину полигонов.
- 4) Выделить оставшиеся полигоны (верхние),
- 5) выровнять их в плоскость по нажатию на кнопку *Make Planar* (Сделать плоским) по соответствующей оси (в данном примере это ось Z).
- 6) Выровнять полученную заготовку по целевому объекту, который прикрепить с помощью функции *Attach* (Прикрепить). Здесь важно не забывать предварительно оставлять в сцене копии прикрепляемых объектов.
- 7) Функцией *Bridge* (Мост) соединить грани. Быстро выделить оба контура можно двойным щелчком мыши.
- 8) Выделенные на этой стадии петли рёбер можно либо удалить (если нужна именно низкополигональная модель), либо



- 9) одну из них переместить для создания защитного контура (если нужна модель под сглаживание).
- 10) На этапе 10а показана правильная топология для низко-полигональной модели, здесь все лишние петли рёбер удалены.
- На этапе 10б показана правильная топология для низко-полигональной модели для сглаживания. Здесь для сохранения формы цилиндра петли рёбер были перемещены ближе к краю цилиндра, т.к. они нужны как защитные контуры.

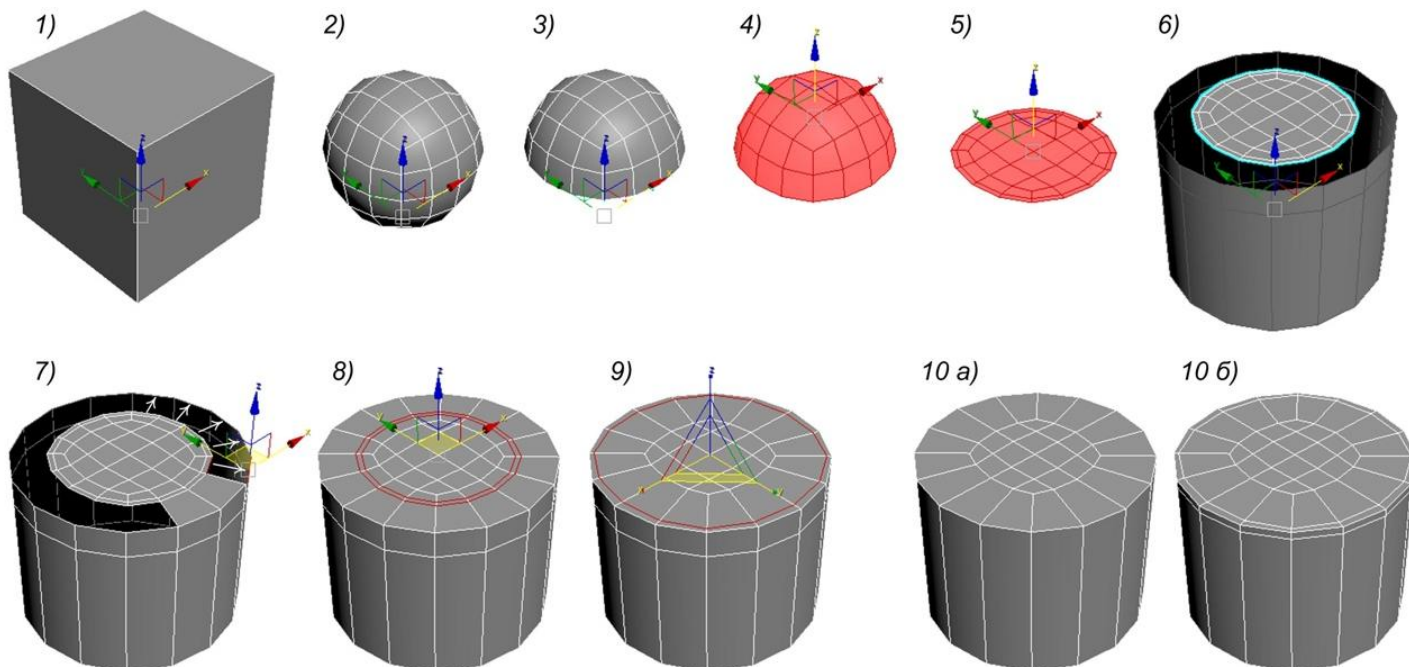


Рисунок 75 – Правильная топология крышки цилиндра для цилиндров с разным числом сторон

При формировании правильной топологии любого объекта важно не забывать про все его стороны. Чтобы не оказалось так, что у какой-то части объекта поверхностная сетка не проработана, существует функция, которая позволяет проверить весь объект на наличие нечетырехугольных полигонов (Non Quads).

Быстрый способ проверки объекта на наличие нечетырехугольных полигонов (Non Quads) показан на рисунке 76. Сначала нужно включить панель Риббон (Ribbon Panel), для этого нужно щелкнуть правой кнопкой мыши в поле панели инструментов и в появившемся меню выбрать *Ribbon*. Затем на появившейся панели на вкладке выделения (Selection) выбрать функцию поиска нечетырехугольных полигонов (Non Quads). Если у объекта есть нечетырехугольные полигоны, они будут подсвечены. При работе с подсвеченными полигонами бывает удобно пользоваться разными режимами подсветки, переключаться между ними можно с помощью клавиши <F2>.

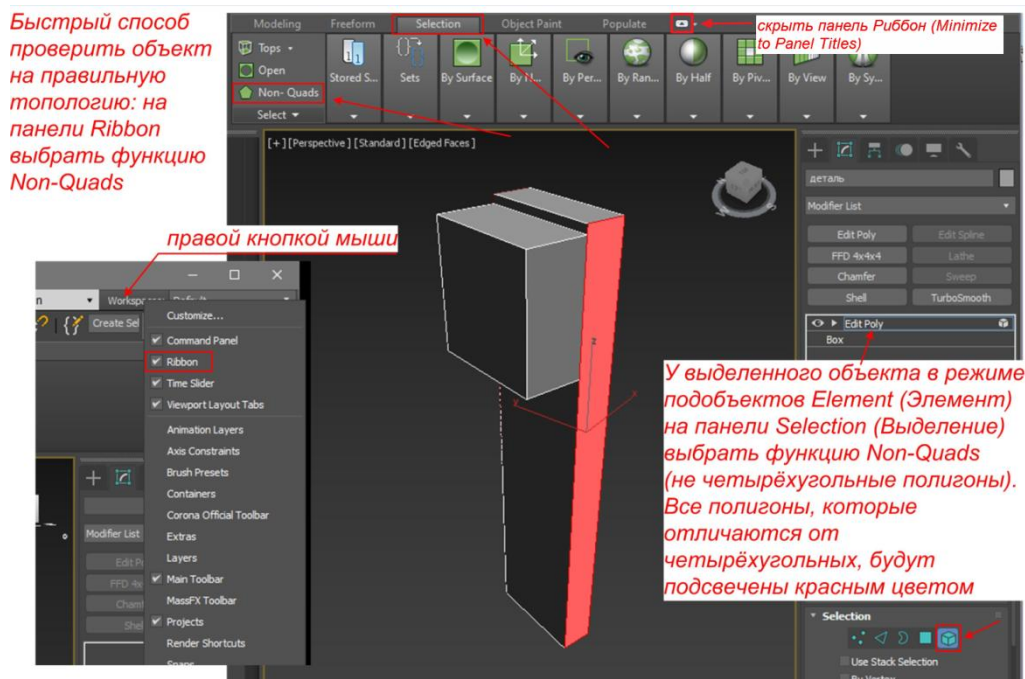


Рисунок 76 – По нажатию на кнопку Non-Quads все нечетырёхугольные полигоны объекта будут подсвечены

Если работа с панелью Риббон (Ribbon Panel) завершена, её можно скрыть, чтобы освободить экран для видового окна. Для этого нужно нажать на небольшую белую кнопку (Minimize to Panel Titles) справа от всех вкладок этой панели.

### Форма полигона имеет значение

Желательно избегать неправильной формы полигонов, т.к. это приводит к искажениям поверхностной сетки модели. На рисунке 77 показан пример правильной и неправильной формы полигонов.

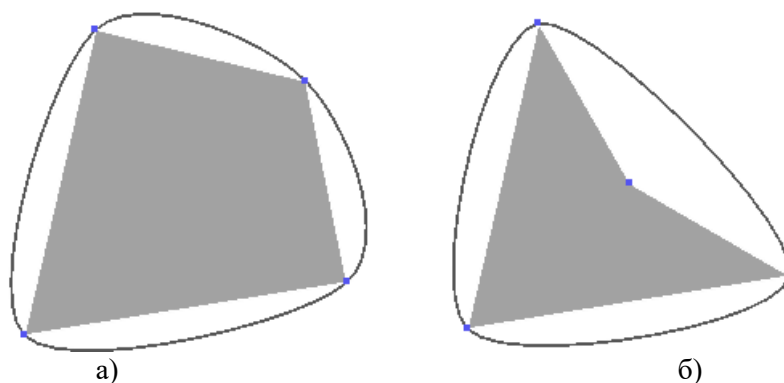


Рисунок 77 – Пример правильного и неправильного 4-угольного полигонов: а) через все вершины правильного полигона можно описать кривую в форме окружности; б) через какую-либо из вершин неправильного полигона нельзя провести кривую в форме окружности (такой полигон похож на стрелку)

Если у модели выявлены полигоны неправильной формы, желательно исправить поверхностную сетку таким образом, чтобы все полигоны были правильной 4-угольной формы.